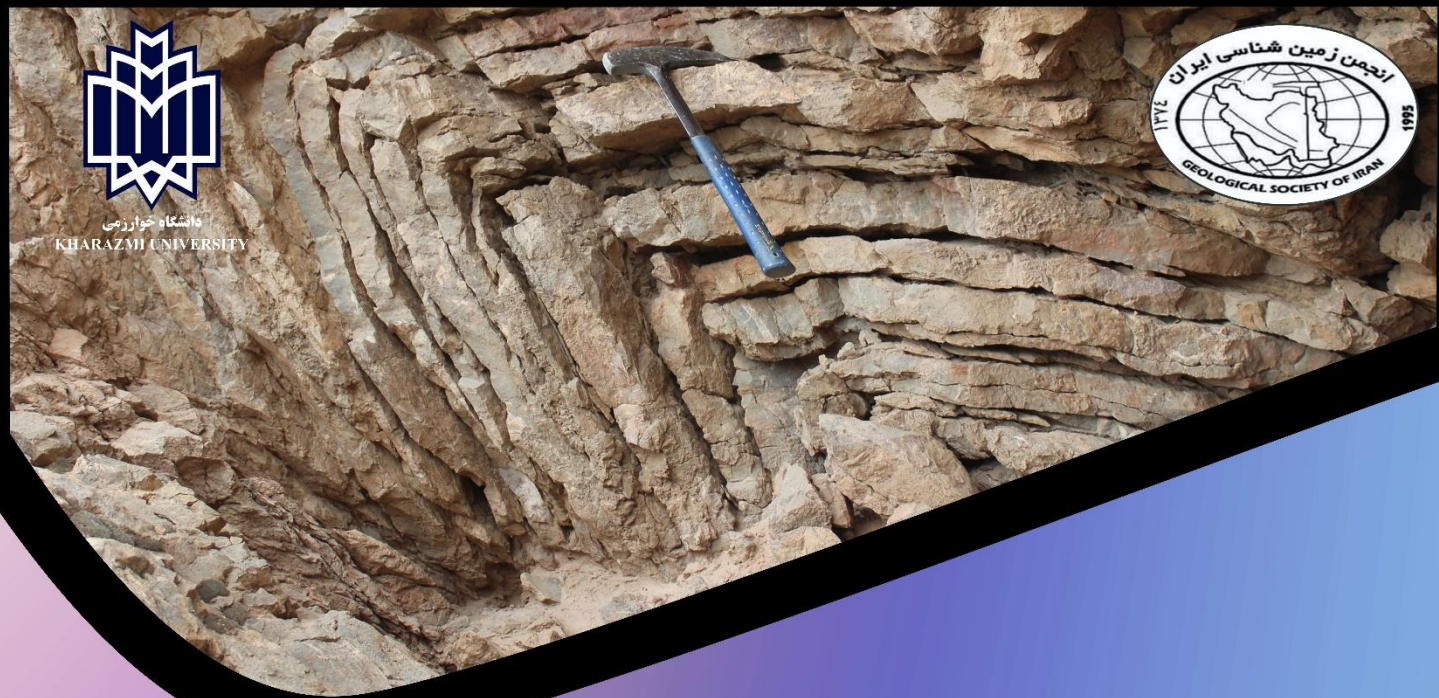




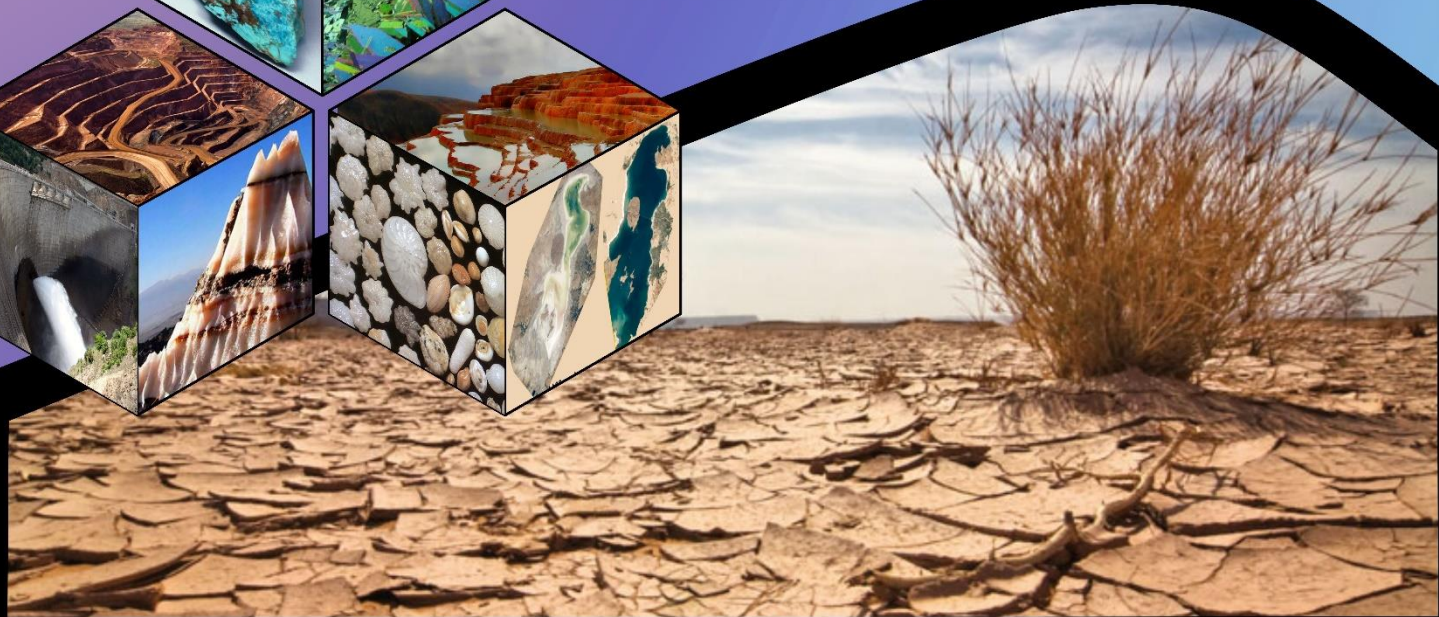
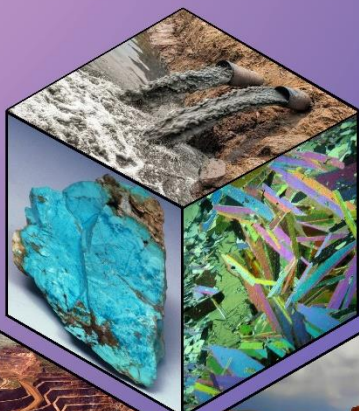
دانشگاه خوارزمی  
KHARAZMI UNIVERSITY



# مجموعه مقالات بیست و چهارمین

# همایش انجمن زمین شناسی ایران

۲۵ و ۲۶ آبان ۱۴۰۰، تهران، دانشگاه خوارزمی



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه خوارزمی

**مجموعه مقالات**  
**بیست و چهارمین همایش**  
**انجمن زمین شناسی ایران**  
**۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰**  
**دانشگاه خوارزمی (تهران)**

دبیر علمی همایش: دکتر بهزاد مهربابی

دبیر اجرایی همایش: دکتر مجید قاسمی سیانی

مدیریت و برنامه ریزی همایش: دکتر عطا شاکری

## دیباچه:

زنده یاد دکتر عبدالمجید یعقوب پور (دانشگاه خوارزمی) از بنیان گذاران انجمن زمین شناسی ایران بودند و دو دوره نیز ریاست این انجمن را برعهده داشتند. دانشکده علوم زمین دانشگاه خوارزمی همواره جزو فعالان انجمن زمین شناسی ایران بوده و تاکنون طی ۲۳ دوره همایش برگزار شده، نهمین و پانزدهمین دوره در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰ در دانشگاه خوارزمی برگزار شده است.

انجمن زمین شناسی ایران در راستای توسعه و تبادل نظر علمی و ارائه آخرین یافته‌های علمی و پژوهشی، بیست و چهارمین دوره همایش انجمن زمین شناسی ایران را در تاریخ ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ در محل دانشگاه خوارزمی به صورت نیمه حضوری برگزار کرد. لذا دبیرخانه همایش از کلیه اساتید، دانش پژوهان، صاحبان اندیشه و دانشجویان علاقه‌مند برای شرکت در همایش و ارائه مقالات مرتبط با محورهای اعلام شده تشکر و قدردانی می‌کند. در این دوره از همایش علاوه بر پژوهشگران داخلی، هشت پژوهشگر برجسته بین‌المللی با ارائه مقالات کلیدی به عنوان سخنران کلیدی نقش بزرگی در ارتقای کیفیت علمی همایش داشتند که برگزارکنندگان از مشارکت فعال آنها صمیمانه قدردانی می‌کند. برگزارکنندگان بر خود لازم می‌دانند که از مساعدت‌های دکتر منصور قربانی ریاست محترم انجمن و معاونت پژوهشی دانشگاه خوارزمی برای برگزاری این همایش مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

## اهداف همایش:

- ایجاد ارتباط بین متخصصان علمی، صنعتی و دانشجویان به برای تبادل نظر در جهت رفع نیازهای علمی و حل مشکلات اجرایی کشور در حوزه علوم زمین
- ایجاد شرایط مناسب برای ارائه پژوهش‌های علمی و فناورانه جدید با توجه به مرزهای دانش و نیاز به افزایش همکاری‌های بین‌رشته‌ای
- ایجاد شرایط مناسب برای دانشجویان برای ارائه یافته‌های علمی شان
- امکان بحث در موضوعات و گرایش‌های جدید در حوزه علوم زمین و کاربردهای آنها
- با توجه به تغییراتی که کرونا در شرایط علمی، آموزشی و پژوهشی جهانی ایجاد کرده است، گردهمایی‌های علمی بویژه با مشارکت متخصصین علمی بین‌المللی امکان‌پذیر شده که دانشگاه خوارزمی هم از زیرساخت‌های ایجاد شده برای ارتقا علمی همایش استفاده لازم را بعمل آورد.

دکتر بهزاد مهرابی

دبیر علمی بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

### **اعضاء کمیته علمی (به ترتیب حروف الفبا):**

- دکتر محمد حسین آدابی (دانشگاه شهید بهشتی)  
دکتر بیژن بیراوند (پژوهشگاه صنعت نفت)  
دکتر حسین پیرخراطی (دانشگاه ارومیه)  
دکتر احمد حاجی نژاد (دانشگاه تهران)  
دکتر محمد داستانیپور (دانشگاه شهید باهنر کرمان)  
دکتر جهانبخش دانشیان (دانشگاه خوارزمی)  
دکتر حسین رحیم پور بناب (دانشگاه تهران)  
دکتر میثم رستگاری مهر (دانشگاه خوارزمی)  
دکتر حافظی مقدس (دانشگاه فردوسی مشهد)  
دکتر محمد حسین زرین کوب (دانشگاه بیرجند)  
دکتر بهمن سلیمانی (پژوهشگاه صنعت نفت)  
دکتر علی اصغر سپاهی گرو (دانشگاه همدان)  
دکتر عطا شاکری (دانشگاه خوارزمی)  
دکتر عزیزالله طاهری (دانشگاه صنعتی شاهرود)  
دکتر امیر علی طبخ شعبانی (دانشگاه خوارزمی)  
دکتر سجاد عباسی (دانشگاه شیراز)  
دکتر حسین عزیزی (دانشگاه کردستان)  
دکتر بهرام علیزاده (دانشگاه اهواز)  
دکتر جعفر عمرانی (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)  
دکتر مجید قادری (دانشگاه تربیت مدرس)  
دکتر محمد رضا قاسمی (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)  
دکتر منصور قربانی (دانشگاه شهید بهشتی)  
دکتر جلیل قلمقاش (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)  
دکتر علی کنعانیان (دانشگاه تهران)  
دکتر علی معلمی (شرکت ملی نفت ایران)  
دکتر محمد نخعی (دانشگاه خوارزمی)  
دکتر مجتبی نوری (شرکت ملی منابع آب ایران)  
دکتر حسین وزیری مقدم (دانشگاه اصفهان)  
دکتر عبدالرضا واعظی هیر (دانشگاه تبریز)  
دکتر مجید هاشمی تنگستانی (دانشگاه شیراز)  
دکتر حسین هاشمی (دانشگاه خوارزمی)

### **اعضاء کمیته اجرایی (به ترتیب حروف الفبا):**

- دکتر مجید افشاری راد (رئیس مرکز اسناد و کتابخانه دانشگاه خوارزمی)  
دکتر خلیل رضایی (عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی)  
دکتر اصغر دولتی (عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی)  
دکتر علی عظیمی (مدیر مرکز آموزش های الکترونیکی و آزاد دانشگاه خوارزمی)  
مهندس ابراهیم نادری (کارشناس دانشکده علوم زمین دانشگاه خوارزمی)

## اعضاء هیئت رئیسه انجمن زمین شناسی ایران (به ترتیب حروف الفبا):

- دکتر پیمان افضل (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی)
- دکتر مهدی زارع (عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله)
- دکتر بهمن سلیمانی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز)
- دکتر حبیب الله قاسمی (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شاهرود)
- دکتر منصور قربانی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی)
- دکتر جلیل قلم قاش (عضو هیات علمی پژوهشکده علوم زمین)
- دکتر سید رضا مهرنیا (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور قزوین)

## حامیان همایش:

- دانشگاه اصفهان
- دانشگاه خوارزمی
- دانشگاه تربیت مدرس
- دانشگاه شهید بهشتی
- دانشگاه تبریز
- دانشگاه شیراز
- دانشگاه دامغان
- دانشگاه صنعتی شاهرود
- دانشگاه شهید چمران اهواز
- دانشگاه فردوسی مشهد
- دانشگاه پیام نور
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)
- شرکت ملی نفت ایران
- شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران
- شرکت ملی فولاد ایران
- پژوهشکده صنعت نفت
- شرکت مدیریت منابع آب ایران
- شرکت زغالسنگ البرز مرکزی
- شرکت ملی صنایع مس ایران
- مجتمع مس سرچشمه کرمان
- خانه معدن ایران شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
- شرکت ملی گاز ایران
- شرکت پار پولاد کارمانیا
- شرکت پارس پی آزما
- شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما
- انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران
- مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران
- مرکز پژوهشی زمین شناسی پارس آرین زمین

## سخنران مدعو:

آقای دکتر علیرضا شهیدی رییس محترم سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور

## سخنران های بین المللی:

- **Towards Holistic, Sustainable and Inclusive Management of Water and Environmental Systems**

Dr. Saman Razavi, Saskatchewan University, Canada

- **Dating of U bearing minerals**

Prof. Namik Aysal, Istanbul University, Department of Geological Engineering, Turkey

- **Stratigraphic structural and geochemical data on the Durkan Complex (Makran Accretionary Prism, SE Iran): constraints for its interpretation as a Late Cretaceous tectonically disrupted seamount chain**

Prof. Edoardo Barbero, Ferrara University, Ferrara, Italy

- **Chemical composition and boron isotope of tourmaline as indication for ore-forming hydrothermal processes: Case studies from Paleoproterozoic atypical orogenic Au-Co deposits, Finland**

Prof. Jukka-Pekka Ranta, Faculty of Technology Oulun Yliopisto, University of Oulu, Finland

- **Geochemical and age data on the Bajgan Complex metaophiolites (Makran Accretionary Prism, SE Iran): New evidence for their magmatic formation in a Cretaceous oceanic domain**

Prof. Emilio Sacconi, Ferrara University, Ferrara, Italy

- **High-K magmatism and associated Cu-Au mineralization**

Prof. Daniel Müller, NDP Exploration, Santiago, Chile

- **Characteristics of metamorphic core complexes**

Prof. Franz Neubauer, Department of Geography and Geology, University of Salzburg, Austria

- **The Geodynamic Evolution of Iran**

Prof. Robert J. Stern, University of Texas at Dallas

## فهرست مطالب

### زمین شناسی اقتصادی و ژئوشیمی ذخایر معدنی

- ۱..... نحوه شکل گیری کانسارهای طلائی افشان با سنگ میزبان رسوبی..... ابراهیم طالع فاضل
- ۱۰..... یافته‌هایی از سن سنجی **U-Pb** زیرکان در افق‌های لاتریت-بوکسیت..... سید مهدی شیرنگی، بهنام شفیعی بافتی، مریم کیاشکوربان، István Dunkl
- ۱۶..... شیمی کانی پیروکسن در زینولیت‌هایمربط با سنگ‌های آتشفشانی شبه جزیره اسلامی..... پویا بشارتی، علی کنعانیان، فاطمه سپیدبر
- ۲۵..... بررسی ژئوشیمیایی توده نفوذی کیبرکوه و شواهد کانی‌زایی مس-طلا..... پویا بشارتی، محمد مهدی ساعدی، محمد امین جعفری
- ۳۳..... بررسی میانبارهای سیال کانی باریت (سرب) کانسارزیاران، کرج..... مه‌ری بهرامی، حسن زمانیان، علیرضا الماسی
- ۳۸..... بررسی نحوه کانی سازی در کانسارسادات سیریز..... عبدالله عباس زاده فتح آبادی، مهدی ایرانمنش، علیرضا شاکر، علی الهی
- ۴۴..... پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های اولترامافیک کمپلکس افیولیتی بشاگرد، زون مکران..... علی اکبر بشکنی، بهزاد مهربانی، مجید قاسمی سیانی، عیسی متاجی امیررود
- ۵۱..... ارتباط شیمی کانی و زمین شیمی عناصر اصلی با کیفیت فیروزه در معدن نیشابور..... شهرزاد شوکتی، مهرداد بهزادی، محمد یزدی، محمد امینی
- ۶۴..... مطالعات میکروسکوپی، کانه نگاری و ژئوشیمیایی کانسنگ معدن گلالی ۱..... هدی شیردره، مهرداد براتی
- ۷۰..... پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور بارزسازی و تفکیک واحدهای سنگی..... سعید اسمعیلی خلخاله، یوسف رحیم سوری، فرزاد فتح‌اله زاده
- ۷۸..... بررسی کانی‌سازی و ژئوشیمی ذخیره کیوترکوه و مقایسه آن با ذخیره رخ سفید گناباد..... مینا رضائی، محمدحسن کریم پور، صدیقه زبرجانی زاده، آزاده ملکزاده شفارودی
- ۸۴..... ویژگی‌های کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و بافتی کانسار رسی کویر ۵ آباد..... بتول تقی پور، درنا ابراهیمی مقدم
- ۹۱..... مطالعات آماری بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌ای در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ دیزج..... لی‌لی دانشور صائین
- ۹۸..... کانی‌شناسی و ژنز کانسار آهن جلال‌آباد زرند کرمان..... فرشته حسن‌نیا، حسن برزگر
- ۱۰۶..... کانی‌شناسی، ساخت و بافت و محیط تشکیل رخداد معدنی مس آرک، شمال غرب بیرجند..... آرزو خسروی، آزاده ملکزاده شفارودی، امیر مهدوی
- ۱۱۶..... مطالعات کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی کانسار رسی کویر-۶ آباد، استان فارس..... زهرا اعلی‌نیا، شیوا فرنگی، مینا شاهین، هادی پورفرضی
- ۱۲۳..... کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه محدوده معدنی خاک‌های صنعتی و نسوز چاه‌علی‌اکبر..... محمود شجاع سنگ‌چولی، شجاع‌الدین نیرومند، سروش مدبری، محمد امینی
- ۱۳۲..... بررسی کانیایی کانه‌زایی اپی‌ترمال زواربان (سلفچگان)..... الناز زحمتکش، سیدمهران حیدری
- ۱۴۰..... بررسی ذخایر گچ در ایران..... مهدی هاشمی
- ۱۴۸..... جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از مدل‌سازی مولتی‌فرکتالی..... لی‌لی دانشورصائین
- ۱۵۶..... نقش کنترل کننده‌های ساختاری در کانه‌زایی آنتیموان سفیدابه، جنوب شرق ایران..... مهدی کوهساری، محمد بومری، ساسان باقری
- ۱۶۵..... تحلیل هندسی زون فرورانش مکران از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی..... سید رضا مهرنیا

### زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک

- ۱۷۰..... ارزیابی اهمیت متغیرهای موثر بر لرزه خیزی ایران..... مرضیه خلیلی، مهدی ژولیده استوار
- ۱۷۶..... تحلیل ساختاری منطقه میشداغ و الله اکبر دشت آزادگان..... میعاد عیباوی، عباس چرچی، بابک سامانی
- ۱۸۴..... برآورد پارامترهای لرزه خیزی گسل‌های فعال کوهزاد زاگرس در استان کردستان..... سید ماجد عطاپور، مریم ده بزرگی، رضا نوزعم، عبدالله سهرابی بیدار، هیوا اللهیاری



- ۱۹۱..... بررسی جنبشی گسل پیغمبران به عنوان شاهدهی بر شدت گیری تغییر شکل در جنوب خاور البرز مرکزی.....  
 امیر نعیمی، سید احمد علوی، سعید معدنی پور
- ۱۹۸..... تحلیل لرزه خیزی در پهنه لوت با استفاده از داده های لرزه ای و مغناطیس هوایی.....  
 محمد امیر علیمی
- ۲۰۵..... ارزیابی نقش گسل های فعال البرز مرکزی بر مورفولوژی رودخانه.....  
 شیما بابائی، مریم ده بزرگی، سعید حکیمی آسیاب، امین حسینی اصل
- ۲۱۳..... بررسی فعالیت تکتونیکی جوان پهنه گسل ترکمانی-اردیب.....  
 سید معین هاتقی، علیرضا ندیمی
- ۲۲۰..... تحلیل ساختاری کانی سازی های کرومیت محدوده گسل میناب- زندان.....  
 نسیمه صالحی زاده، مهدی مسعودی، شهرام شفیعی بافتی، رضا درخشانی
- ۲۲۶..... بررسی کنترل ساختاری بر هیدروژنولوژی دشت کامیاران، کوه شاهو در غرب ایران.....  
 فرزانه ایمانیان، ابوالفضل رضایی، اسماعیل شبانین
- ۲۳۳..... ارتباط بین ساختارهای زمین ساختی و کانه زایی در کانسار مس چاه فیروزه.....  
 حکیمه قاسمیان، محمد یزدی، محسن احتشامی، محمدرضا صفارحیدری
- ۲۴۲..... بررسی مورفوتکتونیکی منطقه ی سدخرسان ۳ واقع در استان چهار محال و بختیاری.....  
 سهام کریمی، خدیجه خلیلی
- ۲۴۹..... مدلسازی چین خوردگی گسترش گسلی، نگرش هایی از نقش ضریب اصطکاک.....  
 انیس السادات خلیفه سلطانی، سید احمد علوی، محمد رضا قاسم، مهدی گنجیانی
- ۲۵۷..... سیستم تراستی پالئوژن در رشته کوه های شرق ایران.....  
 شمس الدین دامنی گل، ساسان باقری
- ۲۶۶..... زمین شناسی کوه بیرک و رخدادهای دگرشکلی منطقه، جنوب شرق ایران.....  
 شمس الدین دامنی گل، ساسان باقری
- ۲۷۲..... اندیسه های گچ، نمک و فسفات در استان لرستان.....  
 مهدی هاشمی

### سنگ های آذرین، دگرگونی و رسوبی

- ۲۷۷..... شواهد میکروسکوپی ارتوگنیس های مافیک درجه بالا در شیست های گرگان.....  
 سینا مرادحسینی، شهریار محمودی
- ۲۸۳..... سنگ شناسی و ژئوشیمی استوک فلسیک گذارسیاه (جنوب غرب جندق).....  
 احمد جمشیدزائی، شمس الدین دامنی گل، قدرت ترابی
- ۲۹۰..... ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی اتوسن پسین منطقه وادقان.....  
 بهناز حسینی، احمدرضا احمدی
- ۲۹۵..... بررسی شرایط دگرشکلی در سنگ های دگرگونی شرق مزایجان.....  
 بهناز حسینی، احمدرضا احمدی
- ۳۰۰..... ژئوشیمی مجموعه دایک های شمال شرق مشکین شهر، شمالغرب ایران.....  
 محمد فدائیان، امین اله کمالی
- ۳۰۸..... توده گرانیتوئیدی گودحوض در منطقه دهسرد (بافت، کرمان).....  
 محبوبه عربزاده بنی اسدی، حبیب ا. قاسمی، مهدی رضایی کهخایی، محسن میاشری
- ۳۱۶..... پتروگرافی و ژئوشیمی دایک های تاخیری کانسار مس - مولیبدن پورفیری سونگون.....  
 امین اله کمالی، محسن موید، محمد فدائیان
- ۳۲۵..... تفسیر بازلت های کرتاسه و سنگ های آتشفشانی همراه در جنوب آمل.....  
 روشنک ارغانی، منصور قربانی

### ژئوفیزیک

- ۳۳۳..... تخمین عمق بی هنجاری های مغناطیسی با روش اویلر در محدوده معدنی اسبخان.....  
 نیما یادگاری، سید غفور علوی، محسن موید
- ۳۴۰..... کاربرد روش وارونسازی همزمان لرزه ای در توصیف پارامترهای مخازن شیلی.....  
 وحید کاملی نیا، علی میثاقی، محمدرضا آصف، علیرضا ساجدی
- ۳۴۸..... تعیین حلقه نفتی با استفاده از روش تغییرات دامنه بر حسب دورافت داده های لرزه ای.....  
 کریم خرسندپور، دکتر علی میثاقی، محسن سید علی

### زلزله شناسی و پیش بینی زلزله

- ۳۵۶..... لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت جنوب شرق استان کرمان - جنوب دشت لوت.....  
 محمد امیری، آرمان کرمانی
- ۳۶۳..... برآورد پارامترهای هندسی و دینامیکی زمین لرزه های روی داده در شمال ایران.....  
 علی شکری، احمد رشیدی

## رسوب‌شناسی

- ۳۶۹..... تأثیر فرایندهای رسوبی و دیاژنزی بر توزیع واحدهای مخزنی سازند سروک.....  
جواد سبحانی فروشانی، حمزه مهرابی، حسین رحیم‌پور بناب
- ۳۸۰..... کنترل رخساره‌های رسوبی بر خصوصیات مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان.....  
محمدحسین دهاقین، حسین رحیم‌پور بناب، حمزه مهرابی
- ۳۸۸..... ژئوشیمی رسوبات آواری برش کلاته‌نو در شمال بیرجند.....  
مریم مرتضوی مهریزی، عاطفه البرز، سید ناصر رئیس السادات
- ۳۹۶..... بررسی تاریخچه رسوبگذاری نهشته‌های سیلیسی آواری ائوسن برش دره گزان.....  
مریم مرتضوی مهریزی، هانی فولادی تالاری، سید ناصر رئیس السادات
- ۴۰۴..... تعیین محیط رسوبی بخش (k4) سازند دالان در میدان پارس جنوبی.....  
زکویه میرزاییان
- ۴۱۱..... بررسی موقعیت چینه‌شناسی نهشته‌های قرمز نئوژن در منطقه اشتهاارد.....  
معصومه ظاهری، بهروز رفیعی، رضا علیپور
- ۴۲۳..... بررسی روش‌های اصلاحی بار رسوب ورودی به سد گلستان.....  
علی رادکانی، سید مرتضی سیدیان، ابوالحسن فتح‌آبادی
- ۴۳۱..... مقایسه روش‌های افزایش سطح و کاهش سطح برای پیش‌بینی حجم رسوب.....  
علی رادکانی، سید مرتضی سیدیان، ابوالحسن فتح‌آبادی

## زمین‌شناسی نفت و ژئوشیمی آلی

- ۴۳۹..... مقایسه نوع هیدروکربن در سازند گرو در مناطق مختلف لرستان.....  
شکوفه موری، امید جوان
- ۴۴۴..... تعیین پارامترهای مخزنی میدان نفتی هنگام، سازند ایلام - سروک.....  
لیلا حسینی، علی چهرازی، سید محمدرضا امامی
- ۴۵۲..... تحلیل و بررسی رخساره الکتربیکی سازند سفیدزاخور با استفاده از روش MRGC.....  
فرشید رومیانی، محمدحسین صابری

## چینه‌شناسی و دیرینه‌شناسی

- ۴۶۰..... محیط دیرینه سازند میشان بر اساس شکل هندسی فرامینیفرها.....  
جهانبخش دانشیان، ولی عزیزاده، مریم درخشانی، سید علی معلمی
- ۴۶۸..... بررسی بوم‌شناسی دیرینه روزنبران کرتاسه پیشین.....  
طیبه احمدی، حسین خونچمن
- ۴۷۵..... آنومالی‌های ایزوتوپ کربن منفی نزدیک مرز سری‌های ۲ و ۳ کامبرین.....  
هادی امین رسولی، یعقوب لاسمی، شرمین ظاهری
- ۴۸۱..... بررسی ژئوشیمیایی و ویژگی‌های رخساره‌ای رسوبات فسفات دار.....  
آرمین سلسانی، عبدالحسین امینی، شهرام شریعتی، محسن آل علی
- ۴۹۳..... چینه‌نگاری زیستی و محیط دیرینه سازند قم براساس فرامینیفرها.....  
جهانبخش دانشیان، طاهره فولادی فرد
- ۴۹۸..... گیاهان میزبان تولیدمثل حشرات، مطالعه موردی: ماکروفسیل‌های گیاهی سازند شمشک.....  
سولماز صادقی، حسین هاشمی
- ۵۰۶..... ریز زیست چینه‌نگاری سازند تله زنگ در جنوب باختر کرمانشاه برش کلاه بالا.....  
ایرج مغفوری مقدم، سیدمحمدرضا امامی، تیمامقبولیان
- ۵۱۳..... بررسی و مقایسه فونای فوزولینید سازند روته در برش فشنند البرز مرکزی.....  
حسین مصدق، لیلا صمدپور

## زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک

- ۵۲۰..... ارزیابی رفتار قابهای بتنی بهسازی شده با مهار بند فولادی هم محور.....  
فرهاد پیرمحمدی علیشاه، مهدی محمد رضایی
- ۵۴۲..... ارزیابی فرونشست دشت تهران تحت اثر افت تراز آب‌های زیرزمینی.....  
زهرایزیدی، حامد نیرومند
- ۵۵۱..... پیش‌بینی فرونشست زمین تحت اثر افت سطح آب زیرزمینی.....  
زهرایزیدی، حامد نیرومند
- ۵۶۰..... بررسی مخاطرات زمین‌شناسی قطعه دوم آزادراه تهران شمال.....  
شیدا ذاکری مقدم، سید محمود فاطمی عقدا، مهدی تلخایلو
- ۵۶۹..... تأثیر خاک ریزدانه بر دانسیته خشک و درصد رطوبت اپتیمم ماسه بادی.....  
ابوالفضل صحراگرد، اکبر چشمی
- ۵۷۷..... ارزیابی درجه هوازدگی باتولیت گرانیتی شیرکوهدر جنوب غرب یزد.....  
فاطمه سلیمیان ریزی، مهدی ترابی کاوه، غلامرضا تاجبخش، مهناز خدای

مروری بر روش‌های ارزیابی فرونشست زمین با در نظر گیری معیارهای تخمین خرابی..... ۵۸۵  
زهرا یزدی، حامد نیرومند

### زمین شناسی گردشگری

معرفی پتانسیل های گردشگری با تأکید بر ژئوتوریسم در راین کرمان..... ۵۹۴  
بیبا قاسم شیرازی، لیدایخنده  
جاذبه‌های زمین گردشگری منطقه آب اسک (بخش لاریجان شهرستان آمل)..... ۶۰۳  
مهدی بادیا، میعاد بادیا

### سنجش از دور و GIS

GIS- برنامه های کاربردی برای گزارش محیط زیست در بخش معدن..... ۶۱۱  
سمیه خواجوند، عرفان جباری، زهرا حسنعلی زاده، فاطمه ضیالالدینی دشتخاکی

### هیدروژئولوژی و تغییر اقلیم

بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس..... ۶۱۸  
حسین مهدیخانی، اسفندیار عباس نوین پور، امید اسدی گلمز  
تحلیل فیزیک و ساختار سنگی- رسوبی آبخوان آبرفتی، سنگ کف و اهمیت آن در مدیریت..... ۶۲۶  
امید آزادی جو  
پیش بینی مقادیر دما و بارش دشت دهگلان با رویکرد تغییر اقلیم..... ۶۳۴  
محمد نخعی، سهیلا احمدی  
اثرات تغییر اقلیم و فعالیتهای انسانی بر منابع آبهای زیرزمینی..... ۶۴۲  
سمیرا زندی فر، مریم نعیمی  
تخمین بیلان آب زیرزمینی با روش خوشه‌بندی میانگین فازی..... ۶۵۱  
محمد نخعی، لیلا عبداللهی، میثم ودیعی  
بررسی های پالئوهیدروژئولوژی با استفاده از پدیده اسکالوپ در غار نمکی نمکسار..... ۶۵۹  
محمد نخعی، سارا عدالتیان، اصغر دولتی  
شناسایی ابعاد هندسی آبخوان آبرفتی فشافوئیه و تعیین نواحی مناسب بهره برداری..... ۶۶۸  
محمد حسن حیدریان، محمد نخعی، خلیل رضایی، وحید وطن پور  
آب رودخانه‌ای در تغذیه مصنوعی آبخوان؛ مطالعه موردی آبخوان آبرفتی جاماش..... ۶۷۷  
بابک توانا، محمدرضا ایدون، محمدامین طیسی  
مکان یابی پهنه های مناسب اجرای طرح تغذیه مصنوعی..... ۶۸۶  
مهدی میری، مهدی زارعی، محسن رضایی، علیرضا کاووسی، توماس ریمان  
نقش تغییر الگوی هیدروژئولوژیکی در بحران آبی دریاچه‌های طشک و بختگان..... ۶۹۶  
مرضیه کعبه، محسن رضایی، ضرغام محمدی

### مخاطرات طبیعی، زمین شناسی زیست محیطی و زمین شناسی پزشکی

بررسی علل شوری آب تالاب بین المللی امیرکلیاه، استان گیلان..... ۷۰۵  
مانده رحیمی، مهدی زارعی، بهنام کشاورزی، رضا گلشنی  
ارزیابی کیفی آبخوان بهاباد با استفاده از تئوری انتروپی شنون..... ۷۱۴  
وحید جمالی، وهاب امیری، محمدرضا گودرزی  
ارزیابی تاثیر طرح احیا و تعادل بخشی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی..... ۷۲۴  
محمد نخعی، میثم ودیعی، سهیلا عباسی پور  
شناسایی مناطق با انتشار گاز رادون طبیعی شهر مشهد..... ۷۳۲  
حمید سرخیل، داریوش شیرخانی، یوسف عظیمی، احمد طالبی  
کاربرد کاتولن زنون در صنایع دارویی و بهداشتی از دیدگاه فلزات بالقوه سمی..... ۷۴۰  
پرستو حدادی، عطا شاکری، سروش مدبری، میثم رستگاری مهر  
بررسی اثرات زیست محیطی ژئومورفولوژی معدن کاری..... ۷۴۵  
زینب شریفی سرشت، مهرداد براتی  
مطالعه هیدروژئوشیمیایی و بررسی غلظت عناصر بالقوه سمناک..... ۷۵۲  
سارا پورحیدری، عطا شاکری، میثم رستگاری مهر  
بررسی فرونشست دشت قزوین با مروری بر تصاویر راداری..... ۷۶۲  
زهرا یزدی، حامد نیرومند  
بررسی آلودگی زیست محیطی در معدن تراورتن دینگله کهریز ۵ همدان..... ۷۷۱  
هدی شیردره، مهرداد براتی  
ارزیابی کیفیت آبهای زیرزمینی برای اهداف آبیاری در غرب استان مازندران..... ۷۷۹  
نیکو شیروذعیسی، بیبا مسعودیان

- آلودگی غبارمدارس؛ مطالعه موردی: برخی مدارس ابتدایی کلان شهر تهران..... ۷۸۸.....  
عطا شاکری، فاطمه هاشم آبادی، میثم رستگاری مهر، امیرحسین روشنک منش
- تولید سولفات باریم قابل کاربرد در صنایع دارویی از طریق اسیدشویی کانه های باریت..... ۷۹۶.....  
رضا حسن پور کاشانی، سارینا احدی، میکائیل حسینی آلمان آبادی، حجت الله اسدیان
- اثرات زیست محیطی نهشته های گوانو..... ۸۰۵.....  
هادی امین رسولی، نسیم حقیقت جو، شرمین ظاهری
- بررسی تاثیرات مصرف آب آشامیدنی آلوده به عناصر سنگین فلزی بر ساختارهیستولوژیکی..... ۸۱۱.....  
سیامک یاری، ابراهیم طالع فاضل، رضا علی پور
- ارزیابی تأثیر کودهای شیمیایی بر فرسایش پذیری خاک های منطقه حیدره همدان..... ۸۲۰.....  
سید داود محمدی، فاطمه روحی معین
- A short comment on confronting the effects of international sanctions against Iran**..... ۸۲۷.....  
وهاب امیری
- بررسی آلودگی آبخوان گرگان با استفاده از شاخص آلودگی فلزات سنگین..... ۸۲۹.....  
حسن مازنی، مجتبی قره محمودلو، نادر جندقی، مصطفی رقیمی، علی حشمت پور
- ارزیابی کیفی آب چاه های تامین کننده آب شرب شهر گرگان..... ۸۳۷.....  
حسن مازنی، مجتبی قره محمودلو، نادر جندقی، مصطفی رقیمی، علی حشمت پور

## نحوه شکل گیری کانسارهای طلای افشان با سنگ میزبان رسوبی: رهیافتی برای اکتشاف ذخایر طلای نامرئی در ناحیه تکاب-انگوران (شمال غرب ایران)

ابراهیم طالع فاضل

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران  
Corresponding author e-mail: tale.fazel@gmail.com

چکیده:

سولفیدهای آهن و آرسنیک به عنوان مهمترین میزبان طلا در کانسارها هستند که در این میان، ذخایر طلای افشان دور از منشاء با سنگ میزبان رسوبی و محتوای بالایی از طلا در ترکیب آرسنین پیریت، از آن جمله است. در این پژوهش به طور مشخص سیستم کانی-شناسی-ژئوشیمیایی کانه آرسنین پیریت با هدف درک نحوه توزیع طلا در قالب ذرات آزاد ( $Au^0$ ) یا مشارکت در شبکه بلوری کانی ( $Au^+$ ) در سه کانسار زرشوران (عیار متوسط ۲/۶۳ گرم در تن)، آق دره (عیار متوسط ۳/۷ گرم در تن) و عربشاه (عیار متوسط ۱/۲ گرم در تن)، در ناحیه فلززایی تکاب-انگوران، مورد بررسی قرار گرفته است. طبق نتایج، یک رابطه شیمیایی منفی میان آرسنیک و گوگرد ( $R^2 = -0.61$ ) در ترکیب آرسنین پیریتها با فرمول تجربی  $Fe(As_xS_{1-x})_2$  بدست آمد که گویای حضور سوبه  $As^{3+}$  در این ترکیب است. با توجه به کلیه شواهد، توجه به نکاتی نظیر تمرکز آهن در سنگ میزبان کربناتی، وسعت دگرسانی کربنات زدایی، محتوای آرسنیک در ترکیب پیریت و نقش کنترل کننده های ساختاری، نقش مهمی در اکتشاف این تیپ از ذخایر در مقیاس ناحیه ای خواهد داشت.

کلیدواژه: آرسنین پیریت طلا دار، کربنات های آهن دار، دگرسانی کربنات زدایی، ناحیه تکاب-انگوران.

## Genesis of the sedimentary rock-hosted disseminated gold deposits: Implications for exploration of invisible gold deposits in the Takab-Angouran district, NW Iran

Ebrahim Tale Fazel

Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

### Abstract

Fe-As sulfide minerals are the most important hosts of gold in various deposits, which sedimentary rock-hosted disseminated gold deposits is known by high content of gold in arsenian pyrite composition. In this study, the mineralogical-geochemical system of arsenian pyrite is specifically aimed at understanding how gold is distributed in the form of nanoparticles ( $Au^0$ ) or participation in the mineral crystal lattice ( $Au^+$ ) in three ore deposits: Zarshuran (average grade: 2.63 g/t), Agdarreh (average grade: 3.7 g/t), and Arabshah (average grade: 1.2 g/t), at Takab-Angouran metallogenic zone, have been studied. According to the results, a negative chemical relationship between arsenic and sulfur ( $R^2 = -0.61$ ) was observed in the arsenian pyrite composition, which indicates the presence of  $As^{3+}$  with the empirical formula of  $Fe(As_xS_{1-x})_2$ . Several lines of evidences show that, concentration of Fe in carbonate host rocks, pervasive decarbonation alteration, As content of arsenian pyrite, and the role of structural controls all play an important role in the exploration of this type deposits in regional view.

Key words: Auriferous arsenian pyrite, Fe-rich carbonate, decarbonation alteration, Takab-Angouran district

#### مقدمه:

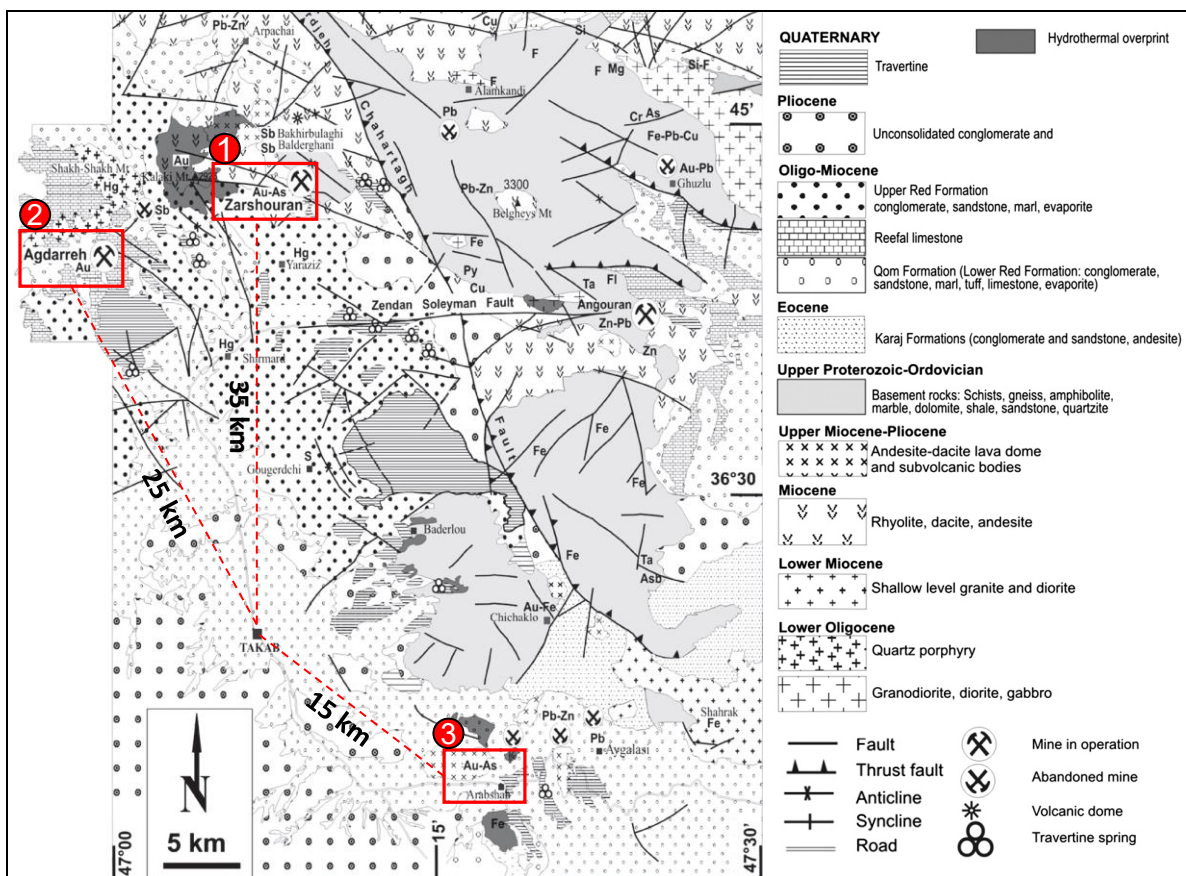
محتوای طلا در ترکیب پوسته قاره‌ای به‌طور عادی حدود ۲/۵ ppb است (Wedepohl, 1995)، که به منظور تشکیل یک کانسار طلا این مقدار لازم است چندهزار برابر شود. در این میان، کانسارهای طلا با سنگ میزبان رسوبی مهمترین تولید کننده‌های طلا در دنیا هستند (Tassara et al., 2017)؛ که اغلب شامل ذخایر Au-Sb اپی‌زونا (کم عمق)، ذخایر طلای افشان دور از منشاء، ذخایر طلای با میزبان تورییدایتی و ذخایر طلای نوع کارلین هستند (Cline et al., 2005). در این میان، ذخایر نوع کارلین به عنوان ذخایر طلای نامرئی (invisible gold) شناخته می‌شوند (Hofstra and Cline, 2000)، که در آن طلا با محتوای ۳۰۰ تا ۹۰۰۰ گرم در تن به‌صورت جانشینی در شبکه آرسنین‌پیریت، گزارش شده است (Deditius et al., 2008). طلا اغلب به شکل ذرات آزاد ( $Au^0$ )، محلول جامد در شبکه کانی ( $Au^+$ ) یا نانوذرات سولفیدی ( $Au^+$  و  $Au^{3+}$ )، در میزبان کانه‌های سولفیدی ( $\pm$ آرسنیک) تشکیل می‌شود (Xing et al., 2019; Li et al., 2003). همچنین، آرسنیک با یون‌های  $As^{1-}$  (جانشین گوگرد در شرایط احیاء) و  $As^{2+}$ ،  $As^{3+}$  و  $As^{5+}$  (جانشین آهن در شرایط اکسیدان)، تشکیل می‌شود (Kusebauch et al., 2019).

ناحیه تکاب-انگوران در شمال غرب ایران، به‌عنوان مهمترین ناحیه تمرکز ذخایر طلای افشان غیرقابل رؤیت با سنگ میزبان رسوبی در ایران شناخته می‌شود (Daliran et al., 2018). در این ناحیه به‌طور مشخص سه کانسار طلای زرشوران (۱۵۵ تن طلا با عیار متوسط ۲/۶۳ گرم در تن)، آق دره (۲۴/۵ تن طلا و عیار متوسط ۳/۷ گرم در تن) و عربشاه (تناژ کانسنگ ۱/۵ میلیون تن با عیار متوسط ۱/۲ گرم در تن)، با سنگ میزبان رسوبی کامبرین زیرین تا سنوزوئیک متشکل از سنگ‌های شیل، سیلتستون و آهک، وجود دارد. کانسار طلای زرشوران به عنوان مهمترین و بزرگترین کانسار طلا در ایران است (شرکت معدن زمین، ۱۳۹۸) که در یال غربی تاقدیس شمال غرب-جنوب شرقی ایمان خان جای دارد. براساس اکتشافات تفصیلی و حفاری‌های اخیر توسط شرکت مهندسی مشاور کاوشگران (۱۳۹۲ و ۱۳۹۸)، تعداد ۶ اندیس/ذخیره طلا شناسایی و تعیین محدوده شده که ادامه عملیات پی‌جویی به ویژه در یال شرقی تاقدیس ایمان خان در دست انجام است. در این پژوهش نحوه رخداد سیستم‌های کانه‌زایی طلای افشان دور از منشاء (distal disseminated gold systems) به‌طور مشخص بر روی سه محدوده معدنی زرشوران، آق دره و عربشاه در ناحیه فلززایی تکاب-انگوران، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی سیستم کانی‌شناسی-ژئوشیمیایی کانه‌های سولفیدی اهمیت زیادی در درک چگونگی توزیع طلا در قالب نانوذرات یا مشارکت در شبکه بلوری کانی دارد که نقش مهمی در ارایه الگوهای پی‌جویی در تدوین برنامه‌ریزی‌های اکتشافی یک محدوده خواهد داشت.

#### جایگاه زمین‌شناسی:

ناحیه تکاب-انگوران از دیدگاه تقسیم‌بندی‌های ساختاری ایران در حد فاصل بین پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان و کمربند ماگمایی ارومیه-دختر قرار می‌گیرد. این ناحیه توسط گسل رانده قینرجه با راستای NNW به دو بخش لیتوتکتونیک شرقی (بلوک بالآمده انگوران) و غربی (حوضه فروافتاده تکاب یا شیرمرد) تفکیک می‌شود (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶). این پدیده مورفوتکتونیک مهمی که هم راستا با روند NW-SE کوهزاد زاگرس به وقوع پیوسته با ایجاد یک اختلاف ارتفاع ۱۰۰۰ متری میان این دو بخش، شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و فلززایی مختلفی در هر یک از این بخش‌ها حاکم کرده است (Daliran, 2008). قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه با سن نئوپروتروزوئیک-کامبرین شامل بازالت‌های بالشی دگرگون‌شده، سرپنتین شیبست، گنیس و سریسیت-کلریت-اپیدوت شیبست با میان لایه‌های کوارتزیت (در فوقانی‌ترین بخش توالی) بوده که سنگ بستر منطقه را تشکیل می‌دهد و آن را معادل سازند کهر در نظر می‌گیرند (شکل ۱). با توجه به مطالعه سن‌سنجی نقطه‌ای SHRIMP بر روی بلورهای زیرکن در بازالت‌های بالشی، سن معادل ۵۱۱ میلیون سال (کامبرین زیرین) برای آنها بدست آمد (Daliran, 2008). بر روی این سنگ بستر دگرگونی، یک واحد

ستبر مرمر و دولومیت خاکستری با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم قرار می‌گیرد که ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهد. این واحد سنگی در بلوک تکاب به نام مرمر انگوران و در حوضه تکاب به نام مرمر جانگوتاران شناخته می‌شود. پس از تشکیل این واحدها، رژیم تکتونیک منطقه به صورت کششی عمل کرده و بر اثر آن بلوک انگوران بصورت یک سامانه هورست (بالا آمدگی) و حوضه تکاب بصورت گرابن (فروافتادگی) درآمده است. در نتیجه این پدیده، نهشته‌های ضخیم لایه‌های رسوبی- آتشفشانی به ترتیب شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و آندزیت (معادل سازند کرج) طی ائوسن، سنگ‌های مارن و توف (سازند قرمز زیرین)، آهک‌های ریفی (سازند قم) و ماسه‌سنگ و افق‌های تبخیری (سازند قرمز بالایی) طی نئوژن، تشکیل شدند. پس از آن، در اثر فرسایش شدید بلوک انگوران ناشی از بالاآمدگی، رسوبات سخت نشده گراول و کنگلومرا به ویژه در مرز حوضه تکاب با گسل قینرجه نهشته شده است (شکل ۱). در نهایت، فعالیت چشمه‌های آهک‌ساز با آب‌های سرد و گرم در زمان کواترنری موجب تشکیل تراورتن‌های عهد حاضر شده که از آن جمله می‌توان به نهشته‌های تراورتنی تخت سلیمان اشاره کرد (شکل ۱).

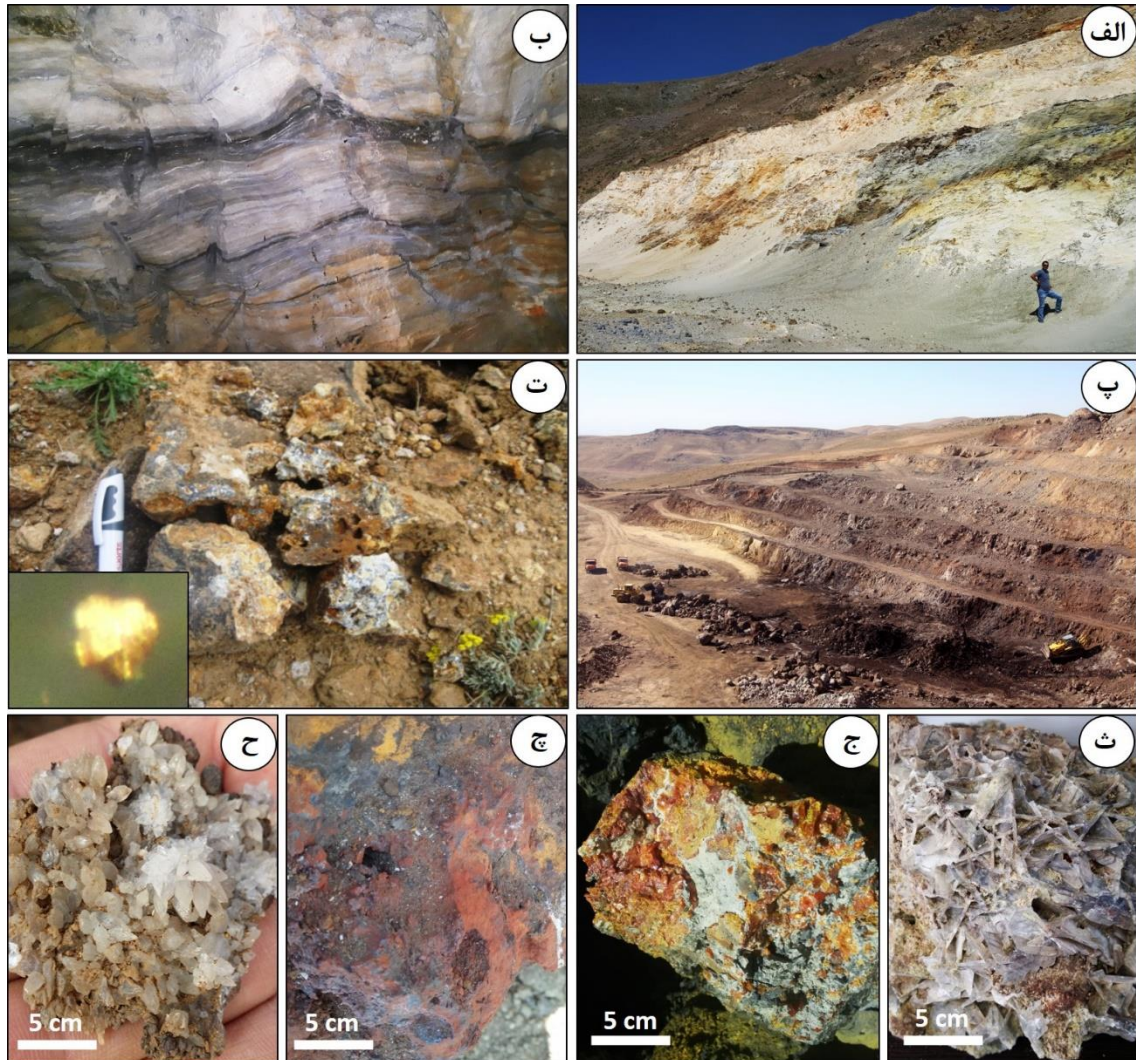


شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ناحیه فلززایی تکاب-انگوران در شمال غرب ایران (با تغییرات از Daliran, 2008) و موقعیت کانسارهای طلای افشان با سنگ میزبان رسوبی شامل زرشوران (شماره ۱)، آق دره (شماره ۲) و عربشاه (شماره ۳). فاصله هر یک از این ذخایر با شهرستان تکاب در شکل نشان داده شد است. همانطور که مشاهده می‌شود این ذخایر در غرب گسل قینرجه-چارتاق و حوضه فروافتاده شیرمرد قرار دارند.

### زمین‌شناسی کانسارها

کانه‌زایی در ذخایر طلای ناحیه تکاب-انگوران از جنبه‌های مختلفی مشابه ذخایر طلای افشان دور از منشاء با سنگ میزبان رسوبی است (Hofstra and Cline, 2000). در این تیپ ذخایر، ذرات طلا به صورت ذرات نانومیکرونی یا جانشین شده در شبکه کانه‌های سولفیدی (آرسنیک‌دار) نظیر آرسنن پیریت و آرسنوپیریت با سیمای افشان در سنگ میزبان واکنش‌پذیر کربناته آهن‌دار، رخ می‌دهد. در کانسار زرشوران کانه‌زایی با وسعت تقریبی ۵ کیلومتر مربع در سنگ‌های رسوبی پرکامبرین شامل، شیل سیاه و سیلتستون

واحد زرشوران، بخش بالایی سنگ آهک چالداغ و ژاسپروئیدها، با روند شمال-شمال شرقی در جنوب شرقی تاقدیس ایمان خان شکل گرفته است (شکل ۲). واحدهای سنگی شیل سیاه زرشوران و سنگ آهک چالداغ میزبان اصلی کانسار طلای زرشوران هستند. بخش بالایی سنگ آهک چالداغ در اثر عملکرد سیال گرمابی اسیدی ( $H_2CO_3$ ) به یک سنگ آهک پودری بسیار متخلخل تبدیل شده که در واقع یک آهک دولومیتی آهن دار محسوب می شود (شکل ۲). کانه‌زایی با ژئومتری افشان، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و برشی با کانه‌های فلزی پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، سولفیدهای آرسنیک (رالگار و اورپیمنت)، اسفالریت، مگنتیت، پیروتیت، سینابر و گالن همراه است. کانی‌های باطله نیز شامل کوارتز، باریت، فلوریت، کلسیت، دولومیت، موسکویت/ایلپیت و آلونیت هستند. کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای که رخداد طلا را به صورت ذرات آزاد (ابعاد ۵ تا ۳۰ میکرون) دارد، به‌ویژه همراه سولفیدهای آرسنیک (نظیر اورپیمنت و رالگار)، سینابر و اسفالریت کلوform، شکل گرفته است (شکل ۲). علاوه بر این، بخشی از کانه‌زایی پیریت و آرسنوپیریت نیز در سنگ میزبان کربناته واحد چالداغ تشکیل شده که اغلب با حضور طلا در ترکیب شیمیایی شناخته می‌شود (شکل ۲). انواع مختلفی از دگرسانی‌های گرمابی شامل، دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک، سربستی و کربنات‌زدایی در کانسار زرشوران مشاهده شده است.



شکل ۲. تصاویر صحرایی از ذخایر طلای افشان با سنگ میزبان کربناتی ناحیه تکاب-انگوران. الف) دگرسانی کربنات‌زدایی و آرژیلیک در بخشی از کانسار زرشوران، ب) سنگ آهک با لایه‌بندی ریتمیک در کانسار زرشوران، پ) نمایی از پهنه اکسیدی معدن طلای آق دره، ت) رگه سیلیسی در کانسار عربشاه همراه با ذرات طلا، ث) کانسنگ سیلیسی تیغه‌ای، ج) سولفیدهای آرسنیک طلا دار، چ) کانسنگ اکسیدی، ح) کوارتزهای منشوری.



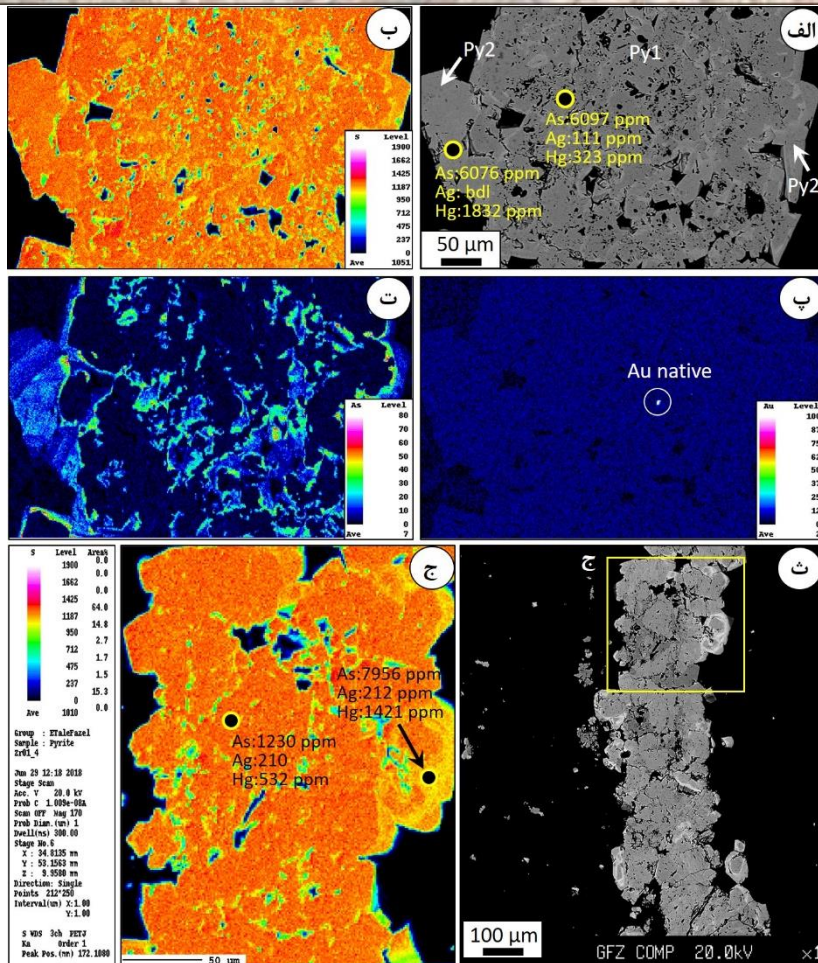
### روش مطالعه:

در این پژوهش به منظور بررسی نحوه توزیع طلا در شبکه کانه‌های سولفیدی آرسنیک‌دار و به ویژه انواع مختلف پیریت‌های طلا دار، تعداد ۱۵ مقطع نازک-صیقلی پس از انجام اندود کربنی (ضخامت ۵۰ نانگستروم)، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل EVO-MA15 در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه خوارزمی (تهران)، انجام شد. پس از آن، برای دستیابی به ترکیب شیمیایی انواع مختلف پیریت، تعداد ۱۰۴ نقطه توسط دستگاه تجزیه ریزکاوالکترونی (EPMA) مدل JEOL JXA-8530F در آزمایشگاه مرکز تحقیقات علوم زمین آلمان (GFZ)، مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه نقطه‌ای با ولتاژ ۲۰ کیلوولت، جریان پرتو الکترونی ۱۰ نانوآمپر، قطر پرتو ایکس ۲ میکرون و زمان تابش ۵ تا ۲۰ ثانیه، انجام شده است. نمونه‌های معیار مورد استفاده برای واسنجی عناصر مختلف در این آزمایش عبارتند از:  $FeS_2$  (برای عناصر Fe و S)،  $CoAsS$  (برای عناصر Co و As) و طلا آزاد (برای عنصر Au). حد تشخیص عناصر عبارت است از:  $Fe$  (۳۰۰ ppm)،  $As$  (۲۰۰ ppm)،  $S$  (۳۰۰ ppm) و  $Au$  (۲۰۰ ppm). به منظور شناسایی کانی‌های کمیاب نظیر ماکیناویت ( $Fe_9S_8$ ) از دستگاه رامان کانفوکال میکروسکوپی مدل Lab Ram HR ساخت شرکت Horiba ژاپن در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شیراز، استفاده شده است. این آزمایش با لیزر  $50X$ ، طول موج ۷۸۵ نانومتر با توان ۱۰۰ میلی‌وات و زمان تابش ۲۰ ثانیه، انجام شده است. به منظور شناسایی عناصر کمیاب پیریت، تعداد ۵ مقطع صیقلی (قطر ۲۵ میکرون) توسط روش فرساب لیزری طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (LA-ICP-MS) مدل Agilent 7900 تجهیز شده بر روی سیستم Analyte Excite Excimer 193 nm LA در آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی جمهوری چک (CGS)، انجام شده است. قطر لیزر نیتروژن مورد استفاده متناسب با ابعاد ذرات پیریت، بین ۴۰-۲۵ میکرون، نرخ گاز لیزر  $2/35-3/14 J/cm^2$ ، جریان ۱۰ هرتز و مدت زمان تابش ۲۰ ثانیه بر روی زمینه تا ۶۰ ثانیه بر روی نمونه، تنظیم شده است.

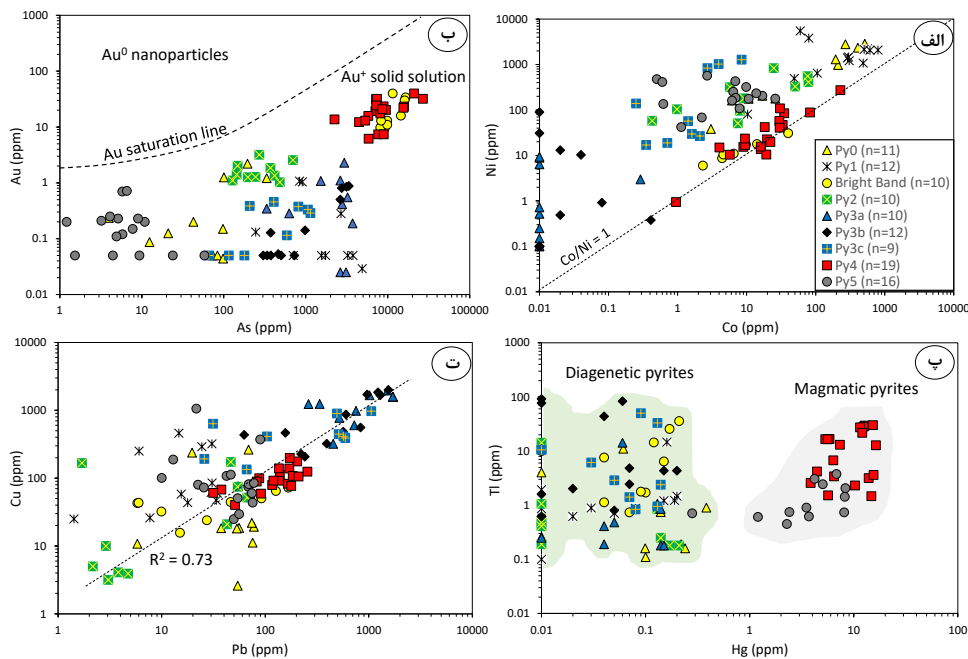
### بحث:

#### پتروگرافی و خصوصیات شیمیایی پیریت‌ها

انواع مختلفی از پیریت در مجموعه کانسارهای زرشوران، آق دره و عربشاه شناسایی شده که به ترتیب زمان شکل‌گیری عبارتند از: (۱) پیریت‌های فرامبوئیدال  $Py0$  (ابعاد ۱۰ تا ۶۰ میکرون): اولین نوع از پیریت‌های موجود در منطقه به صورت تجمعات تمشکی شکل در میزبان دولومیت آهن‌دار واحد کربناتی، (۲) پیریت‌های افشان: دومین نوع از پیریت‌ها به صورت افشان مرتبط با مرحله گرمایی اولیه در میزبان کوارتز و کربنات‌های آهن‌دار، مشاهده شده است. این دسته از پیریت‌ها با دو شکل متفاوت شامل: الف) دانه‌ریز بی‌شکل  $Py1$  (ابعاد کوچکتر از ۲۰ میکرون) و ب) دانه‌درشت خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار  $Py2$  (ابعاد ۵۰ تا ۱۵۰ میکرون) وجود دارد، (۳) پیریت‌های حفره‌دار  $Py3$ : نوع دیگری از پیریت‌ها به صورت بی‌شکل و سطح پر حفره و ابعاد ۲۰۰ تا ۵۰۰ میکرون (متوسط ۳۰۰ میکرون)، (۴) پیریت کلوفرمی  $Py4$  که احتمالاً در اثر نفوذ سیالات گرمایی مرتبط با مرحله گرمایی اصلی و تأخیری در فضای خالی و شکستگی‌ها تشکیل شده که در میان نواربندی آن‌ها آرسنوپیریت می‌تواند حضور داشته باشد. بافت‌های کلوفرم اشکال پیچیده‌ای دارند و به صورت غیریکنواخت در نمونه‌ها توزیع شده‌اند. این نسل از پیریت در میزبان کلسیت و دولومیت و با ابعاد ۳۰۰ تا ۸۰۰ میکرون (متوسط ۵۵۰ میکرون) در آهک چالداغ تشکیل شده است، (۵) پیریت‌های رگه‌ای  $Py5$  که در آن ابعاد بلورهای پیریت از ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون (متوسط ۵۵ میکرون) متغیر است. در شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی و نقشه عنصری برخی از نسل‌های مختلف پیریت نشان داده شده است. همچنین، در شکل ۴ نمودارهای دوتایی عناصر کمیاب پیریت‌ها در مقابل هم رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود حضور طلا در ترکیب کلیه نسل‌های پیریت به صورت انحلال جامد یا مشارکت در ترکیب شیمیایی ( $Au^+$ ) رخ داده است.



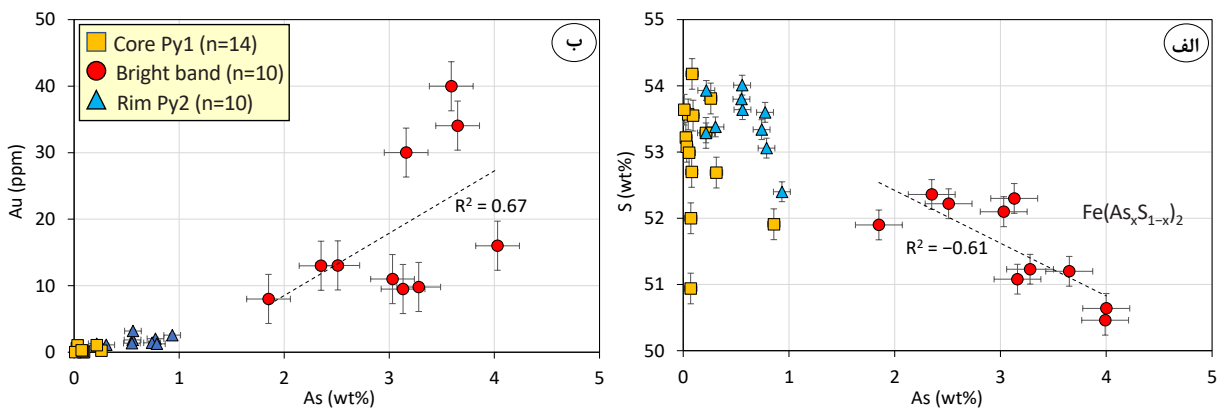
شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی و نقشه‌های عنصری از نسل‌های مختلف پیریت در کانسارهای طلا زرشوران. الف تا ت) پیریت نسل اول و دوم، ث و ج) پیریت رگه‌ای نسل آخر. همانطور که مشاهده می‌شود تمرکز آرسنیک، نقره و جیوه به خصوص در حاشیه پیریت وجود دارد.



شکل ۴. توزیع ژئوشیمیایی عناصر مختلف در نسل‌های مختلف پیریت. الف) نمودار دوتایی کبالت-نیکل، ب) نمودار دوتایی آرسنیک-طلا، پ) نمودار دوتایی جیوه-تلور، ت) نمودار دوتایی سرب-مس.

توزیع طلا در ساختمان آرسنین پیریت

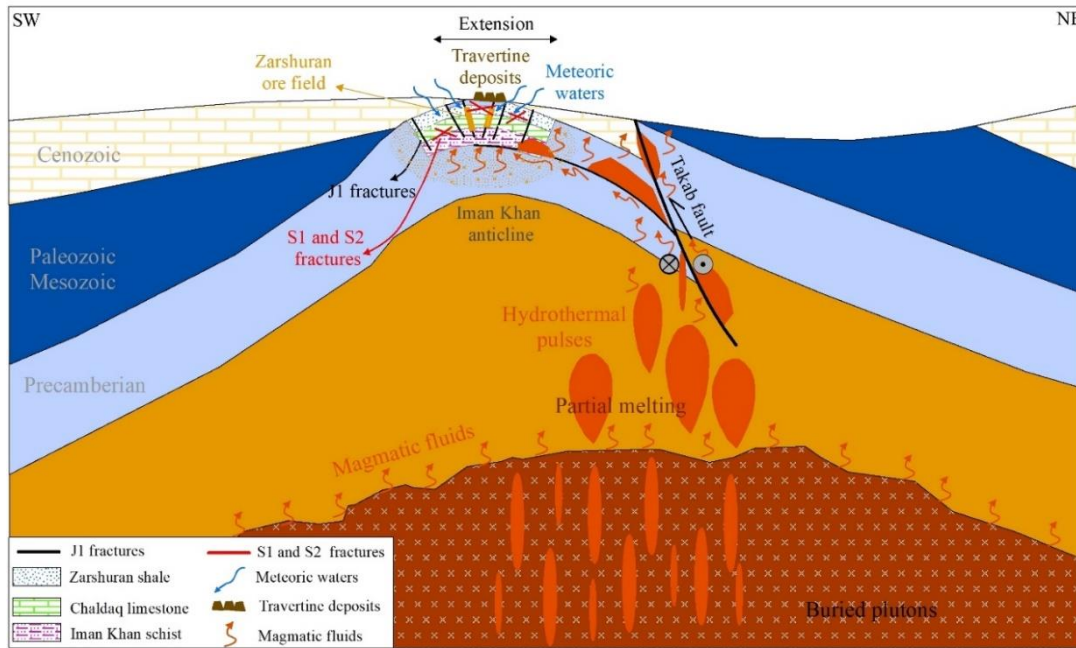
تاکنون دو سوپه آرسنین پیریت شناسایی شده است: (۱) ترکیب  $Fe(S,As)_2$  با جانشینی  $As^{1-}$  در ساختمان سولفور (Blanchard et al., 2007) و (۲) ترکیب  $(Fe,As)_2S_2$  که در آن  $As^{3+}$  جانشین  $Fe^{2+}$  می شود (Deditius et al., 2008). رابطه منفی گوگرد و آرسنیک در ترکیب شیمیایی آرسنین پیریت حاکی از وجود ترکیب اول و رابطه منفی میان آهن و آرسنیک گویای حضور ترکیب دوم است (Reich et al., 2005). براساس تجزیه های نقطه ای انجام شده بر روی آرسنین پیریت های کانسارهای طلای افشان با میزان رسوبی، یک رابطه شیمیایی منفی میان آرسنیک و گوگرد ( $R^2 = -0.61$ ) مشاهده شد که گویای حضور  $As^{3+}$  در ترکیب آرسنین پیریت های منطقه با فرمول  $Fe(As_xS_{1-x})_2$  است (شکل ۵). وجود یون آرسنیک  $As^{3+}$  در ترکیب آرسنین پیریت احتمالاً نشان دهنده ماهیت اکسیدان سیال در هنگام تشکیل طلا است (Deditius et al., 2008). همچنین، طی مطالعات یک رابطه همبستگی مثبت میان آرسنیک و طلا در پیریت های غنی از آرسنیک مشاهده شد که اهمیت این عنصر در تمرکز طلا را نشان می دهد (شکل ۵).



شکل ۵. نمودارهای دوتایی عناصر مختلف در ترکیب شیمیایی پیریت ها.

پیشنهاد مدل تکوینی: رهیافتی برای اکتشاف ذخایر طلای افشان با سنگ میزبان رسوبی

طبق شواهد به نظر می رسد حرکت پهنه های گسلی راستالغز و ساختارهای کششی اولیه و فشارشی بعدی نقش مهمی در کنترل کانی سازی طلا در مجموعه کانسارهای طلای با میزبان رسوبی ناحیه تکاب-انگوران داشته است. مهم ترین ساختار گسلی در منطقه گسل شمال غربی-جنوب شرقی قینرجه-چارتاق می باشد که به نظر می رسد حرکت راستالغز این گسل که از میوسن میانی آغاز شده باعث شکل گیری ساختارهای تکتونیکی چین خورده نظیر تاقدیس ایمان خان در منطقه زرشوران شده است. ساختارهای گسلی راستالغز به صورت یک گسل منفرد نبوده و معمولاً در نزدیک به سطح زمین شاخه هایی از آنها منشعب می شود که در بخش جنوب-غربی گسل تکاب، یک شاخه گسلی در قاعده تاقدیس ایمان خان تشکیل شده و به سطح نرسیده است (شکل ۶). پس از این، عملکرد این گسل باعث جابه جایی سیالات گرمایی به تاقدیس شده و سپس از طریق شکستگی های تشکیل شده در تاقدیس به سطح را پیدا کرده است (شکل ۶). جایگیری توده های آذرین عمیق در منطقه و متعاقباً صعود و مهاجرت سیال گرمایی به صورت متناوب از طریق شاخه های فرعی گسل اصلی تکاب انجام شده است. این سیالات پس از ورود در واحدهای سنگ-چینه ای پرکامبرین نظیر شیل و سیلت سنگ های واحد زرشوران تحت کنترل شکستگی های مزدوج مرتبط با چین خوردگی تاقدیس ایمان خان، زمینه رخداد کانه زایی را فراهم کرده است. با توجه به کلیه شواهد اشاره شده می توان گفت محتوای آهن سنگ میزبان کربناتی (آهک جانگوتاران)، نسبت سیال به سنگ و وسعت دگرسانی کربنات زدایی (وجود آهک های پودری)، محتوای آرسنیک در پیریت (ارتباط ژئوشیمیایی مستقیم آرسنیک و طلا) و نقش کنترل کننده های ساختاری (نظیر گسل راستالغز قینرجه-چارتاق) نقش مهمی در اکتشاف این تیپ از ذخایر در منطقه خواهد داشت. مدل تکوینی رخداد این ذخایر به طور شماتیک در شکل ۶ ارایه شده است.



شکل ۶. مدل تکوینی پیشنهادی برای مجموعه کانسارهای طلای افشان با میزان رسوبی در ناحیه تکاب-انگوران (علیپور و همکاران، ۱۳۹۹). بر مبنای این مدل، جایگیری توده‌های آذرین عمیق و متعاقباً بالا آمدن سیالات گرمایی به صورت ضربانی از طریق گسل اصلی قینرجه-چارتاق موجب شده تا این سیالات پس از ورود در واحدهای سنگ-چینه‌ای پرکامبرین (کنترل کننده سنگی) و راه‌یابی به سطح از طریق شکستگی‌های مزدوج S1 و S2 مرتبط با چین خوردگی تاق‌دیس ایمان‌خان (کنترل کننده ساختاری)، منجر به رخداد کانه‌زایی شوند.

### نتیجه‌گیری:

ناحیه فلززایی تکاب-انگوران در شمال غرب ایران به عنوان یکی از حوضه‌های مهم کانه‌زایی طلای افشان دور از منشأ با سنگ میزان رسوبی محسوب می‌شود که به‌طور مشخص سه کانسار طلای زرشوران (عیار متوسط ۲/۶۳ گرم در تن)، آق دره (عیار متوسط ۳/۷ گرم در تن) و عربشاه (عیار متوسط ۱/۲ گرم در تن)، در آن واقع شده‌اند. کانه‌زایی در این ذخایر به‌طور عمده در سنگ میزان واکنش‌پذیر کربناته آهن‌دار (Fe-rich carbonate) به شکل محلول جامد ( $Au^+$ ) یا نانو ذرات ( $Au^+$  و  $Au^{3+}$  و  $Au^-$ )، در شبکه کانه‌های سولفیدی Fe-As-S رخ داده است. در ذخایر طلای نامرئی با میزان سولفید، سیال گرمایی غنی از  $H_2S$  هم‌زمان با فرایند کربنات‌زدایی و آزاد شدن مقادیر بالای  $As^{3+}$  و  $Fe^{+2}$  در محیط، با آن واکنش داده و آرسنین‌پیریت تشکیل می‌شود. هم‌زمان با این پدیده، محتوای  $H_2S$  در محیط کاهش یافته و از آنجایی که این ترکیب یکی از مهمترین لیگاندهای انتقال دهنده طلا در محیط محسوب می‌شود، ناپایداری طلا از کمپلکس‌های بی‌سولفیدی رخ می‌دهد.

### منابع:

- باباخانی، ع.، قلمقاش، ج.، ۱۳۷۶. برگه زمین‌شناسی تخت سلیمان در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. علیپور، ر.، طالع‌فاضل، ا.، فرهانی، م.، ۱۳۹۹. نقش پهنه‌های برشی راستالغز و شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی در تکوین کانسار طلای زرشوران، همتافت تخت سلیمان، شمال تکاب. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۲، صفحات ۱۵۵-۱۳۱.
- مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۲. گزارش پی‌جویی و اکتشاف مقدماتی در اطراف معدن طلای زرشوران، ۴۹۹ صفحه.
- شرکت معدن زمین، ۱۳۹۸. گزارش به روز رسانی مدل بلوکی و تخمین ذخیره معدن زرشوران، ۳۵ صفحه.
- Blanchard, M., Alfredsson M., Brodholt, J., Wright, K. and Catlow, C.R.A., 2007. Arsenic incorporation into  $FeS_2$  pyrite and its influence on dissolution: a DFT study. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 71, 624–630.
- Cline, J.S., Hofstra, A., Munteau, J., Tosdal, D. and Hickey, K., 2005. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and viable models. *Economic Geology* 89, 451–484.

- Daliran, F., 2008. The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran; hydrothermal alteration and mineralization. *Mineralium Deposita* 43, 383–404.
- Daliran, F., Hofstra, A., Walther, J., Topa, D., 2018. Ore Genesis Constraints on the Agdarreh and Zarshuran Carlin-Style Gold Deposits in the Takab Region of Northwestern Iran. *Reviews in Economic Geology* 20, 299–333.
- Deditius, A.P., Utsunomiya S., Renock, D., Ewing, R.C., Ramana, C.V., Becker, U. and Kesler, S.E., 2008. A proposed new type of arsenian pyrite: composition, nanostructure and geological significance. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 72, 2919–2933.
- Hofstra, A.H. and Cline, J.S., 2000. Characteristics and models for Carlin-type gold deposits. *Economic Geology* 13, 163–220.
- Kusebauch, C., Oelze, M. and Gleeson, S.A., 2019. Partitioning of arsenic between hydrothermal fluid and pyrite during experimental siderite replacement. *Chemical Geology* 500, 136–147.
- Li, J.L., Qi, F. and Xu, Q.S., 2003. A negatively charged species of gold in minerals—further study of chemically bound gold in arsenopyrite and arsenian pyrite. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen* 5, 193–214.
- Reich, M., Kesler, S.E., Utsunomiya, S., Palenik, C.S., Chryssoulis, S.L. and Ewing, R.C., 2005. Solubility of gold in arsenian pyrite. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 69, 2781–2796.
- Tassara, S., González-Jiménez, J. M., Reich, M., Schilling, M. E., Morata, D., Begg, G. and Corgne, A., 2017. Plume-subduction interaction forms large auriferous provinces. *Nature Communications* 8, 843–847.
- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 59, 217–239.
- Xing, Y., Brugger, J., Tomkins, A. and Shvarov, Y., 2019. Arsenic evolution as a tool for understanding formation of pyritic gold ores. *Geology* 47, 335–338.

## یافته‌هایی از سن‌سنجی U-Pb زیرکان در افق‌های لاتریت-بوکسیت البرز شرقی،

### استان گلستان، ایران

سید مهدی شیرنگی<sup>۱\*</sup>، بهنام شفیعی بافتی<sup>۱،۲</sup>، مریم کیاشکوریان<sup>۱</sup> - István Dunkl<sup>۳</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

3-Geoscience Center, Sedimentology and Environmental Geology, University of Göttingen,  
Göttingen, Germany

mshirangi5@gmail.com\*

#### چکیده:

زیرکان کانی مقاوم در مقابل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی است و می‌توان در رسوبات با انجام سن‌سنجی به روش U-Pb به سن منشا این زیرکان‌های آواری پی‌بریم و پروتولیت آنها مشخص می‌شود. منشاء و سن تشکیل افق‌های لاتریت-بوکسیتی در محیط‌های هوازده جهت تفسیر تکامل تکتونیکی البرز مهم است. سن و منشاء افق‌های لاتریت-بوکسیتی قشلاق و سیاه‌رودبار هدف این پژوهش بوده‌است. دانه‌های زیرکان آواری جدا شده از افق‌های لاتریت-بوکسیتی دامنه‌ی سنی بین ۱۶۴ میلیون سال تا ۳٫۵ میلیارد سال پیش را نشان می‌دهد. در این دو افق دانه‌های زیرکان آواری عمدتاً متعلق به نئوپروتروزوئیک می‌باشند و بیشترین جمعیت متعلق به این بازه زمانی است. تعدادی محدود از نمونه‌ها متعلق به پالئوپروتروزوئیک هم مشاهده شده‌است که عمدتاً از منشاء‌های دورتر جابجا شده‌اند. زیرکان‌های متعلق به فانروزوئیک احتمالاً از سنگ‌های بازالتی به سن دونین تا کربنیفر و همچنین گرانیت‌های کلاستیک، آندزیت و گدازه‌های بازالتی سازند سلطان میدان می‌باشند. منشاء زیرکان‌های موجود در این افق‌ها پراکندگی نشان می‌دهند و بطور دقیق سنگ مادر افق‌های لاتریت-بوکسیتی مشخص نیست. این سن‌ها پروتولیت‌های مختلفی را پیشنهاد می‌کند و همچنین سن شروع فرآیند هوازدگی و خروج محیط رسوبی از آب مشخص نیست.

کلیدواژه: زیرکان آواری، سن‌سنجی، بوکسیت، نئوپروتروزوئیک

## Findings from Zircon U-Pb geochronology in the laterite-bauxite horizons of the eastern Alborz, Golestan province, Iran

Seyed Mehdi Shirangi<sup>1\*</sup>, Behnam Shafieibaftie<sup>1,2</sup>, Maryam Kiaeskevariyan<sup>1</sup>, István Dunkl<sup>3</sup>

1-Department of geology, Golestan University, Gorgan, Iran

2-Department of geologist, shahid bahonar University, Kerman, Iran

3- Geoscience Center, Sedimentology and Environmental Geology, University of Göttingen,  
Göttingen, Germany

\*mshirangi5@gmail.com

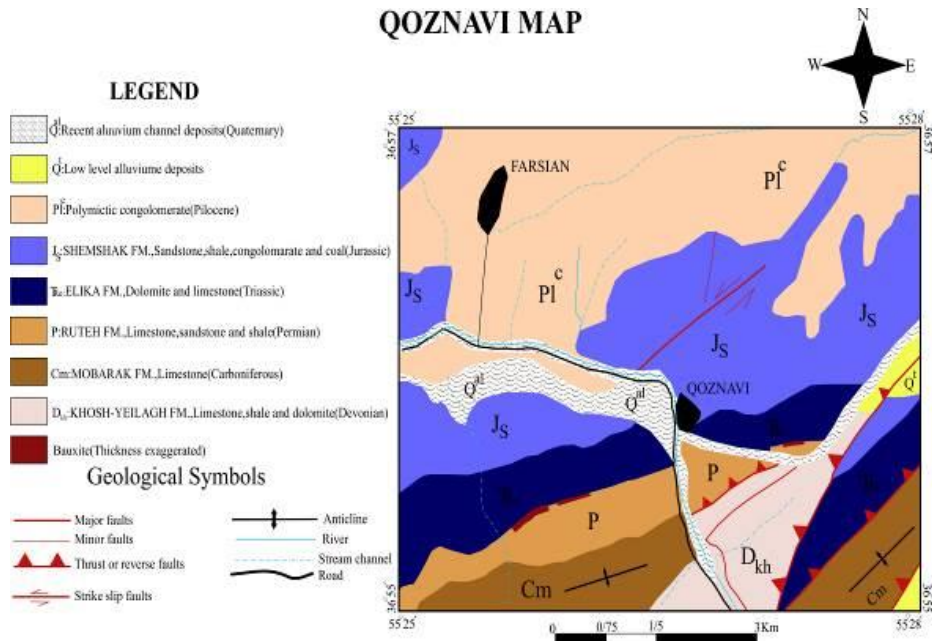
#### Abstract

Zircon is a mineral resistant to chemical and physical weathering and can be measured in sediments by U-Pb method to dating the age of source of these detrital zircons and determine their protolith. The source and age of the formation of laterite-bauxite horizons in weathering environments are important for interpreting the tectonic evolution of Alborz. Dating and source of laterite-bauxite horizons of Gheslagh and Siahroudbar was the purpose of this study. Separated detrital zircon grains from laterite-bauxite showed an age range between 164 Ma. to 3.5 Ga. In these two horizons, detrital zircon grains belong mainly to Neoproterozoic and the largest population belongs to this period. A limited numbers of Paleoproterozoic detrital zircons have also been observed, mostly displaced from more distant sources. Phanerozoic zircons probably range from basaltic rocks to the Devonian to Carboniferous, as well as clastic granites, andesites, and basaltic lavas of the Soltan-Meidan Formation. The source of the detrital zircons in these horizons is scattered, and the exact source rock of the laterite-bauxite horizons is not known. These ages suggest different protoliths, and also the age at which the weathering process begins and the sedimentary environment leaves the water (Uplift) is not known.

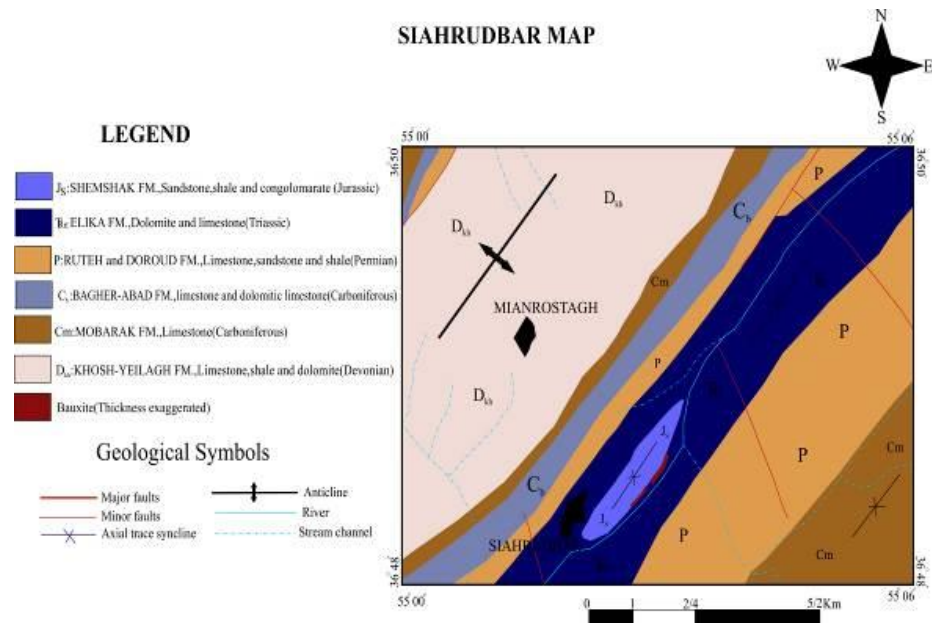
Key word: detrital zircon, dating, bauxite, neoproterozoic

#### مقدمه:

زیرکان، یک کانی سنگین و فراوان در سنگ‌های رسوبی آواری است که می‌تواند در طی هوازدگی، فرسایش، انتقال، رسوبگذاری و دیاژنز مقاوم بماند و توزیع سنی تعداد زیادی از زیرکان‌های آواری نشان دهنده سن و خاستگاه سنگ‌های منبع زیرکان‌ها می‌باشد. با این ویژگی، سن‌سنجی به روش U-Pb بر روی زیرکان‌های آواری برای تعیین خاستگاه رسوبات آواری به ابزاری قدرتمند مبدل گشته است (Fedo et al., 2003; Pereira et al., 2012). در دامنه شمالی البرز خاوری در استان گلستان افق‌های متعددی از لاتریت-بوکسیت وجود دارد که بطور عمده بین واحدهای کربناته پرمین بالایی (سازند روته) و تریاس میانی (سازند الیکا) و واحدهای کربناته تریاس میانی (سازند الیکا) و واحدهای تخریبی تریاس بالایی-ژوراسیک پایینی (سازند شمشک) قرار گرفته‌اند و بعنوان بوکسیت‌های نوع کارستی طبقه‌بندی شده‌اند (Kiaeshkevarian et al., 2020; Shamanian and Hattori, 2021). از جمله مهمترین این افق‌ها، نهشته‌های بوکسیتی سیاهرودبار و قشلاق هستند که اولی بین واحدهای کربناته سازند الیکا و واحدهای تخریبی سازند شمشک و دومی بین واحدهای کربناته سازند روته و سازند الیکا قرار گرفته‌اند. قدیمی‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در نزدیکی نهشته بوکسیتی قشلاق بازالت‌های سازند سلطان میدان متعلق به سیلورین می‌باشند که توسط سنگ‌های آهکی و شیلی سازند خوش‌بیلاق (دونین) پوشانده می‌شوند که به صورت غیرهمشیب با سنگ آهک‌های کربنیفر، دولوستون‌ها و شیل‌های سازند مبارک هستند. سازند مبارک در منطقه مورد مطالعه با ماسه‌سنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای، شیل‌ها و سنگ‌های آهکی سازند درود (پرمین آغازین) و سپس آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه سازند روته به سن پرمین میانی پوشانده شده‌اند. قسمت بالای سازند روته به شکل کارستی است که توسط افق لاتریت-بوکسیتی قشلاق پر شده است. سازند الیکا به سن تریاس میانی شامل آهک‌های نازک ورمیکولیت، مارن‌های سبز و دولومیت برروی نهشته قشلاق قرار گرفته‌اند (شکل ۱، الف). قدیمی‌ترین سازند رخنمون یافته در پیرامون افق سیاهرودبار شیل، آهک و دولومیت‌های سازند خوش‌بیلاق به سن دونین است، بصورت غیرهمشیب آهک‌ها و دولومیت‌های سازند مبارک و باقراآباد به سن کربنیفر بر روی سازند خوش‌بیلاق قرار دارد. در ادامه، سازندهای درود و روته با سنگ‌های آهک، ماسه‌سنگ و شیل رخنمون دارند. سپس آهک‌های ورمیکولیت نازک لایه، آهک‌های مارنی و میان لایه‌های دولومیتی سازند الیکا که میزبان افق لاتریت-بوکسیتی سیاهرودبار هستند قرار گرفته است که به‌طور هم‌شیب توسط ماسه‌سنگ و شیل‌های سازند شمشک با سن ژوراسیک پوشیده شده‌اند (شکل ۱، ب). هدف از این پژوهش بررسی منشأهای مختلف در نهشته‌های بوکسیتی پرمو-تریاس و تریاس ژوراسیک با استفاده از روش U-Pb بر روی زیرکان‌های آواری موجود در این نهشته‌ها در البرز خاوری می‌باشد. سن‌سنجی U-Pb زیرکان در نهشته بوکسیتی قشلاق اخیراً توسط Shamanian and Hattori (۲۰۲۱) انجام شده است و نتیجه آن معرفی پروتولیت‌های مختلف با دامنه سنی ۵۰۰ میلیون سال تا ۲،۵ میلیارد پیش برای تشکیل نهشته قشلاق بوده است که در طی تریاس متحمل فرایند لاتریتی شدن و تشکیل بوکسیتی شده‌اند.



شکل ۱. الف: نقشه زمین شناسی منطقه غزنوی نهشته (با تغییرات از جعفریان و جلالی، ۱۳۸۳)

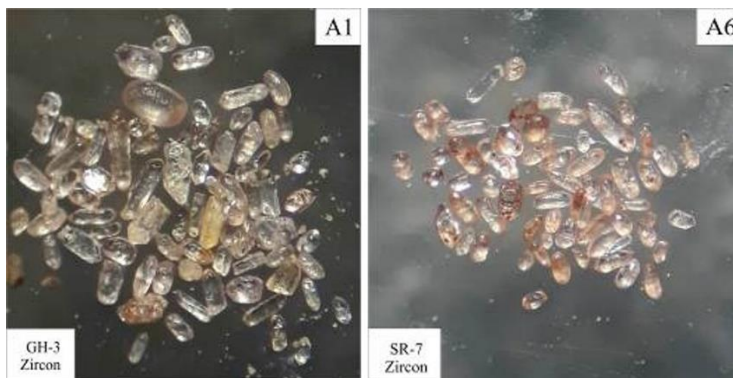


شکل ۱. ب: نقشه زمین شناسی منطقه سیاهرودبار (با تغییرات از جعفریان و جلالی، ۱۳۸۳)

### روش مطالعه:

برای جدایش زیرکان، نمونه برداری از بخش های پایینی و بالایی نهشته های بوکسیتی سیاهرودبار و قشلاق صورت گرفت. نمونه ها پس از خردایش، با استفاده از مایه سنگین بروموفرم و میکروسکوپ باینوکولار مورد جدایش زیرکان قرار گرفتند (شکل ۲). طی این فرآیند ۹۴ عدد دانه زیرکان آواری بدست آمد و سپس با LA-ICP-MS در مرکز زمین شناسی دانشگاه گوتینگن در آلمان مورد سنجش سن به روش U-Pb قرار گرفتند.

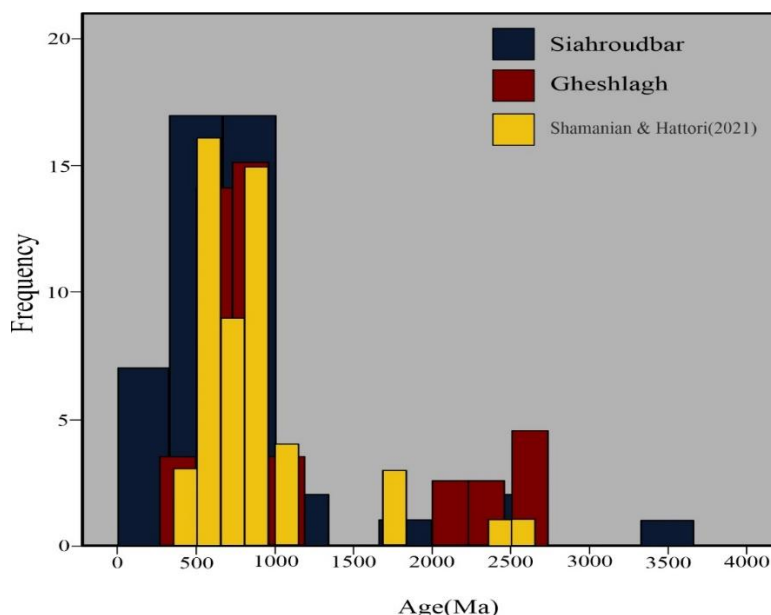




شکل ۲: زیرکان‌های آواری جدا شده از افق لاتریت-بوکسیتی قشلاق و سیاه‌رودبار

### بحث:

نتایج حاصل از سن‌سنجی U-Pb بر روی زیرکان‌های آواری مورد مطالعه، دامنه سنی گسترده‌ای از ۱۶۴ میلیون سال تا ۳,۵ میلیارد سال پیش را نشان داد. در نهشته قشلاق، بیشترین فراوانی جمعیت سنی زیرکان‌ها بین ۵۱۲ میلیون سال تا ۶۶۷ میلیون سال پیش (کامبرین، نئوپروتروزوئیک) و همچنین از ۷۶۳ میلیون سال تا ۹۸۸ میلیون سال پیش (نئوپروتروزوئیک) بدست آمده است (شکل ۳). در این نهشته، زیرکان‌های با دامنه سنی ۲ تا ۲,۵ میلیارد (پالئوپروتروزوئیک) و زیرکان‌هایی متعلق به دوران فانروزوئیک ۵۱۲-۵۴۱ (کامبرین)، ۳۷۲ میلیون سال (دونین)، ۲۸۶-۳۲۶ میلیون سال (کربنیفر-پرمین) نیز وجود دارد. تطبیق داده‌های سنی موجود با مطالعات سن‌سنجی Shamanian & Hattori (۲۰۲۱) بر روی زیرکان‌های نهشته قشلاق، همپوشانی قابل ملاحظه‌ای بین سنین بدست آمده از پژوهش حاضر با مطالعه مذکور را نشان می‌دهد. عمده جمعیت سنی بدست آمده از زیرکان‌های نهشته سیاه‌رودبار همانند نهشته قشلاق بین سن‌های ۵۲۲ تا ۹۸۳ میلیون سال پیش (منطبق بر نئوپروتروزوئیک) است اما فراوانی سن‌ها در بازه زمانی کربنیفر - ژوراسیک (۱۶۴-۳۵۹ میلیون سال) نیز قابل توجه است (شکل ۳). علاوه بر این، تعداد محدودی سن‌های آرکئن (۲۵۲۶-۳۵۵۰ میلیون سال پیش) از زیرکان‌های نهشته سیاه‌رودبار نیز بدست آمده است (شکل ۳).



شکل ۳: هیستوگرام فراوانی داده‌های سن‌سنجی به روش U-Pb بر روی زیرکان‌های آواری نهشته‌های بوکسیتی قشلاق و سیاه‌رودبار و تطبیق با داده‌های Shamanian & Hattori(2021)

بطور کلی زیرکان‌های آواری موجود در بوکسیت‌های سیاه‌رودبار و قشلاق را از نظر سنی می‌توان در سه دسته؛ زیرکان‌های آرکنن (۳۵۵۰-۲۵۲۶ میلیون سال پیش)، دسته دوم زیرکان‌های پروتروزوئیک (۲۴۷۴-۵۵۴، منطبق بر پالئوپروتروزوئیک-نئوپروتروزوئیک) و زیرکان‌های فانروزوئیک (۵۴۱-۱۶۴، از کامبرین تا ژوراسیک) طبقه‌بندی کرد.

#### نتیجه‌گیری:

با توجه به دامنه گسترده برای سن‌های بدست آمده از سن‌یابی زیرکان‌های آواری موجود در نهشته‌های بوکسیتی پرمو-تریاس (نهشته قشلاق) و تریاس-ژوراسیک (نهشته سیاه‌رودبار) در این پژوهش، مشخص گردید که این نهشته‌ها سنگ مادر (پروتولیت) واحد با سن محدود ندارند بلکه پروتولیت‌های با سن و خاستگاه گوناگون دارند. با توجه به اینکه عمده سن‌های بدست آمده در این مطالعه قدیمیتر از سن احتمالی فرایند بوکسیت‌زایی در این دو نهشته (احتمالا پرمو-تریاس برای نهشته قشلاق و تریاس میانی-پایانی برای نهشته سیاه‌رودبار) هستند لذا به نظر می‌رسد زیرکان‌های آواری و در نتیجه سنگ مادر نهشته‌های بوکسیتی مورد مطالعه از سنگهایی متعلق به سرزمین‌های گندوانایی منشاء گرفته باشند زیرا البرز و نهشته‌های بوکسیتی آن از تریاس پایانی به سرزمین‌های اوراسیایی ملحق شده بودند (Brunet et al. 2003; Wilmsen et al. 2009).

Shamanian & Hattori (2021) خاستگاه زیرکان‌های آواری با سن‌های پرکامبرین (۲۵۲۱ میلیون سال) تا دوران فانروزوئیک (۴۱۶ میلیون سال، منطبق بر دونین) در نهشته بوکسیتی قشلاق را متاکراتن ساحاران و یا بلوک کابل (۲۵۲۱-۱۷۹۶)، سنگ‌های آذرین شمال سپر عربی-نوبین و رویدادهای ماگمایی کادومین (۶۰۰-۵۰۰ میلیون سال پیش) در شمال گندوانا دانسته‌اند. همین تفسیر برای سن‌های مشابه بدست آمده از زیرکان‌های آواری نهشته قشلاق در پژوهش حاضر نیز کاربرد دارد و بنابراین به نظر می‌رسد خاستگاه زیرکان‌های این نهشته و در نتیجه بخشی از سنگ مادر بوکسیت سیاه‌رودبار نیز سنگ‌های منشاء گرفته از سرزمین‌های گندوانایی بوده باشد.

حضور زیرکان‌های با سنین جوانتر از (۳۷۲-۱۶۴ میلیون سال) در نهشته بوکسیتی سیاه‌رودبار، خاستگاه احتمالی آنها را سنگ‌های بازالتی دونین تا کربنیفر (Wendts et al., 2005; Wensink et al., 1978) و گرانیت‌های کلاستیک، آندزیت و جریان‌های بازالتی سازند سلطان میدان است (Stampfli, 1978; Jenny, 1977). زیرکان‌های متعلق به آرکنن (۳۵۵۰-۲۵۲۶ میلیون سال پیش) احتمالا از سپر هند منشاء گرفته است.

#### منابع:

جعفریان، م.ب.، جلالی، ع.، ۱۳۸۳. نقشه زمین شناسی خوش بیلاق با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

Bardossy, G., 1982. Karst bauxites, bauxite deposits on carbonate rocks. *Developments in Economic Geology* 14, 1-441.

Brunet, M., Korotaev, M.V., Ershov, A.V., & Nikishin, A.M. (2003). The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modelling. *Sedimentary Geology*, 156, 119-148.

Fedo, C.M., Sircombe, K.N., Rainbird, R.H., 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentary record. In: Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. (Eds.), *Zircon*, pp. 277-303.

- Ghavidel-Syooki, M., 1995. Palynostratigraphy and palaeogeography of a Palaeozoic sequence in the Hassanakdar area, central Alborz range, northern Iran. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 86, 91–109.
- Ghavidel-Syooki, M., 2008. Palynostratigraphy and palaeogeography of the Upper Ordovician Gorgan Schists (Southeastern Caspian Sea), Eastern Alborz Mountain Ranges, Northern Iran. *Comun. Geol.* 95, 123–155.
- Gu, J., Huang, Z.L., Fan, H.P., Ye, L., Jin, Z.G., 2013. Provenance of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan–Zheng'an–Daozhen area, northern Guizhou Province, China: LA-ICP-MS and SIMS U-Pb dating of detrital zircons. *J. Asian Earth Sci.* 70–71, 265–282.
- Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Horton, B.K., Axen, G.J., Stockli, L.D., Grove, M., Schmitt, A., Walker, J.D., 2008. U–Pb zircon geochronology of upper Neoproterozoic–Early Cambrian granitoids in Iran: implications for palaeogeography, metallogeny, and exhumation history of Iranian basement. *Tectonophysics* 451, 71–96.
- Jenny, J.G., 1977. *Geologie et stratigraphie de l'Elbourz oriental entre Aliabad et Shahrud, Iran.* Ph.D. thesis, Université de Genève, 238 pp.
- Kiaeshkevarian, M., Calagari, A.A., Abedini, A., Shamanian, G., 2020. Geochemical and mineralogical features of karst bauxite deposits from the Alborz zone (Northern Iran): implications for conditions of formation, behavior of trace and rare earth elements and parental affinity. *Ore Geol. Rev.* 125, 103691.
- Pereira, M.F., Linnemann, U., Hofmann, M., Chichorro, M., Sola, A.R., Medina, J., Silva, J.B., 2012. The provenance of Late Ediacaran and Early Ordovician siliciclastic rocks in the Southwest Central Iberian Zone: constraints from detrital zircon data on northern Gondwana margin evolution during the late Neoproterozoic. *Precambrian Research* 192–195, 166–189.
- Shamanian, G.H., Hattori, K., 2021. Neoproterozoic evolution of northern Gondwana recorded in detrital zircon grains from the Gheshlagh bauxite deposit, Alborz Mountains, Iran Block. *Gondwana Research* 93, 184–196.
- Shirdashtzadeh, N., Torabi, G., Schaefer, B., 2018. A magmatic record of Neoproterozoic to Palaeozoic convergence between Gondwana and Laurasia in the northwestmargin of the Central-East Iranian Microcontinent. *J. Asian Earth Sci.* 166, 35–47.
- Stampfli, G.M., 1978. *Etude géologique générale de l'Elbourz oriental au sud de Gonbad-e-Qabus (Iran NE).* Ph.D. thesis, Université de Genève, 329 pp.
- Stampfli, G.M., 2000. Tethyan oceans. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A. (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area.* *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* vol. 173, pp. 1–23
- Wendt, J., Kaufmann, B., Belka, Z., Farsan, N., Karimi Bavandpur, A., 2005. Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran; Part II. Northern and central Iran 1. *Acta Geologica Polonica* 55, 31–97.
- Wensink, H., Zijdeveld, J.D.A., Varekamp, J.C., 1978. Paleomagnetism and ore mineralogy of some basalts of Geirud Formation of Late Devonian–Early Carboniferous age from southern Alborz, Iran. *Earth and Planetary Science Letters* 41, 441–450.
- Wilmsen, M., Fursich, F.T., Seyed-Emami, K., Majidifard, M.R., Taheri, J., 2009. The Cimmerian Orogeny in northern Iran: Tectono-stratigraphic evidence from the foreland. *Terra Nova* 21, 211–219.

## شیمی کانی پیروکسن در زینولیت‌های مرتبط با سنگ‌های آتشفشانی شبه جزیره اسلامی (آتشفشان سارای) - شمال غرب ایران: توضیحی بر ژئوترموبارومتري و محیط تکتونیکی تشکیل آنها

پویا بشارتی<sup>۱\*</sup>، علی کنعانیان<sup>۱</sup>، فاطمه سپیدبر<sup>۲</sup>

۱- دانشکده زمین شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

E-mail: pouya\_besharati@yahoo.com

### چکیده

سنگ‌های آتشفشانی اولتراپتاسیک شبه جزیره اسلامی (آتشفشان سارای) در بخش شمال غربی پهنه آتشفشانی ارومیه - دختر واقع شده اند. بر پایه مطالعات پتروگرافی، این سنگ‌ها شامل گدازه‌های فونولیتی همراه با دو تیپ زینولیت می‌باشند. نوع اول زینولیت‌ها در نمودار ژئوشیمیایی ترکیبی معادل بازالت دارند که با توجه به بافت عمومی گرانولار معادل گابرو در نظر گرفته می‌شوند. ترکیب نوع دوم معادل با تراکی آندزیتی می‌باشد. فونولیت‌ها بیشتر از کانی‌های درشت‌بلور کلینوپیروکسن و لوپسیت، به همراه کانی‌های فرعی فلوگوپیت و آپاتیت با زمینه‌ای ریزبلور و شیشه‌ای تشکیل شده‌اند در حالیکه زینولیت‌های نوع اول دارای بافت گرانولار با کانی‌های درشت بلور کلینوپیروکسن، فلوگوپیت و کانی‌های فرعی اپک می‌باشند. زینولیت‌های نوع دوم با درشت بلورهای لوپسیت، به همراه کانی‌های فرعی پیروکسن و فلوگوپیت دارای بافت عمومی پورفیری هستند. بر پایه مطالعات شیمی کانی، کلینوپیروکسن‌های سنگ میزبان در فشار متوسط تا بالا (۱۵ تا ۶ کیلو بار) و دمای ۱۳۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد متبلور شده‌اند. زینولیت‌های با ترکیب معادل گابرو در فشار ۵ تا ۲ کیلو بار، دمای ۱۱۵۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زینولیت‌های با ترکیب معادل تراکی آندزیتی در فشار ۱۰ تا ۶ کیلو بار و دمای ۱۲۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد منطبق بر اعماق کمتر از ۴۰ کیلومتر متبلور شده اند. از دیدگاه شرایط شیمیایی، پیدایش این کانی‌ها برای هر دو نوع سنگ میزبان و زینولیت‌ها در محیطی با اکسیژن متغیر و بالا روی داده و میزان آب ماگما از ۲ تا نزدیک به ۱۰ درصد برآورد شده است. در نمونه‌های سنگ میزبان فنولیت و هردو تیپ زینولیت همراه، الگوی غنی‌شدگی از LREE و کمابیش مسطح از HREE در کنار بی‌هنجاری منفی Eu، Nb، Ta و Ti و بی‌هنجاری مثبت Rb، Ba، Th و K مشاهده می‌شود. بررسی‌های سنگ‌زایی بر پایه شیمی کلینوپیروکسن در سنگ میزبان و هر دو تیپ زینولیت ماهیت کالک آلکان پتاسیم بالای وابسته به کمان‌های آتشفشانی در محیط پس از برخورد را تایید می‌کند. مقادیر Y و Yb پایین و نسبت بالای La/ Yb و Dy/ Yb، به تعادل بین مذاب و فازهای باقیمانده گارنت و یا هورنبلند در سنگ منشا اشاره دارد. دما و فشار تبلور دیوپسید در زینولیت‌ها کمتر از سنگ میزبان فنولیت است. بنابراین قطعات زینولیت‌ها در مسیر صعود ماگما و احتمالاً از دیواره‌ها جدا و توسط ماگما به سطح منتقل شده‌اند. عدم وجود شواهد مربوط به ذوب، انحلال، زینوکریست، قشر آگرگات ریزبلوردر مرز کانی‌ها و محل تماس زینولیت و ماگمای میزبان در تایید این مطلب خواهد بود که نرخ صعود ماگما بیشتر از سرعت انحلال، ذوب و واکنش بوده است.

**کلیدواژه:** کالک آلکان پتاسیم بالا، زینولیت، شیمی پیروکسن، پس از برخورد، شبه جزیره اسلامی (آتشفشان سارای)

## Pyroxene chemistry of xenoliths related to volcanic rocks in Eslamieh Peninsula (Saray Volcano)- northwest of Iran: Implications for Geothermobarometry and tectonic setting

Pouya besharati<sup>1\*</sup>, Ali Kananian<sup>1</sup>, Fatemeh Sepidbar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>2</sup>: Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Ferdosi, Mashad, Iran

\*Corresponding Author E-mail: Pouya\_besharati@yahoo.com

### Abstract

Ultrapotassic volcanic rocks in Eslamieh Peninsula (Saray volcano) are located in the northwest part of the Urumieh Dokhtar volcanic belt. Petrographically, they include phonolitic lavas and pyroxenitic xenoliths. Phonolites have a porphyritic texture and contain euhedral to subhedral diopside, and leucite (or Pseudoleucite) while, accessory minerals include phlogopite and apatite set in fine-grain groundmass. xenoliths have gabbroic and trachyandesitic composition and contain diopside, phlogopite, and leucite respectively. Based on mineral chemistry, clinopyroxenes of phonolites, were crystallized at 1200- 1300, while those from pyroxenite xenoliths were formed at 1100- 1150, and 1150- 1200° C, respectively. The estimated formation pressures for clinopyroxene of phonolithes, two type pyroxenitic xenoliths are 6-15, 2-5, and 6-10 kbar respectively. Therefore, the crystallization of host rocks and their xenoliths occurred at about 40 km. They crystallized from a magma likely with about 2 to 10% fluid and in variable fO<sub>2</sub> conditions. Almost all the rocks display similar arc-related geochemical features characterized by the enrichment in large ion lithophile elements (LILE) and light rare earth elements (LREE) together with the depletion in high field strength elements (HFSE). The chondrite-normalized REE patterns show no to marked negative Eu anomaly. The geochemical data and evaluation of the REE patterns for the Eslamieh Peninsula magmas and the comparison of the trace element ratios with experimental studies indicate a chemically enriched lithospheric mantle source composed of garnet-phlogopite-lherzolite have underwent a low degree of partial melting <5% in a post-collisional setting to generate the volcanic rocks and associated xenoliths. for the Eslamieh Peninsula rocks suggest that these magmas were derived from a small degree of partial melting of subduction-metasomatized (subcontinental) lithospheric mantle source. Due to the lack of melting evidences, solution, xenocrysts, and fine minerals aggregate in contact margins between host rock and xenoliths and lower temperatures- pressures formation of xenoliths compare with host rocks indicate pieces of magma chamber or from the walls picked up and entrained during magma ascent and eruption.

**Key:** Calc alkaline high- K, Xenolith, Xchemistry of pyroxene, Post-collision, Eslamieh Peninsula (Saray volcano)

### مقدمه

شبه جزیره اسلامی بزرگترین جزیره دریاچه ارومیه است که در زون البرز غربی- آذربایجان و بخش شمالی نوار ماگمایی ارومیه- دختر (نبوی، ۱۳۵۵)، در موقعیت جغرافیایی "۴۰' ۲۴" ۴۵° طول جغرافیایی شرقی و "۳۹' ۴۸" ۳۷° عرض جغرافیایی شمالی قرار گرفته است. شبه جزیره اسلامی (آتشفشان سارای) بصورت یک استراتوولکان با ساختار بالازدگی متقارن مشاهده

می شود (Moayyed et al., 2008). دو گسل اصلی در منطقه شامل گسل سارای- آق گنبد با روند ENE- WSW و گسل تیمورلو- گمیچی با راستای SSE- NNW وجود دارند که محل تلاقی آنها تقریباً بر بخش مرکزی جزیره منطبق است (Hajalilou et al., 2009؛ جنگ جو، ۱۳۹۴). از نظر چینه شناسی، قدیمی ترین واحد شامل واحد دگرگونی و ماگمایی مانند گنیس های گرانیتی کادومین و گرانیت های تیپ A گوشچی هستند که اکثراً توسط نهشته های نمکی- رسی دریاچه ارومیه پوشانده شده اند (Hassanzadeh et al., 2008). واحدهای سنگی شامل بازانیت، لوسیت- تفریت، فنولیت، تراکیت و بازانیت حاوی آنالسیم توسط محققین با سن میوسن پایانی معرفی شده است (معین وزیری، ۱۳۸۱). وجود فعالیت انفجاری شدید با تشکیل دهانه ریزشی و سکاسی از نهشته های پیروکلاستی در شبه جزیره اسلامی همراه بوده است. دایک ها و سیل های متعدد، گدازه های تفریتی- فنولیتی و نهشته های لاهار نیز به فراوانی در منطقه به چشم می خوردند (Shafaii Moghadam, 2014). از ویژگی منحصر به فرد سنگ های ماگمایی شبه جزیره سارای حضور زینولیت های اولترامافیک در این سنگ ها است (Shafaii Moghadam et al., 2014; Amel et al., 2017; Khezerlou, et al., 2017; معین وزیری، ۱۳۸۱) (شکل ۱) که از لحاظ شیمی کانی و ژئوترموبارومتری تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته اند. شیمی کانی های مانند پیروکسن اطلاعات ارزشمندی را از خاستگاه ماگمایی مذاب در برگیرنده و شرایط فیزیوشیمیایی تبلور ماگما از قبیل دما، فشار و فوگاسیته اکسیژن آشکار می سازد (Letterier et al., 1982).



شکل ۱- زینولیت های مختلف در سنگ های آتشفشانی بخش مرکزی شبه جزیره اسلامی، حدفاصل روستای سارای- آق گنبد.

## روش مطالعه

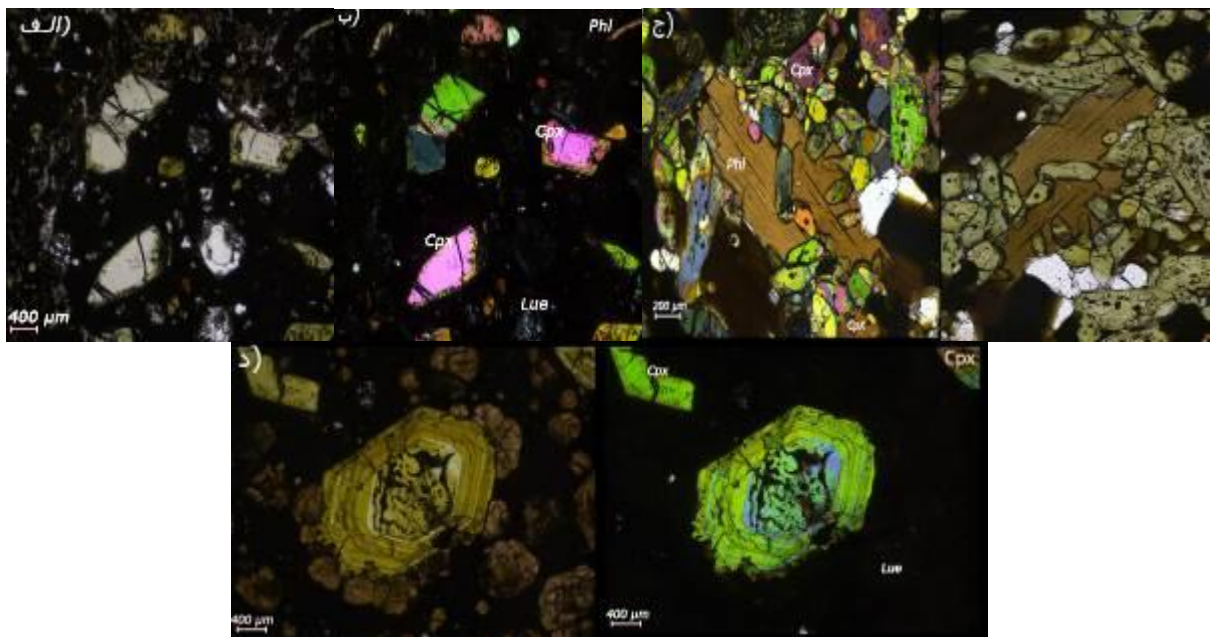
در این پژوهش تعداد ۷ قطعه زینولیت و سنگ میزبان برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی انتخاب گردید. فرآیندهای آماده سازی و تهیه پودر از نمونه ها در دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران، تهیه مقاطع نازک در دانشکده زمین شناسی دانشگاه خوارزمی و بررسی های میکروسکوپی در دانشکده علوم پایه دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین صورت گرفت. برای تعیین میزان عناصر کمیاب از روش ICP- MS و برای آنالیز شیمی کانی کلینوپیروکسن از ریزپردازنده الکترونی موجود در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشکده علوم چین استفاده شد.

## بحث

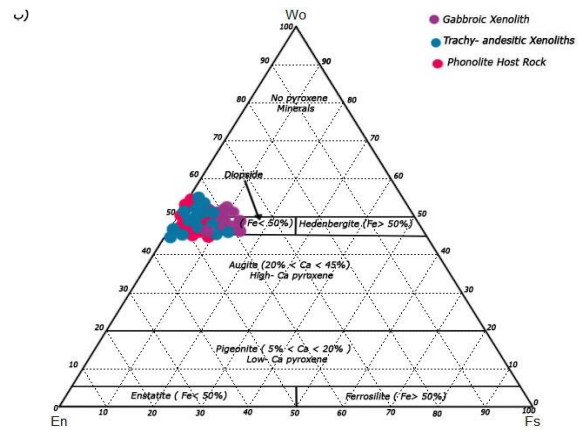
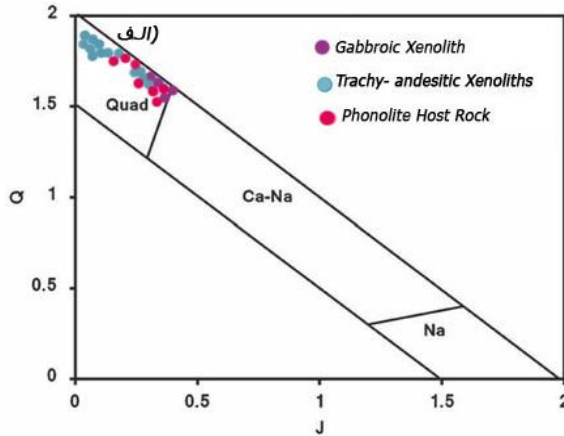
بافت عمومی سنگ های آتشفشانی میزبان زینولیت ها از نوع پورفیری با زمینه ی شیشه ای است. فنوکریست های اصلی شامل کلینوپیروکسن خودشکل تا نیمه خودشکل می باشند و دارای منطقه بندی هستند. حاشیه برخی از آنها دچار خوردگی و نیز بافت غربالی شده است. لوسیت ها بصورت خودشکل و هشت وجهی با ماکل پیچیده مشاهده می شوند و در بیشتر موارد به آنالسیم تبدیل شده اند (شکل ۲- الف و ب). زینولیت های موجود در سنگ های آتشفشانی منطقه از لحاظ پتروگرافی به دو گروه I و II قابل تفکیک اند. زینولیت های تیپ I کانی شناسی ساده دارند. بافت سنگ از نوع گرانولار است. کانی های اصلی تشکیل دهنده آنها کلینوپیروکسن بوده که با فراوانی حدود ۹۰ درصد به صورت خودشکل تا نیمه خودشکل حضور دارند.

زونینگ در آنها مشاهده نمی شود و لذا نمی توان زینولیت ها را به عنوان فاز کومولایی در نظر گرفت. فلوگوپیت با بافت پوئی-کلیتیک تاخر تبلور بعد از کلینوپیروکسن را نشان می دهد. این بلورها دارای حالت کینگ باند هستند و خاموشی موجی دارند. انکلوزیون های آپاتیت به همراه کانی های اپک نیز مشاهده می شود (شکل ۲-ج). از مرکز به حاشیه زینولیت، اندازه بلورها تغییر آشکاری ندارند بنابراین تغییرات دمایی معناداری در آنها رخ نداده است. بنظر می رسد کلینوپیروکسنیت فلوگوپیت دار واژه مناسبی برای نام گذاری این سنگ ها باشد. شواهدی دال بر ذوب شدگی با تشکیل مذاب شیشه ای در مرز کانی ها، انحلال در مرز بین زینولیت و ماگمای میزبان، تشکیل زینوکریست و تبلور قشر آگرگات ریز بلور مشاهده نشد. از اینرو نرخ صعود ماگما بیشتر از سرعت انحلال بوده است. در زینولیت های تیپ II فنوکریست اصلی کانی لویسیت است که تا حدود ۶۰ درصد سنگ را شامل شده و در بسیاری از موارد به آنالسیم تبدیل شده است. کانی کلینوپیروکسن و فلوگوپیت نیز حضور دارند و گاهی تا ۲۰٪ از سنگ را شامل می شوند. منطقه بندی در کانی پیروکسن وجود دارد. بلورهای درشت لویسیت آنالسیم شده بافت حاشیه ای یا کرونا نشان می دهند. بافت عمومی از نوع پورفیری با زمینه ریزبلور است (شکل ۲-د).

تمامی کلینوپیروکسن های مورد مطالعه در نمودار  $Q = Ca - Mg + Fe^{2+}$  در برابر  $J = 2Na$  (Morimoto et al., 1988) محدود پیروکسن های کلسیم-منیزیم-آهن دار قرار می گیرند (شکل ۳-الف). بر اساس نمودار سه تایی (شکل ۳-ب)، کلینوپیروکسن های سنگ میزبان و زینولیت های همراه ترکیب مشابه داشته و از نوع دیوپسید هستند (Morimoto et al., 1988).

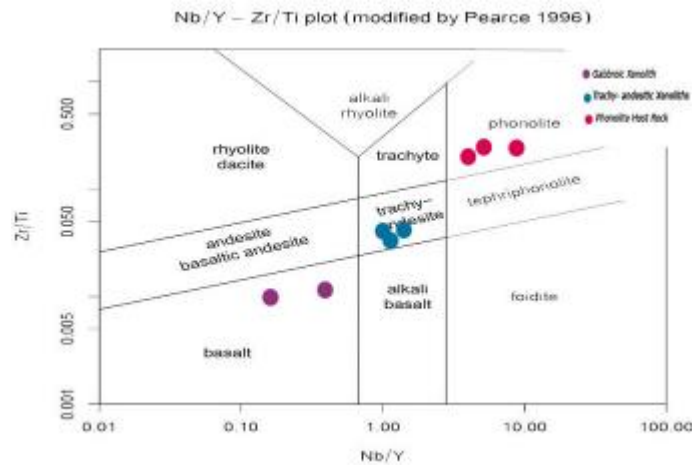


شکل ۲- مقاطع میکروسکوپی سنگ میزبان و زینولیت های همراه در شبه جزیره اسلامی در دو نور XPL و PPL. تصویر الف و ب) کانی-های کلینوپیروکسن، فلوگوپیت و آپاتیت سنگ میزبان. ج) کانی های فلوگوپیت و کلینوپیروکسن در زینولیت تیپ I. د) کانی لویسیت خودشکل آنالسیم شده با بافت کرونا در زینولیت تیپ II



شکل ۳- الف) جایگاه پیروکسن در نمودار Q در برابر J (Morimoto et al., 1988). ب) جایگاه پیروکسن سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار سه تایی Wo- En- Fs (Morimoto et al., 1988)

بر اساس نتایج داده‌های شیمی سنگ‌کل، زینولیت‌های تیپ I در محدوده بازالت، زینولیت‌های تیپ II در محدوده تراکی- آندزیت و سنگ‌های میزبان در محدوده فنولیت قرار گرفتند (شکل ۴). با توجه به بافت عمومی گرانولار در زینولیت تیپ I، ترکیب معادل گابرو در نظر گرفته می‌شود.

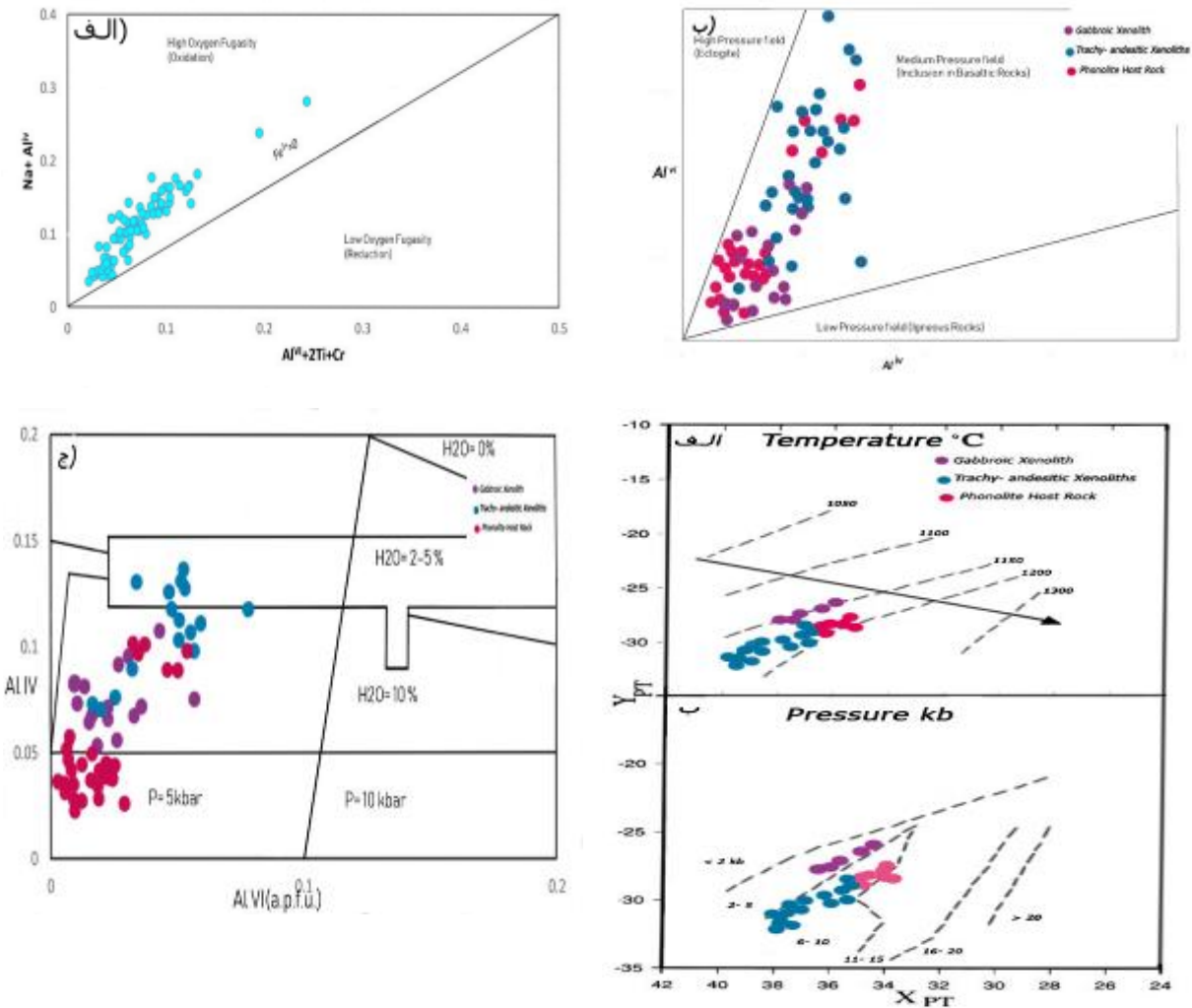


شکل ۴- رده‌بندی سنگ‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودار اصلاح شده توسط Pearce (1996)

کلینوپیروکسن‌ها بر اساس تغییرات  $Al^{VI} + 2Ti + Cr$  در برابر  $Na + Al^{IV}$  در بالای خط معرف  $Fe^{3+} = 0$  قرار می‌گیرند (شکل ۵-الف) که این امر نشان دهنده بالا بودن فوگاسیته اکسیژن در محیط تبلور آنها است (Schweitzer et al., 1979). پیروکسن‌ها در سنگ میزبان و زینولیت‌های موجود در ناحیه آتشفشانی سارای بر اساس نمودار تغییرات مقادیر  $Al^{VI}$  نسبت به  $Al^{IV}$  (Aoki and Shiba, 1973) در فشار متوسط تشکیل شده‌اند (شکل ۵-ب). مقدار  $Al^{IV}$  با افزایش میزان آب موجود در محیط تبلور پیروکسن‌ها کاهش می‌یابد (Helz, 1973; Green, 1972). در هنگام تبلور کلینوپیروکسن‌های سنگ میزبان فنولیتی و زینولیت‌های همراه، آب ماگما در گستره‌ی ۲ تا ۱۰٪ بوده است (شکل ۵-ج). بر پایه محاسبات دمافشارسنجی کلینوپیروکسن (Soesoo, 1997)، این کانی در سنگ‌های میزبان در محدوده دمایی ۱۳۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد و گستره فشار ۱۵ تا ۶ کیلوبار، در زینولیت‌های تیپ I در دمای ۱۱۵۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد و فشار ۵ تا ۲ کیلو بار و در زینولیت‌های تیپ II در دمای ۱۲۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد و فشار ۱۰ تا ۶ کیلو بار تشکیل شده است (شکل ۵-د). بر اساس ارتباط عمق و فشار، برآورد می‌شود عمق تبلور این کانی‌ها کمتر از ۴۰ کیلومتر بوده باشد. در مطالعات ژئوترموبارومتري بر روی



زینولیت‌های اولترامافیک کلینوپروکسنیتی سنگ‌های ولکانیکی شمال غرب-مردن نیز عمق تشکیل کمتر از ۴۰ کیلومتر، فشار ۲۰-۲ کیلو بار و دمای تشکیل ۱۴۰۰-۱۰۱۵ درجه سانتیگراد گزارش شده است (Amel and et al., 2017). در نمودار  $Al_2O_3$  در برابر  $TiO_2$  و همچنین  $SiO_2$ ، نمونه‌های سنگ میزبان و زینولیت در محدوده کالک‌آلکان قرار می‌گیرند (Le Bas, 1962) (شکل ۶- الف و ب). بر اساس مقادیر  $Al_2O_3$  در مقابل  $Na_2O$  (Ho, 1998) سنگ‌ها و زینولیت‌های شبه جزیره اسلامی در گستره کمانی قرار می‌گیرند (شکل ۶- ب).



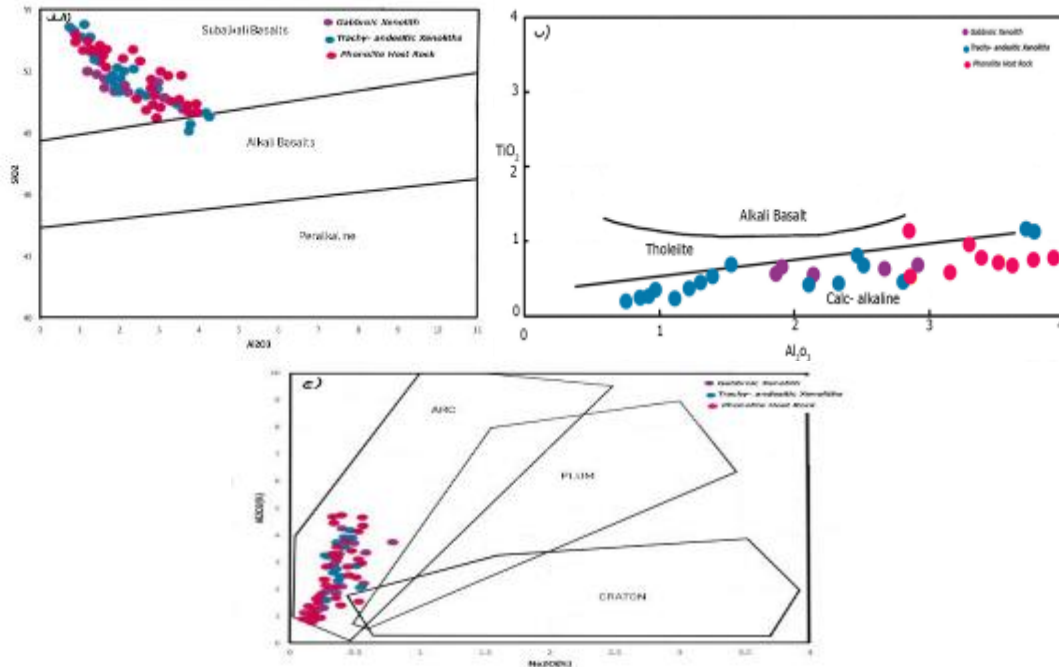
شکل ۵- شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل سنگ میزبان و زینولیت‌های همراه در شبه جزیره اسلامی بر اساس شیمی کانی پیروکسن (الف) نمودار تعیین فوگاسیته اکسیژن (Schweitzer et al., 1979). (ب) تعیین محدوده فشار نمونه‌های مورد مطالعه (Aoki and Shiba, 1973). (ج) برآورد درصد آب ماگما (Helz, 1973; Green, 1972). (د) تخمین درجه حرارت و فشار تشکیل بلورهای پیروکسن در نمونه‌های مورد نظر (Soesoo, 1997).

$$XPT = 0.446 * SiO_2 + 0.187 * TiO_2 - 0.404 * Al_2O_3 + 0.346 * FeO(tot) - 0.052 * MnO + 0.309 * MgO + 0.431 * CaO - 0.446 * Na_2O$$

$$YPT = -0.369 * SiO_2 + 0.535 * TiO_2 - 0.317 * Al_2O_3 + 0.323 * FeO(tot) + 0.235 * MnO - 0.516 * MgO - 0.167 * CaO - 0.153 * Na_2O$$

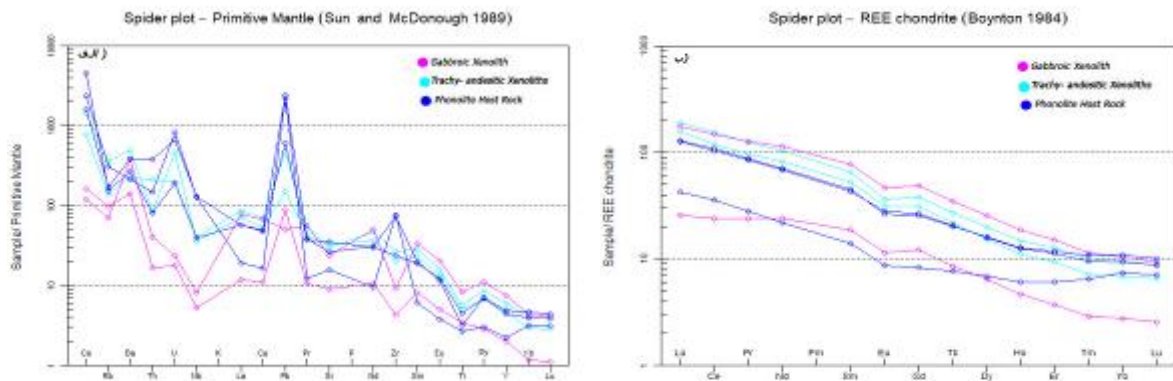
سنگ میزبان فنولیتی از اکسیدهای  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  نسبت به هر دو تیپ زینولیت غنی‌تر است. عدم حضور کانی‌های تیتانیوم‌دار همچون ایلمنیت و تیتانومگنتیت می‌تواند توضیحی بر این شرایط باشد. پلاژیوکلاز در سنگ میزبان فنولیتی مشاهده نشد و زینولیت تیپ I با ترکیب معادل گابرو در مقایسه با زینولیت‌های تیپ II از اکسید  $Al_2O_3$  بیشتری برخوردار است که این مسئله می‌تواند به عدم حضور پلاژیوکلاز مربوط باشد. زینولیت‌های تیپ II با ترکیب معادل تراکی-آندزیت دارای

CaO.Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و MgO بالاتری هستند. مقادیر اندک اولیون، عدم حضور پلاژیوکلاز و کانی‌هایی مانند کرومیت از جمله دلایل این امر می‌باشند. زینولیت‌های تیپ I نسبت به سنگ میزبان فنولیتی و زینولیت تیپ II دارای Na<sub>2</sub>O بیشتری هستند. کمبود Na<sub>2</sub>O در زینولیت تیپ II به تبلور کانی‌های فلدسپاتوئید مانند لوسیت منجر شده است.



شکل ۶- نمودار تفکیک سری ماگمایی سنگ میزبان و زینولیت‌های همراه الف) (Le Bas, 1962). ب) نمودار محیط تکتونوماگمایی نمونه‌های مورد نظر (Ho, 1998).

نمونه‌های سنگ میزبان فنولیتی و هردو تیپ زینولیت همراه، غنی‌شدگی از LREE و کمابیش روند مسطح HREE، در کنار بی‌هنجاری منفی Eu، Nb، Ta و Ti و بی‌هنجاری مثبت Rb، Pb، Ba، Th و K نشان می‌دهند (شکل ۷ الف و ب).



شکل ۷- نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی و عناصر فرعی سنگ‌های مورد مطالعه در شبه جزیره اسلامی (آتشفشان سارای) بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989; Boynton, 1984).  
 مقادیر بالای عناصر LREE در مقایسه با HREE، Yb و Y پایین، نسبت بالای La/ Yb و Dy/ Yb به تعادل بین مذاب و فازهای باقیمانده گارنت و یا هورنبلند در سنگ منشا اشاره دارد (Baker, 1997; Qi, 2018). مقادیر نسبت Ce/ Yb و Sr/ Yb نیز اختلاط بین ترکیب ژئوشیمیایی مذاب تولید شده از گوشته، سیالات آزاد شده، رسوبات فوقانی قاره‌ای و لیتوسفر

اقیانوسی فرورونده را نشان می دهد (Ersoy et al., 2008). سنگ های شبه جزیره سارای از ذوب بخشی با نرخ اندک (۵ تا ۱ درصد) سنگ منشا گشته ی لیتوسفری فلوگوپیت و گارنت دار متاسوماتیزم شده و ناهمگن در یک محیط پس از برخورد ایجاد شده اند (موید و همکاران، ۱۳۸۲؛ حاج علیلو و همکاران، ۱۳۸۲؛ قادری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Shafaii Moghadam and et al., 2014; Lechmann and et al., 2018).

### نتیجه گیری

سنگ های آتشفشانی اولتراپتاسیک شبه جزیره اسلامی (آتشفشان سارای) شامل گدازه های فونولیتی همراه با زینولیت های با ترکیب معادل گابرو و تراکی آندزیتی هستند. کلینوپیروکسن های سنگ میزبان در فشار متوسط تا بالا (۱۵ تا ۶ کیلو بار) و دمای ۱۳۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد، زینولیت های با ترکیب معادل گابرو در فشار ۵ تا ۲ کیلو بار، دمای ۱۱۵۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد و زینولیت های با ترکیب معادل تراکی آندزیتی در فشار ۱۰ تا ۶ کیلو بار و دمای ۱۲۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی گراد منبسط بر اعماق کمتر از ۴۰ کیلومتر متبلور شده اند. سنگ های شبه جزیره سارای از اختلاط مذاب حاصل از ذوب بخشی با نرخ اندک (۵ تا ۱ درصد) گشته لیتوسفری از جنس لوزولیت فلوگوپیت (و یا آمفیبول) گارنت دار، متاسوماتیزم شده، دارای ترکیب ناهمگن و در یک محیط پس از برخورد ایجاد شده اند. قطعات زینولیت مورد مطالعه در مسیر صعود ماگما و احتمالاً از دیواره ها جدا و توسط ماگما به سطح منتقل شده اند.

### منابع

- حاج علیلو، ب.، ۱۳۸۲، پتروگرافی و پترولوژی سنگ های آکالن پتاسیک، شبه جزیره اسلامی و محیط ژئودینامیکی آنها، پیک نور علوم سال اول شماره سوم، صفحات ۳۸ تا ۲۰.
- جنگ جو، ف.، علیزاده، ا.، ۱۳۹۳، ساختار بالازدگی متقارن در شبه جزیره اسلامی، شمال باختری ایران، دانشگاه ارومیه.
- قادری، م.؛ موید، م.؛ عامل، ن.؛ مجرد، م.؛ ۱۳۹۸، نگرشی نو بر پتروژنز آتشفشان سارای با تاکید بر رخداد مگا کریست های سانیدین (تبلور ماگمایی در آشیانه ایزوله)، مجله علوم زمین، پاییز ۹۹، سال سی ام، شماره ۱۱۷، صفحات ۱۶ تا ۳.
- معین وزیری، ح.، ۱۳۸۱، پتروگرافی و ژئوشیمی آنکلاوهای فلوگوپیت-کلینوپیروکسنیت بعضی از گدازه های جوان ایران، مثال هایی از شبه جزیره سارای، قروه، دماوند و قلعه حسنعلی، ۱۳۸۱، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۲۸، صفحات ۱۷ تا ۱.
- موید، م.، ۱۳۸۲، پتروگرافی و پتروگرافی دایک های لامپروفیری شبه جزیره اسلامی (شرق دریاچه ارومیه) آذربایجان شرقی، هشتمین انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی.
- Amel, N., Moayyed M., Gregorie M., 2017, geochemistry and mineral chemistry of pyroxenite xenoliths and host volcanic alkaline rocks from northwest of Marand (NW Iran), Mineralogy and Petrology: 21, P. 865-885.
- Aoki, K., Shiba, I., 1973, Pyroxenes from Iherzolite inclusions of Itinome- Gata, Japan, Lithos: 6(1), P. 41-51.
- Baker, J.A., Menzies, M.A., Thirlwall, M.F., Macpherson, C.G., 1997, Petrogenesis of quaternary intraplate volcanism, Sana'a, Yemen: implications for plum- lithosphere interaction and polybaric melt hybridization. J. Petrol: 38, P. 1359- 1390.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Sozbulir, H., Erkul, F., Bozkurt, E., 2008, A Geochemical approach to Neogene- Quaternary volcanic activity of western Anatolia: an example of episodic bimodal volcanism within the Selendi Basin, Turkey. Chemical Geology: 255, P. 265- 282.

- Hajalilou, B; Moayyed, M., Hosseinzadeh, M.R., 2009, Petrography, geochemistry and geodynamic environment of potassic alkaline rocks in Eslamy peninsula, northwest of Iran, Journal of Earth System Science: 6. P. 643- 657.
- Helz, R. T., 1973, Phase relations of basalts in their melting ranges at  $P_{H_2O} = 5$  kb as a function of Oxygen fugacity, part I, Mafic fases. Journal of petrology: 14, P. 249- 302.
- Khezerlou, A., et al., 2017, geochemistry and mineral chemistry of pyroxenite xenoliths and host volcanic alkaline rocks from northwest of Marand (NW Iran), Mineralogy and Petrology: 21, P. 865-885.
- Le Bas, M. J., 1962, The role of aluminum in igneous clinopyroxene with relation to their parentage, American Journal of science: 260: P.267-288.
- Lechmann, A., 2018, metasomatized mantle as the source of mid- Miocene- quaternary volcanism in NW-Iranian Azarbaijan: geochronological and geochemical evidence, Lithos: 304- 307, P. 311- 328.
- Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D., and Marchal, M., 1982, Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of Paleo- volcanic series. Earth and Planetary Science Letters: 59, P.139- 154.
- McDonough, W. F., Sun, S., Ringwood, A. F., Jagoutz, E., Hofmann, A. W., 1992, Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and moon and the evolution of the mantle of the earth, Geochim. Cosmochim Acta:56, P. 1001- 1012.
- Moayyed M., Moazzen, M., Calagari, A. A., Jahangiri, A., 2008, Geochemistry and petrogenesis of lamprophyric dykes and the associated rocks from Eslamy peninsula, NW Iran: implications for deep- mantle metasomatism, Chemie der Erde: 68, P. 141- 154.
- Morimoto, N., Fabrise, J., Ferguson, A., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. and Gottardi, G., 1988, Nomenclature of pyroxene. Mineralogical Magazine: 52, P. 535-555.
- Qi, Y., Wyman, D.A., Wang, Q., Jiang, Z.Q., 2018, Cenozoic mantle composition evolution of southern Tibet indicated by Paleocene (~ 64 Ma) pseudoleucite phonolitic rocks in central Lhasa Terne, Lithos: 302- 303, P. 178- 188.
- Schweitzer, E. L., Papike, J. J. and Bence, A. E., 1979, Statical analysis of clinopyroxene from deep sea basalts, American Mineralogists: 64, P.501-513.
- Shafaii Moghadam, H., et al., 2014, late Miocene k- rich volcanism in the Eslamieh peninsula(saray), NW Iran: implication for geodynamic evolution of the Turkish- Iranian High plateau, Gondwana research: 26, P.1028- 1050
- Soessoo, A., 1977, A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: Empirical coordinates for the crystallization P- T- Estimations. Geological Society of Sweden (Geologiska Foreningen): 119, P. 55-60.

بررسی ژئوشیمیایی توده نفوذی کیبرکوه و شواهد کانی‌زایی مس-طلا همراه با  
سیلیس - اسپیکولاریت (IOCG) واقع در منطقه شاهنگ، جنوب غرب خواف

پویا بشارتی<sup>۱\*</sup>، محمد مهدی ساعدی<sup>۱</sup>، محمد امین جعفری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته ژئوشیمی - دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

E-mail: pouya\_besharati@yahoo.com

چکیده:

محدوده اکتشافی شاهنگ در جنوب غرب شهرستان خواف در استان خراسان رضوی واقع شده است. اغلب واحدهای لیتولوژیک رخنمون‌یافته در این محدوده، واحدهای آذرآواری و گدازه‌های حد واسط هستند که توده نفوذی کیبرکوه با ماهیت کالک آلکالن در آنها نفوذ کرده است. کانه‌زایی مس غالباً به صورت شکاف پرکن، تحت تاثیر عملکرد گسل موازی نی‌بید با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق، در زون برشی و در ارتباط با سنگ‌های آتشفشانی، نیمه‌آتشفشانی و توده‌های نفوذی به سن ائوسن مشاهده می‌شود. این سنگ‌ها به طور عمده شامل آندزیت، داسیت، دیوریت و مونزونیت می‌باشند که به شدت دگرسان شده‌اند. دگرسانی کلریتی، سیلیسی، سربسیتی، آرژیلیک و کربناتی مشاهده می‌شوند. کانه‌های هیپوژن شامل اسپیکولاریت، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت هستند. مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن به صورت ثانویه یافت می‌شوند. بررسی‌های ژئوشیمیایی، ناهنجاری‌های مس (Cu)، طلا (Au)، نقره (Ag)، سرب (Pb)، روی (Zn)، بیسموت (Bi)، کبالت (Co) و عناصر کمیاب (REE) را نشان می‌دهد. براساس ویژگی‌های زمین شناسی، آلتراسیون، کانی شناسی و ژئوشیمی، کانساز شاهنگ یک کانی سازی مس-طلا نوع IOCG است. مقایسه ویژگی‌ها این ناحیه با معادن بزرگ دنیا و ایران نشان می‌دهد که شباهت‌هایی با معدن مانته ورده شیلی دارد، ولی بیشترین انطباق آن با معدن قلعه زری ایران است.

کلمات کلیدی: ژئوشیمی، دگرسانی، کانساز مس-طلا (IOCG)، شاهنگ

**Geochemical surveying of Kaybar Kuh intrusive body and copper- gold mineralization evidences with silice- specularite (IOCG) in Shahang area, southwest of Khaf**

Pouya besharati<sup>1\*</sup>, Mohammad Mehdi Saedi<sup>1</sup>, Mohamad Amin Jafari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: Department of Geology, University of Kharazmi, Iran

<sup>2</sup>: School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Corresponding author e-mail: Pouya\_besharati@yahoo.com

**Abstract**

Shahang exploration area is located in the southwest of Khaf, in the Razavi Khorasan province. Most of the rock units exposed in the study area are intermediate pyroclastic and lava which are intruded by Kabir Kouh intrusive body and demonstrate chloritic, silicic, sericitic, argillic, and carbonate alteration. The intrusive body is I-type and calc-alkaline. Copper mineralization occurs as quartz veins by the structural controller in the form of vein

and breccias along the main fault in the contact of intrusive and volcanic- volcanoclastic rocks, such as Ney Bid Fault. Hypogene minerals include specularite, chalcopyrite, pyrite, bornite, Malachit, azurite, iron oxide are found as secondary minerals. Geochemical investigations revealed anomalies of Cu, Au, Ag, Pb, Zn, Bi, Co, and REE. Based on geological, alteration, mineralization, and geochemistry, the Shahang exploration area is an IOCG type copper-gold deposit. Comparison between this area and giant mines in the world and Iran indicate similarities with Monto Verde (Chile), but it is most similar to Qaleh- Zari mine in Iran.

**Keywords:** Geochemistry, Alteration, copper- Gold deposits (IOCG), Shahang

#### مقدمه:

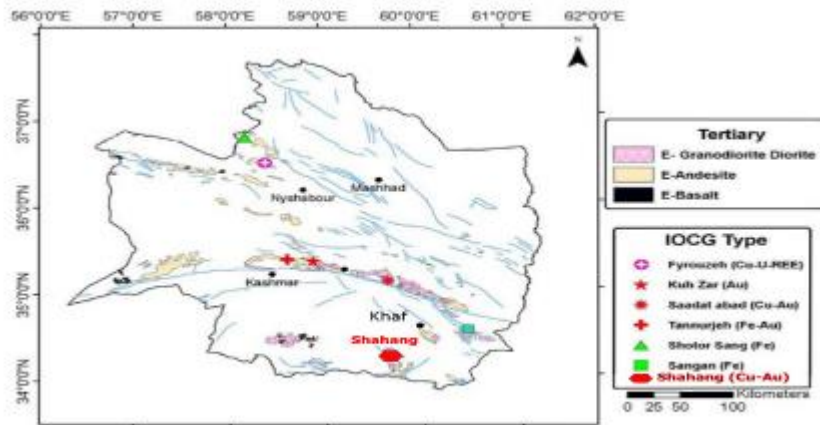
در سال‌های اخیر نوع جدیدی از کانسارهای آهن به نام کانسار اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) توسط هیتزمن و همکاران (۱۹۹۲) معرفی شده است. این نوع کانسار طیف گسترده‌ای از آهن و عناصر جانبی مانند فسفر (P)، اورانیوم (U)، بیسموت (Bi)، کبالت (Co)، عناصر نادر خاکی (REE)، مس (Cu)، طلا (Au)، نقره (Ag) و نیوبیوم (Nb) را شامل می‌شود (Karimpour et al., 2006). در تشکیل کانسارهای IOCG عملکرد سیالات گرمابی شدید معرفی شده است و منجر به دگرسانی‌های مختلف می‌گردد. یکی از شاخصه‌های مهم در این کانسارها دگرسانی سدیک-کلسیک است (Groves and et al., 2010).

#### روش مطالعه:

در بررسی پیش رو ۸۰ نمونه جهت آنالیز ۴۵ عنصری به روش ICP-OES و ICP-MS به آزمایشگاه LABWEST استرالیا ارسال گردید. ضمن اینکه ۴ نمونه به روش Fire-assy جهت تعیین میزان طلا در آزمایشگاه معدن طلای زرمهر تربیت حیدریه مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگی توده نفوذی کبیرکوه عناصر اصلی، فرعی، نادر خاکی در آزمایشگاه ACME کانادا انجام شده است.

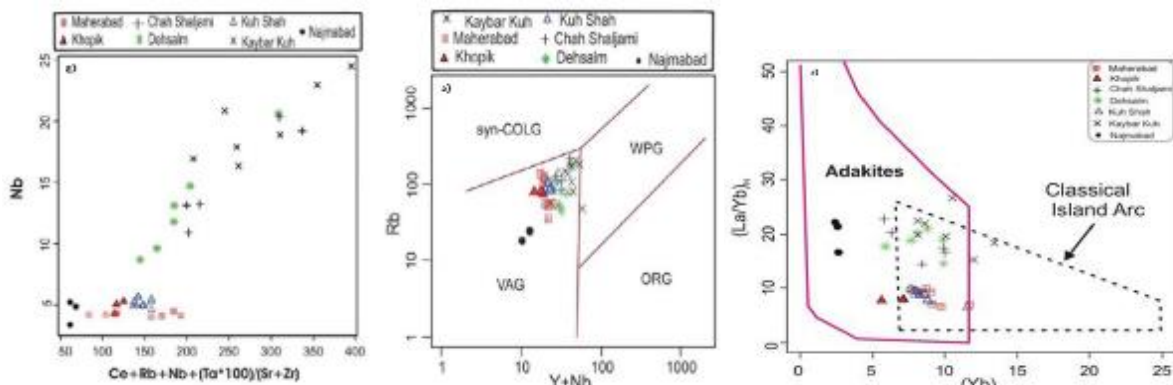
#### بحث:

منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۵۹ درجه، ۳۸ دقیقه و ۵۹ درجه، ۴۴ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه، ۹ دقیقه و ۳۴ درجه ۱۳ دقیقه و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان خواف در استان خراسان رضوی واقع شده است. بر اساس تقسیمات زمین‌شناسی ایران، منطقه شاهنگ در شمال شرق ایران مرکزی و در مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی ائوسن واقع شده است (شکل ۱). اغلب واحدهای لیتولوژیک رخنمون یافته در این محدوده، واحدهای آذرآوری و گدازه‌های حد واسط هستند که توده نفوذی کبیرکوه در آنها نفوذ کرده است (Adelpour et al., 2016). کانه‌زایی مس غالباً به صورت شکافه پرکن، تحت تاثیر عملکرد گسل موازی نی‌بید با روند شمال غرب-جنوب شرق، در زون برشی و در ارتباط با سنگ‌های آتشفشانی، نیمه‌آتشفشانی و توده‌های نفوذی به سن ائوسن مشاهده می‌شود (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2018). موقعیت توده نفوذی کبیرکوه در محدوده اکتشافی شاهنگ قرار دارد. به طور عمده شامل آندزیت، داسیت، دیوریت و مونزونیت می‌باشند که به شدت دگرسان شده‌اند (Samiee et al., 2019).



شکل ۱- تشکیلات زمین‌شناسی و موقعیت انواع کانسارهای IOCG در استان خراسان رضوی.

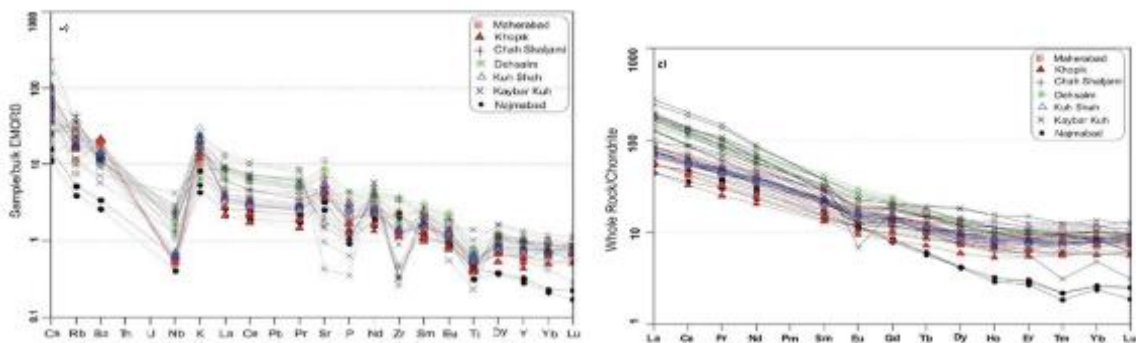
بر اساس مقادیر عناصر Nb، Yb و Rb موقعیت تکتونیکی توده نفوذی کبیرکوه، محیط کمرندهای آتشفشانی زون فرورانشی (VAG) است. در نمودار مقدار Nb در مقابل نسبت  $(Ce+Rb+Nb+(Ta*100))/(Sr+Zr)$  نمونه‌های توده نفوذی کبیرکوه دارای بیشترین مقدار Nb (۱۷ گرم در تن) هستند. عناصر Ta، Nb و Rb از عناصر فراوان در پوسته قاره‌ای هستند. تهی شدگی Nb از ویژگی‌های بارز ماگماهای مشتق شده از پوسته اقیانوسی در زون فرورانشی بوده و افزایش آن به اختلاط با پوسته قاره‌ای مرتبط است. مقادیر بالای Sr و مقادیر پایین Nb، Ta و Ti ممکن است مربوط به حضور هورنبلند و اکسیدهای آهن-تیتان مانند روتیل و ایلمنیت و عدم حضور پلاژیوکلاز در منشأ باشد. بنابراین ماگمای کبیرکوه بیشترین آرایش با پوسته قاره‌ای را نشان می‌دهند (شکل ۲). نمودار  $(La/Yb)_N$  در برابر مقادیر  $(Yb)_N$  نشان می‌دهد که نمونه‌های سنگی توده نفوذی کبیرکوه اکثراً در محیط مشترک ماگمای کالک‌آلکال با ماگمای آداکیتی واقع شده‌اند. ترکیب سنگ‌های آداکیتی را از هورنبلند آندزیت تا داسیت و ریولیت معرفی می‌کنند. مقدار نسبت  $(La/Yb)_N$  در کبیرکوه بیش از ۱۵ است. اما با وجود پایین بودن مقدار Sr (عمدتاً کمتر از ۴۰۰ گرم در تن)، بالا بودن نسبت  $K_2O/Na_2O$  و بی‌هنجاری منفی Eu با ماگمای آداکیتی متفاوت بوده و از نوع کالک‌آلکال نرمال است.



شکل ۲- تعیین موقعیت تکتونیکی توده نفوذی کبیرکوه در مقایسه با توده های نفوذی بلوک لوت.

نمودار عنکبوتی مقادیر عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت و پشته‌های میان اقیانوسی توده نفوذی کبیرکوه (شکل ۳) نشان می‌دهد که بی‌هنجاری منفی در عنصر Eu وجود دارد که می‌تواند به حضور پلاژیوکلاز به

عنوان کانی باقیمانده در منشا ذوب ماگمای سازنده نمونه‌های کبیرکوه مربوط باشد. مقدار کم Sr (۶۶ تا ۵۰۰ گرم در تن) در آنها نیز نشان دهنده حضور پلاژیوکلاز به عنوان فاز باقی مانده در منشا ماگمای منطقه کبیرکوه است.



شکل ۳- نمودار عنکبوتی مقادیر عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت و پشته‌های میان اقیانوسی توده نفوذی کبیرکوه.

با توجه به ارتباط سنگ‌های آتشفشانی منطقه شاهنگ با توده‌های نفوی، گسل‌ها و نفوذپذیری سنگ‌های آذرآواری شکل و گسترش زون‌بندی‌ها مختلف است. بر اساس شکل ۴ حداقل دو نوع دگرسانی در منطقه قابل مشاهده است. ۱- مجموعه دگرسانی‌های همراه با توده‌های نفوذی مونزونیتی-دیوریتی و توده‌های گرانیتی در سنگ‌های آتشفشانی به شکل زون‌بندی‌های کوارتز-سریسیت-پیریت، کوارتز-سریسیت، آرژیلیک-کربنات، کلریت-سیلیسی، پروپیلیتیک مشاهده می‌شود.  
 ۲- مجموعه زون‌های دگرسانی همروند با گسل‌های اصلی منطقه شامل دگرسانی سیلیسی، کلریت-اکسید آهن-سیلیسی-سریسیت، آرژیلیک می‌باشند.

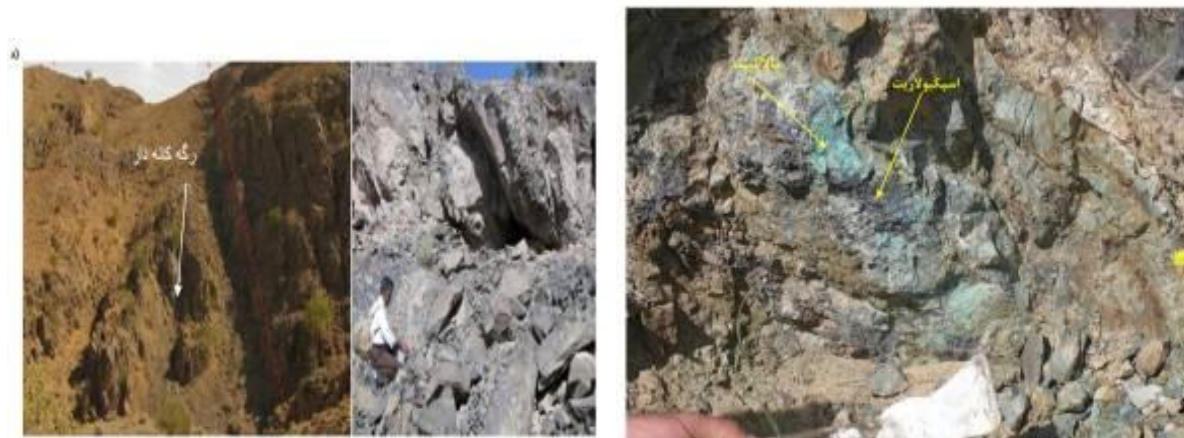


شکل ۴- نمایی از دگرسانی‌های غالب منطقه مورد مطالعه.

کانه‌زایی در منطقه به دو صورت دیده می‌شود. نوع رگه‌ای که در شکستگی‌ها و گسل‌ها رخ داده است. نوع پراکنده که بصورت افشان و پراکنده در سنگ میزبان دیده می‌شود. در منطقه شاهنگ صورت رگه‌ای فراوان‌تر از نوع افشان و در سنگ‌های ولکانیکی-پیروکلاستیک دگرسان شده رخ داده است. کانه‌زایی در طی سه مرحله و به صورت برش‌های هیدروترمالی، رگه و رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی، سیلیسی-سولفیدی-کربناته و رگه-رگچه‌های تأخیری با بافت نواری غنی از اسپیکولاریت و سیلیس رخ داده است. کانی‌های گانگ اصلی، کوارتز، اکسید آهن، کلریت و کربنات است. در کانه‌زایی نوع برشی در حاشیه رگه‌ها، برش‌های هیدروترمالی به چشم می‌خورد. قطعات آن از سنگ دیواره، سیلیس و سیمان آنها غالباً اکسید آهن و کربنات است. کانه‌زایی پیریت به صورت سولفید افشان در رگه‌های سیلیسی دیده می‌شود که توسط محلول‌های هیدروترمالی ایجاد شده است. با ایجاد دگرسانی بسیار گسترده عمدتاً سیلیسی-لیمونیتی-هماتیت رنگ زرد مایل به قهوه‌ای را در منطقه ایجاد نموده است. کانه‌زایی مالاکیت، کالکوپیریت، بورنیت، پیریت و اولوژیسیت در محل تقاطع زون گسلی (خط چین قرمز محل گسل می‌باشد) و بصورت تناوب مالاکیت با گوتیت را نشان می‌دهد. هماتیت توزیع نامتجانس داشته و بصورت موضعی در بعضی قسمت‌های فضای خالی را توسط سیالات هیدروترمالی پر نموده است. پیریت به شکل پراکنده و به مقدار کم دیده می‌-



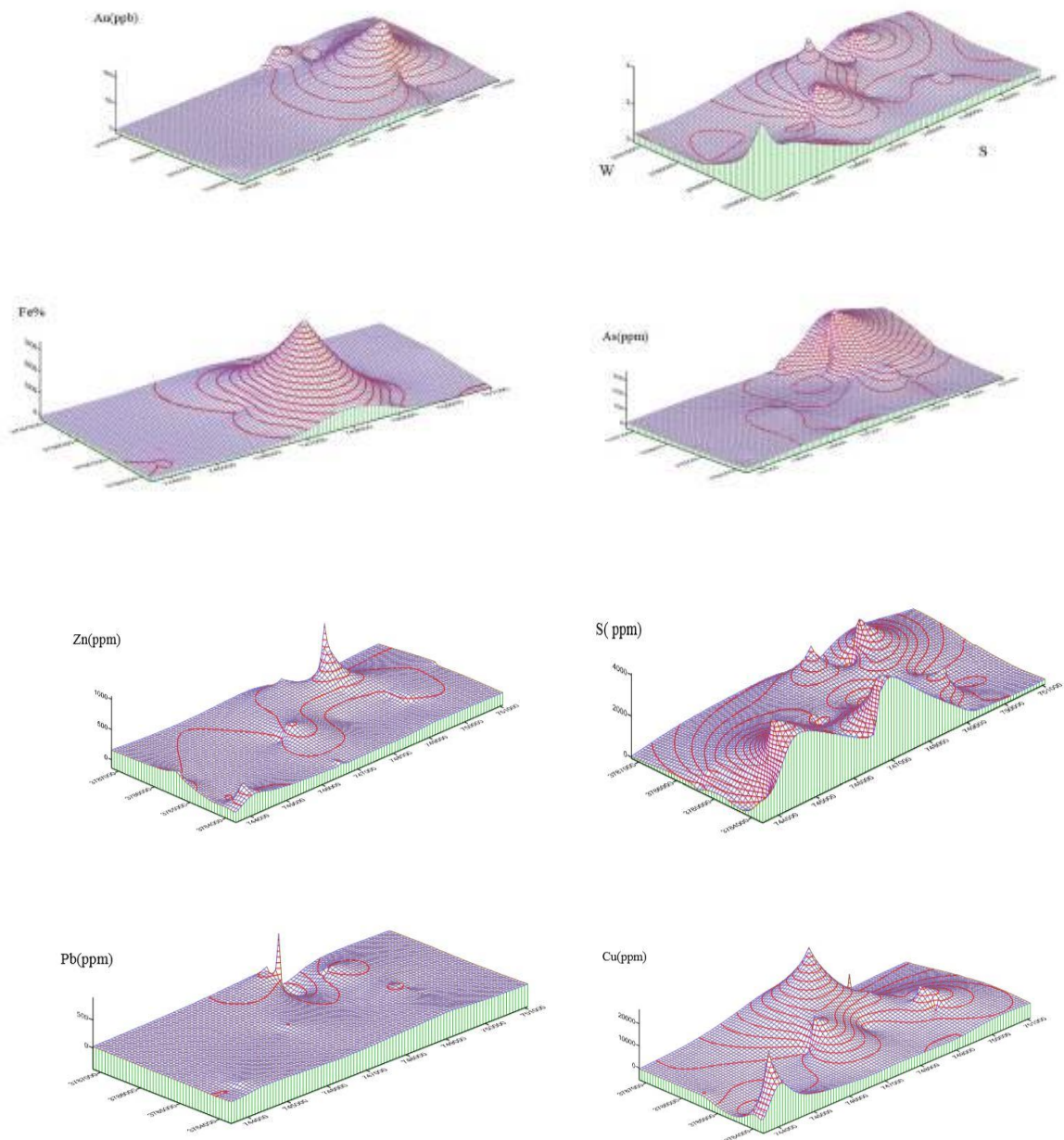
شود. در تصاویر مقطع میکروسکوپی، کانی گوئیت بصورت پseudomorph ناشی از پیریت بوده و عیناً شکل آن را حفظ نموده است. در نتیجه نمونه مربوط به سطح فوقانی کانسار و ناحیه اکسیداسیون است. هماتیت نیز در مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود. وجود طلا در دو کانی گوئیت و هم هماتیت محرز است. نتایج آنالیز به روش فایر اسی (عیار طلا در نمونه برداشتی ۲۰۰ پی پی بی) آن را تأیید می‌کند. وضعیت دگرسانی گوئیت و ژاروسیت ناشی از اکسیداسیون سولفیدها در پایین دست رگ کانه‌دار در شکل ۵ مشاهده می‌شود. همچنین نمونه مورد مطالعه عموماً حاوی کانی‌های شفاف فلدسپات است. کانی‌های فلزی به صورت ذرات ریز پراکنده، اغلب بی‌شکل بوده و ترکیب عمدتاً هماتیت-مگنتیتی دارند. کانی‌های دارای تیغه‌های ریز اسپیکولاریت نیز وجود دارند. تجمعی از درشت بلورها مشاهده می‌شوند که اغلب به وسیله گوئیت کاملاً جایگزین شده‌اند. این قطعات از نوع پیریت بوده‌اند که شکل خاصی از آنها مشاهده نمی‌شود.



شکل ۵- نمایی از رگه کانه‌دار و کانه‌زایی اسپیکولار و ملاکیت در منطقه مورد مطالعه.

نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی عناصر مربوط به رخنمون‌های سنگی، زون‌های دگرسانی، رگه‌های کانه‌دار و رسوبات رودخانه‌ای اطلاعات ارزشمندی از ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی را در کنار اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی و مطالعات میکروسکوپی ارائه می‌دهد. میزان فراوانی  $\text{Cu}=2$  تا بیش از  $35000$  گرم در تن است. در غرب محدوده اکتشافی بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد. فراوانی  $\text{Ag}$   $0.1$  تا  $3.5$  گرم در تن متغیر است. بیشترین میزان را در مرکز محدوده اکتشافی و همراه با کانی‌سازی مس دارد. فراوانی  $\text{Au}$  بین  $1$  تا  $200$  میلی‌گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار طلا در شرق محدوده اکتشافی همراه با بیسموت به میزان  $200$  گرم در تن و در رگه‌های سیلیسی اسپیکولاریت‌دار متمرکز است. میزان فراوانی  $\text{As}$  بین  $1.5$  تا بیش از  $470$  گرم در تن متغیر است. در دو زون و در دو واحد دگرسانی پروپلیتیک و در پایین دست رگه‌های سیلیسی-اسپیکولاریتی فراوان‌تر است. میزان فراوانی  $\text{Fe}$  بین  $1.07$  تا بیش از  $31$  درصد متغیر است. در شمال شرق محدوده اکتشافی به صورت رگه‌ای از نوع کانی‌سازی اسپیکولاریتی و در مجاورت کانی‌سازی مس به صورت ملاکیت-کالکوپیریت، بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد. میزان فراوانی  $\text{S}$  بین  $50$  تا  $4300$  گرم در تن متغیر است. در دگرسانی آرژیلیتی-لیمونیتی و در مجاورت کانی‌سازی مس بیشترین فراوانی را دارد. فراوانی  $\text{Zn}$  بین  $9$  تا  $2100$  گرم در تن است. بیشترین فراوانی را در دگرسانی پروپلیتیک و در مجاورت کانی‌سازی مس و رگه‌های سیلیسی اسپیکولاریتی نشان می‌دهد. فراوانی  $\text{Pb}$  بین  $1.9$  تا  $3360$  گرم در تن متغیر است. بیشترین میزان را در محل تقاطع گسل‌ها و در مجاورت کانی‌سازی مس دارد. فراوانی  $\text{Mo}$  بین  $0.86$  تا  $42.2$  گرم در تن است. بیشترین میزان را در رگه‌های سیلیسی اسپیکولاریتی دارد. بیشترین مقدار  $\text{Bi}$   $200$  گرم در تن واقع در شرق محدوده اکتشافی در رگه کانه دار به همراه طلا دیده می‌شود. بیشترین میزان  $\text{La}$   $79$  گرم در تن و در مرکز محدوده اکتشافی و در

زون دگرسانی وسیع گوتیت، ژاروسیتی ناشی از اکسیداسیون سولفیدها دیده می شود. فراوانی P بین ۵۶ تا ۲۲۰۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار فسفر در رگه کانه دار هماتیت- پیریت وجود دارد. میزان فراوانی Co بین ۴,۴ تا ۱۲۸ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار آن در رگه کانه دار سیلیسی به همراه کالکوپیریت و پیریت وجود دارد. میزان فراوانی Nb بین ۱ تا ۸۲ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار نئوبیوم در غرب محدوده اکتشافی و در رگه کانه دار سیلیسی به همراه کالکوپیریت و پیریت وجود دارد. میزان فراوانی U بیشترین مقدار اورانیوم ۴,۲ گرم در تن و مربوط به شرق محدوده اکتشافی و در رگه کانه دار سیلیسی به همراه اسپیکیولاریت با بافت نواری وجود دارد. میزان فراوانی Rb بیشترین مقدار روبیدیوم ۱۶۰ گرم در تن است که در شرق و مرکز محدوده اکتشافی دگرسانی گوتیت و ژاروسیتی ناشی از اکسیداسیون سولفیدها و رگه های هماتیته دیده می شود (شکل ۶).



شکل ۶: آنومالی های عناصر طلا، آهن، نقره، آرسنیک، روی، گوگرد، سرب و مس در منطقه مورد مطالعه.

### نتیجه گیری

وجود رگه های سیلیسی- اسپیکولاریتی با منشا گرمایی، حضور مس و طلا  $\pm$  نقره و مقدار اندک عناصر REE و U، Rb و Se زون های دگرسانی، نوع ماگماتیسم مرتبط با فرورانش با ترکیب کالک-آلکانل، کانی سازی به صورت برشی، رگه و رگچه‌ای، افشان نواری غنی از اکسید آهن و اسپیکولاریت همراه با مقادیر قابل توجهی سولفید مس و پیریت، مقادیر اندک Ti در هماتیت، تمرکز رگه‌های کانه‌زایی در زون برشی و گسل‌ها و وجود توده نفوذی از نوع دیوریت و گرانودیوریت مرتبط با کانه‌زایی منجر به پیشنهاد الگوی کانه‌زایی از نوع IOCG برای محدوده اکتشافی شاهنگ می‌گردد. با توجه به ویژگی‌های مهم کانسارهای IOCG که در جدول ۱ مشخص شده است و انطباق مشخصه‌ها با کانسارهای مهم ایران و دنیا، مجاورت کانسار شاهنگ به معدن بزرگ سنگان (۹۰ کیلومتری جنوب غربی) و کمر بند خواف-درونه (کمر بند تیپ کانساری IOCG) و همچنین سایر مناطق دارای اندیس مس در پهنه بلوک لوت مثل کانسار قلعه‌زری، می‌تواند تاییدکننده مدل کانسار شاهنگ از نوع IOCG باشد.

جدول ۱. ویژگی کانسارهای IOCG

محیط تکنونیک	حاشیه قاره‌ها، محیط های فرورانش مرتبط با کمر بند
محدوده سنی	پالئوپروتروزویک تا پلیوسن - پلیستوسن
سنگ میزبان	بسیار متنوع از سنگ های ولکانیکی کالک آلکانل .
ژئومتری	توده های غیر همشیب، رگه ای، توده ای، داریستی
کانی شناسی	مگنتیت، هماتیت، آپاتیت، پیریت، کالکوپیریت، دگرسانی
ساخت و بافت	نواری، توده ای، جانشینی
عوامل	مناطق برشی، شکستگی ها
ماگماتیسم	ماگماتیسم فلسیک تیپ I و A
عناصر ردیاب	Cu, Au, U, Ag, Mo, Co, Bi, Pb, Ni, Zn, Ba
نحوه تشکیل	عدم امتزاج مذاب سیلیکاته و اکسیدی، سیالات
منابع	Hitzman et al. 1992, 2001
	کریم پور، ۱۳۸۴، ۱۳۸۲

جدول ۲. مقایس ویژگی‌های مختلف کانه‌زایی مس شاهنگ با کانسارهای شناخته‌شده IOCG در دنیا و ایران.

نام کانسار	Cu%	Au (ppm)	کانه های هیپوزن	سنگ میزبان	سنگ نفوذی	شکل کانی سازی	آلتراسیون	فلزات همراه
مانته ورده (شیلی)	۰/۵۲	۰/۱۱	اسپیکولاریت، مگنتیت، پیریت کالکوپیریت	گدازه های آندزیتی-جازالتی	دایک های دیوریتی	رگه های یرشی - داریستی و برشی ماتو	سیلیسی، پتاسیک، کلریتی، سربیسیت، گرناتی	LREE
کاندلایا (شیلی)	۰/۹۵	۰/۲۲	مگنتیت، اسپیکولاریت، پیریت، کالکوپیریت، طلا	گدازه های آندزیتی-جازالتی	دایک های دیوریتی و داریستی	لاترو-رگه های برشی-جانشینی	پتاسیک، سیلیسی، کتینولیت، کلریتی، سربیسیت، گرناتی، آبیسی	Mo, LREE, Zn, As
المپیک دم (استرالیا)	۱/۶	۰/۶	مگنتیت، اسپیکولاریت، کالکوپیریت، پوریت، کالکوپیریت، پیریت	فلدسپات گرنایت	توده های گرانیتی	دیازرم برشی	آرنیک، پتاسیک، سربیسیت، کلریتی، گرناتی	Co, Ag, U, REE
ارنست هنری (استرالیا)	۱/۱	۰/۵۴	مگنتیت، اسپیکولاریت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، سولفوسالت	-	-	برشی	سیلیسی، پتاسیک، سربیسیت، کلریتی، گرناتی	Co, Mo, REE
الینا (هرو)	۲/۷	-	پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت	گابرو دیوریت و ولکانوسدیمنت	سیل های گرانودیوریتی	ماتو	مغیبول، اسکاپولیت	As, Zn, Mo, Co
مانته روسلس (هرو)	۱/۲	۶	پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت	گابرو دیوریت	گابرو دیوریت	رگه	اکتینولیت، ایدوت، کلریت، اسکاپولیت	Zn, Co, Mo, Pb
کوه زر (ایران)	ناچیز	۵	اسپیکولاریت، پیریت، مقادیر جزئی کالکوپیریت، پیریت، گالن	نازه ها و ولکانوکلاستیک های اسیدی ناخند وسط	مونزویت تا سیتوگرنایت	رگه، رگه های یرشی - داریستی	سیلیسی، کلریت، بندریت، سربیسیت و آرنیک	Ag, W, LREE
قلعه زری (ایران)	۱-۴	۰/۵-۳۵	اسپیکولاریت، پیریت، پتکوپیریت، گالن، اسکالیت، سولفوسالت	آندزیت - یازالت و شیل	توده های حد وسط در ناحیه	رگه	کلریتی، ایدوتی	Au, Ag, Cu
فیروزه نیساپور (ایران)	۰-۰/۳ ۰/۰۰۸	۱-۷۳	مگنتیت، اسپیکولاریت، پیریت، کالکوپیریت پوریت	آندزیت تا تراکیت	دیوریت تا سیت پروفیری	افشان، استوکورگ برشی	سیلیسی، آرنیک، گرناتی، بندریت، پروپلیتیک	U, Mo, LREE, As, Zn, Co, Nb, Th
خلط آید (ایران)	۰/۳-۳/۶	۰/۰۰۲	اسپیکولاریت، پیریت، کالکوپیریت، پوریت	گدازه های آندزیتی-جازالتی	دیوریت تا گرانودیوریتی	رگه استوک وورگ برشی افشان	سیلیسی، کلریت، سربیسیت و آرنیک	As, Au, Ag, Zn, Rb, Nb, Co, Pb, Se

منابع:

- کریم پور، م.ح.، ۱۳۸۴، کانی سازی Cu- Au همراه با مگنتیت- اسپیکیولاریت (IOCG) و مثال هایی از ایران، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، صفحات ۷۱۱ تا ۷۳۵.
- Adelpour, M., Rasa, I., Masoudi, F., & Hosseini, M. (2016). Determination of Mineralization Zones Using Interpretation of IP and RS Data in The GarmabCopper Deposit (South Khorasan province). *Journal of Economic Geology*, 8(1), 129-146.
- Hitzman, M. W., Oreskes, N., and Einaudi, M. T., 1992, Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu- U- Au- REE) deposits: *Precambrian Research*: 58, 241- 287.
- Hunziker, D., Burg, J.P., Bouilhol, P., von Quadt, A., 2015. Jurassic rifting at the Eurasian Tethys margin: geochemical and geochronological constraints from granitoids of north Makran, southeastern Iran. *Tectonics* 34, 571–593.
- Karimpour, M. H., & Malekzadeh Shafaroudi, A. (2006). Comparison of the geochemistry of source rocks at Tannurjeh Au-bearing magnetite and Sangan Au-free magnetite deposits, Khorasan Razavi, Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 13(1), 3-26.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. H., & Shaabani, S. (2018). Geology, mineralization and geochemistry of Pade-Bid iron occurrence, SW Bardaskan, South Khorasan province. *Journal of Advanced Applied Geology*, 8(3), 51-62.
- Samiee, S., Ghaderi, M., & Zirjanizadeh, S. (2019). Geochemistry, Fluid Inclusion and Sulfur Isotopes Studies of Hydrothermal Breccia Gold Mineralization in the Khunik Area, Khorasan Jonoubi Province (Iran). *Journal of Economic Geology*, 11(3), 473-495.

## بررسی میانبارهای سیال کانی باریت (سرب) کانسار زیاران، کرج

مهری بهرامی<sup>۱\*</sup>، حسن زمانیان<sup>۲</sup>، علیرضا الماسی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه لرستان

۲- استاد، بخش علوم پایه، دانشگاه لرستان

۳- استادیار، بخش علوم پایه، دانشگاه لرستان

Maryamoom.98@gmail.com

### چکیده:

کانسار سرب باریت زیاران با روند شرقی غربی و در بخش جنوب-جنوب غربی البرز مرکزی در ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب تهران و ۲۵ کیلومتری غرب طالقان در پهنه ی ساختاری-رسوبی البرز مرکزی واقع شده است. ساختمان منطقه معدنی، یک تاقدیس مرتبط با گسل راندگی است که هسته آن از واحدهای کربناتی-آذرآواری کرتاسه زیرین و یالهای آن به ترتیب از واحدهای تخریبی-کربناته سازند زیارت و آتشفشانی-آذرآواری و رسوبی سازند کرج تشکیل شده است. واحدهای سنگی آن از نوع رسوبی-آتشفشانی که کانی‌زایی باریت در سنگ میزبان دولومیتی به صورت رگه‌ای، پرکننده‌ی فضای خالی و برشی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه پاراژنز کانیایی گالن، باریت، پیریت و کوارتز به چشم می‌خورد. نتایج به دست آمده از مطالعات میکروترموتری کانی کوارتز بیانگر آن است که دامنه‌ی دمای همگن‌شدگی ۵۰ تا ۳۲۹ درجه سانتی‌گراد، محدوده‌ی دمای ذوب یخ بین ۰/۹- تا ۷- درجه‌ی سانتی‌گراد تعیین گردید که گویای شوری ۰/۹ تا ۱۰ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. با توجه به نمودار دمای همگن‌شدگی و شوری میانبار سیال و مقایسه با نمودار پایه ویلکینسون ژنز کانسار زیاران از نوع اپی‌ترمال می‌باشد.

کلیدواژه: (میانبار سیال، باریت، زیاران، کرج)

## The study fluid inclusions of minerals Barite (pb) deposit ziyaran, Karaj

Mehri Bahrami; Hasan Zamanian; Alireza Almasi

### Abstract

The Ziyaran Barite (lead) deposit is located 110 km northwest of Tehran and 25 km west of Taleghan and in the central Alborz zone. Volcanoes in which barite mineralization in dolomitic host rocks has taken place in the form of veins, veinlets and plasticizers fill the empty space The mineralogical composition of this deposit includes galena, sphalerite, quartz barite calcite which are seen as paragenesis. The results obtained from microthermometric studies of quartz mineral indicate that the homogenization temperature range is 50 to 329 ° C, range The melting temperature of ice was determined between -7 to -0.9 degrees ° C, which indicates a salinity of 0.9 to 10 percent by weight equivalent to NaCl And according to and the temperature diagram of homogeneity and salinity of the fluid and the comparison with the base diagram of Wilkinson's genus is the epithermal type of Ziyaran deposit.

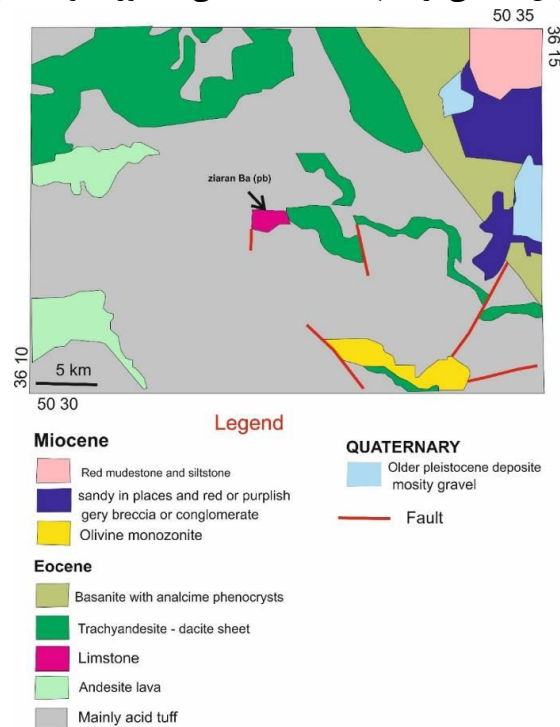
### مقدمه:

باریت و سرب از جمله فلزات دارای تاریخچه طولانی هستند که بشر از سالیان دراز مورد استفاده قرار داده است. سرب به دلیل مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاص دارای سابقه طولانی‌تری می‌باشد (بهینا مهدی، ۱۳۷۹). باریت عموماً در طبیعت به شکل رگه‌ای و لایه‌ای و برجای مانده یافت می‌شود و نهشت باریت می‌تواند در اثر کاهش دما و یا فشار، کاهش فعالیت لیگاندها و تغییر در اسیدیته سیال و یا تغییر غلظت بعضی از اجزا رخ دهد (Jones et al, 1992). و سرب یکی از نرم‌ترین فلزات سنگین است که به علت نقطه ذوب پائین و خاصیت چکش خواری امکان ذوب و شکل‌دهی به آن بلافاصله پس از استخراج از معدن میسر است.

مطالعه میانبارهای سیال می‌تواند اطلاعات جامعی را در ارتباط با چگالی، فشار، دما، عمق، شوری، نوع کانه‌زایی، و مقدار مواد محلول در سیال را فراهم نماید (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985). که رایج‌ترین روش برای محاسبه ترکیب شیمیایی و شوری میانبارهای سیال، آزمایش گرمایش-سرمایش است. از طرفی در تشکیل ذخایر فلزی، شوراب‌ها نقش بسیار مهمی دارند و هر سامانه کانه‌زایی دارای شرایط ترمودینامیکی و فیزیکوشیمیایی متفاوتی است (Hitzman, 2000). لذا مطالعه میانبارهای سیال به عنوان بازمانده‌های دیرینه شوراب‌ها در شناسایی و چگونگی تشکیل این نوع ذخایر ارزش بالایی دارند. در این پژوهش کانسار باریت (سرب) زیاران در ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب تهران و ۲۵ کیلومتری غرب طالقان با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه ۳۲ دقیقه و عرض ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی مورد مطالعه قرار گرفته است، و با توجه به نتایج نمودار دمای همگن‌شدگی و شوری میانبار سیال در این مطالعه و مقایسه با نمودار پایه ویلکینسون ژنز کانسار زیاران از نوع اپی ترمال می‌باشد.

### زمین شناسی منطقه:

کانسار باریت (سرب) زیاران در غرب طالقان در زون البرز مرکزی که یکی از کمربندهای فلزایی سرب-روی-باریت با میزبان رسوبی ایران است، واقع شده است. سیمای تکتونیکی منطقه مرتبط با چین‌خوردگی‌ها گسل‌های راندگی و طالقان می‌باشد که تغییرشکل و نازک‌شدگی پوسته و گسلش‌های راندگی، تنها به سازند کرج که به سن ائوسن است محدود می‌شود. سنگ‌های منطقه عمدتاً رسوبی شامل آهک، سنگ‌های کربناته، مادستون و آهک متبلور شده (دولومیت)، و ماسه و سیلت و کمی آتشفشانی شامل توف‌های اسیدی، تراکی اندزیت داسیت بازانیت با فنوکریست‌های آنالسیم مونزونیت می‌باشد. سنگ‌های آهکی به واسطه واکنش‌پذیری، میزبان مناسبی برای نهشت ماده‌ی معدنی به صورت توده‌ای می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (با تغییرات (Anells et al, 1997)

### روش مطالعه:

در این مطالعه پس از بررسی‌های صحرایی و تفکیک واحدهای سنگی از مناطق کانه‌دار، جهت مطالعه و بررسی‌های سیالات درگیر ۵ مقطع نازک دوبر صیقل انتخاب، سپس توسط میکروسکوپ پلاریزان پتروگرافی میانبارهای سیال موجود در کانی کوارتز مورد بررسی، و در نهایت با استفاده از دستگاه THMS 600 مدل Linkam که دارای دو کنترل‌کننده گرمایش-سرمایش

(TP temperature control-LNP freezing control) بر روی میکروسکوپ ZEISS مجهز به دوربین عکس برداری و فیلم برداری است، ثبت تغییرات فازی روی میانبارهای سیال اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان انجام گردید.

### بحث:

#### کانی شناسی:

برای تعیین ترکیب کانی شناسی در کانسار باریت زیاران، بررسی های صحرایی و مطالعات کانی شناسی و پتروگرافی انجام شد. کانسنگ باریت به صورت رگه و برشی و به صورت توده ای در منطقه تحت تاثیر نیروی تکتونیکی موجود در منطقه قرار گرفته و به شدت خرد و شکسته شده اند، به طوری که این شکستگی ها سبب آماده سازی زمین برای نفوذ سیالات گرمایی در مراحل بعد از تشکیل کان سنگ و ته نشینی کانه های فلزی شده اند. کانسنگ باریت مورد هجوم محلول های کانه دار واقع شده اند. در منطقه مورد مطالعه به همراه کان سنگ باریت طیفی از کانه های فلزی وجود دارند که شامل سرب، آهن و اکسیدهای آهن می باشد. ترکیب کانی شناسی این کانسار شامل باریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، به همراه کربنات های مس کلسیت و کوارتز است، که به صورت پارائنز دیده می شوند. باریت به عنوان فاز غالب در منطقه می باشد و کانی های کالکوپیریت، گالن داخل درز و شکاف های موجود در کان سنگ در برخی موارد سنگ دیواره، اطراف رگه را پر کرده اند (شکل ۲ و ۳).

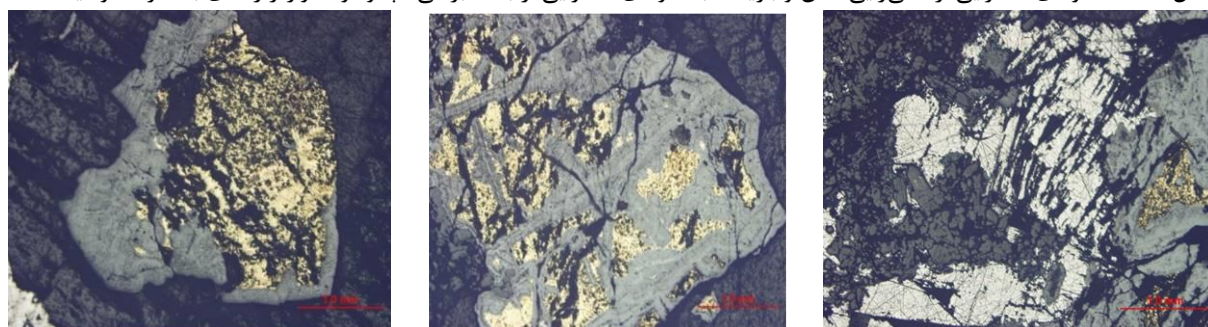


پ

ب

الف

شکل ۲: (الف) نمونه ی صحرایی از کانی زایی گالن و باریت. (ب) نمونه ی صحرایی از بافت برشی. (پ) وجود کوارتز رگه ای به همراه سولفیدها.



پ

ب

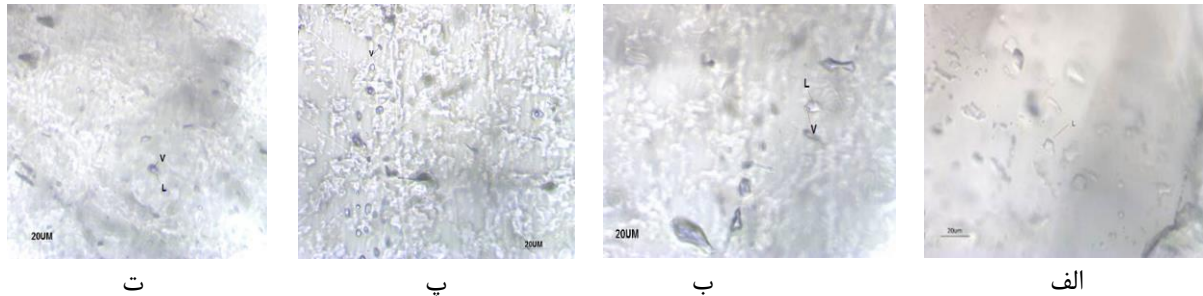
الف

شکل ۳: (الف): پارائنز گالن، پیریت و کانی زایی آن با سرسیت. (ب) پیریت های پراکنده در متن سنگ و هماتیت. (پ) پیریت در حال تجزیه به گوتیت

#### پتروگرافی میانبارهای سیال:

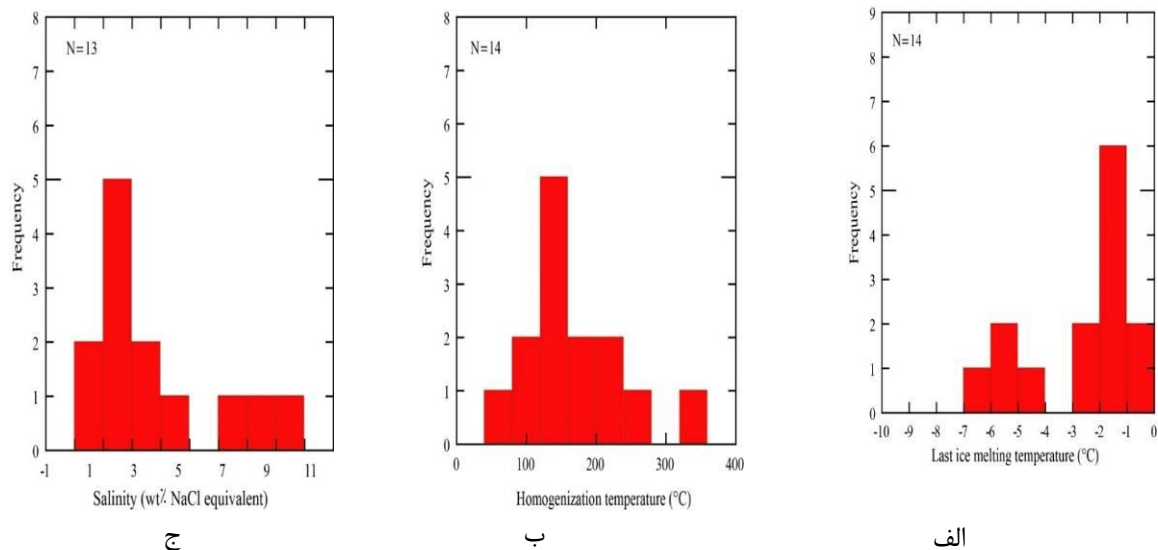
مطالعات پتروگرافی میانبارهای سیال توسط میکروسکوپ پلاریزان انجام شد. میانبارهای مطالعه شده به طور عمده از نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب، مطابق معیارهای (Rodder 1984) است. براساس مطالعات انجام شده میانبارهای سیال کانسار زیاران دارای

ابعادی از ۵ میکرون تا ۳۳ میکرون می‌باشد، اما بیش‌تر آن‌ها دارای اندازه‌ی کوچک‌تر از ۲۰ میکرون می‌باشند. اشکال مشاهده‌شده در میانبرهای سیال کوارتز کانسار زیاران به‌صورت اشکال نامنظم، کشیده، پهن و کروی و بیضوی می‌باشند. برطبق روش رده‌بندی بر مبنای ترکیب سیالات درگیر (Shepherd et al. 1985) چهار فاز به شرح زیر قابل تشخیص می‌باشد: تیپ A دوفازی (L+V) غنی از مایع، تیپ B دوفازی (L+V) غنی از گاز، تیپ C تک‌فاز مایع (L)، تیپ D تک‌فاز گاز (V) (شکل ۴).



شکل ۴: انواع میانبرهای سیال کانی کوارتز در کانسار زیاران (الف): دوفازی غنی از مایع. (ب): تک‌فازی مایع. (پ): دو فازی غنی از گاز ت: تک فازی گاز

هدف اصلی از مطالعات میکروسکوپی و ریز دماسنجی میانبرهای سیال، بازسازی ویژگی‌های PTV تشکیل بلور و کانه‌زایی و تعیین ژنز است. میکروترمومتری بر روی ۱۴ میانبر سیال اولیه و کمی میانبر سیال ثانویه در کانی کوارتز صورت گرفت. طبق مطالعات میکرومتری و با توجه به دیاگرام‌های شکل ۵ محدوده‌ی دمای ذوب یخ بین ۰/۹- تا ۷- (شکل ۵ الف) و دمای همگن شدگی ۵۰ تا ۳۲۹ درجه‌ی سانتی‌گراد (شکل ۵ ب) و میزان شوری بین ۰/۹ تا ۱۰ درصد وزنی نمک طعام (شکل ۵ پ) تشخیص داده‌شد بیش‌ترین فراوانی دمای همگن‌شدگی محدوده‌ی دمایی ۱۵۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است و شوری در محدوده‌ی ۱ تا ۳ بیشترین فراوانی را دارد (Roedder 1983).

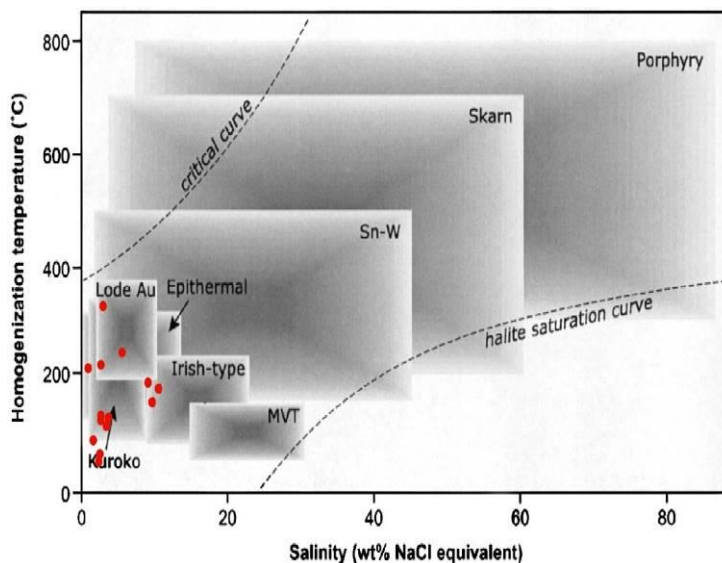


شکل ۵: (الف): ذوب بلور یخ. (ب): دمای همگن‌شدگی. (پ): شوری در میانبرهای سیال باریت زیاران.

براساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از دمای همگن‌شدن و شوری در انواع ذخایر، نموداری ترسیم نموده و در آن محدوده‌های ویژه‌ای را نشان می‌دهد، که منعکس‌کننده ویژگی اصلی سیالات درگیر در آن‌هاست (Wilkinson, 2001). بر اساس مقایسه



داده‌های حاصل از مطالعه سیالات درگیر و پلات کردن شوری در مقابل دمای همگن‌سازی محلول طبق نمودار پایه‌ای (Wilkinson, 2001) ذخایر باریت زیاران در محدوده ذخایر نوع اپی ترمال (epithermal-type) قرار می‌گیرند (شکل ۶).



شکل ۶: نمودار میزان شوری-دمای همگن‌سازی براساس (Wilkinson, 2001)

#### نتیجه‌گیری:

در بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی کانسار زیاران در ارتباط با چین‌خوردگی‌ها، گسل‌های راندگی طالقان است که باعث نازک‌شدگی این بخش از سازند کرج شده است و کانی‌سازی عمدتاً به صورت رگه‌ای، و پرکننده فضای خالی و فضاهای باز شکستگی، درز و شکاف‌ها و فضاهای انحلالی در سنگ میزبان کربناته انجام گرفته است. پارائز کانیایی این کانسار گالن، باریت، کلسیت و کوارتز می‌باشد نتایج به دست آمده از مطالعات میکروترمومتری کانی کوارتز بیانگر آن است که دامنه‌ی دمای همگن‌شدگی ۳۲۹ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد، محدوده‌ی دمای ذوب یخ بین ۰/۹- تا ۷- درجه‌ی سانتی‌گراد تعیین گردید که گویای شوری ۰/۹ تا ۱۰ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. با توجه به نمودار دمای همگن‌شدگی و شوری میانبار سیال و مقایسه با نمودار پایه ویلکینسون ژنز کانسار زیاران از نوع اپی ترمال می‌باشد.

#### منابع:

- بهینا، مهدی (۱۳۷۹)، روش‌های فرآوری سرب در ایران؛ سمینار کارشناسی ارشد؛ دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس.
- Annells, R., N. Arthurton, R. S., Bazelly, R. A. B., Davies, R. G., Hamed, M. A. R., Rahimzadeh, F. R., 1977, Geological Quadrangles map of Shakran, 1:100000
- Hitzman, M.W., Sagster, D., Allen, C.R., (2003). Classification, genesis, and exploration guides for nonsulphide zinc deposits. *Economic Geology* 98: 685-714.
- Jones Anthony e. Williams., schrijver kees., doig Ronald f., 1992 a model for epigenetic Ba-pb-zn mineralization in the Appalachian trust belt Quebec, evidence from fluid inclusions and isotopes. *Eocene. Geol.*, vo;87, pp.154-174
- Roedder, E., 1984 Fluid inclusions: Reviews in mineralogy, v, 12, 644p. Shepherd T., Rankin A. H., and Alderton D., (1985). A Practical Guide to Fluid inclusions Studies, Blackie, Glasgow., 239P.
- Wilkinson, J.J., (2001). Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit. *Lithos* 55: 229-72.
- Shepherd, T. J. , Rankin, A. N. , Alderton, D. H. M. , (1985): A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blacie & Son Press, London (238 s

## بررسی نحوه کانی سازی در کانسار سادات سیریز

عبدالله عباس زاده فتح آبادی<sup>۱\*</sup>، مهدی ایرانمنش<sup>۲</sup>، علیرضا شاکر<sup>۳</sup>، علی الهی<sup>۴</sup>  
۱- مجتبع آموزش عالی زرنده، کرمان (Abbaszadeh93geo@gmail.com)

### چکیده:

منطقه مورد مطالعه در استان کرمان و در فاصله‌ی ۱۵۰ کیلومتری شمال غرب شهر کرمان، ۷۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان زرنده و در ۱۲ کیلومتری غرب شهر سیریز واقع شده است. این منطقه در محدوده اکتشافی پوشش نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ راور و در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیریز قرار دارد. منطقه مورد مطالعه در شرق زون ساختاری-رسوبی ایران مرکزی و در زون ساختاری کاشمر-کرمان واقع شده است. اصلی ترین واحدهای رخنمون یافته در پهنه معدنی کانسار سیریز را واحدهای رسوبی سری کوهبنان تشکیل می دهند. سری مراد که به عنوان پی سنگ منطقه معرفی شده و تا حدودی دگرگون شده است. همچنین سازند شمشک با میان لایه های زغال دار و سازند داهو که گسترش چندانی در منطقه ندارند دیده می شود. وجود گسل های فعال در منطقه مورد مطالعه با امتداد شمال غرب-جنوب شرق حاکی از پویایی منطقه مطالعاتی دارد همین امر سبب می شود تا ما در این مقاله به بررسی نقش گسل ها و شکستگی های منطقه بر غنی شدگی آهن با استفاده از علم سنجش از دور و نرم افزارهای مربوطه نظیر انوی<sup>۵</sup> بپردازیم.  
(کلیدواژه: کانسار آهن، سنگ آهن سادات سیریز، گسل)

## A review of mineralization in Sadat Siriz mine

Abdollah Abbaszadeh Fathabadi<sup>1,\*</sup>; Mehdi Iranmanesh; Alireza Shaker; Ali Elahi  
1,\*\_ Abbaszadeh93geo@gmail.com

### Abstract

The case study is located in Kerman province within 150 km northwest of Kerman, 75 km Northwest of Zarand, and 12 km west Siriz city. In Geologic map of the area, this location is situated in the 1: 250,000 of Ravar and the 1: 100,000 of Siriz. This mine is located in the east of the structural-sedimentary zone of Central Iran, and the structural zone of Kashmar-Kerman. The main exposed units in the mineral panels of Siriz mine are the sedimentary units of Kuhbanan formation. Murad formation, which is known to be the basement rock of the region and is to some extent metamorphic. The Shemshak Sazand also have coal measures units and the Dahu sazand, which are not very widespread in the region. Active faults in the area, along northwest to southeast, indicates the dynamics of the study area. This article investigates the role of faults and fractures of the region on iron enrichment using remote sensing science and related software such as ENVI.

**Keywords:** Iron mining, Sadat Siriz iron ore, fault

مقدمه:

<sup>۵</sup> ENVI

سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زمین شناسی پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است و ابزاری سودمند در پروژه‌های اکتشافی برای زمین‌شناسان می‌باشد. ویژگی‌های بی‌نظیر این علم مانند تحت پوشش قرار دادن مناطق وسیع، کاهش وقت و هزینه و ... سبب اقبال به آن شده است. منطقه مورد مطالعه دارای گسل‌های ریز و درشتی است که احتمال تأثیر آن‌ها بر نحوه کانی سازی آهن در این محدوده معدنی می‌رود. محدوده معدنی سادات سیریز در زون ایران مرکزی واقع شده است. از ویژگی ساختاری این خرد قاره بلوک هابی با گسل‌های زیاد می‌باشد که از هم جدا شده اند که هریک از این بلوک‌ها دارای ویژگی‌های مجزا می‌باشند. این زون از شرق به غرب شامل بلوک لوت، بلوک طبس، و بلوک یزد می‌باشد (علوی، ۱۹۹۱). بلوک طبس و بلوک یزد به وسیله کمربندی کمانی شکل و از نظر ساختاری پیچیده با طولی نزدیک به ۶۰۰ کیلومتر معروف به زون تکتونیکی کاشمر-کرمان که معادل بلوک پشت بادام (آقاباتی، ۱۳۸۵) است جدا می‌شود. واحدهای سنگی این زون عمدتاً متعلق به اواخر نئوپروتریوزوئیک و پالئوزوئیک تحتانی است (رضانی و تاکر، ۲۰۰۳). معادن سنگ آهن مهمی در زون کاشمر-کرمان واقع شده است از جمله معدن سنگ آهن چغارت و سنگ آهن جلال آباد محدوده معدنی سادات سیریز نیز در این زون قرار گرفته است. کانسار آهن سادات سیریز از نوع اسکارنی است که در آن محلول‌های غنی از آهن درون سنگ‌های غنی از کربنات تزریق شده و اسکارن تشکیل شده است. کانی عمده این کانسار مگنتیت می‌باشد.

#### روش مطالعه:

مراحلی که در این پژوهش جهت تحقیق و بررسی طی شد به شرح زیر می‌باشد:

\_\_ مطالعات کتابخانه‌ای نظیر مطالعه نقشه‌های زمین شناسی و مقالات علمی

\_\_ مطالعات نرم افزاری و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

\_\_ مشاهدات و برداشت‌های صحرائی

#### موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

منطقه مورد مطالعه در استان کرمان و در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شمال غرب شهر کرمان، ۷۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان زرنند و در ۱۲ کیلومتری غرب شهر سیریز در محدوده‌هایی به طول جغرافیایی ۳۱،۰۲۰۵۹۶ و عرض جغرافیایی ۵۵،۸۰۴۴۹۷ واقع شده است. راه اصلی جهت رسیدن به معدن سنگ آهن سادات جاده آسفالت زرنند-سیریز-بافق می‌باشد. راه دسترسی دیگر ایستگاه راه آهن سیریز می‌باشد که در ۱۲ کیلومتری از این محدوده قرار گرفته است (شکل ۱).

#### زمین شناسی منطقه

کانسارهای آهن مهمی توسط فرآیندهای رسوبی، گرمایی و آذرین تشکیل شده‌اند که یکی از انواع آن کانسارهای آهن اسکارنی است (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۷۴). کانسار آهن سادات سیریز نیز از نوع اسکارنی است که در آن محلول‌های غنی از آهن درون سنگ‌های غنی از کربنات تزریق شده و اسکارن تشکیل شده است. این کانسار عمدتاً حاوی کانی مگنتیت است و رخنمون‌های بسیاری از آن در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. کانسارهای اسکارنی آهن شامل کانسارهای اسکارنی منیزیمی که بطور معمول با گرانیت یا گرانودیوریت همراه هستند و کانسارهای اسکارنی کلسیمی که با توده‌های نفوذی با ترکیب گابرو، دیوریت و سینیت همراه هستند، می‌باشند. اسکارن آهن در همبری گرانیت سیریز با سنگ آهک دولومیتی سرشار از آهن قرار دارد. این اسکارن از فلوگوپیت، مگنتیت، هماتیت، آمفیبول تشکیل شده است. از نقطه نظر زمین‌شناختی، ماده معدنی در قالب رگه، عدسی و پهنه‌های آهنی عمدتاً در مرز همبری میان توده‌های کربناته (دولومیتی)-

آواری (شیل) کامبرین (عمدتاً واحد توالی اول کوهبنان) جای گرفته و روند غالب شمال غربی-جنوب شرقی دارد. در همبری توده نفوذی سیریز با دولومیت کوهبنان سنگ‌های دگرنهادی سبز رنگی تشکیل شده که غنی از فلوگوپیت، مگنتیت، همتیت، آمفیبول هستند و بطور کلی این واحد دگرنهادی (متاسوماتیت) میزبان عمده کانی‌سازی آهن در پهنه‌های همبری است.

### توده نفوذی گرانیتوئید سیریز

توده نفوذی گرانیتوئید در غرب سیریز با ترکیب سنگ‌شناسی بین آلکالی‌گرانیته تا آلکالی‌سینیت است که به وسعت ۱۲ کیلومترمربع رخنمون دارد. تشکیل اسکارن آهن و همچنین مرمر با نفوذ این توده‌ی نفوذی در سنگ آهک‌های دولومیتی سازند کوهبنان بوده است (Zia, 2004). این توده در سطح بسیار خرد شده است و در آن نوعی ساختار شبیه لایه‌بندی دیده می‌شود.

### بررسی ساختاری منطقه مورد مطالعه

از آنجایی که منطقه مطالعاتی سیریز تحت تأثیر فازهای کوهزایی متعدد قرار گرفته است دارای پدیده‌های ساختاری فراوانی است. از مهمترین گسل‌هایی که در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند و در فاصله‌ی کمی از آن قرار گرفته‌اند می‌توان به دوگسل بزرگ رشته کوه داوران، بافق-باغین در شرق و گسل داوران در غرب منطقه اشاره کرد. زمین شناسی ساختاری منطقه و پیچیدگی‌های آن تا حد زیادی تحت تاثیر فعالیت و پویایی این دو گسل است. با توجه به بازدیدهای میدانی می‌توان گفت تقریباً اکثر آبراهه‌هایی که در محدوده‌ی معدنی وجود دارند گسل‌های ریز و درشتی هستند که آن‌ها را ایجاد کرده‌اند و در این بخش سعی شده با توجه به گسترش زیاد پهنه‌های گسلی کوچک و متوسط و عدم امکان مطالعه و نامگذاری تمامی آن‌ها تنها به توصیف برخی از پهنه‌های گسلی اصلی و موثر در محدوده‌ی منطقه‌ی اکتشافی بپردازیم. از نشانه‌های پویایی گسل بافق باغین می‌توان به انشعابات از این گسل که رسوبات عهد حاضر را قطع نموده‌اند اشاره کرد.

### بحث:

با توجه به اینکه بسیاری از کانسارها تشکیل و میزان تجمع آن‌ها تحت تأثیر جایگاه زمین‌ساختی آن‌ها است و نظر به اینکه اغلب کانه‌زایی‌های منطقه از جمله معدن سنگ آهن جلال آباد و معادن سنگ آهن بافق که در زون تکتونیکی کاشمر-کرمان و در نزدیکی این کانسار واقع شده‌اند و در آن‌ها کانه‌زایی در ارتباط با ساختارهای خطی به ویژه گسل‌ها می‌باشند، لذا مطالعه موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر ساختاری می‌تواند در اکتشاف مواد معدنی و برداشت صحیح آن‌ها مفید واقع شود. تهیه‌ی نقشه گسل‌های منطقه مطالعاتی با استفاده از علم سنجش از دور و تطبیق آن با مطالعات صحرایی و میدانی یک روش بسیار مفید و کاربردی است که در مقایسه با روش‌های سنتی دارای مزیت‌های زیادی از جمله کم‌هزینه بودن، دسترسی آسان به مناطق صعب‌العبور و... می‌باشد. در این پژوهش جهت شناسایی خطواره‌های موجود در منطقه مطالعاتی سیریز از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده استر مربوط به سال ۲۰۰۶ و قبل از شروع عملیات معدنی، استفاده شده است. استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای امروزه به سه شکل: خودکار، نیمه خودکار و دستی می‌باشد. از میان روش‌های ذکر شده جهت بارزسازی خطواره‌ها، روش‌های دستی دارای نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری هستند. در این تحقیق نیز از روش‌های دستی و اعمال

فیلترهای مناسب جهت بارزسازی خطواره‌ها مانند فیلترهای سابل<sup>۶</sup>، دایرکشنال<sup>۷</sup> و ... در نرم افزار انوی<sup>۸</sup> بر روی تصاویر استفاده شده است (شکل ۲). در مرحله بعد خروجی‌های تصاویر از نرم افزار انوی، جهت بارزسازی و ترسیم دستی خطواره‌ها وارد محیط نرم افزار GIS شدند و در نهایت نقشه گسل‌های منطقه ترسیم شدند.

### نتیجه‌گیری:

با توجه به داده‌های سنجش از دور و مشاهدات صحرایی و تطبیق این داده‌ها با یکدیگر مشخص گردید که ارتباط قابل قبولی بین مطالعات دورسنجی و گسل‌های برداشت شده با نحوه کانی‌سازی در محدوده‌ی معدنی وجود دارد. نقشه گسل‌ها و شکستگی‌ها حاصل از مطالعات دورسنجی و مشاهدات میدانی نقش مهمی در شناسایی نقش شکستگی‌های موجود در انتقال جریان سیال‌ها و کنترل کانی‌سازی توسط محلول‌های گرمایی دارند. طبق تحقیقات لینگرن و همکاران<sup>۹</sup> (۱۹۸۱) اسکارن‌ها می‌توانند در طی سه مرحله تشکیل شوند: (۱) دگرگونی مجاورتی-شیمیایی همراه با جایگزینی ماگما (۲) متاسوماتیزم همراه با تبلور ماگما و تولید سیال کانه‌ساز (۳) دگرسانی پس رونده در طی مراحل آخر تبلور که با توجه به وجود برخی شواهد صحرایی نظیر متاسوماتیزم آلکان، که به احتمال زیاد در ارتباط با نفوذ سیالات گرمایی ناشی از فاز متأخر توده نفوذی سیریز است، که شکل و محل جایگیری عمده کانی‌سازی در مجاورت توده نفوذی با کربنات‌ها است در می‌یابیم که منشأ دگرنهادی (متاسوماتیک) اسکارنی برای این کانی‌سازی، به نسبت مدل‌های دیگر کانی‌سازی، از وجاهت منطقی بیشتری برخوردار است و وجود مگنتیت، پیروکسن، گارنت و اپیدوت شواهدی بر اثبات آن هستند.



شکل ۱: راه دسترسی به معدن سادات سیریز

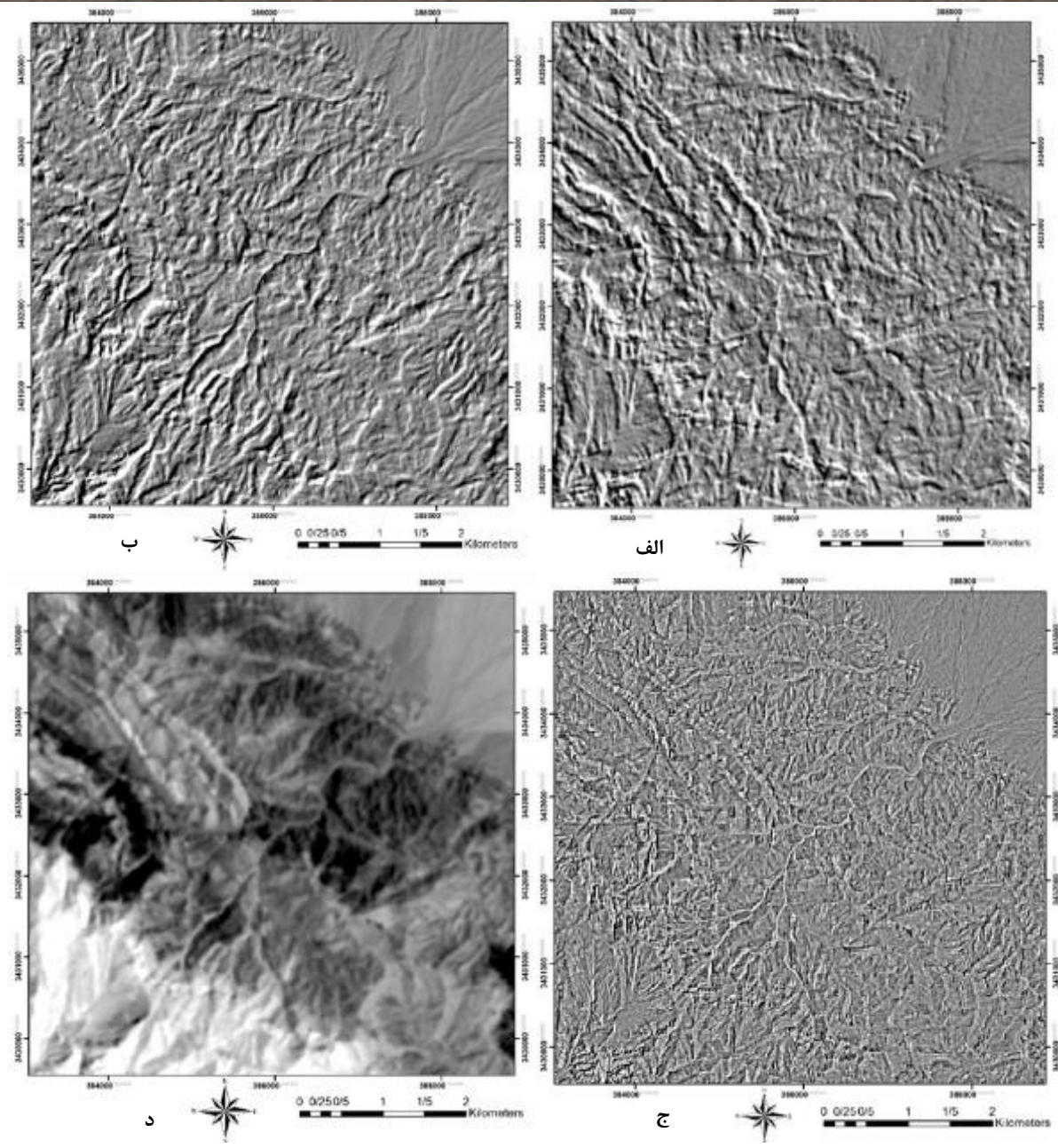
<sup>6</sup> Sobel

<sup>7</sup> Directional

<sup>8</sup> ENVI

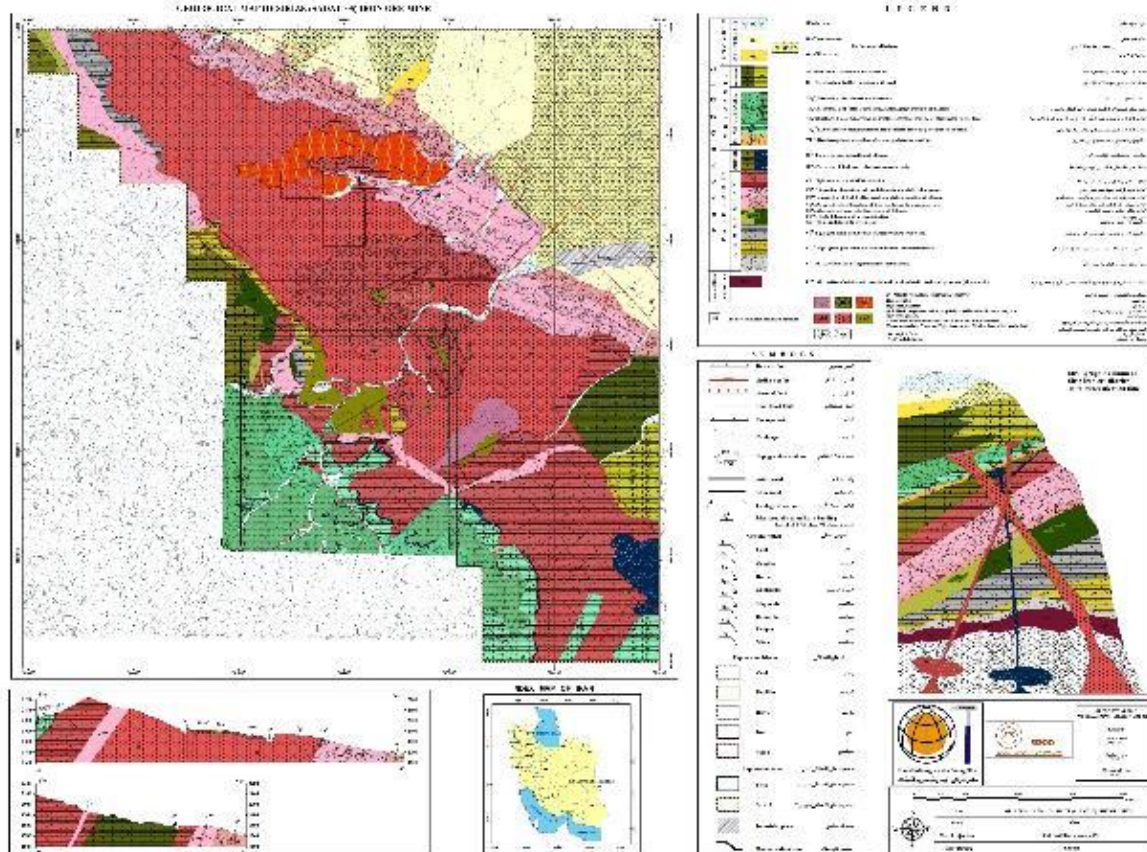
<sup>9</sup> Lindgren et al, 1981

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شکل ۲: بارزسازی گسل ها با فیلترهای الف) دایرکشنال<sup>۱۰</sup> ب) سابل<sup>۱۱</sup> ج) بالاگذر<sup>۱۲</sup> د) پایین گذر<sup>۱۳</sup> در نرم افزار انوی<sup>۱۴</sup>

<sup>10</sup> Directional  
<sup>11</sup> Sobel  
<sup>12</sup> High Pass  
<sup>13</sup> Low Pass  
<sup>14</sup> ENVI



شکل ۳: نقشه ۱:۱۰۰۰۰ معدن سادات سیریز

### منابع:

- آقا نباتی، ع. (۱۳۸۵) زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.  
 جعفرزاده‌الف، قربانی، م.، پزشکی پور، م.، ۱۳۷۴. زمین شناسی ایران، کانسارهای آهن، صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی. اکتشاف معدن کشور، ۲۱۸ ص.  
 معدن سنگ آهن سیریز، (۱۳۹۲)، "طرح استخراج ۱۵ ساله معدن سادات ۵ (سیریز ۱) زرد کرمان"، دفتر طراحی، شرکت مجتمع صنعت ذوب آهن جنوب شرق ایران، ۱۰۲ ص  
 Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the paleo-tethys in northern Iran. Geological Society of American Bulletin, 103, 983-992.  
 Haghypour, A., 1974- Etude geologique de la region de Biabanak-Bafq (Iran Central); petrologie et tectonique du socle Precambrien et de sa couverture: These, Universite scientifique et Medicale de Grenoble, France, 403 p.  
 Ramezani, g., Tucker, R.D., 2003, The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. American Journal of Science, 303:622-665.  
 Zia, H., 2004- Geological map of the siriz (Basab) area, 1:100000, Geological Survey of Iran, Tehran.

## پetroگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های اولترامافیک کمپلکس افیولیتی بشاگرد، زون مکران

علی اکبر بشکنی<sup>۱\*</sup>، بهزاد مهرابی<sup>۱</sup>، مجید قاسمی سیانی<sup>۱</sup>، عیسی متاجی امیررود<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

<sup>۱</sup>گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، مازندران، ایران

A.Beshkani@yahoo.com

### چکیده:

افیولیت ملانژ بشاگرد در زون مکران و در جنوب شرق ایران قرار دارد. قدیمی ترین سنگ‌های این زون را ملانژهای رنگین به سن کرتاسه پایانی تشکیل داده‌اند. سنگ‌های اولترامافیک موجود در افیولیت ملانژ بشاگرد شامل، پریدوتیت (دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت)، پیروکسنیت و هورنبلندیت هستند که در بین سایر لیتولوژی‌های منطقه قرار دارند. دونیت‌های منطقه نسبت به سنگ‌های دیگر در برابر هوازگی مقاومت کمتری دارند. غالب ترین دگرسانی سنگ‌های اولترامافیک، سرپانتینی شدن است. این سنگ‌ها تحت تاثیر تکتونیک منطقه نیز قرار گرفته‌اند که باعث خرد شدن و تشدید دگرسانی در بخش‌هایی از این سنگ‌ها شده است. بافت‌هایی نظیر جزایر باقیمانده اولیوین (پدیده رلیکت) در دونیت‌ها، بافت هولوکریستالین بلورهای خودشکل در هارزبورژیت‌ها، زونینگ و اکسولوشن پیروکسن در لرزولیت‌ها، باستیتی شدن ارتوپیروکسن‌های پیروکسنیت و تبدیل پیروکسن به هورنبلند با بافت پورفیری در هورنبلندیت، از ویژگی‌های شاخص پتروگرافی این سنگ‌هاست. براساس نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سنگ‌های پریدوتیتی، در مطالعه سری ماگمایی، متعلق به سری تولیتی با تیتان پایین و منشا آنها ذوب بخشی گویسته تهی شده است.

کلیدواژه: افیولیت ملانژ، سنگ‌های اولترامافیک، پریدوتیت، پیروکسنیت، هورنبلندیت.

## Petrography and geochemistry of ultramafic rocks of Bashagard ophiolite complex, Makran zone

Aliakbar Beshkani<sup>1\*</sup>, Behzad Mehrabi<sup>1</sup>, Majid Ghasemi Siani<sup>1</sup>, Eisa Mataji Amirrood<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Iran

<sup>2</sup>Department of Geology, Islamic Azad University- Chalous Branch, Iran

### Abstract:

Bashagard ophiolite melange is located in the Makran zone in the southeast of Iran. The oldest rock units of this zone are colored melange of the late Cretaceous age. The ultramafic rocks in the Bashagard ophiolite-melange include; peridotite (dunite, harzburgite and lherzolite), pyroxenite and hornblendeite, which are situated among other lithologies in the region. Dunites in the area are less resistant to weathering than other rocks. The most common alteration on ultramafic rocks is serpentinization. These rocks have also been affected by the tectonic activities, which has caused crushing and facilitating of alteration in part. Major petrographic textures are olivine relict texture in dunites, holocrystalline texture of automorph crystals in harzburgites, zoning and exsolution of pyroxene in lherzolites, bastitification of orthopyroxenes in pyroxenite and conversion of pyroxene to hornblende with porphyry texture in hornblendeite. In the classification diagrams of igneous rocks, the studied samples are in the range of peridotite composition, with low Ti-tholeitic nature which has been originated from a depleted source.

Key Words: Ophiolite melange, Ultramafic rocks, peridotite, Pyroxenite, hornblendeite.



#### مقدمه

افیولیت‌ها قطعات فرارانشی لیتوسفر اقیانوسی بر روی پوسته قاره‌ای هستند که اطلاعات با ارزشی از فرآیندهایی که در کف اقیانوس روی داده است را در اختیار قرار می‌دهند (Gass et al., 1984; Dilek et al., 2000). افیولیت‌ملائز بشاگرد در زون مکران و در جنوب‌شرق ایران قرار دارد. دسترسی به محدوده مطالعاتی بشاگرد، از طریق جاده بندرعباس، میناب، سندرک، سردشت و خمینی‌شهر، که از نزدیکی محدوده می‌گذرد، امکان‌پذیر است. زون مکران، در جنوب گودال جازموریان قرار دارد. مرز غربی آن گسل میناب (زندان) است و از جنوب، به دریای عمان و در مشرق به مرز پاکستان، محدود شده است. در حد شمالی این زون، گسل‌ها و راندگی‌هایی با روند شرقی-غربی وجود دارد که گسل بشاگرد از مهم‌ترین آن‌ها است. در امتداد این شکستگی‌ها، ملائزهای افیولیتی با بیرون‌زدگی وسیعی، نمایان هستند. کمپلکس ملائزهای رنگین، عمدتاً شامل سنگ‌های اولترامافیک بهسن کرتاسه-پالئوسن است که سه گروه پریدوتیتی (دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت)، پیروکسنیتی و هورنبلندیتی را شامل می‌شود. هدف این مقاله بررسی پتروگرافی و ژئوشیمی این واحدهای اولترامافیکی است.

#### زمین‌شناسی

در منطقه مورد مطالعه (بشاگرد)، واحدهای سنگ‌چینه‌ای کرتاسه زیرین، افیولیت ملائزهای کرتاسه و نهشته‌های آبرفتی-سیلابی کواترنر و عهد حاضر رخنمون دارند که از دیدگاه واحدهای زمین‌ساختی ایران، در زون مکران قرار دارند. افیولیت‌ملائزهای شمال مکران بیشتر شامل دامنه وسیعی از تیپ سنگ‌های آتشفشانی شامل ۱- بازالت‌های تیپ نرمال پشته میان اقیانوسی ۲- بازالت‌های فلات اقیانوسی ۳- بازالت‌های آلکالن ۴- بازالت‌های کالک‌آلکالن، آندزیت‌بازالت و آندزیت‌ها و ۵- بازالت‌های تولییتی کمان آتشفشانی و آندزیت‌ها و متابازالت‌های فشار بالا-دما پایین تشکیل شده در عمیق‌ترین سطوح گوه‌های برافزایشی و نیز شامل چینه‌شناختی‌های محلی مرتبط با چرت‌های رادیولاریتی هستند (Saccani et al., 2017). واحدهای سنگی موجود در منطقه از قدیم به جدید شامل، ملائز رسوبی، کمپلکس کالردملائز (سنگ‌های اولترامافیک، سنگ‌آهک، سنگ‌های آتشفشانی بازیک و حدواسط و سنگ‌های دگرگونی)، واحد انگوران و واحد دهیردن (شیل و ماسه‌سنگ) است. سنگ‌های اولترامافیک (شکل ۱)، اغلب با مجموعه‌های گابرویی و رسوبی منطقه مرز تکتونیکی دارند. سنگ‌های اولترامافیکی منطقه شامل دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت (شکل ۱ الف تا د)، پیروکسنیت و هورنبلندیت (شکل ۱ ه) هستند. دونیت با رنگ زرد نخودی، به علت مقاومت کمتر اولیوین نسبت به پیروکسن در برابر هوازدگی، در مناسق پست قرار دارند و رخنمونی از آن‌ها در توپوگرافی‌های خشن منطقه دیده نمی‌شود (شکل ۱ الف). هارزبورژیت، به صورت واحدی مقاوم و صخره‌ساز به عنوان فراوان‌ترین واحد پریدوتیتی و سازنده پیکره اصلی سنگ‌های اولترامافیک‌های مجموعه افیولیتی بشاگرد شناخته می‌شود (شکل ۱ ج). این واحد پریدوتیتی بیشتر تحت تاثیر دگرسانی سرپانتینی‌شدن قرار گرفته است (شکل ۱ ب). به طور کلی دگرسانی سرپانتینی، آکتینولیتی، کلریتی و پدیدار شدن رگه‌های کلسیتی و آزیستی، از محصولات دگرسانی و کانی‌های ثانویه در این سنگ‌ها است. لرزولیت‌های منطقه دارای رگه‌های منیزیتی هستند و همراه با هارزبورژیت‌ها به رنگ برنزی مشاهده می‌شوند که علت آن تاثیر هوازدگی و دگرسانی است (شکل ۱ د). به طور کلی لرزولیت از دونیت و هارزبورژیت در برابر هوازدگی مقاوم‌تر بوده و مورفولوژی برجسته‌تری در منطقه ایجاد می‌کند. در نمونه دستی نیز نسبت به هارزبورژیت مقاوم‌تر و بافت متراکم‌تری دارد. پیروکسنیت‌های منطقه، به علت دگرسانی شدید سرپانتینی، رخنمون بسیار کمی دارند. رخنمون سنگ‌های هورنبلندیت (با کانی غالب هورنبلند)، در دامنه‌های کم ارتفاع و در کنار سایر واحدهای لیتولوژی منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۱ ه).



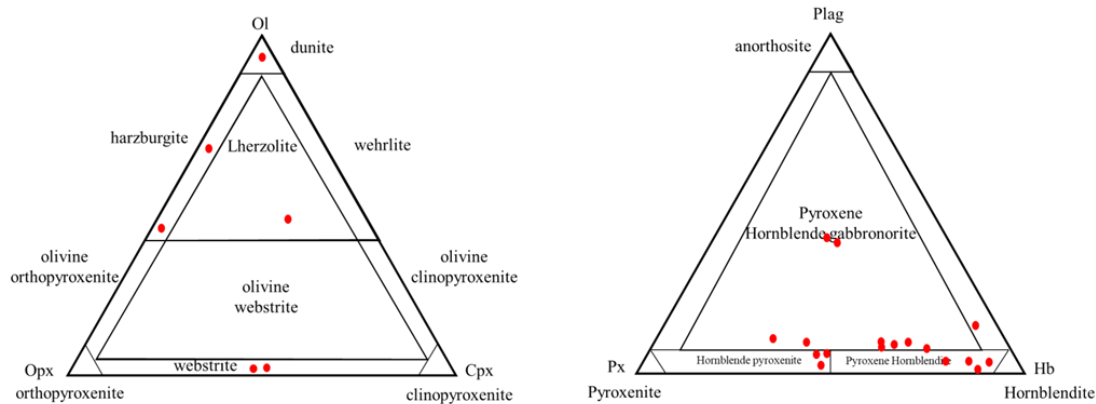
شکل ۱- سنگ‌های اولترامافیک منطقه، الف) نفوذ دایک‌مانند دونیت به داخل هارزبورژیت و ظهور رگچه‌های کلسیتی به عنوان کانی ثانویه، ب) هارزبورژیت در حال سرپانتینی شدن و تشکیل رگه سرپانتین، ج) توپوگرافی خشن هارزبورژیت‌ها (دید به سمت شمال شرق)، د) همراهی لروزولیت با هارزبورژیت، ه) رخنمون هورنبلندیت در کنار سایر واحدهای سنگی منطقه (دید به سمت جنوب غرب).

### روش مطالعه

پس از بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری، برای انجام مطالعه پتروگرافی از نمونه‌های مناسب مقطع نازک تهیه شد. سپس برای اندازه‌گیری هرچه دقیق‌تر فراوانی عناصر اصلی و کمیاب، تعداد ۹ نمونه از سنگ‌های اولترامافیک منطقه انتخاب و در آزمایشگاه شیمی تجزیه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران و آزمایشگاه دانشگاه آنکارا، به روش XRF و ICP-MS مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. براساس نتایج بدست آمده نمودارهای نام گذاری سنگ‌ها و طبقه بندی ژئوشیمیایی رسم و مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفتند.

### پتروگرافی سنگ‌های اولترامافیک

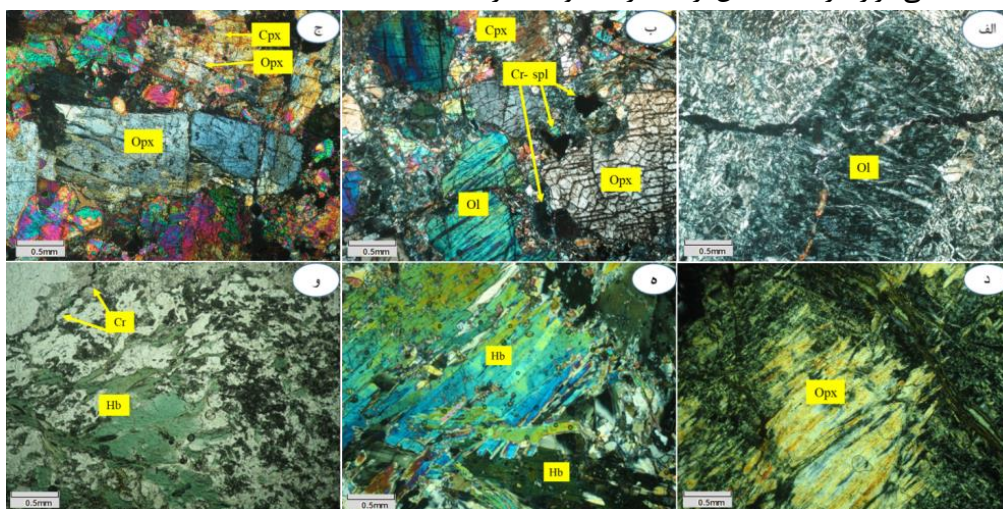
سنگ‌های اولترابازیک، که به آنها سنگ‌های هولو ملانوکرات نیز گفته می‌شود فاقد فلدسپات و فلدسپاتوئید هستند (شکل ۲).



شکل ۲- قرارگیری سنگ‌های دونیت، هارزبورژیت، لروزولیت، وبستریت (نمودار سمت چپ) و هورنبلندیت (نمودار سمت راست)، به عنوان نمایندگان سنگ‌های اولترامافیک منطقه در دیاگرام طبقه‌بندی عمومی سنگ‌های آذرین درونی اولترامافیک (1: Websterite, 2: Harzburgite, 3: Lherzolite Hornblende, 4: Websterite, 5: )

پریدوتیت‌ها سنگ‌های درشت‌بلوری اند، که در آن‌ها اولیوین فراوانترین کانی است. این سنگ‌ها حاوی ۱۰۰-۴۰ درصد اولیوین، به همراه کانی‌های اصلی دیگری نظیر کلینوپیروکسن و اورتوپیروکسن هستند. دونیت‌های منطقه بیش از ۹۰ درصد اولیوین (اولیوین‌های سرپانتینی شده) به همراه کانی‌های فرعی اسپینل کروم‌دار و مگنتیت دارند. شدت سرپانتینی شدن در این سنگ‌ها به حدی است، که تنها جزایر کوچکی از اولیوین‌های اولیه را می‌توان در سنگ، مشاهده کرد (شکل ۲ الف). از سنگ‌های مهم منطقه، هارزبورژیت‌ها را می‌توان نام برد، که گاهی به علت دگرسانی و عملکرد تکتونیک منطقه، شدیداً دگرسان شده‌اند و یا با حفظ بافت اولیه خود، شدیداً تکتونیزه و خرد شده‌اند (شکل ۲ ب). وجود اسپینل‌های کروم‌دار در متن سنگ، با فراوانی کمتر از پنج درصد قابل مشاهده است (شکل ۲ ب). درجه تبلور سنگ هولوکریستالین است و بلورهای درشت خودشکل تا نیمه شکل‌دار، در میان بلورهای ریز، با بافت پورفیری قرار دارند. کانی‌های اولیوین و پیروکسن لرزولیت‌ها تحت شرایط محیط گشته و در اثر فرآیند تکتونیک دچار خمیدگی، شکستگی و در برخی موارد خردشدگی شده‌اند و معمولاً بلورها شکل‌دار تا بی‌شکل‌اند (شکل ۲ ج). زونینگ در بلورهای درشت کلینوپیروکسن دیده می‌شود. تیغه جدایشی ارتوپیروکسن به صورت اکسولوشن، درون کلینوپیروکسن قابل مشاهده است (شکل ۲ ج) و بافت کلی این سنگها، گرانولار و پوئیکیلیتی است. ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن با مقادیر تقریبی مودال برابر، کانی غالب تشکیل‌دهنده پیروکسنیت‌ها است که این سنگ، در نام‌گذاری سنگ‌های پیروکسنیتی، در رده وبستریت قرار می‌گیرد. پیروکسن‌ها به شدت سرپانتینی شده‌اند گرچه هنوز شکل اولیه پیروکسن را دارند، که به این نوع دگرسانی باستیتی شدن می‌گویند (شکل ۲ د). باستیت، از لحاظ بافتی، از خصوصیات اولیه پیروکسن تبعیت می‌کند (شکل ۲ د). طی عمل باستیتی شدن، سرپانتین نوع آنتی‌گوریت، به خرج ارتوپیروکسن منیزیم دار تشکیل شده است.

بخش‌هایی از سنگ‌های هورنبلندیت دارای بافت پورفیری اند (شکل ۲ ه) که معمولاً درشت شدن بلورهای هورنبلند، در درجه حرارت کمتر و در حضور سیالات رخ می‌دهد. حضور سیالات و چرخش آن در میان بلورهای کوچکتر، معمولاً درشت بلور شدن هورنبلندها را تسهیل می‌کند. بلورهای درشت و خود شکل یک کانی حاکی از تبلور در شرایط مناسب و محیط نسبتاً آرام بوده است (Nicolas, 1989). بلورهای خودشکل پگماتیته هورنبلند، نشان از سرعت تبلور آرام در درجه حرارت کمتر و در حضور سیالات رخ می‌دهند و همین خودشکل تا نیمه‌شکل دار بودن آن‌ها، نشان از رشد به صورت کانی اولیه است. فنوکریست‌های هورنبلند دارای رخ‌های واضحی هستند که شکستگی آن‌ها از محل همین رخ‌ها اتفاق می‌افتد. بلورهای درشت هورنبلند به صورت رشته‌های بین دندان‌های و از محل رخ‌ها به درون هم فرو رفته‌اند (شکل ۲ ه). در (شکل ۲ و)، کانی‌های تیره کرومیت به صورت ردیف‌شدگی قرار دارند که نشان از عملکرد تکتونیک در منطقه است.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های اولترامافیک‌های منطقه، الف) اولیوین سرپانتینی شده در سنگ دونیت ب) همراهی اولیوین، ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن، به عنوان اجزای تشکیل دهنده سنگ هارزبورژیت، ج) اکسولوشن ارتوپیروکسن در کلینوپیروکسن در لرزولیت‌های منطقه، د) ارتوپیروکسن باستیتی در پیروکسنیت، ه) هم‌رشدی فنوکریست‌های هورنبلند در هورنبلندیت، و) ردیف‌شدگی کرومیت‌ها به علت عملکرد تکتونیک منطقه. تصاویر د، و در نور طبیعی و تصاویر الف، ب، ج، ه در نور تداخلی (پلاریزه) گرفته شده است.

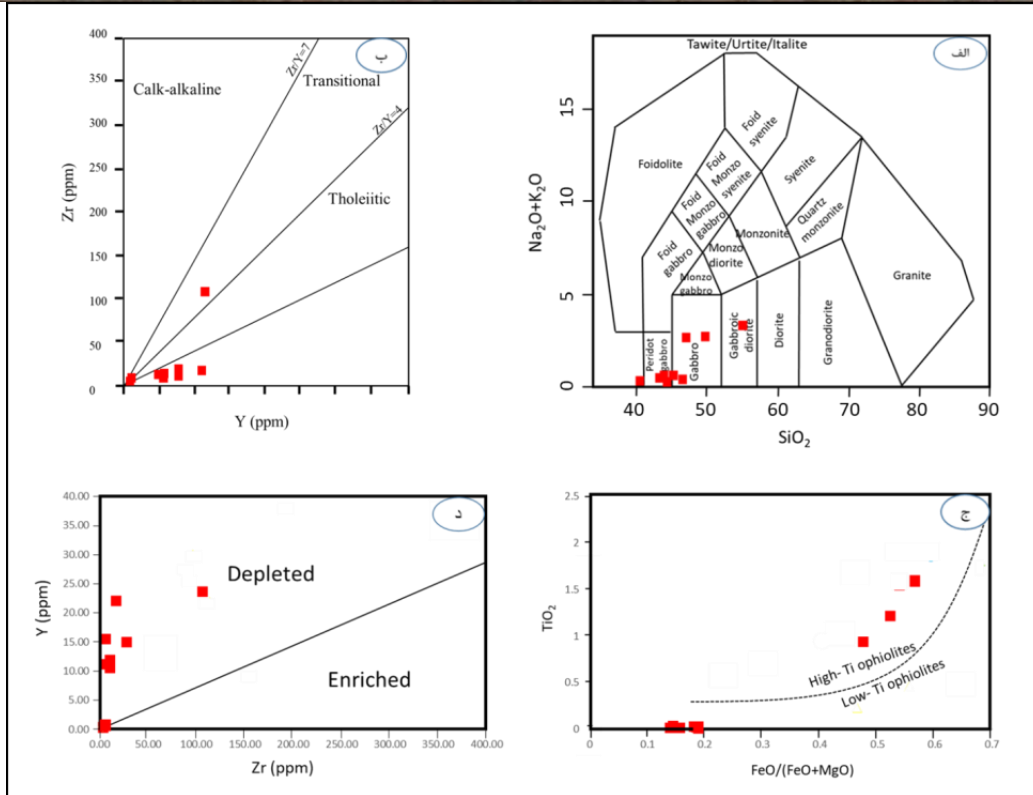
### ژئوشیمی

نمودار TAS، کاربرد زیادی در طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین دارد که براساس مجموع آلکالن  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  و بر حسب درصد وزنی است. در طبقه‌بندی سنگ‌ها با استفاده از نمودار (Middlemost, 1994)، همه سنگ‌های اولترامافیک منطقه، در محدوده سنگ‌های پریدوتیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۳ الف).

در بررسی پتروژنز سنگ‌های منطقه، از نمودارهای تفکیک سری ماگمایی استفاده شده است. سری ماگمایی به مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین مختلف با ترکیب شیمیایی متفاوت اما وابسته به هم و منتج شده از تفریق یک ماگمای مادر بازیک، گفته می‌شود. جدا از تفریق و ذوب‌بخشی، که مهم‌ترین عوامل در تعیین سری ماگمایی هستند، عواملی همچون اختلاط و آلیش ماگمایی در نوع سنگ‌ها و سری‌های ماگمایی، موثر اند (Irvine and Baragar, 1971). مهم‌ترین سری‌های ماگمایی در سنگ‌های آذرین شامل سری تولییتی، سری آلکالن، سری کالک‌آلکالن، سری شوشونیتی و سری تحولی است. برای تعیین سری ماگمایی از نمودار Y در برابر Zr (Ross and Bedard, 2009) استفاده شد. در این نمودار، تمامی سنگ‌های اولترامافیک، به جز یک نمونه از هورنبلندیت، آن هم به علت تفاوت زیاد در میزان زیرکونیوم و ایتریوم (که در زون انتقالی قرار گرفته)، در محدوده تولییتی جای دارند (شکل ۳ ب). سن تولییت‌های کمان آتشفشانی، دامنه وسیعی از کرتاسه پیشین تا پسین است، در حالی که سنگ‌های کالک‌آلکالن و بازالت‌های فلات اقیانوسی به سن کرتاسه پسین هستند (Saccani et al., 2017).

در بیشتر رژیم‌های تکتونیکی، ذوب‌بخشی مواد گوشته‌ای، باعث ایجاد ماگماهای اولیه با ترکیب بازیک یا اولترابازیک می‌شود. طی فرآیندهای بعدی تفریق شامل تبلور تفریقی، اختلاط ماگمایی و آلیش پوسته‌ای طیف وسیعی از سنگ‌های آذرین ایجاد می‌شوند (Shervais, 1982). با استفاده از داده‌های بدست آمده از تجزیه نمونه‌های سنگی، می‌توان به محیط تکتونوماگمایی تشکیل سنگ‌ها پی برد. سری (Seri, 1981)، با استفاده از نمودار  $\text{TiO}_2$  در مقابل  $\text{FeO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ ، توالی‌های افیولیتی را به دو سری تقسیم‌بندی کرد، ۱- افیولیت‌های با تیتان بالا که با پشته‌های میان‌اقیانوسی تطابق دارند، ۲- افیولیت‌های با تیتان پایین که با جزایر قوسی مرتبط اند. بر اساس این تقسیم‌بندی، سه نمونه اولترامافیکی منطقه در محدوده افیولیت‌های با تیتان بالا (که قابل مقایسه با افیولیت‌های پشته میان‌اقیانوسی است) و بقیه نمونه‌ها در محدوده با تیتان پایین، قرار می‌گیرند (شکل ۳ ج).

برای تشخیص میزان غنی‌شدگی در منشاء سنگ‌های آذرین منطقه، از نمودارهای غنی‌شدگی - تهی‌شدگی عناصر ناسازگار Zr در مقابل Y (شکل ۳ د) (Sun and McDonough, 1989)، استفاده شد. این عناصر به دلیل تحرک بسیار پایین خود، حتی در درجات بالای دگرسانی، برای تفسیرهای سنگ‌زایی نمونه‌های دگرسان نیز، بسیار مفید هستند (Mitchell and Widdowson, 1991). بر اساس این نمودار، تمامی سنگ‌های منطقه در ناحیه تهی‌شدگی قرار گرفته‌اند که نشان‌گر نشأت گرفتن این سنگ‌ها از یک منشأ تهی‌شدگی است (شکل ۳ د).



شکل ۴- نمودارهای ژئوشیمیایی سنگ‌های اولترامافیک منطقه، الف) طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین اولترامافیک با استفاده از نمودار (Middlemost, 1994)، موقعیت سنگ‌های اولترامافیک منطقه در محدوده سنگ‌های پریدوتیتی قرار دارد. ب) نمودار (Ross and Bedard, 2009) و قرارگیری سنگ‌های اولترامافیک، در محدوده سنگ‌های تولییتی، ج) نمودار  $TiO_2$  در مقابل  $FeO/FeO+MgO$  از (Serri, 1981)، نشان‌دهنده قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در هر دو محدوده افیولیت‌های با تیتان بالا و افیولیت‌های با تیتان پایین است، د) نمودار غنی‌شدگی-تهی‌شدگی عناصر ناسازگار Zr – Y برای تعیین منشأ سنگ‌های اولترامافیک منطقه که در محدوده تهی‌شده قرار گرفته‌اند (Sun and McDonough, 1989).

### نتیجه‌گیری

سنگ‌های اولترامافیک موجود در افیولیت‌ملانژ بشاگرد شامل پریدوتیت، پیروکسنیت و هورنبلندیت است. از گروه پریدوتیت‌ها، دونیت‌ها (به علت مقاومت کمتر اولیوین نسبت به پیروکسن) به شدت تحت تاثیر فرآیند سرپانتینی شدن قرار گرفته‌اند. هارزبورژیت‌ها با فراوانی زیاد، در بخش‌های با توپوگرافی خشن منطقه رخنمون دارند و همچنین به علت تکتونیک شدید، تحت تاثیر شدیدترین دگرسانی منطقه (سرپانتینی شدن) نیز قرار گرفته‌اند. به طور کلی، واحدهای مافیک و الترامافیک منطقه، به ویژه هارزبورژیت، به علت فرآیندهای دگرگونی و دگرسانی، به درجات مختلفی سرپانتینی شده‌اند. کانی‌های گروه سرپانتین (آنتی‌گوریت، لیزاردیت و کریزوتیل) به صورت رگچه‌هایی، در این سنگ‌ها معمول است و در شکستگی‌ها دیده می‌شود. پیروکسنیت‌های منطقه متأثر از پدیده باستیستی شدن ارتوپروکسن هستند و فنوکریست‌های کانی غالب اولیه هورنبلند در سنگ‌های هورنبلندیت، نمایان است. ژئوشیمی سنگ‌های اولترامافیک در نمودار TAS با کمترین میزان  $SiO_2$  و کمترین مجموع آلکالن، در محدوده سنگ‌های پریدوتیتی قرار دارند. این سنگ‌ها در نمودار سری ماگمایی، در محدوده تولییتی جای دارند و از نوع سنگ‌های با تیتان پایین (به استثناء هورنبلندیت‌ها)، هستند. منشأ سنگ‌های اولترامافیک در ناحیه تهی‌شدگی قرار گرفته‌اند که نشان‌گر نشأت گرفتن این سنگ‌ها از یک منشأ تهی‌شده است.

**References:**

- Dilek, Y., Moores, E.M., Elthone, D., Nicolas, A., 2000. Ophiolites and oceanic crust: new insights from field studies and the ocean drilling program. Geological Society of America 373, 1–16.
- Gass, I.G., Lippard, S. J, Shelton, A.W., 1984. Ophiolite and oceanic lithosphere. Geological Society of London, Special Publication, 13, Blackwell Science Publication, Oxford. Sci. Lett., 25(2), 236 ± 238, 1975.
- Irvine T. N., Baragar W.R.A., 1971. Guide to chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci. 8, 523-548.
- Middlemost, E. A. K., 1994. Naming material in the magma igneous rock system. Earth – Science Reviews. 37, 215–224.
- Mitchell, C., Widdowson, M., 1991. A geological map of the southern Deccan Traps, India and its structural implications. J. Geol. Soc. London 148, 495–505.
- Nicolas, A., 1989. Structure of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Kluwer Academic Publication 367.
- Ross, P.S., Bedard, J.H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. Canadian Journal of Earth Sciences. 46, 823- 839.
- Saccani, E., Delavari, M., Dolati, A., Marroni, M., Pandolf, L., Chiari, M., Barbero, E., 2017. new insights into the geodynamics of Neo-Tethys in the Makran area: evidence from age and petrology of ophiolites from the coloured mélangé complex (SE Iran). Gondwana Research, 22.
- Serri, G., 1981. The petrochemistry of ophiolite gabbroic complexes: a key for the classification of ophiolites into low-Ti and high-Ti types. Earth and Planetary Science Letters. DOI: [10.1016/0012-821X\(81\)90221-1](https://doi.org/10.1016/0012-821X(81)90221-1).
- Shervais, J. W., 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolite lavas. Earth and Planetary Science Letters. 59, 101–118.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: Saunder, A.D., Norry, M.J. (Eds.), Publ., 42, 313 – 345.

## ارتباط شیمی کانی و زمین شیمی عناصر اصلی با کیفیت فیروزه در معدن نیشابور،

### شمال شرق ایران

شهرزاد شوکتی<sup>۱</sup>، مهرداد بهزادی<sup>۲</sup>، محمد یزدی<sup>۳</sup>، محمد امینی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی ارشد زمین شناسی اقتصادی، گروه زمین شناسی منابع معدنی و آب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

<sup>۲</sup>دانشیار گروه زمین شناسی منابع معدنی و آب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

<sup>۳</sup>استاد تمام گروه زمین شناسی منابع معدنی و آب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

<sup>۴</sup>دانشجوی دکتری زمین شناسی اقتصادی، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه تهران، تهران

Shahrzad.shokati@gmail.com

### چکیده

معدن فیروزه در ۵۵ کیلومتری شمال غربی شهر نیشابور واقع شده است. این منطقه در زیر زون ژئوتکتونیک بینالود در قسمت شرقی زون ژئوتکتونیک البرز در شمال شرق ایران واقع شده است. زیر زون بینالود عمدتاً در میوسن و پلیوسن در طول کوهزایی آلپ شکل گرفته است و عمدتاً از سنگ‌های رسوبی تریاس تا ژوراسیک و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن ساخته شده است. معدن فیروزه نیشابور در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن شکل گرفته است. سنگ‌های آتشفشانی عمدتاً شامل تراکیت، آندزیت، آندزیت بازالت و بازالت هستند که با سنگ‌های رسوبی و رسوبی آتشفشانی شامل سنگ آهک و توف همراه است. دگرسانی عمده که میزبان سنگ‌های آتشفشانی این منطقه هستند شامل: سیلیسی، کربناتی، پروپلیتیک، هماتیتی و مقدار کم آرژلیک، کائولینیت، سرسیت است. سیلیسی، هماتیتی و کربناتی مهمترین دگرسانی در منطقه است و با کانی سازی فیروزه ارتباط دارد. در تحقیقات زیر سعی شده است کانی‌های مرتبط، شیمی کانی و انواع دگرسانی آن مشخص شود. مطالعات تجزیه نقطه‌ای با روش EDX نشان داد که مقدار عنصر مس، با نزدیک شدن به مرکز کانی فیروزه از ۳,۰۴ درصد افزایش یافته و به ۷,۲۹ درصد وزنی می‌رسد. بیشترین مقدار عنصر آلومینیوم، ۲۰,۶۹ درصد وزنی و عنصر فسفر، ۲۲,۲۳ درصد وزنی است. در نمونه‌های مطالعه شده با نزدیک شدن به رگه اصلی فیروزه، همبستگی میان عناصر مس و سیلیس، منفی (با افزایش مس، سیلیس کاهش می‌یابد) و همبستگی میان عناصر مس با آهن و آلومینیوم مثبت می‌باشد. نکته قابل توجه و حائز اهمیت این است که در نمونه‌های مورد مطالعه، با دور شدن از رگه فیروزه همبستگی میان عناصر مس و آلومینیوم مثبت می‌باشد و ارتباط مستقیمی با درجه کیفیت و عیار عناصر موجود در کانی فیروزه دارد.

**کلمات کلیدی:** شیمی کانی، دگرسانی، فیروزه، نیشابور، شمال شرق ایران

## Relation between mineral chemistry and geochemistry of major elements with quality of turquoise in Neyshabour mine, NE of Iran

\*Shahrzad Shokati<sup>1</sup>, Mehrdad Behzadi<sup>2</sup>, Mohammad Yazdi<sup>3</sup> and Mohammad Amini<sup>4</sup>

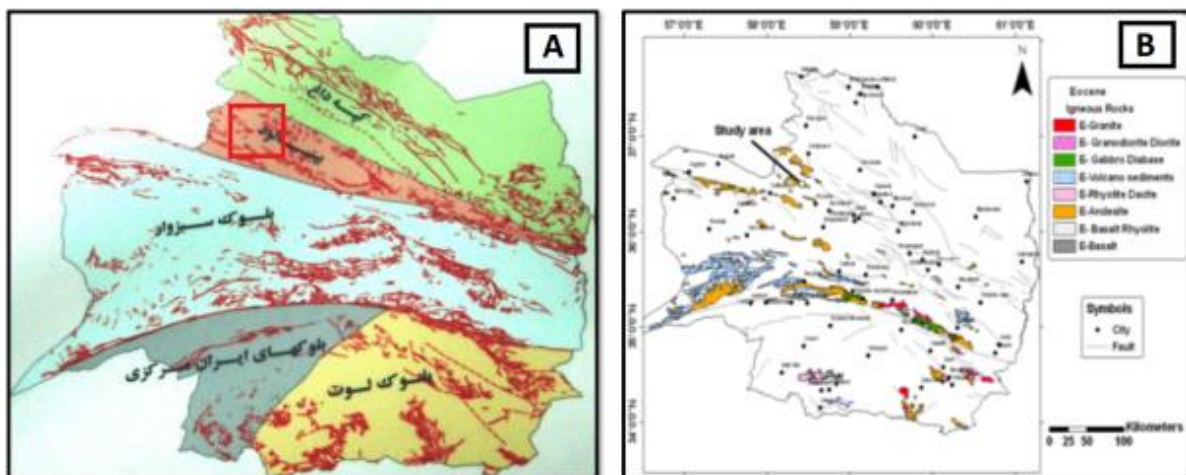
### Abstract

Turquoise mine is located 55 km in the NW of the Neyshabour city. It is located in the Binalud geotectonic sub-zone in the eastern part of the Alborz geotectonic zone at NE of Iran. The Binalud sub-zone was formed mainly in the Miocene and the Pliocene during the Alpine orogeny and is made predominantly of Triassic to Jurassic sedimentary rocks and Eocene volcanic rocks. The well-known Neyshabour turquoise mine has been formed in the Eocene volcanic rocks. The volcanic rocks mainly consist of trachyte, andesite, basaltic- andesite,

and basalt which associated with the sedimentary and volcano-sedimentary rocks including limestone and tuff. The alteration is mainly hosted in volcanic rocks which include silicification, carbonization, propylitization, hematitization and less argillization, kaolinitization, sericitization. The silicification, hematitization and carbonization is the most important alteration in the area and associated with turquoise mineralization. The following research, tried to determine the associated minerals, mineral chemistry and alteration types. EDX analysis showed that the amount of Cu increased from 3.04% to 7.29% from rim to center of turquoise mineral. The highest amount of Al is 20.69% and P is 22.23%. In the studied samples from turquoise veins, the correlation between Cu and Si is negative and between Fe and Al is positive. The correlation between Cu and Al is positive and related to quality of turquoise. Correlation is too positive in high quality turquoise and it can be used as typical mineral chemistry index for distinguishing of quality of turquoise.

#### مقدمه

معادن فیروزه‌ی نیشابور از قدیمی‌ترین معادن فیروزه‌ی جهان است و قدمت آن به حدود ۴۰۰۰ سال قبل می‌رسد (یزدی، ۱۳۸۸). امروزه در بخش معدن و زمین‌شناسی داشتن آگاهی و اطلاع دقیق از نوع ماده معدنی، عناصر و کاربردهای آن بسیار حائز اهمیت است (امینی و ذوالفقاری، ۱۳۹۶). مرغوب‌ترین و با ارزش‌ترین فیروزه‌ی جهان در نیشابور یافت می‌شود و این در حالی است که بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکننده فیروزه جهان، آمریکا و در ایالات ویرجینا، نیومکزیکو، آریزونا و نوادا و همچنین چین می‌باشد. بهره برداری از معدن فیروزه نیشابور از سال ۱۷۲۵ میلادی آغاز شده است. ذخیره احتمالی این معدن در سال ۱۳۶۵ توسط کارشناسان معدن ۹۰۲۱ تن برآورد شده است. نظر به این که معدن فیروزه نیشابور یک معدن سنگ قیمتی است و با توجه به ارزش افزوده این ماده به عنوان جواهر، تاقنون کلیه بهره برداری‌ها معطوف به این ماده‌ی معدنی بوده است. حال علاوه بر نگاه ما به این سنگ از لحاظ سنگ-شناسی، به منشا این سنگ و رابطه‌ی آن با دگرسانی منطقه می‌پردازیم. معدن فیروزه‌ی نیشابور قسمتی از پهنه‌ی البرز شرقی است که به علت شباهت بسیار زیاد رخساره‌های این پهنه با البرز مرکزی آن را قسمتی از البرز دانسته و پهنه‌ی بینالود نام گذاری کردند. بر اساس تقسیم بندی زون‌های ساختاری، منطقه‌ی مورد مطالعه در زون بینالود می‌باشد.



شکل ۱: A- تقسیم بندی زون‌های ساختاری (نقشه زمین شناسی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان خراسان رضوی، ۱۳۸۶). B- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ی ماگماتیسم ائوسن خراسان رضوی (کریم پور، ۱۳۹۰).



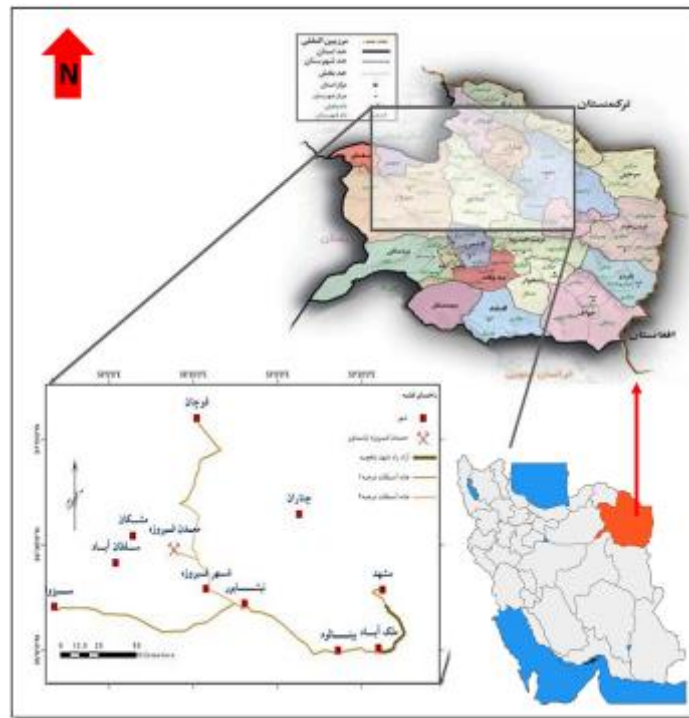
موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به معدن فیروزه‌ی نیشابور

این معدن در شمال شرقی ایران، خراسان رضوی و در ۵۵ کیلومتری شمال غرب شهر نیشابور بین طول‌های جغرافیایی ۴۳" ۵۸° ۲۲' تا ۱۹' ۲۳' ۵۸° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۱۸' ۲۹' ۳۶° تا ۵۷' ۲۹' ۳۶° واقع شده است. این معدن شامل چندین تونل با مختصات مختلف است که شامل:

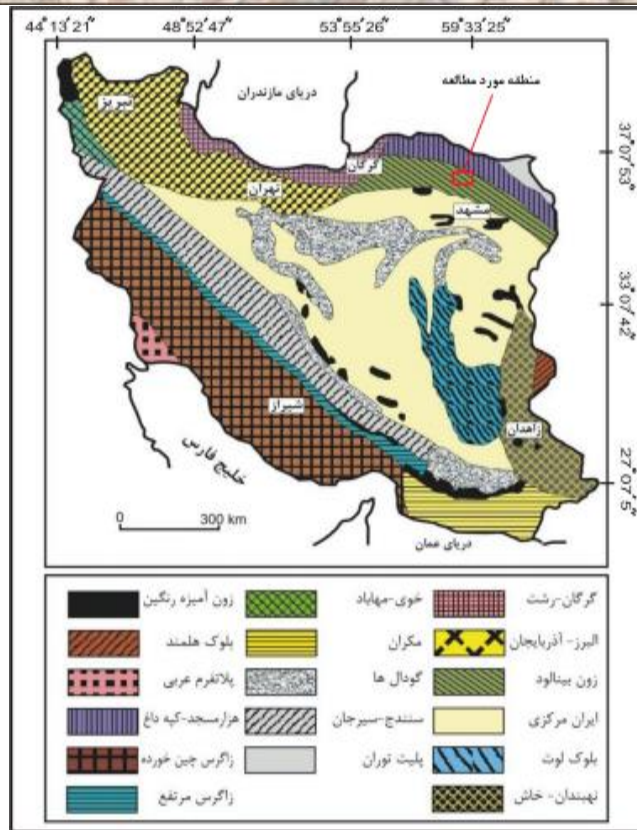
- تونل اصلی یا تونل آبدار با مختصات طول جغرافیایی ۵۸' ۲۲' ۵۸° و عرض جغرافیایی ۲۲' ۲۹' ۳۶°
- تونل غاردوم با مختصات طول جغرافیایی ۱۵' ۲۳' ۵۸° و عرض جغرافیایی ۳۲' ۲۹' ۳۶°
- تونل زاک با مختصات طول جغرافیایی ۲۳' ۲۳' ۵۸° و عرض جغرافیایی ۴۰' ۲۹' ۳۶°

سه مسیر برای رسیدن به منطقه‌ی مطالعاتی وجود دارد:

- مسیر مشهد\_ نیشابور\_ شهر فیروزه\_ معدن فیروزه، به طول ۱۷۵ کیلومتر.
- مسیر کاشمر\_ نیشابور\_ شهر فیروزه\_ معدن فیروزه، به طول ۱۵۵ کیلومتر.
- مسیر سبزوار\_ سلطان آباد\_ معدن فیروزه، به طول ۱۳۳ کیلومتر.



شکل ۲: نقشه استان خراسان رضوی و راه‌های دسترسی به معدن فیروزه نیشابور



شکل ۳: موقعیت و قرارگیری معدن فیروزه نیشابور در تقسیم‌بندی زون‌های ایران

### اهداف و روش پژوهش

بررسی ترکیب شیمیایی یک منطقه و پژوهش در مورد رفتار عناصر اصلی و فرعی، در محدوده مطالعات زمین‌شیمیایی و شیمی کانی قرار می‌گیرد. مهمترین اهداف این پژوهش مطالعه شیمی کانی و ارتباط عناصر با رگه‌های فیروزه با توجه به انجام مطالعات SEM است. همچنین کانی‌شناسی، پتروگرافی و مقایسه دو نمونه سنگ فیروزه از لحاظ عیار و کیفیت فیروزه با توجه به عناصر موجود با دقت بالا انجام شده است. در کنار مطالعات صحرایی و میکروسکوپی مقاطع نازک و صیقلی، مطالعات زمین‌شیمیایی و همچنین شیمی کانی برای بررسی‌های مسائل مربوط به پتروژنز، تغییرات ترکیب شیمیایی فازهای مختلف کانی زایی امری ضروری بنظر می‌رسد و یکی از مهمترین روش‌های مطالعات کانی‌شناسی، بررسی ترکیب شیمیایی کانی‌های اولیوین با استفاده از آنالیز میکروپروپ است (یزدی، ۱۳۹۲). دو نمونه سنگ به صورت تصادفی از تونل برداشت شده است که نسبت به نزدیک شدن رگه فیروزه موجود در سنگ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در هر دو سنگ تعداد ۱۴ مقطع نازک و صیقلی تهیه شده است که در بخش‌های بعدی هر کدام از مقاطع را بصورت تفکیک شده مورد بررسی قرار خواهیم داد. در همین راستا در جدول (۱)، جزئیات مطالعات شیمی کانی ذکر شده است. آنالیزها شیمی کانی توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل HITACHI SU3500، ساخت کشور ژاپن در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید بهشتی استفاده شده است. همچنین تعداد ۷ مقطع نازک و ۷ مقطع صیقلی از نمونه‌ها در کارگاه مقطع زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی تهیه شده، پتروگرافی این نمونه‌ها در نمونه دستی (ساخت، کانی‌های اولیه، نام سنگ، کانی‌های ثانویه و نام دگرسانی) تا حد امکان توصیف می‌گردد.

جدول ۱؛ تعداد، نوع آنالیز سنگ و کانی مورد آزمایش در پژوهش

آزمایشگاه	سنگ / کانی	نوع آنالیز	تعداد	ردیف
دانشگاه شهید بهشتی	سنگ میزبان / فیروزه	SEM	۱۶	۱

### زمین شناسی اقتصادی ناحیه‌ای

در چهارگوش نقشه زمین شناسی واحدهای سنگی افیولیتی، سنگ‌های آتش فشانی ائوسن با فرآورده‌های آذرین درونی و نیمه عمیق ترشیاری، نهشته‌های سنوزوئیک، آثار معدنی فلزی مس و غیر فلزی فیروزه، گچ و سنگ‌های ساختمانی و زینتی گسترش دارند. حضور فیروزه در فعالیت‌های آتش فشانی ائوسن قابل اهمیت است. معدن فیروزه‌ی نیشابور که بزرگترین معدن فیروزه‌ی جهان است در درون سنگ‌های تراکیتی آندزیتی شمال شرق ورقه‌ی روستای معدن بالا جای دارد. بزرگترین دگرسانی‌ها از جمله دگرسانی سیلیسی، کائولینیتی و اکسید آهن که در نتیجه‌ی تکاپوی ماگمایی نفوذی و نیمه عمیق ترشیاری به وجود آمده اند (اکرمی و عسکری، ۱۳۷۹). سرانجام معادن نمک و گچ عمارلو، در درون واحد مارن گچ‌دار میوسن، در شمال شرقی ورقه، از پتانسیل‌های مهم معدنی منطقه به شمار می‌رود. این دو معدن در حال بهره برداری است (اکرمی و عسکری، ۱۳۷۹). مگنتیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانه‌ی اکسیدی منطقه است. پیریت را می‌توان فراوان‌ترین کانه‌ی سولفیدی منطقه دانست که در حفرات و شکستگی‌ها و مرز بلورهای مگنتیت به وجود آمده است. لذا تشکیل پیریت بعد از مگنتیت رخ داده است. کالکوپیریت کانه‌ی دیگر سولفیدی است که به مقدار بسیار کم همراه با مگنتیت و پیریت مشاهده می‌شود.

### مطالعه پتروگرافی و مینرالوگرافی

با انجام مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی مشخص شد که بخش بزرگی از منطقه شامل واحدهای آتش فشانی هستند. در این منطقه هشت واحد سنگی، یک واحد نیمه عمیق و دو واحد برشی شناسایی شده است. از لحاظ سنی می‌توان گفت، سن واحد-های نیمه عمیق به دلیل نفوذ در واحدهای آتش فشانی بعد از ائوسن در نظر گرفته شده است (کریم‌پور، ۱۳۸۲). بنظر می‌رسد برش‌ها به دلیل آنکه حاوی قطعات آتش فشانی و نفوذی هستند، جوانتر از سایر واحدها باشند. واحدهای سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد.

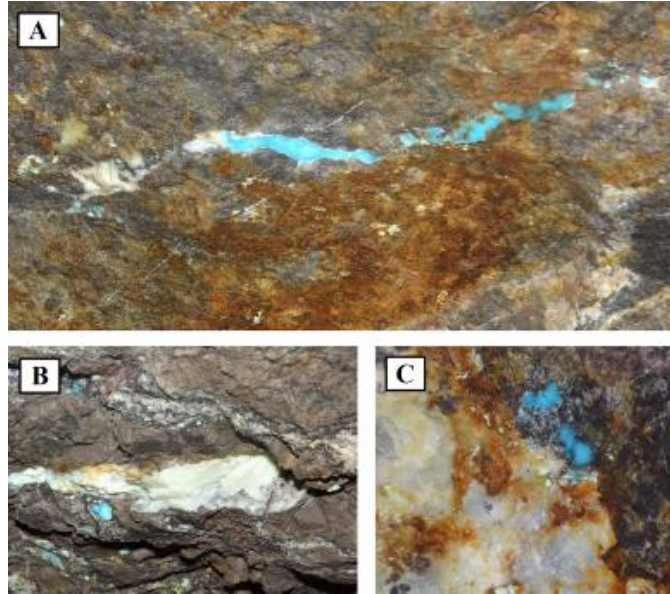
(۱) واحد آتش فشانی که شامل: تراکیت، هورنبلند تراکیت، آندزیت، لاتیت، لاتیت\_ آندزیت، بیوتیت\_ لاتیت، هورنبلند لاتیت\_ آندزیت و برش‌های گرمابی است.

(۲) واحد نیمه عمیق (دیوریت پورفیری).

(۳) برش‌ها شامل (گسلی و گرمابی).

(۴) رسوبات کواترنری (تراس‌های قدیمی، تراس‌های جدید، رسوبات عهد حاضر)

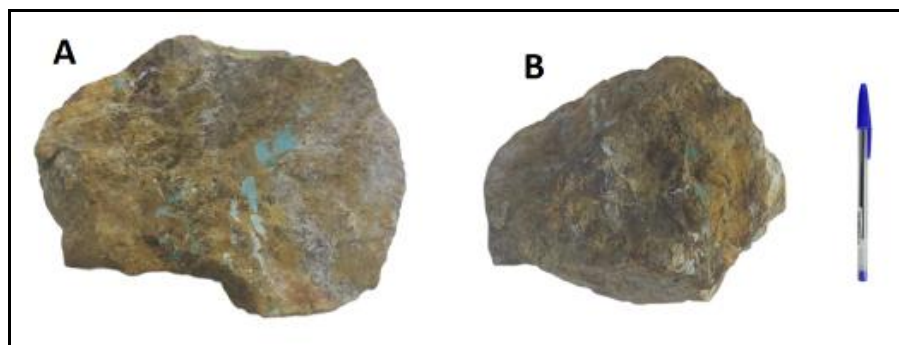
همانطور که در شکل (۵)، ملاحظه می‌شود، مراحل چهارگانه استخراج کانی فیروزه، به صورت تونل و زیر زمینی می‌باشد، این کانی توسط ریل‌های طراحی شده در تونل به خارج معدن هدایت می‌شود و توسط کارکنان زحمتکش معدن به صورت سنگ جوری تفکیک خواهد شد.



شکل ۴: تصاویری از کانی‌های فیروزه نیشابور در زمینه سنگ‌های آندزیتی – داسیتی

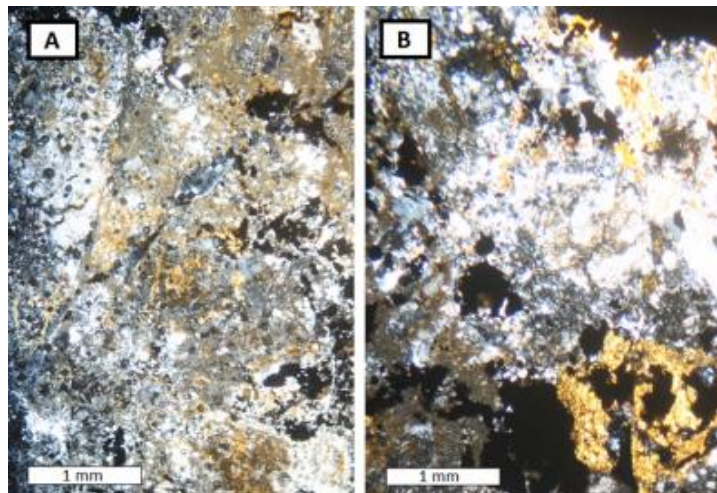


شکل ۵: مراحل استخراج کانی فیروزه در معدن فیروزه نیشابور

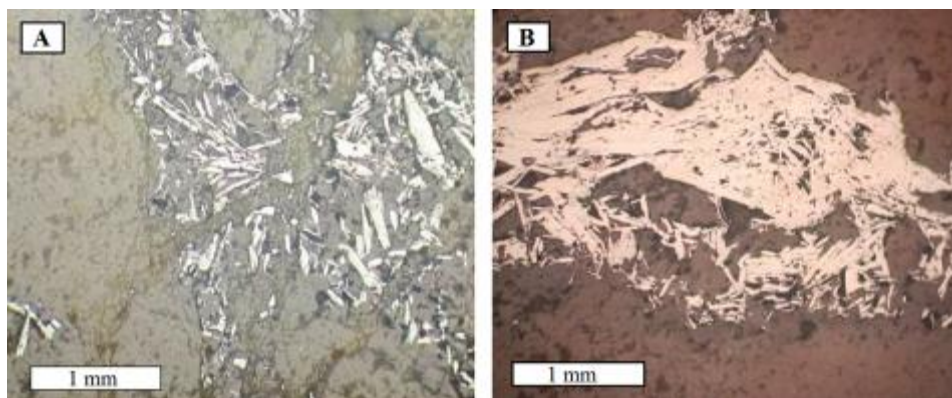


شکل ۶: (A) نمایی از نمونه دستی (s1) و (B) نمایی از نمونه دستی (s2) برداشت شده در تونل معدن فیروزه

با توجه به شکل (۷ و ۸)، همانطور که ملاحظه می‌شود در این مقطع کانی‌های سریست، کوارتز، پلاژیوکلاز، اکسیدهای آهن، فلدسپار درشت دگرسان شده، اپیدوت رنگی (با آنالیزور)، اپیدوت سبز پسته‌ای (بدون آنالیزور)، مشاهده می‌شوند. به لحاظ بافت، دارای بافت پورفیری، میکروگرانولار در زمینه دانه ریز فلدسپات می‌باشد همچنین دگرسانی باعث تشکیل اپیدوت/آثاری از تبدیل فلدسپار به سریست خیلی کم رنگ نیز دیده می‌شود. میزان حضور کانی اسپیکیولاریت، ۰٫۱ تا حدود ۱۰ درصد از این مقطع می‌باشد.



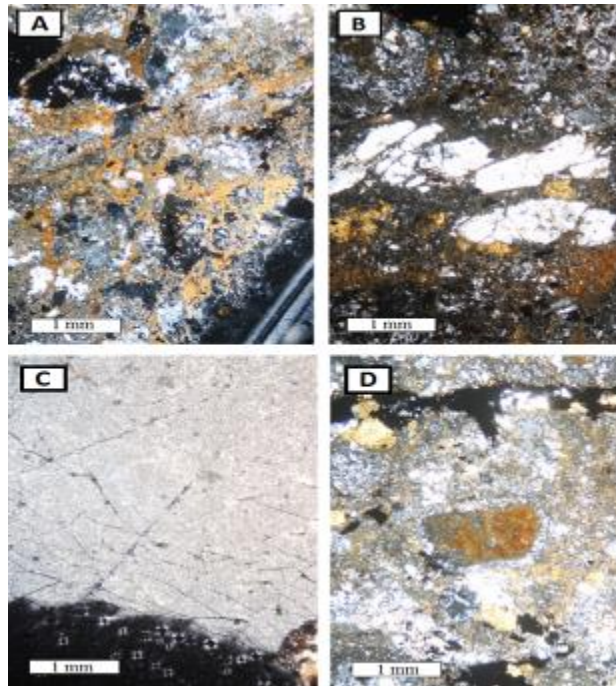
شکل ۷: نمایی از تصاویر میکروسکوپی مقطع شماره T1



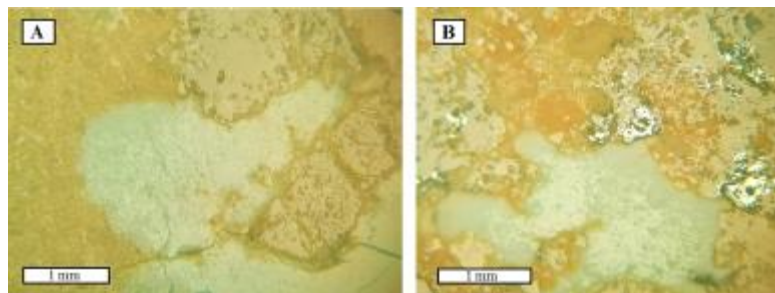
شکل ۸: حضور کانی اسپیکیولاریت با بافت سوزنی در مقطع T1.

با توجه به شکل (۹)، از جمله مهم‌ترین کانی‌های موجود در مقطع عبارتند از: کوارتز، اکسید آهن، فلدسپار (بزرگ و به رنگ خاکستری و دارای خاموشی ضعیف)، اپیدوت تیبیک، بیوتیت دگرسان شده، کانی اپک و زیرکن به عنوان کانی فرعی. بافت شاخص مقطع پورفیری می‌باشد. در این مقطع، منشاء اپیدوت می‌تواند بیوتیت باشد و همچنین نسبت به مقطع شماره T1، در شکل (۷)، بازیک‌تر بنظر می‌رسد. مهم‌ترین ویژگی‌های مقطع مورد مطالعه این است که در شکستگی‌ها همراه با اپیدوت، کوارتز و کلسیت نیز مشاهده می‌شود. همچنین در نور در XPL زیرکن دارای برجستگی بالا، رنگ سفید و اگر کنار کانی‌های آبدار باشد، خودش را می‌سوزاند. همانطور که در شکل (۱۳)، ملاحظه می‌گردد، کوارتز و مسکوویت مانند مقطع SH2، داخل حفرات را پر کرده است، اکسید آهن، گوتیت، پلاژیوکلاز، کوارتز با خاموشی و برجستگی پایین مشاهده می‌گردد. رسی شدن

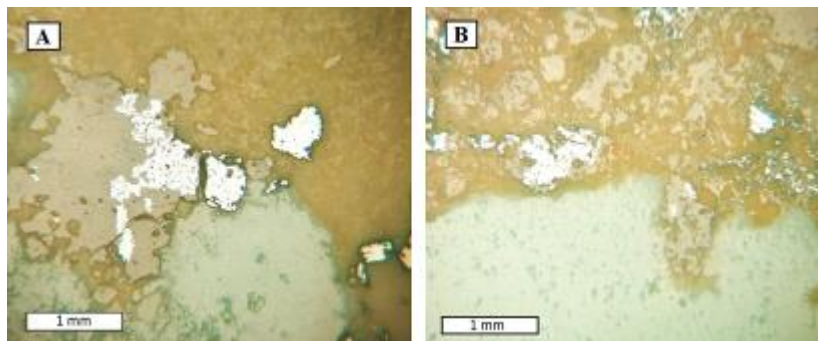
هم در PPL و XPL قهوه‌ای است و در داخل آن نیز سرسیت وجود دارد. همچنین دارای بافت‌های پورفیریک، رگه‌ای، ریز دانه، نیمه نفوذی می‌باشند.



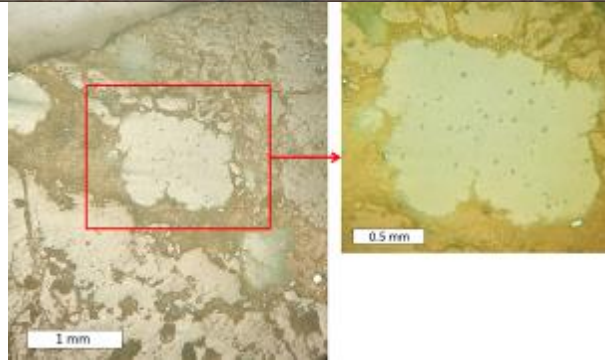
شکل ۹: تصاویری از مقطع شماره T2، به سرپستی شدن و خاموشی موجی توجه شود.



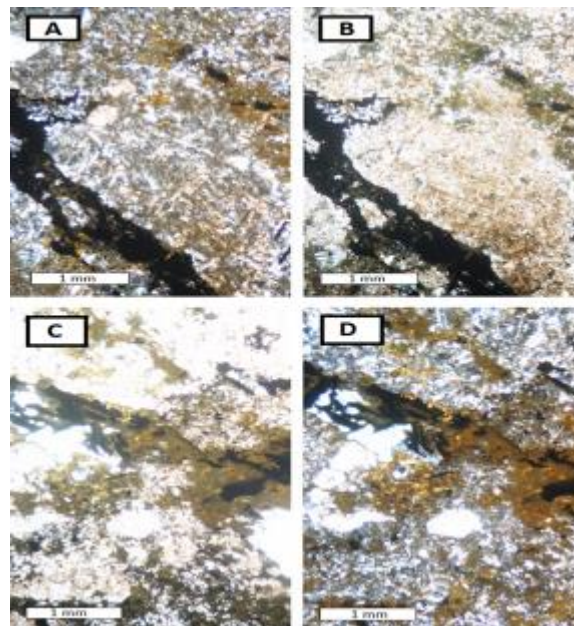
شکل ۱۰: کانی فیروزه (رنگ سبز کم رنگ) و کانی‌های کالکوپیریت (زرد پر رنگ و کم رنگ) در مقطع T2، به دگرسانی‌های موجود در حاشیه کانی فیروزه توجه شود.



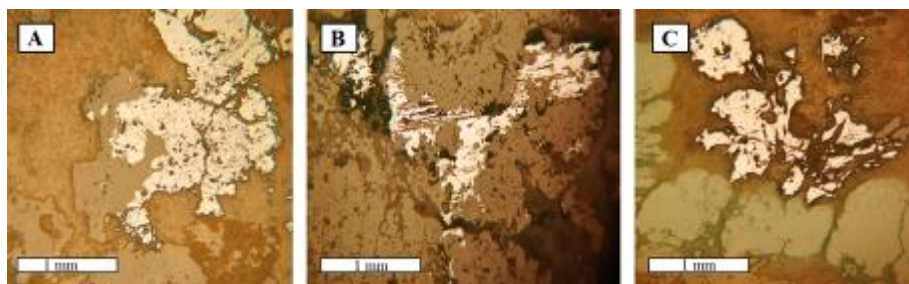
شکل ۱۱: کانی‌های فیروزه (سبز کم رنگ)، پیریت (زرد مایل به شیری) و کالکوپیریت (زرد مایل به قهوه‌ای) A؛ به کانی پیریت در داخل کالکوپیریت که بصورت ادخال وجود دارد توجه شود (مقطع T3).



شکل ۱۲: بافت مشابه دندربیتی کانی فیروزه در مقطع صیقلی T4.



شکل ۱۳: تصاویری از مقطع SH2، که در قسمت‌های (A & B)، رسی شدن و در داخل آن سربست دیده می‌شود.



شکل ۱۴: حضور کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و فیروزه در مقاطع صیقلی SH، به خوردگی و نفوذ کانی‌های پیریت در داخل کالکوپیریت (A & B) و همچنین به حاشیه دگرسانی کانی فیروزه (C)، توجه شود.

### توالی پاراژنتیکی

با توجه به مطالعات مینرالوگرافی و شواهد موجود در کانی‌های مشاهده شده مقاطع نازک و صیقلی می‌توان توالی پاراژنتیکی دو سنگ برداشت شده (یک نمونه با کیفیت مناسب فیروزه (T) و یک نمونه با کیفیت متوسط فیروزه (SH) را تا حدودی مشخص و تعیین کرد که در شکل (۱۵)، بیان شده است. در این مطالعات توالی پاراژنتزی می‌توان چنین عنوان کرد که کانی-

های پیریت، اسپیکولاریت، کوارتز و کانی‌های کربناتی شاخصه محدوده هیپوژن می‌باشند و همچنین اکسیدهای آهن و از همه مهمتر فیروزه در محدوده سوپرژن قرار می‌گیرند. قرارگیری، جایگاه و تمرکز کانی‌های پیریت، فیروزه و کانی‌های سولفیدی در این جدول (۱۵)، قابل توجه می‌باشد. کانی فیروزه که مهم‌ترین کانی مورد مطالعه در این پژوهش و همچنین اقتصادی‌ترین واحد در منطقه می‌باشد، یک کانی ثانویه و احتمالاً بطور کامل تاخیری می‌باشد و با توجه به شکل‌های (همه شکل‌هایی که فیروزه دارند)، کانی‌های سولفیدی- اکسیدی را قطع کرده و در زمینه سنگ میزبان توزیع و پراکنده شده است. چنین بنظر می‌رسد که کانی فیروزه به دلیل اکسیداسیون وسیع و ضخامت زیاد زون اکسیدان منطقه (وجود کانی فیروزه تا عمق حدود ۷۰ متری در تونل‌ها) و همچنین وجود کانی‌های با ترکیبات آبدار (مانند آپاتیت)، تشکیل شده است. کانی‌های با درصد بالای اکسید آهن و زون وسیع گوسان که باعث تیرگی سنگ‌های آتش فشانی منطقه شده‌اند نیز، خود شاهدهی بر این دلیل می‌باشد که زون اکسیداسیون، بخش بزرگی را فراگرفته که گواهی بر گستردگی کانی‌سازی منطقه است.

Minerals	Hypogene		Supergene (Oxidation zone)
	Stockwork	Disseminated	
Pyrite	High concentration	High concentration	Low concentration
Chalcopyrite	High concentration	High concentration	Low concentration
Specularite	Low concentration	High concentration	Low concentration
Quartz	Low concentration	High concentration	Low concentration
Carbonat	Low concentration	High concentration	Low concentration
Clay minerals	Low concentration	High concentration	Low concentration
Hematite	Low concentration	Low concentration	High concentration
Turquoise	Low concentration	Low concentration	High concentration

شکل ۱۵: توالی پاراژنزی کانی‌های اولیه و ثانویه در سنگ‌های میزبان فیروزه (سنگ T به رنگ قرمز و سنگ SH به رنگ آبی).

### شیمی کانی

با توجه به جدول‌های شماره (۲، ۳، ۴ و ۵)، در دو نمونه سنگ میزبان حاوی کانی فیروزه، تغییرات حاصل از شیمی عناصر با نزدیک شدن به کانی فیروزه مورد توجه واقع شده است. در هر دو نمونه با نزدیک شدن (in) و با دور شدن (out)، این عناصر مورد توجه قرار گرفته‌اند و به هر یک از آن‌ها پرداخته خواهد شد.



	Wt %				
S1 (in)	1	2	3	4	5
C	18.27	6.75	10.15	20.97	11.37
O	38.21	41.21	42.76	35.01	41.10
Fe	2.98	4.49	2.23	1.10	3.27
Cu	5.30	6.76	6.76	4.29	7.21
Al	17.85	20.69	19.22	18.01	19.31
Si	1.12	0.87	1.20	1.67	1.24
P	14.21	16.78	15.54	15.94	14.58
S	0.29	0.19	0.32	0.41	0.33
K	0.30	0.23	0.41	0.52	0.24
Fe	1.47	2.04	1.86	2.09	1.35

جدول ۲: نتایج تجزیه رگه فیروزه (S1 in) با دستگاه SEM

	Wt %				
S1 (out)	1	2	3	4	5
C	12.95	21.82	24.78	16.03	28.16
O	31.74	27.98	23.53	27.37	24.81
Fe	2.46	2.64	2.01	4.98	2.02
Cu	4.51	4.17	3.51	4.23	2.99
Al	20.77	18.23	16.47	17.26	16.60
Si	1.68	2.19	5.89	4.04	3.01
P	22.23	18.88	18.20	16.64	17.30
S	0.35	0.70	0.94	1.92	0.70
K	0.52	0.99	1.82	1.39	1.04
Fe	2.78	2.40	2.85	6.13	3.35

جدول ۳: نتایج تجزیه رگه فیروزه (S1 out) با دستگاه SEM

	Wt %	
S2 (in)	1	2
C	7.53	7.65
O	36.80	38.20
Fe	9.29	7.48
Cu	3.04	2.04
Al	1.39	1.19
Si	37.44	38.60
P	2.03	1.69
S	0.62	0.40
K	0.49	0.24
Fe	1.37	2.51

جدول ۴: نتایج تجزیه رگه فیروزه (S2 in) با دستگاه SEM

S2 (out)	Wt %			
	1	2	3	4
C	7.08	4.72	6.60	23.52
O	29.14	31.38	29.57	24.85
Fe	18.27	18.53	23.85	20.43
Cu	2.77	2.11	0.78	3.24
Al	2.89	2.18	0.99	1.78
Si	19.27	18.30	1.40	2.23
P	2.73	3.03	2.74	2.46
S	5.08	5.68	9.66	5.90
K	3.59	4.33	4.69	3.24
Fe	9.20	9.75	19.71	12.34

جدول ۵: نتایج تجزیه رگه فیروزه (S2 out) با دستگاه SEM

### بحث و نتیجه گیری

پس از انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته چنین برداشت شده است که بیشتر سنگ میزبان کانی مهم و اقتصادی فیروزه، سنگ‌های تراکیتی آندزیتی می‌باشند و از جمله مهم‌ترین دگرسانی‌های موجود در معدن فیروزه نیشابور می‌توان به هماتیتی شدن، سیلیسی شدن، آرژیلیک و تا حدودی کائولینیتی شدن را اشاره کرد. با توجه به نتایج حاصله از آنالیز ماکروپروب، بیشترین مقدار عنصر مس، در نمونه اول (S1)، با نزدیک شدن به کانی فیروزه افزایش یافته و مقدار ۷,۲۹ درصد وزنی می‌باشد و کمترین مقدار مس، ۳,۰۴ درصد وزنی در نمونه دوم (S2) با نزدیک شدن به کانی فیروزه افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار عنصر آلومینیوم، ۲۰,۶۹ درصد وزنی در نمونه (S1) می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار عنصر فسفر، ۲۲,۲۳ درصد وزنی در نمونه اول (S1) می‌باشد. در هر دو نمونه با نزدیک شدن به رگه فیروزه، همبستگی میان عناصر مس و سیلیس، منفی و همبستگی میان عناصر مس با آهن و آلومینیوم مثبت می‌باشد. در هر دو نمونه با دور شدن از رگه فیروزه همبستگی میان عناصر مس و آلومینیوم مثبت می‌باشد.

### منابع

اکرمی، م. عسکری، ع. ۱۳۷۹، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سلطان آباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰، معدن فیروزه نیشابور، نخستین کانی سازی مس، طلا، اورانیوم، عناصر کمیاب خاکی سبک نوع IOCG.  
 کریم‌پور، م. ه. ۱۳۸۲، کانی شناسی، دگرسانی، سنگ منشاء و محیط زمین ساختی کانسارهای آهن اکسیدی مس طلا، و مثال‌هایی از ایران، یازدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.  
 نبوی، م. ه. ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ ص.  
 یزدی، محمد. ۱۳۹۲. روش های تجزیه نمونه های ژئوشیمیایی، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۸۲ص.

Akrami M, Yazdi M, Masoudi F, Delpasand Z (2019) Comparison of gemology and Raman spectroscopy between Neyshabour and Kerman low-grade turquoises. 22nd Symposium of Geological Society of Iran, Shahid Beheshti university, (in Persian).

- Alavi, M. (1996). Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Journal of Geodynamics*, 21(1), 1-33.
- Amini, M. Zoalfaghari, A. (2017). Investigating the potentials of gemstones in the Kuh- Gabri Skarn, Kerman Province. 21th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran. At: Yazd university. (in Persian).
- Ovissi M, Yazdi M, Ghorbani M (2015). Turquoise gemology of Iran in historical times (in old texts of Iran and world). 3th National meeting of gemology and crystallography of Iran, (in Persian).
- Yazdi, M. (2008). Crystallography. Ball (in Persian).

## مطالعات میکروسکوپی، کانه نگاری و ژئوشیمیایی کانسنگ معدن گلالی ۱

هدی شیردره<sup>۱</sup>، مهرداد براتی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا

<sup>۲</sup>عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا

[Barati@basu.ac.ir](mailto:Barati@basu.ac.ir)

### چکیده:

کانسار گلالی ۱ در غرب ایران، در زون سنندج - سیرجان و در دامنه‌ی ارتفاعات کرمخانی کوه آلموقلاق واقع شده است. کانه اصلی این ذخیره مگنتیت است، ولی مقادیری هماتیت، گوئیت، لیمونیت ثانویه، مالاکیت و پیریت در این کانسار دیده می‌شوند. درحقیقت کانسار گلالی ۱ در اثر حرکت‌های گسلی و کانه‌زایی متعاقب آن شکل گرفته است به‌طوری‌که می‌توان ۳ فاز کانه‌زایی را در آن مشخص کرد: فاز ۱ شامل اکسیدها و مخصوصاً مگنتیت بسیار چگال و فشرده با مقادیر بسیار ناچیز پیریت بعنوان کانی سولفیدی، در زیر میکروسکوپ مگنتیت بافت گرانولار با اکسلوشن هماتیت دارد. همبستگی Fe با Ca, Al, Si در این تیپ منفی است که نشان دهنده‌ی حضور Fe و Al در یک موقعیت بلوری است. فاز ۲ شامل هماتیت با بافت دانه‌ای به همراه مقادیری پیریت است. همبستگی Fe با Ca, Si در این تیپ منفی و با Al مثبت است که به معنی حضور Al در سیلیکات‌ها می‌باشد. کانی‌زایی فاز ۳ که شامل کانی‌زایی گوئیت با بافت گرانولار با مقادیری لیمونیت می‌باشد. دگرسانی شامل اسکارنی شدن، اپیدوتی شدن، دولومیتی شدن به همراه رگه‌های آرژلیتی تا مونت مورینیتی است. نیروهای تکتونیک سبب بروز ریزچین‌ها در زون‌های دگرسانی شده‌اند.

کلیدواژه: کانی‌زایی آهن، ژئوشیمیایی، دگرسانی، گلالی ۱

## Microscopic, mineralogical and geochemical studies of Galali mine ore 1

Hoda shirdarreh ; Mehrdad Barati\*

### Abstract

Galali deposit in western Iran, it is located in Sanandaj - Sirjan zone and in the slope heights of Karamkhani Almoqlaq mountain. The main ore of this deposit is magnetite, but some hematite, goethite, secondary limonite, malachite and pyrite are seen in this deposit. In fact, the Galali deposit is formed by fault movements and subsequent mineralization, so that 3 phases of mineralization can be identified in it: Phase 1 contains oxides, especially very dense and compact magnetite with very small amounts of pyrite as a sulfide mineral, under the microscope, the magnetite has granular tissue with hematite evolution. The correlation of Fe with Ca, Al, Si in this type is negative, which indicates the presence of Fe and Al in a crystalline position. Phase 2 consists of granular hematite with some pyrite. The correlation of Fe with Ca, Si in this type is negative and with Al is positive which means the presence of Al in silicates. Phase 3 mineralization which includes granular tissue goethite mineralization with some limonite. Alteration includes scarnification, epidoteization, dolomitization with argillite to montmorionite veins. Tectonic forces have caused microchips in alteration zones.

مقدمه :

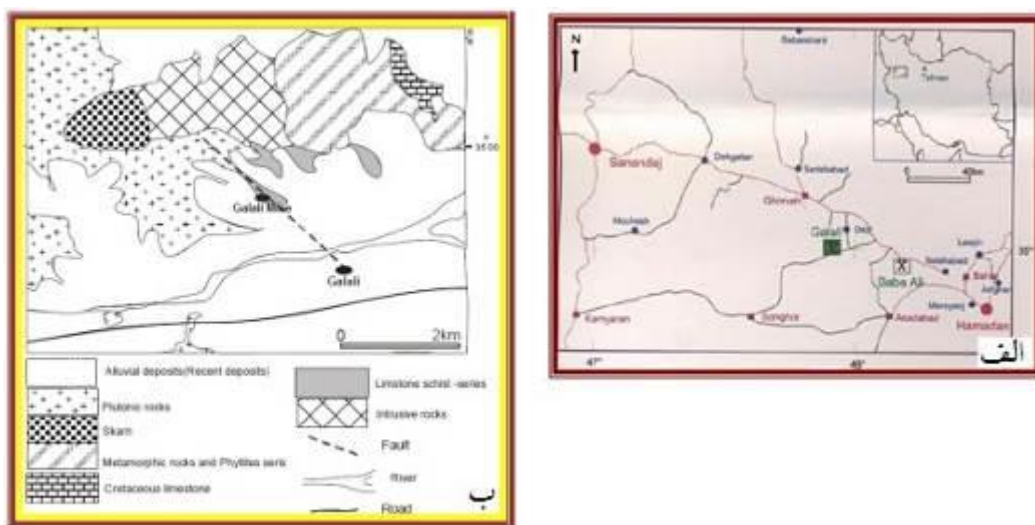
در غرب ایران در زون دگرگونی – آذرین ، سنندج- سیرجان و زون آتشفشانی اسفندقه- مریوان که به موازات این زون قرار گرفته است، تعداد زیادی کانسنگ و نمایه‌های آهن حد فاصل شهرستان‌های اراک تا زنجان، در نواری به طول ۴۰۰ km و ۲۰۰ km قرار گرفته اند. واحدهای سنگی منطقه سنندج – سیرجان به سن پالئوزوئیک تا مزوزوئیک می‌باشد که شامل توالی‌های آتشفشانی – رسوبی بوده که واحدهای سنگی شیست سبز تا آمفیبولیت را تشکیل داده است. واحدهای سنگی شامل سنگ‌های ولکانوکلاستیک و رسوبی دگرگون شده می‌باشد. توده‌های نفوذی گرانیتی، مافیک و دایک‌های متعددی در چندین مرحله نفوذ کرده‌اند (Rashidnejad et al., 2002; Aliyari et al., 2012.; Kouhestani et al., 2014). ذخایر آهن از مهمترین ذخایر اقتصادی در این زون می‌باشد که معدن باباعلی، شمس آباد، شهرک، گلالی با بیش از ۱۰ نمایه آهن از بزرگترین این معادن می‌باشند. معدن اسکارن گلالی بزرگترین معدن استان کردستان که در حوضه‌ی پشت قوسی تشکیل شده است، در ارتباط با سیستم‌های ماگمایی – گرمایی وابسته به توده‌ی سینیتی – مونزونیتی آلموقلاق است که در سطح فوقانی پوسته زمین تشکیل شده است. در این مقاله به مطالعه و بررسی میکروسکوپی، کانه نگاری و ژئوشیمیایی در کانسنگ معدن گلالی ۱ می‌پردازیم.

روش مطالعه :

در این مقاله به منظور مطالعه و بررسی، با پیمایش‌های صحرایی صورت گرفته در معدن گلالی ۱، تعداد ۳۰ نمونه از منطقه مورد مطالعه باتوجه به شواهد کانی‌زایی و دگرسانی‌های موجود در محل، برای تهیه مقاطع نازک و انجام آزمایشات XRF و XRD, ICP-MS برداشت شد.

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه:

معدن آهن گلالی از نظر تقسیمات کشوری در استان کردستان و در ۵۸ کیلومتری شمال غرب همدان و ۲ کیلومتری شمال روستای گلالی قرار گرفته است. مختصات این معدن عبارتند از:  $E 47^{\circ} 54' 09''$  ,  $N 34^{\circ} 59' 19''$  ، ارتفاع بیرون‌زدگی‌های این کانسار ۱۷۱۰ تا ۲۱۰۰ متر است. (شکل ۱) از دیدگاه زمین شناسی این معدن در داخل زون سنندج – سیرجان مرتبط با کانسارهای آهن ماگمایی – اسکارنی و ولکانوژن با سن کرتاسه- ترشیاری می‌باشد.



شکل ۱. (الف) موقعیت جغرافیایی کانسار گلالی همراه با راه‌های دسترسی، (ب) نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی.

کانسار آهن گلالی از دو اندیس جدا گانه تشکیل گردیده است. در این پژوهش اندیس ۱ مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. واحدهای سنگهای آذرین در منطقه گلالی شامل سنگهای نیمه عمیق تا آتشفشانی مانند سینیت، سینو کوارتز مونزونیت، کوارتز مونزوسینیت، داسیت پرفیری، گرانیت و الکالی سینوگرانیت می باشد. همچنین سنگهای دگرگونی منطقه شامل: کردیریت شیست، فیلیت، متادیوریت، متاریولیت، ماسه سنگ خاکستری با رگچه های اپیدوتی و مرمر اسکارنی شده با عدسی های نازک مگنتیت می باشد (براتی، ۱۳۹۱). کانسار آهن گلالی ۱ در حال حاضر به روش روباز و بصورت پلکانی استخراج می گردد و در آن حدود ۶ پله استخراج گردیده است. (شکل ۲) این معدن در انتهای شمال شرقی خود با آهک های کریستالین که در مجاورت معدن به اسکارن تبدیل شده اند. در ارتباط است و در انتهای جنوب غربی خود با انواع سنگ های سینیتی تا کوارتز مونزونیتی در ارتباط می باشد. این سنگ ها در بعضی از نقاط تبدیل به اسکارن گردیده اند. (شهاب پور، ۱۳۷۹) مطالعات صحرائی و بررسی های آزمایشگاهی موید این موضوع است که اسکارن حاصل از نوع اگزواسکارن کلسیمی می باشد. کانسار آهن گلالی ۱ دارای ژنز اسکارنی است و بیشتر از مگنتیت با بافت و ساخت برشی تشکیل شده است که حاکی از فرارگیری این ذخیره در زون گسلی است. (هوشمندزاده، ۱۳۷۴)



شکل ۲. نمایی از معدن آهن گلالی.

#### ۱- کانی شناسی:

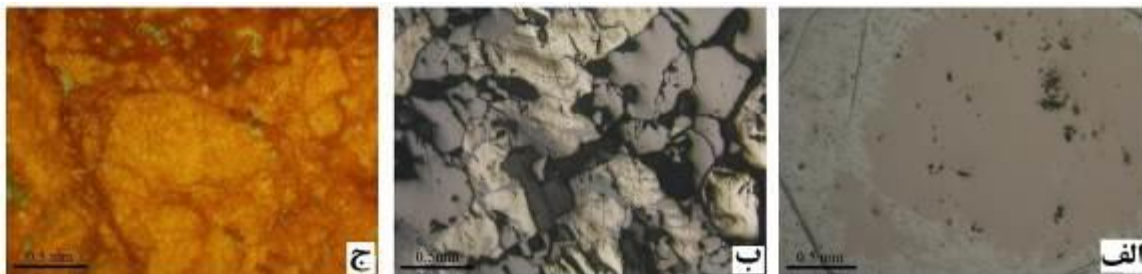
عدسی سنگ آهن گلالی ۱ در جنوب منطقه قرار دارد. در این ذخیره، ۳ فاز کانسنگ به صورت زیر قابل شناسایی است: (۱) فاز کانی مگنتیت به عنوان کانی اصلی چگال و به رنگ قهوه ای تا سیاه رنگ و شدیداً مغناطیسی. (۲) سنگ آهن هماتیتی به همراه سیلیکات های تیره شامل آمفیبول، پیروکسن، کلریت، اپیدوت، ویزگی این فاز حضور کانی اصلی سولفور آهن کانسار، پیریت است. (۳) رگه های گوتیتی تزریق شده در کانسنگ های مراحل قبل و سنگ دیواره.



شکل ۳. هر ۳ فاز کانه‌زایی تشکیل شده در توده کانسار آهن واقع در معدن گلالی ۱.

(۱) کانه نگاری:

مطالعات پتروگرافی بر روی مقاطع نازک - صیقلی به منظور شناخت حضور یا عدم حضور کانی‌ها در سنگ‌های منطقه، بافت سنگی و کانی‌ها، مراحل و نسل‌های مختلف کانی سازی و... صورت گرفت. براساس نمونه برداری‌های صورت گرفته از نقاط کانه‌زایی مختلف در منطقه‌ی کانساری، از هر فاز کانه‌زایی چندین مقطع گرفته و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. (شکل ۳)



شکل ۳. (الف) کانی مگنتیت توده‌ای دارای اکسلوشن دارای تیپ ۱ (PPL). (ب) کانسنگ مگنتیت- هماتیت تیپ ۲ با سولفید فراوان (PPL). (ج) گوتیت فاز ۳ با انعکاس داخلی شعله‌ای و دانه‌های پراکنده مالاکیت (XPL).

(۲) ژئوشیمی

به منظور بررسی و مقایسه‌ی ترکیب شیمیایی هریک از فازهای کانه‌زایی باهم، تعدادی از نمونه‌ها را مورد تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS و XRF قرار دادیم. در روش XRF: برای اندازه گیری عناصر اصلی موجود در نمونه‌های برداشت شده از منطقه که شامل عناصر: Si-Al-Ti-Fe-Mg-Ca-Na-K-Mn-P می‌باشد، دو نمونه از فاز ۱ (۱۲P1, ۱۸P1) و دو نمونه از فاز ۲ (۲۳P2, ۴۵P2) کانه‌زایی انتخاب و پودر شده و به روش XRF مورد تجزیه قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

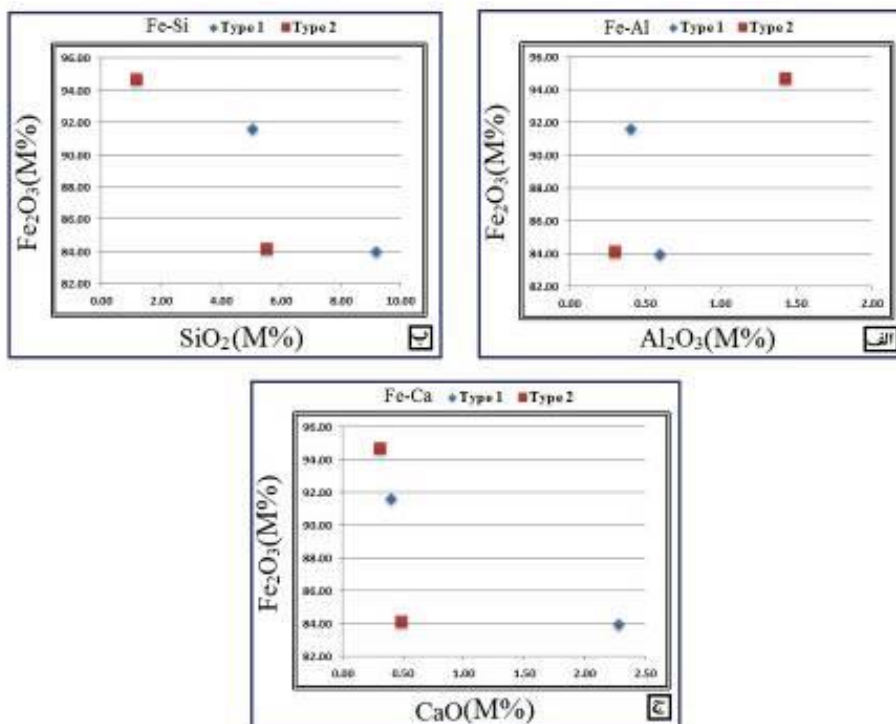
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۱. نتایج تجزیه ی شیمیایی به روش XRF ، مقادیر برحسب wt% (درصد وزنی) تضمینی شده اند.

	۱	۲	۳	۴
sample	۱۲P1	۲۲P2	۱۸P1	۴۵P2
SiO <sub>2</sub>	۹/۲	۱/۱۸	۵/۰۷	۵/۵۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۶	۱/۴۳	۰/۴۱	۰/۳
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸۳/۹۶	۹۴/۷۰	۹۱/۶۱	۸۴/۱۵
MgO	۲/۷	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۱
CaO	۲/۲۸	۰/۳۱	۰/۴	۰/۴۹
Na <sub>2</sub> O	-	-	۰/۰۳	-
K <sub>2</sub> O	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۱	-
MnO	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰	۰/۰۲	-	۰/۰۱
LOI	۰/۹۲	۰/۲۶	۲/۱۹	۹/۳۴
total	۹۹/۸۹	۹۹/۴۴	۱۰۰/۰۴	۹۹/۹۶

در شکل ۴(الف) نمودار براساس Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> رسم گردیده، مشخصاً دو تیپ کناسار دو محدوده ی متفاوت را اشغال کرده اند. همچنین در شکل ۴(ب) نمودار SiO<sub>2</sub> - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> مجدداً دیده می شود که نمونه های برداشت شده از هر تیپ محدوده ی جداگانه ای را اشغال می کند و متوسط میزان سیلیس تیپ ۱ از تیپ ۲ بیشتر می باشد. در شکل ۴ (ج) هم نمودار براساس CaO - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> رسم شده در اینجا هم مشخص است که دو تیپ مورد مطالعه در دو منطقه جداگانه قرار می گیرند.

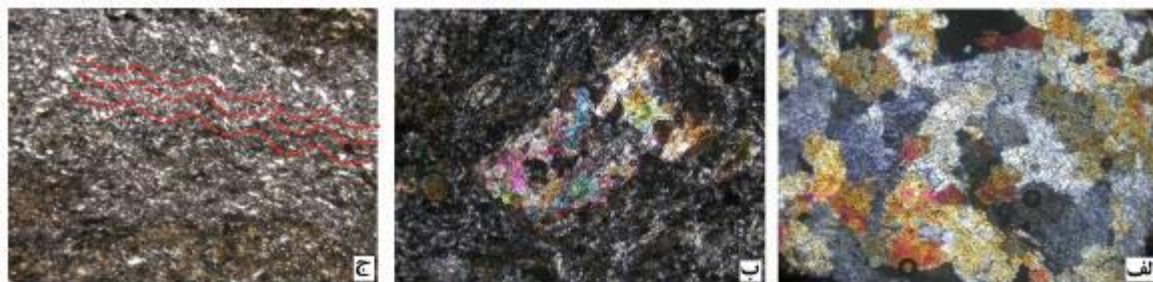


شکل ۴. نمودارهای مختلف رسم شده براساس آنالیز به روش XRF : (الف) نمودار Fe-Al، (ب) نمودار Fe-Si، (ج) نمودار Fe-Ca. مقادیر ترکیبها برحسب درصد مولی هستند.



### ۳) دگرسانی:

از مهمترین دگرسانی‌های تشکیل شده همراه در ذخیره‌ی گلالی ۱، می‌توان به دگرسانی‌های اسکارنی، اپیدوتی، دولومیتی و تبلور دوباره آهک‌ها و نیز دگرسانی پلیتی اشاره کرد. اسکارنی و اپیدوتی شدن آلتراسیون غالب در منطقه بوده که با وسعت زیادی در منطقه دیده می‌شود. اپیدوتی شدن سبب تبدیل کانی‌های مافیک تا حدواسط به زوئیزیت شده است. (شکل ۵، الف). در شکل ۵ (ب) نیز تبدیل یک پلاژیوکلاز با حفظ هابیت به زوئیزیت دیده می‌شود به نظر می‌رسد فعالیت تکتونیکی بعد از آلتراسیون به منطقه اعمال شده است و اثرات مختلفی نظیر تولید ریزچین‌ها بجا گذاشته است پدیده‌ی اخیر در زون سیلیسی شدن به خوبی دیده می‌شود. (شکل ۵، ج)



شکل ۵. الف) مقطع میکروسکوپی از زون اپیدوتیزیشن (XPL). ب) یک پلاژیوکلاز کاملاً اپیدوتی شده در زون اپیدوتیزیشن (XPL). ج) ریزچین‌های ناشی از حرکات تکتونیکی در زون سیلیسی شدن (XPL).

### نتیجه گیری:

کانسار گلالی ۱ در حدفاصل توده‌ی آذرین و آهک‌های کرتاسه تشکیل شده است. این توده‌ی معدنی از ۳ فاز مختلف با ترکیب شیمیایی اکسید تا هیدروکسید عمدتاً تشکیل شده است. فاز اول شامل مگنتیت فشرده با بافت گرانولار، فاز دوم غالباً هماتیت با مقدار زیادی پیریت و فاز سوم گوتیت بلورین می‌باشد. روابط بین عناصر مختلف نشان دهنده‌ی وجود عناصر Si و Fe, Al, Ca در کانی‌های مختلف در این فازها می‌باشد. هرچند دگرسانی‌های اسکارنی شدن، اپیدوتی شدن، دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و تبلور مجدد در منطقه دیده می‌شود ولی تبلور قالب، اپیدوتی شدن است و بنظر می‌رسد که نیروهای تکتونیکی پس از تزریق فازهای مختلف کانیایی نیز در منطقه اثرگذاری کرده و تولید اشکال مختلف تکتونیکی در این توده اسکارنی و هاله‌ی دگرسانی اطراف آن نموده است. ریزچین‌های متقارن شکل مشترک در هاله‌ی دگرسانی می‌باشد.

### منابع:

- ۱) براتی، م، ۱۳۹۱. بررسی کانی شناسی، ژئوشیمی و ایزوتوپ‌های گوگرد در کانسار گلالی، غرب ایران. بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۲۰(۲)، ۲۲۸-۲۱۵.
- ۲) شهاب پور، ج، ۱۳۷۹. زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۷۴۵ صفحه.
- ۳) هوشمند زاده، ع، ۱۳۷۴. زمین شناسی ایران (کانسارهای آهن)، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۴۲ صفحه.
- 4) Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M., 2012. Gold deposits in the Sanandaj-Sirjan zone : Orogenic gold deposits or intrusion-related gold systems. Resource Geology, 62, 296-315.
- 5) Kouhestani, H., Rashidnejad-Omran, N., Rastad, E., Mohajjel, M., Goldfarb, R., Ghaderi, M., 2014. Orogenic gold mineralization at the Chah Bagh deposit, Muteh gold district, Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 91, 89-106.
- 6) Rashidnejad-omran, N., Emami, M.H., Sabzehei, M., Rastad, E., Bellon, H., Pique, A., 2002. Lithostratigraphie et histoire paléozoïque a paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridionale). C.R. Geosci, 34, 1185-1191.

## پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور بارزسازی و تفکیک واحدهای سنگی و ارزیابی توان کانی‌زایی کرومیت در مجموعه افیولیتی پیرانشهر، شمال غرب ایران

سعید اسمعیلی خلخاله\*<sup>۱</sup>، یوسف رحیم سوری<sup>۱</sup> و فرزاد فتح‌اله زاده<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

se3512477@gmail.com

### چکیده:

ناحیه مورد مطالعه بخش اصلی از مجموعه افیولیتی در شمال غرب شهر پیرانشهر در استان آذربایجان غربی است. با توجه به موقعیت جغرافیایی (نزدیک مرز ایران-عراق) و صعب‌العبور بودن منطقه، سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای جهت تفکیک واحدهای سنگی مجموعه افیولیتی با استفاده از نسبت‌های باندی و روش آماری آنالیز مولفه اصلی صورت گرفت. با استفاده از نسبت‌های باندی  $2/3 * 4/3$  و  $4/1$  و  $4/7$  و نسبت‌های باندی  $2/1$ ،  $4/7$   $3/4$ ، تفکیک و بارزسازی پریدوتیت‌ها (هارزبورژیت‌های سرپانتینیته شده) به خوبی انجام گرفت. در بازدیدهای صحرائی، با توجه به نمونه برداری از واریزه‌های سنگی موجود در مسیر آبراهه‌های پایین دست زون هارزبورژیت سرپانتینیته شده، وجود کانی‌سازی کرومیت تایید گردید. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد از نسبت‌های باندی مشخص شده برای پی‌جویی و تفکیک مناطق دارای پتانسیل کانی‌سازی کرومیت استفاده گردد. همچنین با استفاده از نسبت‌های باندی  $(7+9)/8$  و  $(5+7)/6$  و  $(2+4)/3$ ، تفکیک واحدهای سنگی مختلف مجموعه افیولیتی پیرانشهر و سایر واحدهای سنگی اطراف صورت گرفت. کلیدواژه: افیولیت، هارزبورژیت، کرومیت، سنجش از دور، پیرانشهر.

## Satellite image processing for enhancement and separating of different rock units and evaluating of chromite mineralization potential in Piranshahr Ophiolite complex, West Azarbaijan Province, Northwest Iran

Saeid Esmaili Khalkhalah\*, Yousef Rahimsouri and Farzad Fathollahzadeh

Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University

### Abstract

The study area is a main part of the ophiolite complex in the northwest of Piranshahr city in West Azarbaijan Province. Due to the geographical location (near the Iran-Iraq border) and the impassability of the region, remote sensing and processing of satellite images to separate the rock units of the ophiolite complex using band ratios and statistical method of principal component analysis (PCA). Using band ratios of  $2/3 * 4/3$ ,  $4/1$ , and  $4/7$  and band ratios of  $2/2$ ,  $3/4$ ,  $4/7$ , separation and distinction of peridotites (serpentinized harzburgites) well was performed. During the fieldworks and sampling, the existence of chromite mineralization was determined in the serpentinized harzburgite debris in downward drainages. Based on this research, it is suggested to use the specified band ratios to search for and separate areas with chromite mineralization potential. Also, using band ratios of  $(7 + 9) / 8$ ,  $(5 + 7) / 6$  and  $(2 + 4) / 3$ , different rock units of Piranshahr ophiolite complex and other surrounding rock units were separated.

Keywords: Ophiolite, Harzburgite, Chromite, Remote Sensing, Piranshahr.

#### مقدمه:

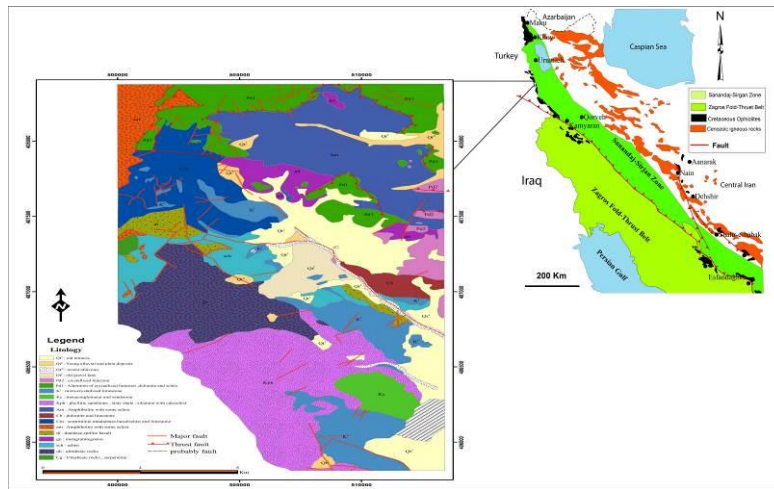
سنجش از دور از جمله روشهای جمع آوری داده است که در آن کمترین میزان تماس مستقیم با اشیاء و عوارض مورد اندازه گیری وجود دارد و برخلاف سایر روشها که عوامل انسانی در گردآوری و تفسیر دادههای زمینی نقش دارند، در روش سنجش از دور، این وظیفه بر عهده سنجندهها می باشد. زمین شناسان از سنجش از دور به عنوان ابزاری برای دستیابی به نتایج بهتر و کامل تر در مدت زمان کمتر استفاده می کنند (فاندرحمته و همکاران، ۱۳۸۶؛ عسگرزاده و همکاران، ۱۳۹۵). سنجش از دور یکی از ابزارهای مناسب مدیریت جامع منابع زمینی است که حجم زیادی از اطلاعات زمینی به روز را در کمترین زمان توسط سنجندههای مختلف ثبت می کند. این اطلاعات اساس برنامه ریزی های مختلف را تشکیل می دهد (علوی پناه، ۱۳۸۸؛ Masser, 2001). از جمله کاربردهای سنجش از دور می توان به آمایش سرزمین، نقشه برداری ساختاری، شناسایی زون های آلتراسیون، نقشه خاک شناسی، شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی، نقشه های حساسیت سنگها به فرسایش، خصوصیات سنگها، نقشه برداری از خطواره های ناحیه ای، نقشه برداری از شکستگی های محلی، نقشه برداری از واحدهای زمین شناسی و شناسایی گروه های کانی اشاره نمود (فاندرحمته، ۱۳۸۶؛ Dalati m, 2000). تصاویر ASTER می تواند در تفکیک انواع واحدهای سنگی و تهیه نقشه های زمین شناسی مفید باشد (Ninomiya et al., 2005, Gad 2007 and Kusky, 2006). تفکیک و جداسازی واحدهای سنگی به این دلیل که غلظت عناصر و به تبع آن، کانی سازی در سنگ های مختلف می تواند متفاوت باشد، قابل ملاحظه و دارای اهمیت است. امروزه در پی جویی و اکتشافات ذخایر معدنی، داده های ASTER به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرد (Di Tommaso and Rubinstein, Crosta, and DE Souza Fillo, 2003). هدف از این پژوهش فعلی، تفکیک و نقشه برداری طیفی واحدهای سنگی مجموعه افیولیتی پیرانشهر در منطقه مطالعاتی، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای ASTER و شناسایی واحد سنگ های میزبان کانی سازی احتمالی کرومیت می باشد.

#### زمین شناسی:

مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال غرب شهر پیرانشهر در استان آذربایجان غربی بین طول های جغرافیایی  $45^{\circ}00'$  تا  $45^{\circ}10'$  شرقی و عرض های جغرافیایی  $36^{\circ}44'$  تا  $36^{\circ}54'$  شمالی، در مرز شمال غربی ایران با عراق واقع است. از دیدگاه تقسیمات ساختمانی- رسوبی ایران، این منطقه بخشی از زون سندج - سیرجان (Stocklin, 1968; Gilg et al., 2006) و زون خوی-مهاباد (نبوی، ۱۳۵۵) می باشد. این منطقه در بخش غربی شکستگی مهم زرینه رود - ارومیه جای گرفته به همین دلیل بخشی از زون همدان- ارومیه نیز محسوب می شود (افتخارنژاد، ۱۳۵۹). دو شکستگی مهم سلطانیه- تبریز، زرینه رود- ارومیه، عامل اصلی ناهمسانی بسیار مشخص رخساره ها در آذربایجان می باشد و خطواره زرینه رود- ارومیه جداکننده کمر بند فلیشی خاور دریاچه و نهشته های سکوی قاره ای ایران مرکزی است (خدابنده و همکاران، ۱۳۸۳).

منطقه پیرانشهر از دیدگاه لیتولوژی شباهت هایی با پهنه توروس بیرونی (Outer Taurus) در کشور ترکیه دارد و شماری از سازندهای منطقه با پهنه یاد شده قابل مقایسه هستند (خدابنده و همکاران، ۱۳۸۳). در این منطقه سنگ های رسوبی، آذرین و دگرگونی در گستره زیادی رخنمون دارند. شکل گیری این سنگها از پیامدهای فاز کوهزایی لارامید می باشد. همچنین وجود سنگ های آمیزه رنگین در مناطق شمال غربی که ادامه آن به داخل کشور عراق کشیده شده است از دیگر ویژگی های منطقه پیرانشهر می باشد. سنگ های تشکیل دهنده این مجموعه، شامل انواع سنگ های اولترابازیک، دیاباز، بازالت و شیست به همراه سنگ های رسوبی نواحی ژرف نظیر چرت های رادیولاریتی و سنگ آهک های پلاژیک است. سنگ های

اولترامافیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر فراوان ترین واحد دارای رخنمون در منطقه بوده و شامل سرپانتینیت، ورلیت، دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت و پیروکسنیت می باشند (یزدانی، ۱۳۹۲).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی مناطق شمال غرب پیرانشهر و محدوده مورد مطالعه

یزدانی (۱۳۹۲) دو گروه مهم از پریدوتیت های منطقه پیرانشهر را معرفی کرده است: ۱- پریدوتیت های کمتر سرپانتینی شده که بیشتر شامل ورلیت، دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت هستند. این نوع پریدوتیت ها شواهد کمی از میلونیتی شدن را نشان می دهند و بیشتر در بخش مرکزی و شرق افیولیت شمال غرب پیرانشهر دیده شده اند، ۲- پریدوتیت هایی که به طور کامل تبدیل به سرپانتینیت شده و به شدت دگرشکل شده اند. شواهد میلونیتی شدن در آنها قابل مشاهده است و عمدتاً در بخش های جنوبی منطقه افیولیتی قرار گرفته اند. بخش بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر شامل بازالت، الیوین گابرو و تکتونیت گابرو است که در آن شواهد میلونیتی قابل مشاهده می باشد. نهشته های پرمین با مرز روراندگی بر روی سکانس افیولیتی از جمله آمفیبولیت و آمیزه های رنگین کرتاسه فوقانی قرار گرفته اند. واحدهای پرمین احتمالاً رسوبات حاشیه قاره ای هستند که بر روی افیولیت ها رانده شده اند. رسوبات کرتاسه در نزدیکی مجموعه افیولیتی (افیولیت ملانژ) پیرانشهر شامل آهک های میکروکریستالین سفید و بدون فسیل می باشند که رخنمون آنها به همراه سنگ های آتشفشانی متا-دیاباز، دیاباز و مجموعه آمیزه رنگین دیده می شود. مرز بین آهک کرتاسه و مجموعه سنگ های افیولیتی گسله و برشی شده می باشد. واحدهای جوان تر از افیولیت در منطقه عموماً شامل متا-گرانیت موسوم به گنیس گرد سور به سن کرتاسه فوقانی-پالئوسن می باشد که مجموعه افیولیتی را قطع کرده است (خدابنده و همکاران، ۱۳۸۳). این سنگ ها در مقیاس ماکروسکوپی دارای بافتی کاملاً جهت یافته هستند. احتمالاً این متا-گرانیت، همان گرانیت های از نوع پلاژیوگرانیت (وابسته به مجموعه های افیولیتی) باشند که به علت فشارهای تکتونیک و وارده و دگرگون شدن به گنیس تبدیل شده اند. واحدهای سنگی کواترنری نیز عمدتاً شامل کنگلومرای سخت نشده است که دارای گسترش زیادی در منطقه می باشد. مرز واحدهای کواترنری با مجموعه سنگ های افیولیتی کرتاسه بصورت دگرشیبی است. در شکل ۲، نمایی دور از مجموعه افیولیتی پیرانشهر و تصاویری از واحدهای سنگی این مجموعه آورده شده است.



شکل ۲- (a و b) نمایی دور از مجموعه افیولیتی پیرانشهر، (c) رخنمونی از سنگ‌های پریدوتیتی، سرپانتینیت، عدسی منیزیت و آهک، (d) رخنمونی از سنگ‌های پریدوتیت، گابرو و بازالت، (e) رخنمونی از سنگ‌های پریدوتیتی آتره (سرپانتینیت)، (f) رخنمونی از سنگ آهک سیلیسی شده با رگه و رگچه‌های از کوارتز و آغشتگی به اکسیدهای آهن

### روش مطالعه:

سنجنده ASTER از لحاظ طیفی دارای محدوده‌های VNIR, SWIR, TIR است که برای نقشه برداری از مواد معدنی و لیتولوژی‌های مختلف و تعیین کانی‌های کربناتی، رس‌ها و سیلیکات‌ها مفید می‌باشد. در این پژوهش داده‌های ماهواره‌ای ASTER در نواحی طول موج طیفی VNIR و SWIR در نرم افزار ENVI 5.3 پردازش گردید و با استفاده از روش نسبت بانندی با معمول‌ترین نسبت‌های بانندی استفاده شده در ترکیبات رنگی کاذب و همچنین با استفاده از روش آماری آنالیز مولفه اصلی که نقشه‌ای با اطلاعات کامل و خلاصه شده‌ای ارائه می‌دهد، بارزسازی زون کانی‌زایی احتمالی کرومیت و تفکیک واحدهای افیولیتی صورت گرفت. در جدول ۱، پارامترهای عملکردی داده‌های ASTER ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای عملکردی داده‌های ASTER (Abrams, 2000)

طیف سنج	شماره باند	محدوده طیفی (μm)	وضوح تصویر (m)
VNIR	1	0.52-0.6	15
	2	0.63-0.69	
	3	0.78-0.86	
SWIR	4	1.6-1.7	30
	5	2.145-2.185	
	6	2.185-2.225	
	7	2.235-2.285	
	8	2.295-2.365	
	9	2.360-2.430	
TIR	10	8.125-8.475	90
	11	8.475-8.825	
	12	8.925-9.275	
	13	10.25-10.95	
	14	10.95-11.65	

سه باند VNIR از منابع مهم اطلاعاتی جذب فلزات واسطه به ویژه آهن و برخی از عناصر خاکی کمیاب (REE) می‌باشند (Hunt, 1972). در شش باند SWIR سنجنده ASTER، کانی‌های کربناته، کانی‌های هیدروکسیدی و هیدراته، ویژگی‌های جذب طیفی را نشان می‌دهند (Hunt, 1977). این محدوده بانندی، بهترین تفکیک گروه‌های مختلف کانیاپی را فراهم می‌کند. همچنین مهم‌ترین کانی‌های سنگ‌ساز مانند کوارتز، فلدسپار و کربنات، ویژگی جذب مولکولی را در محدوده TIR نشان می‌دهند (Lyon, 1964). در جدول ۲، معمول‌ترین باندهای مورد استفاده در ترکیبات کاذب رنگی سنجنده ASTER آورده شده است.

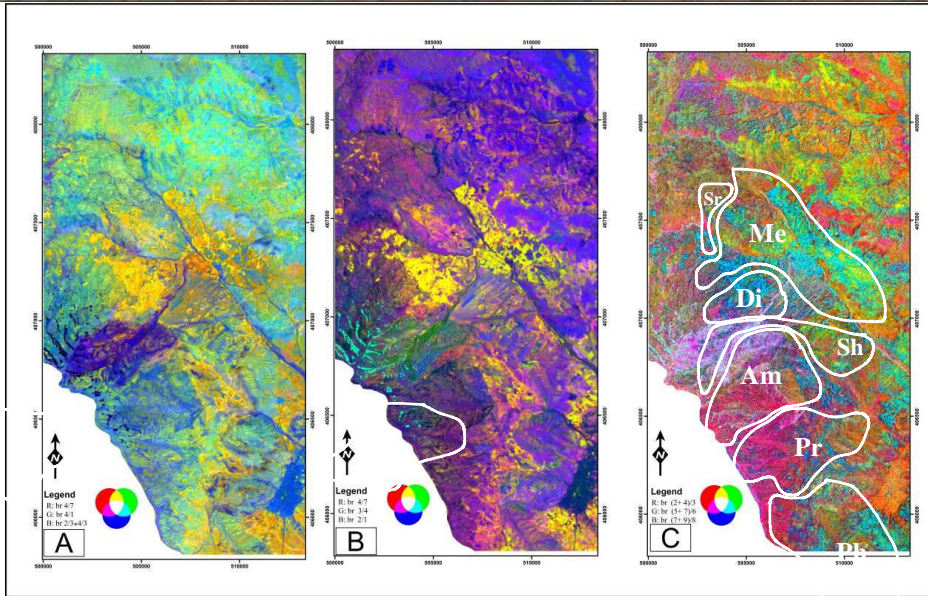
جدول ۲ - معمول‌ترین باندهای مورد استفاده در ترکیبات کاذب رنگی سنجنده استر (Rajendran, Nasir et al., 2014)

موضوع	روش	آبی	سبز	قرمز
پوشش گیاهی و باندهای مرئی	کشش ناهمبسته	۱	۲	۳
تفکیک هارزبورژیت‌های سرپانتینیتی شده	نسبت بانندی	۲/۳*۴/۳	۴/۱	۴/۷
تفکیک هارزبورژیت‌های سرپانتینیتی شده	نسبت بانندی	۲/۱	۳/۴	۴/۷
تفکیک سنگ‌های افیولیتی	نسبت بانندی	۹+۷/۸	۷+۵/۶	۴+۲/۳
متابازیت‌ها، گابروهای پایه، هارزبورژیت‌های سرپانتینیتی شده	آنالیز مولفه اصلی	۷	۴	۵

#### بحث:

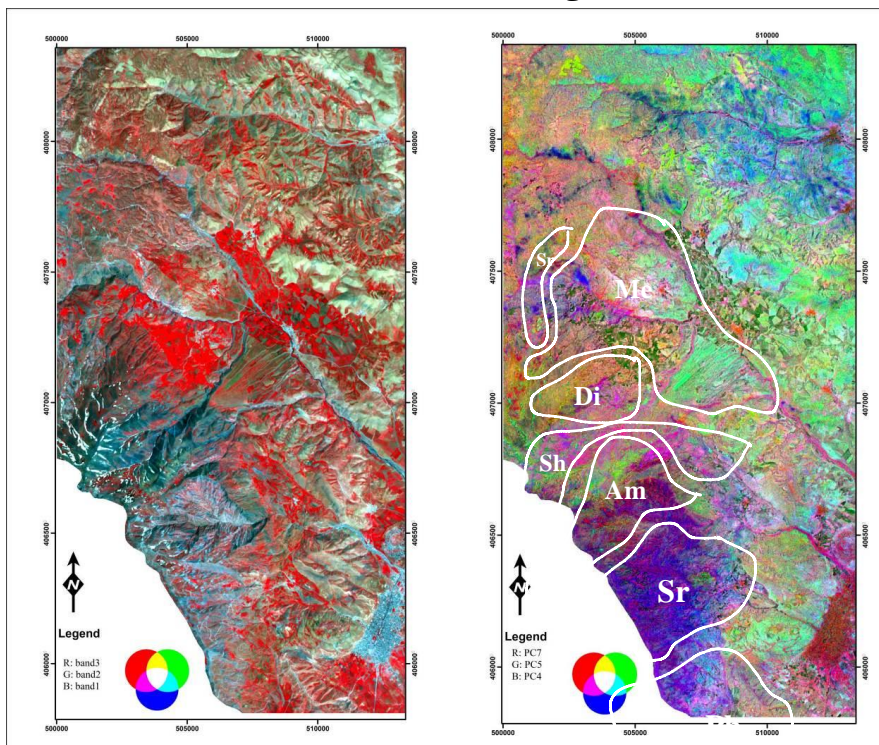
**Di** بازتاب طیفی تصویر یا طیف بازتابی ASTER برای واحدهای سنگی مشابه منطقه مورد مطالعه (سرپانتینیت‌ها، گابروها و متا-بازلت‌ها) به خوبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با استفاده و استناد به کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)، مشخص شده است که سرپانتین دارای دو ویژگی جذب در ۱/۴ و ۲/۳۵ میکرومتر است (Amer et. Al., 2010). گابرو، بازالت و متا-بازالت از کانی‌های اصلی پیروکسن، پلاژیوکلاز و الیوین تشکیل شده‌اند. پیروکسن دارای ویژگی جذب در ۲/۳۵ میکرومتر، پلاژیوکلاز آنورتیتی دارای دو ویژگی جذب در حدود ۲ و ۲/۴ میکرومتر و الیوین دارای ویژگی‌های جذب بین ۰/۸ و ۱/۲ میکرومتر می‌باشد.

همانطور که در شکل ۳ (تصاویر A و B)، مشخص شده است، با استفاده از نسبت‌های بانندی ۲/۳\*۴/۳ و ۴/۱ و ۴/۷ و نسبت‌های بانندی ۲/۱، ۳/۴، ۴/۷، تفکیک و بارسازی پریدوتیت‌ها (هارزبورژیت‌های سرپانتینیتی شده) به عنوان سنگ میزبان احتمالی کرومیت به خوبی صورت گرفته است. در بازدید صحرایی شرکت مکتشف از واریزه‌های سنگی موجود در مسیر آبراهه‌های پایین دست زون هارزبورژیت سرپانتینیتی شده، وجود کانی‌سازی کرومیت تایید گردید. بر این اساس، از نسبت‌های بانندی مشخص شده می‌توان برای پی جویی و تفکیک مناطق دارای پتانسیل کانی‌سازی کرومیت استفاده نمود. در تصویر C شکل ۳ نیز، از نسبت‌های بانندی ۷/۸ (۹+۷) و ۶/۴ (۵+۷) و ۳/۴ (۲+۴) برای تفکیک لیتولوژی مناطق افیولیتی استفاده گردید. در این تصویر (C-۳)، نماد Ph شامل فیلیت، ماسه سنگ و شیل، Pr دربرگیرنده سنگ‌های پریدوتیت و سرپانتینیت، Am شامل ترکیب سنگ‌های الترامافیک و مافیک بخش الترامافیک شامل پریدوتیت‌ها و بخش مافیک شامل گابرو، آندزیت، بازالت، Sh معرف شیت، Di شامل دیاباز و بازالت اسپیلیتی، Sr معرف سرپانتینیت و Me معادل ملانژ افیولیتی که ترکیبی از سنگ‌های سرپانتینیت، آهک، متا-دیاباز و بازالت و شیت است.



شکل ۳- تصاویر حاصل از نسبت‌های باندی: A و B برای بارزسازی پریدوتیت ها (هارزبورژیت‌های سرپانتینی شده) و C تفکیک لیتولوژی‌های مجموعه افیولیتی

در شکل ۴ نیز، ترکیب PC4, PC5, PC7 برای تفکیک سرپانتینیت‌ها، متا-گابرو و متا-بازیت ها و سنگ های گرانیتی ارائه شده است. از مقایسه شکل های ۳ و ۴ می‌توان متوجه همخوانی نتایج و قابلیت بارزسازی و تفکیک واحدهای سنگی بر اساس نسبت های باندی و روش آماری تحلیل مولفه اصلی (PCA) شد.



شکل ۴- ترکیب PC4, PC5, PC7 برای تفکیک سرپانتینیت‌ها، متا-گابرو و متا-بازیت‌ها و سنگ‌های گرانیتی. نماد دربرگیرنده فیلیت، ماسه سنگ و شیل، Sr شامل سرپانتینیت در قالب بخش های صورتی رنگ است، Am: شامل ترکیب سنگ های الترامافیک و مافیک بخش الترامافیک شامل پریدوتیت ها (قسمت های سبز رنگ) و بخش مافیک شامل گابرو، آندزیت، بازالت، Di شامل دیاباز و بازالت اسپیلیتی، Sh معرف شیست و Me معادل ترکیب سنگ‌های سرپانتینیت، آهک، متا-دیاباز، بازالت و شیست است

### نتیجه گیری:

در این پژوهش داده های ماهواره ASTER مورد استفاده و پردازش قرار گرفت. مناطق با طول موج VNIR و SWIR اجازہ دادند تا سنگ شناسی مجموعه افیولیت پیرانشهر بارزسازی شود، بطوریکه نسبت های باندی و تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (شکل های ۳ و ۴) ضمن بارزسازی و تفکیک واحدهای سنگی مجموعه افیولیتی پیرانشهر، مناطق و لیتولوژی های مستعد سنگ میزبان کانی سازی احتمالی کرومیت (هارزبورژیت های سرپانتینی شده) تفکیک و مشخص گردد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که تکنیک های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره ای، روشی سریع، ارزان و مقرون به صرفه برای عملیات های پی جویی و شناسایی ذخایر معدنی بویژه در مناطق صعب العبور و غیر قابل دسترس (نظیر مناطق مرزی) می باشد. با توجه به اینکه فعالیت های اکتشافی در منطقه در حال انجام است، پیشنهاد می گردد جهت برنامه ریزی باز دیدهای صحرائی و طراحی های اکتشافی و نمونه برداری از نتایج این پژوهش بهره گرفته شود.

### منابع:

- افتخارنژاد، ع.ا.، ۱۳۵۹. تفکیک بخش های مختلف ایران از لحاظ وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحات ۱۹-۲۸.
- خدابنده، ع.ا.، ۱۳۸۳. نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نده. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عسگرزاده، پ.، درویشی بلورانی، ع.، بهرامی ح. ع. و حمزه، س.، ۱۳۹۵. مقایسه برآورد دمای سطح زمین در روش های تک باندی و چندباندی با استفاده از تصویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هفتم، شماره سوم، صفحات ۱۸-۲۹.
- علوی پناه، ک.، ۱۳۸۸. سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۲۴ صفحه.
- قائدرحمتی، ر.، فتحیانپور، ن. و امیری، ح.، ۱۳۸۶. تفکیک واحدهای سنگی ناحیه ایرانکوه اصفهان با استفاده از الگوریتم تهیه تصاویر طبقه بندی شده داده های ماهواره ای ناحیه. نشریه زمین شناسی مهندسی جلد ۲، شماره ۲، صفحات ۳۹۵-۴۱۲.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه ای بر زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- یزدانی، م.، ۱۳۹۲. مطالعه روابط صحرائی و پتروگرافی سنگ های آذرین مرتبط با کمپلکس های افیولیتی در شمال غرب پیرانشهر، آذربایجان غربی، شمال غرب ایران. رساله دکترای زمین شناسی (گرایش پترولوژی)، دانشگاه تبریز.
- Abrams, M., 2000. The Advanced Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing* 21(5), 847-859.
- Amer, R., Kusky, T., & Ghulam, A. (2010). Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data. *Journal of African Earth Sciences*, 56(2-3), 75-82.
- Crosta, A.P., DE Souza Fillo, C.R., 2003. Searching for gold with ASTER: *Earth Obs Mag.* 12(5), 38-41.
- Crosta, A.P., Azevedo, F., Brodie, C., 2003, Targeting key alteration minerals in epithermal deposit in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International journal of Remote Sensing* 10, 4233-4240.
- Dalati, M., 2000. application of remote sensing to geology tectonic and mineral exploration case study: EL-Rouge Depression. In: *Proceedings of the Fourteenth International Conference, Applied Geologic Remote Sensing*. Las Vegas, Nevada, USA. 6-8 November.
- Di Tommaso, I., Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina: *Ore Geology Reviews* 32, 275-290.
- Gad, S., Kusky, T., 2007. ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian-Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt: *Gondwana Res.* 11(3), 326-335.
- Gilg, H.A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C. R., Banks, D., Moore, F. 2006. Marble-hosted sulfide ores in the Angouran Zn-(Pb-Ag) deposit, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. *Mineralium Deposita* 41, 1-16.



- Hunt, G.R., Salisbury, J.W., Lenhoff, C.R., 1972. Visible and near infrared Spectra of minerals and rocks, V. Halides, phosphates, arsenates, vanadates and borates: *Modern Geology* 3, 121-132.
- Hunt, G.R., 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared: *Geophysics* 42(3), 501-513.
- Lyon, R.J.P., 1964. Evaluation of infrared spectrophotometry for compositional analysis of lunar and planetary soils, II: NASA Contractor Report, NASA CR, United States: National Aeronautics and Space Administration, 100 p.
- Masser, I., 2001. Managing our urban future: the role of remote sensing and geographic information systems. *Habitat International* 25(4), 503-512.
- Ninomiya, Y., Fu, B., Cudahy, T.J., 2005. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data: *Remote Sensing of Environment* 99, 127-139.
- Ninomiya, Y., Fu, B., Cudhy, T.J., 2006. Corrigendum to Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Refection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared radiance-at-sensor data: *Remote Sensing of Environment* 101, 567.
- Rajendran, S., Nasir, B., Kusky, T.M., al\_Khirbash, S., 2014.
- Stocklin, 1968. Structural history and tectonics of Iran-a review. *Am. Assoc. Petr. Geol.*

## بررسی کانی سازی و ژئوشیمی ذخیره کبوترکوه و مقایسه آن با ذخیره رخ سفید گناباد، استان خراسان رضوی

مینا رمضانی<sup>۱\*</sup>، محمدحسن کریم پور<sup>۲</sup>، صدیقه زیرجانی زاده<sup>۳</sup>، آزاده ملکزاده شفارودی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲</sup>گروه زمین شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup>گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

[Mina.ramezani377@gmail.com](mailto:Mina.ramezani377@gmail.com)

### چکیده:

معدن خاک نسوز کبوترکوه در ۵۰ کیلومتری جنوب شرق گناباد، استان خراسان رضوی قرار گرفته است. واحدهای زمین شناختی در منطقه شامل واحد آهکی، دگرگونی، گدازه آتشفشانی و آذرآواری می باشد. آنالیزهای XRD نشان می دهد ترکیب کانی شناسی کوارتز، کائولینیت، پیروفیلیت، کوارتز، دیکیت، ژپس، ایلیت، و آلونیت و مقدار جزئی هماتیت در کانسار حضور دارند. بررسی های سنگ شناختی نشان می دهد که سنگ مادر این کانسار واحد آندزیتی است که تحت تاثیر سیالات گرمابی دگرسان شده است. محدوده معدنی رخ سفید واقع در شمال غرب گناباد از سنگهای آتشفشانی حدواسط اسیدی از آندزیت- تراکی آندزیت، ریوداسیت، ریولیت و همچنین شیل و ماسه سنگ دگرگون شده (سازند شمشک) تشکیل شده است. عوامل تکتونیکی در منطقه مسیر مساعد برای صعود محلولهای هیدروترمالی فراهم نموده و باعث دگرسانی واحدهای ریولیت- ریوداسیت و کائولن زایی در منطقه شده است. ترکیب کانی شناسی معدن رخ سفید شامل کوارتز، کائولینیت، دیکیت، مونت موریلونیت و هماتیت می باشد. میزان اکسید سیلیسیوم در معدن کبوترکوه تقریباً کمتر از معدن رخ سفید و به دنبال آن محتوی اکسید آلومینیوم بالاتر، اکسید آهن و تیتان پایین تر و اکسید پتاسیم بالاتری دارد.

کلیدواژه: کبوترکوه، رخ سفید، کانی شناسی، اکسید آلومینیوم، گناباد

Keywords Kabootar Kuh – Rokh sefid - Mineralogy - Geochemistry – Gonabad Comparison of Mineralogy and Geochemistry between Kabutarkooh and Sefid Rokh deposits of Gonabad

Ramezani Mina <sup>1\*</sup>, Karimpour Mohammad Hassan <sup>2</sup>, Zirjanizadeh Sedigheh <sup>3</sup>, Malekzadeh Shafaroodi Azadeh <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Department of Geology and Mineral Resources Exploration Research Group, East Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Gonabad Higher Education Complex, Gonabad, Iran

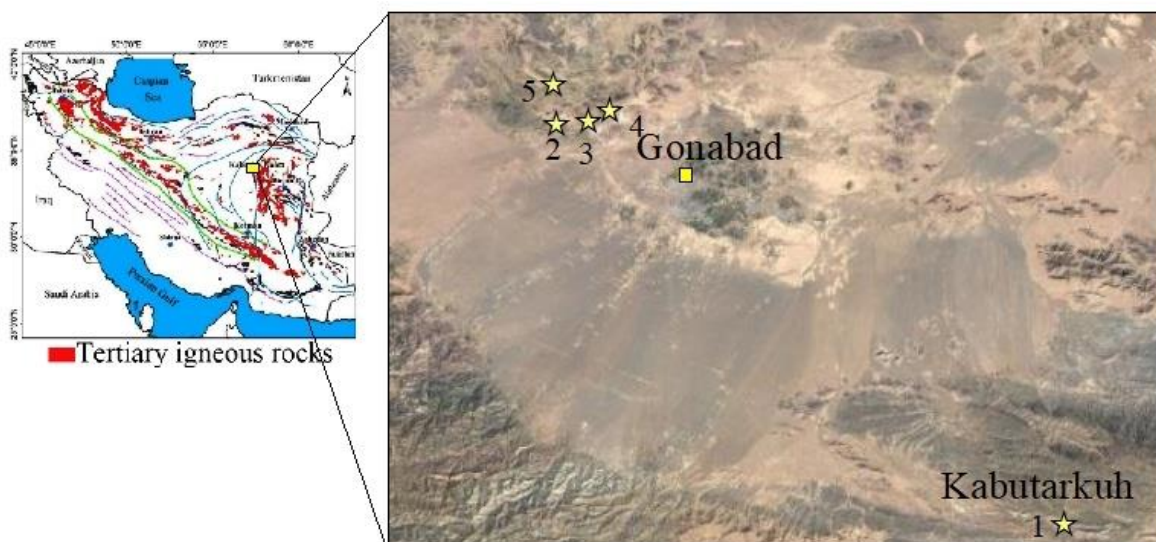
### Abstract

Fire clay of the Kabutarkuh mine, is located about 50 km southeast of Gonabad (Khorasan Razavi Province). The geology of the area consists of limestone, metamorphic, volcanic and pyroclastic rocks. Mineralogical compositions comprise Kaolinite, pyrophyllite, quartz, dickite, gypsum, illite and alunite and a minor phase of hematite. Chemical results and petrographical studies showed andesite rock, has been altered under the influence of hydrothermal fluids to clay minerals. Rokh Sefid mine located in the northwest of Gonabad is composed of acidic intermediate volcanic rocks, andesite-trachyandesite, rhyodacite, rhyolite as well as metamorphosed shale and sandstone (Shemshak Formation). Tectonic agents have provided favorable path for the ascent of hydrothermal solutions and altered rhyolite-rhyodacite to clay minerals. The mineralogical composition of Rokh Sefid mine includes quartz, kaolinite, dickite, montmorillonite and minor hematite. The amount of SiO<sub>2</sub> in Kabutarkooh mine is almost less than that of Rokhsefid mine and it has higher Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content, lower TiO<sub>2</sub> and TFeO and higher K<sub>2</sub>O.

Keywords: Kabutarkuh, Rokhsefid, Mineralogy, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Gonabad

مقدمه:

محدوده کبوترکوه درحد فاصل طول‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 53'$  تا  $00^{\circ} 59'$  درجه و عرض‌های جغرافیایی  $00^{\circ} 34'$  تا  $30'$  درجه در محدوده نقشه زمین‌شناسی گناباد، استان خراسان رضوی، جای دارد. این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری بخشی از بلوک لوت قرار دارد که بلوک لوت خود بخشی از خرد قاره شرق مرکز ایران به شمار می‌آید (شکل ۱). بسیاری از فعالیت‌های ماگماییدریولوکلوت در ائوسنمیانی شکل گرفته است لذا دوره ائوسن میانی - الیگوسن تحتانی به‌عنوان دوره فلززایی بلوک لوت معرفی شده است (Karimpour et al., 2011). چندین ذخیره کائولن به نام‌های کبوترکوه، باغ سیاه، رخ سفید، آهویی، کلاته نو و... در منطقه گناباد وجود دارد (شکل ۱). بررسی‌های میری ۱۳۸۲، میرانوری ۱۳۹۶ و زیرجانی زاده ۱۳۹۲، نشان داده است که این ذخایر در نتیجه دگرسانی سنگهای آتشفشانی ریولیت، داسیت، تراکیتی و آندزیتی رخ داده‌اند. غریب نواز ۱۳۸۶، مطالعات نسبتاً جامعی بر روی کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌های کائولین رخ داده در منطقه معدنی رخ سفید انجام داده است. هدف از این مطالعه بررسی زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ترکیب شیمیایی کانیهای رسی در منطقه کبوترکوه و مقایسه آن با محدوده معدنی رخ سفید می‌باشد. کانسار کائولن رخ سفید در ۱۵ کیلومتری شمال غرب گناباد قرار گرفته است (شکل ۱).



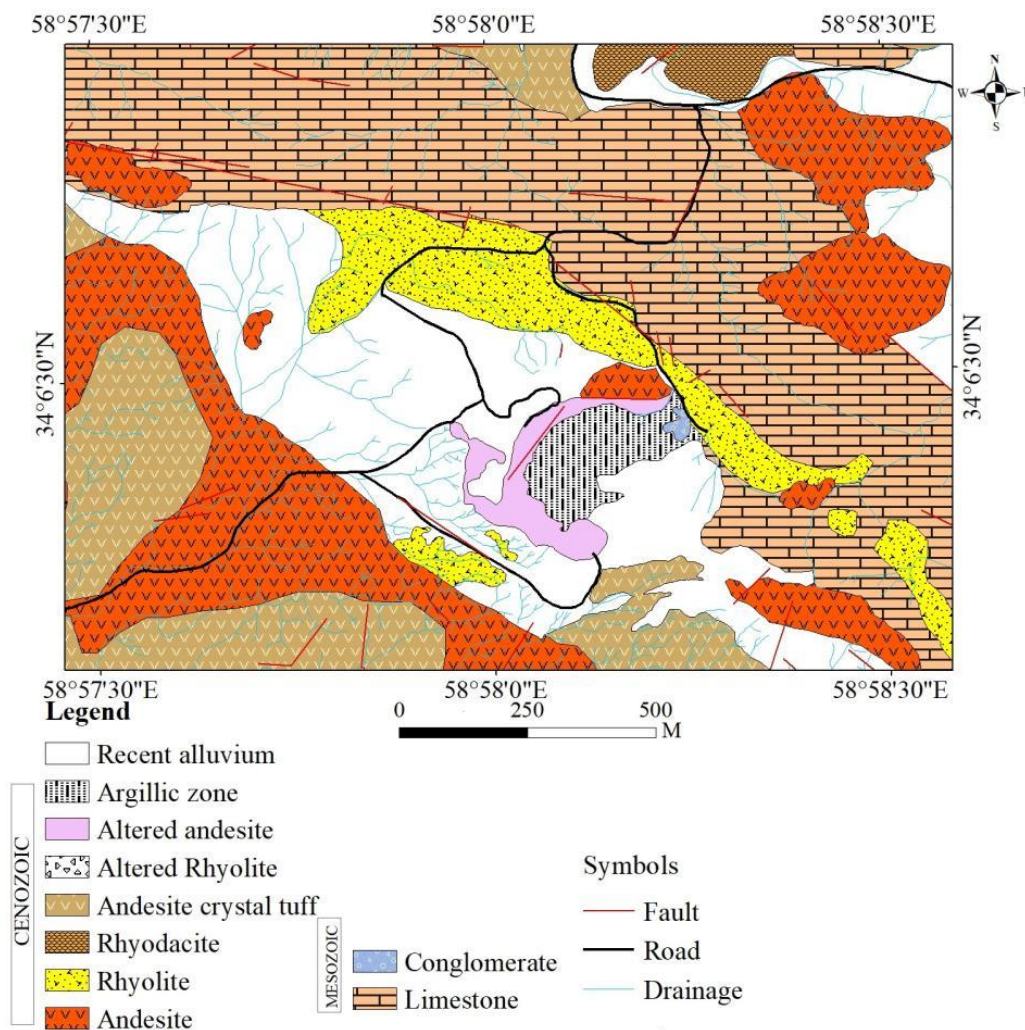
شکل ۱: موقعیت ذخیره کبوترکوه و سایر معادن کائولن گناباد، ۱: معدن کبوترکوه، ۲: معدن رخ سفید، ۳: معدن یاسمینا، ۴: معدن باغسیاه، ۵: معدن کلاته‌نو

روش مطالعه:

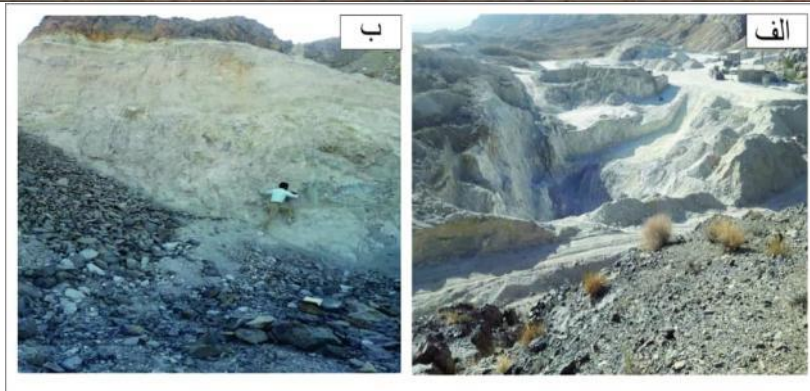
این مطالعه در دو مرحله صحرائی و آزمایشگاهی بر روی منطقه کبوترکوه انجام گردید. مرحله صحرائی شامل پیمایش‌هایی جهت شناسایی انواع تیپ سنگی رخنمون در منطقه کبوترکوه، بررسی روابط صحرائی، انتخاب محل‌های مناسب جهت نمونه‌گیری از زون‌های کائولینی شده و نهایتاً نمونه‌گیری بوده است. مرحله آزمایشگاهی شامل تهیه و مطالعه تعداد ۵۰ مقطع نازک در گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد بوده و همچنین برای انجام مطالعات زمین‌شیمی تعداد ۵ نمونه انتخاب و به روش‌های XRF در شرکت زرآما برای اندازه‌گیری مقادیر عناصر اصلی تحت آنالیز شیمیایی و جهت شناسایی کانیهای رسی ۵ نمونه در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود مورد آنالیز پراش پرتو XRD قرار گرفتند.

### زمین‌شناسی و کانی‌سازی منطقه کبوترکوه

واحدهای سنگی رخمون در منطقه کبوترکوه شامل واحدهای آهکی (متعلق به مزوزوئیک)، واحدهای آذرین و آذرآواری (سنوزوئیک) می‌باشد (شکل ۲). واحد آهکی رخمون گسترده در شمال منطقه مورد مطالعه دارد و ارتفاعات منطقه را شکل می‌دهد. واحدهای آتشفشانی رخمون در منطقه کبوترکوه شامل آندزیت، ریولیت، ریوداسیت و واحدهای آذرآواری می‌باشد. واحد آندزیتیبه رنگ سبز در صحرا مشهود است و دارای بافت پورفیری بوده و درشتبلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند درون آن دیده می‌شود. دگرسانی پروپلیتیک و کلریتی با شدت‌های متفاوت در این واحد رخ داده است. دگرسانی آرژیلیک در مقیاس گسترده در واحد آتشفشانی رخ داده است. دگرسانی آرژیلیک، سیلیسی شدن، سیلیسی-سرسیتی و پروپلیتیک ضعیف تا متوسط مهمترین زونهای دگرسانی موجود در محدوده مطالعاتی کبوترکوه می‌باشند. زون آرژیلیک تقریباً در مرکز منطقه می‌باشد که باعث به وجود آمدن حجم بالایی از کانیهای خانواده کائولین شده است (شکل ۳).



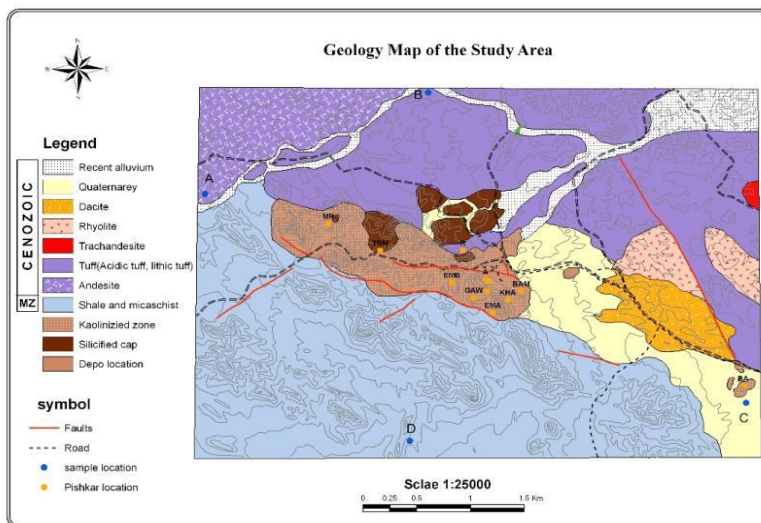
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی-کانی‌سازی منطقه کبوترکوه



شکل ۳. الف و ب: تصاویری از معدن کائولن کبوترکوه، (الف: دید به سمت غرب و ب: دیده به سمت شمال غرب)

### زمین‌شناسی و کانی‌سازی منطقه معدنی رخ سفید

واحدهای سنگی رخنمون در این منطقه شامل واحدهای ماسه سنگ دگرگون شده (سازند شمشک به سن ژوراسیک)، واحدهای آتشفشانی و آذرآواری می‌باشد (غریب‌نواز، ۱۳۸۶). واحدهای آتشفشانی و آذرآواری بیشترش زیادی در منطقه دارند و شامل داسیت، ریولیت، تراکی آندزیت و واحدهای آذرآواری شامل توف اسیدی و لیتیک توف می‌باشد. واحد ریولیت در قسمت شرقی منطقه رخنمون دارد (شکل ۴). این سنگها دارای بافت پورفیری می‌باشند و فلدسپاتهای آن دگرسان شده است. تراکی آندزیت بطور محدود در شرق منطقه دیده می‌شود (شکل ۴). این واحد دارای بافت پورفیری است. پلاژیوکلاز آتیره شده و بیوتیت به رنگ قهوه ایبه میزان ۲۰ درصد در زمینه سنگ دیده می‌شود (غریب‌نواز، ۱۳۸۶). فرایند آلتراسیون واحدهای آتشفشانی ریولیت- ریوداسیتی در منطقه رخ سفید باعث سیلیسی شدن و کائولینی شدن بخش های وسیعی از سنگهای منطقه شده است. چرخه های گرمایی از داخل سیستم درز و شکاف موجود در منطقه بالا آمده و باعث دگرسانی در این سنگها گردیده است. تکتونیک و گسل های موجود عامل مهم و کنترل کننده برای کائولن زایی منطقه بوده است. زون های کائولینیتی در مرکز محدوده مورد مطالعه و در زیر کپ سیلیسی قرار دارند (شکل ۴). سنگهای کائولینیتی شده در منطقه دارای رنگ سفید و سختی کم می‌باشند. قسمتهایی که میزان کوارتز در سنگها بالا رفته، سختی سنگها نیز، زیاد شده است.



شکل ۴. نقشه زمین شناسی معدن کائولن رخ سفید (غریب‌نواز، ۱۳۸۶)

بحث

ترکیب کانی‌شناسی و ژئوشیمی محلول در معادن رخ سفید و کبوترکوه

جدول ۱: ترکیب شیمیایی معادن کائولن کبوترکوه و رخ سفید ( بر اساس آنالیز XRF، برحسب درصد)

Sample	kabutarkuh					Rokhsefid*			
	KK2	KK3	KK2-N	KK3-N	KK3-P	MR1	MR2	EMB5	EMB6
SiO <sub>2</sub>	57.76	64.58	61.12	74.24	65.49	72.1	۶۴،۱۱	۵۶،۶۵	64.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.28	25.48	23.41	18.81	32.11	21.71	۱۶،۱	۳۲،۵۱	26.73
TFeO	N	0.54	0.13	0.33	1.14	0.71	۱،۰۹	۰،۴۲	0.7
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.45	0.49	0.44	0.52	0.43	۰،۴۳	۰،۷۲	0.47
CaO	0.11	0.17	0.61	0.24	0.21	0.24	۶،۷۶	۰،۲۵	0.42
MgO	N	0.4	N	0.1	0.15	n.d	۰،۲۲	۰،۱۳	0.1
Na <sub>2</sub> O	0.43	0.16	0.35	0.1	0.17	0.11	۰،۱۸	0.7	0.23
K <sub>2</sub> O	N	2.87	0.81	1.04	1.78	n.d	.	0	n.d
L.O.I	8.06	5.01	12.3	4.66	6.53	4.66	۱۱،۱۱	8.67	6.82

\* داده‌ها از غریب نواز، ۱۳۸۶

جدول ۲: مقایسه ترکیب شیمیایی کائولن کبوترکوه و رخ سفید

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	L.O.I
Kabutarkuh	66.35	26.41	0.42	۰،۴۷	0.26	۰،۱۳	0.24	1.3	۷،۱
Rokhsefid	64.33	24.26	0.73	۰،۵۱	1.9	۰،۱۱	0.3	0	۷،۸

نتیجه‌گیری

مهمترین کانیهای موجود در ترکیب کانی‌شناسی کائولن کبوترکوه کائولینیت، پیروفیلیت، کوارتز، دیکیت و آلونیتو در معدن رخ سفید شامل کوارتز، کائولن، دیکیت، مونتموریلونیت، هماتیت و آلونیت است. میزان اکسید سیلیسیوم در معدن کبوترکوه تقریباً کمتر از معدن رخ سفید و بدنال آن محتوی اکسید آلومینیوم بالاتری دارد. محتوی اکسید آهن و تیتان در معدن رخ سفید بالاتر بوده که بر روی رنگ پخت تاثیرگذار است. همچنین محتوی اکسید پتاسیم در معدن کبوترکوه بسیار بالاتر است. بررسیهای صحرایی و مطالعات کانی‌شناسی و شیمیایی نشان داد ترکیب کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در منطقه معدنی رخ سفید با منطقه معدنی کبوترکوه متفاوت بوده که علت آن تاثیر محلولهای هیدرو ترمالی بر سنگ مادر متفاوت در این مناطق می-باشد. سنگ منشا کائولن‌ها در منطقه کبوترکوه آندزیت و توده‌های آتشفشانی با ترکیب ریولیتی در منطقه رخ سفید تحت تاثیر محلولهای هیدروترمالی قرار گرفته اند.

منابع

- اعتمادی ب، میری ر، ۱۳۸۲، بررسی کانی‌سازی و ژئوشیمیایی کانسار خاک نسوز کبوترکوه گناباد، مجله بلورشناسی و کانی‌سازی ایران، شماره ۲۳۳-۲:۲۲۱.
- زیرجانی زاده، ص، کریم پورم.ح، ابراهیمی نصرآبادی خ، ۱۳۹۲، بررسی های زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمیایی نهشته های کانی رسی منطقه کلات هنو (شمال غرب گناباد)، بلور شناسی و کانی شناسی ایران ۲۲(۱):۱۲۵-۱۳۸.
- غریب نواز، ع، ۱۳۸۶، بررسی ژئوشیمی و کانی‌شناسی معادن کائولن شمال غرب گناباد بانگرشی ویژه بر کاربرد صنعتی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- قائمی، ف، شهریور، ۱۳۸۴، نقشه زمین شناسی گناباد، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- میرانوری، ا، ۱۳۸۶، کانی شناسی صنعتی کائولن یاسمینای گناباد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



میری، ر.، ۱۳۸۲، کانی شناسی و زمین شیمیایی کانسارهای کاتولن باغسیاه و خاکهای نسوز رخ سفید و کبوترکوه گناباد، پایان نامه کارشناسی ارشد.

Karimpour M. H., Stern C. R., Farmer L., Saadat S., Malekzadeh A., 2011, *Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran*, Geopersia 1(1):19-36.

## ویژگی های کانی شناسی، سنگ شناسی و بافتی کانسار رسی کویر ۵ آباده

بتول تقی پور<sup>۱\*</sup>، درنا ابراهیمی مقدم<sup>۲</sup>

۱-دانشیار بخش علوم زمین دانشگاه شیراز (goharr@yahoo.com)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شیمی بخش علوم زمین دانشگاه شیراز

چکیده:

کانسار رسی کویر ۵ در شمال استان فارس در زون زمین در زون زمین ساختاری سنندج - سیرجان واقع شده است. بر اساس بررسی های صحرایی و کانی شناختی ذخیره در میزبان با توالی شیل - شیل سیاه - کوارتزیت و ماسه سنگ به سن دونین بالایی قرار دارد. براساس تجزیه های XRD پیروفیلیت، کائولینیت، ایلیت، کوارتزبه عنوان فاز کانیایی اصلی و مقادیر کمتری کلریت، ارتوکلاز، گوتیت و لیمونیت به عنوان فاز کانیایی فرعی می باشد. پیروفیلیت اصلی ترین فاز و مهم ترین تعیین کننده ویژگی نسوزی این ماده معدنی می باشد. حضور کانی ارتوکلاز نشان از دگرسانی سنگ های آذرین اسیدی نیمه عمیق با تأثیر محلول ها و سیالات هیدروترمالی دارد.

کلمات کلیدی: کانی های رسی، کانسار کویر ۵، آباده، پیروفیلیت

## Mineralogical, Petrological and Petrographic characteristics of Kavir 5, Abadeh clay deposit

Batoul, Taghipour<sup>\*1</sup>; Dorna, Ebrahimi Moghaddam<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Shiraz University, Department of Earth Sciences

<sup>2</sup> M.Sc Student, Shiraz University, Department of Earth Sciences

\*goharr@yahoo.com

### Abstract

Kavir 5 Pyrophyllite Clay Deposit of Abadeh is located in the Sanandaj - Sirjan tectonic zone. Siliciclastic and carbonate rocks of Devonian - Carboniferous and carbonate rocks of Permian are the most important outcrops of the mine area. Deposit settling in a host rock consisting of black shale - shale - sandstone and quartzite of late Devonian. Based on XRD results, pyrophyllite is the most important phase. Other identified phases are illite, chlorite, kaolinite, quartz, orthoclase, and goethite, as their occurrence importance. Pyrophyllite determines the temperature-resistivity of the ore of the studying mine. Orthoclase shows that the studying clay minerals had a subvolcanic acidic igneous origin, after alteration by hydrothermal fluids.

Keywords: clay minerals, Kavir 5 clay deposit, Abadeh, Pyrophyllite



#### مقدمه:

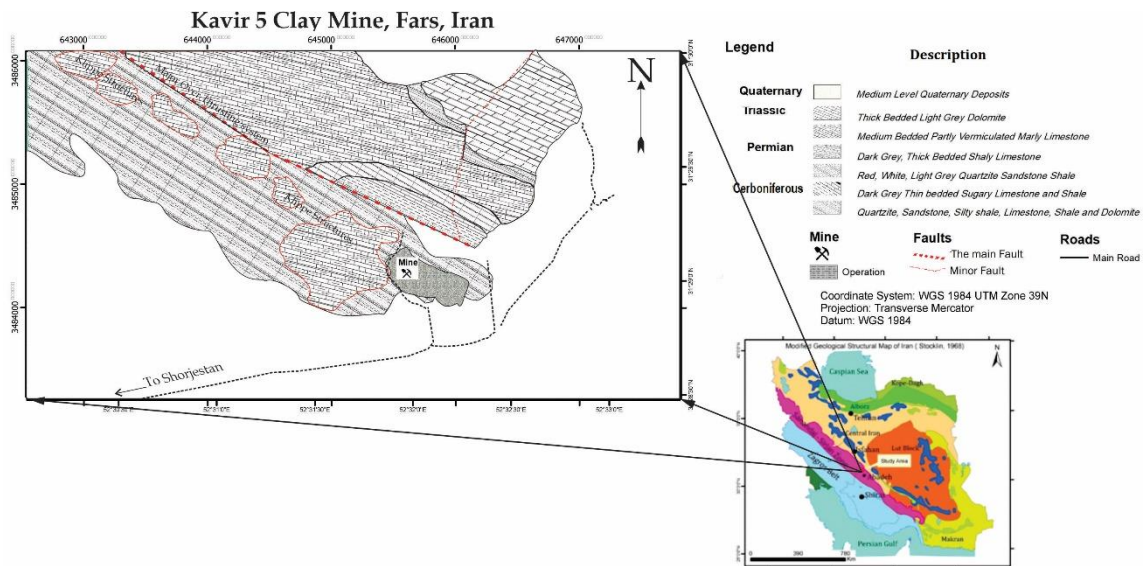
کانی رسی یک سیلیکات آبدار ریزدانه است که از لایه های کاتیونی با هم آرایبی چهار وجهی ها و هشت وجهی ها تشکیل شده است. البته در تقسیم بندی رسوبی، رس به مجموعه کانی های با قطر کوچکتر از دو میکرون نیز گفته می شود. بنابراین لازم است بین رس که به اندازه اشاره می کند و کانی های رسی تمایز قائل شد (ایبای، ۱۳۹۰). واژه رس اولین بار توسط Agricola ارائه شد و پس از چندین بار بازبینی ویژگی هایی مانند شکل پذیری، اندازه ذرات و سخت شدن در اثر حرارت در بیشتر تعاریف باقی ماند (خرمایی، ۱۳۹۱). تجمع طبیعی مجموعه کانی های رسی تابعی از شرایط هوازدگی در طول زمان است. کانی های رس در جزا در شرایط معینی از دما، نسبت سیال سنگ و ترکیب شیمیایی سیالات تشکیل می گردند (Uysal & Golding, 2002). کانی های رسی با توجه به ویژگی های ساختاری و ترکیب کانی شناسی به طور گسترده مورد بررسی و استفاده قرار می گیرند. کانی های رسی ابزار مهمی در بررسی و توصیف رخساره های آلتراسیون هیدروترمالی هستند به کمک کانی های رسی می توان پارامترهای مهمی همچون نسبت سیال/سنگ، دما، pH سیال هیدروترمالی در محیط را اندازه گیری نمود (Fulignati, 2020).

#### روش مطالعه:

مطالعه و بررسی کانسار رسی کویر ۵ شامل دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی می باشد. پس از مطالعات صحرایی و بررسی تشکیلات زمین شناسی در محدوده معدنی و ارتباط ذخیره رسی با سنگ های اطراف محل مناسب نمونه برداری انتخاب و از محل های استخراج ماده معدنی و رخنمون ها با توجه به خصوصیات ظاهری از جمله رنگ، کانی شناسی، بافت و حضور ماده آلی صورت پذیرفت. خردایش و پودر کردن نمونه ها با استفاده از آسیاب سایشی بخش زمین شناسی دانشگاه شیراز با رعایت اصول آزمایشگاهی صورت پذیرفت و مقادیری از نمونه های پودری رس اندازه، جهت تعیین عناصر اصلی، فرعی و عناصر نادر خاکی به روش ICP-MS و تعیین ترکیب کانی شناسی ماده معدنی و نمونه های رسی به روش پراش پرتو ایکس (XRD) انتخاب شدند. به منظور شناسایی ترکیب کانی شناسی و روابط بافتی دقیق نمونه های رسی و آذرین از تمامی نمونه ها مقطع نازک تهیه گردید.

#### زمین شناسی منطقه:

کانسار رسی کویر ۵ آباد در شمال استان فارس در آباد در فاصله ی ۱۸ کیلومتری شمال شورشستان در مسیر آباد – ایزدخواست قرار دارد و از نظر زمین شناسی ساختاری این کانسار در زون زمین ساختاری سنندج سیرجان واقع شده است (شکل ۱، الف). این منطقه قسمتی از جنوب ایران مرکزی که شامل کمربند آباد-شهرضا-همبست می باشد که به صورت هورست توسط گسل هایی از فرورفتگی گاو خونی- ابرکوه در شمال شرق و کمربند دگرگونی ایزدخواست - دهبید در جنوب غرب جدا می گردد (طباطبایی، ۱۳۸۱). سازندهای اصلی زمین شناسی منطقه شامل سازند شیشتو (دونین-کربونیفر)، سنگ آهک، کواترنیت، ماسه سنگ (پرمین)، دولومیت های ضخیم لایه شتری (تریاس میانی) و نهشته های کواترنری می باشند. کانسار کویر ۵ آباد دارای میزبان با توالی شیل - شیل سیاه - کواترنیت و ماسه سنگ به سن دونین بالایی می باشد. تشکیلات نفوذی منطقه شامل دایک های دیابازی و پورفیری های دیابازی با سن پرموتریاس می باشند که به صورت هم شیب با سنگ های دربرگیرنده قرار دارند که عمدتاً از پیروکسن و آمفیبول تشکیل یافته اند (شکل ۱، ب).



شکل ۱: الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین ساختاری ایران (با اصلاح، اشتوکلین، ۱۹۸۰). ب) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: نمایی از تشکیلات زمین شناسی در محدوده ی معدنی

بحث:

### مطالعات کانی شناسی

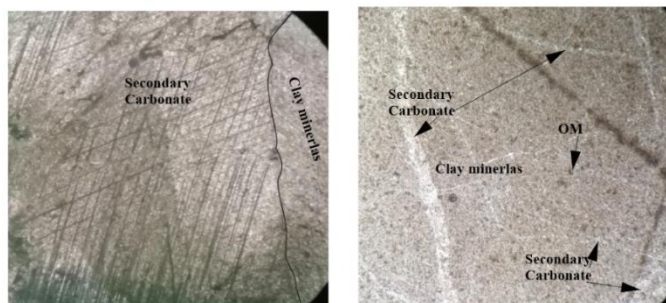
استخراج ماده معدنی از کانسار کویر ۵ از لایه های دونین بالایی صورت می گیرد. بر اساس نتایج نیمه کمی حاصل از XRD خاک رس کانسار کویر ۵ آباده محتوی پیروفیلیت، کائولینیت، ایلیت، کوارتز به عنوان فاز کانیایی اصلی و مقادیر کمتری کلریت، ارتوکلاز، گوتیت به عنوان فاز کانیایی فرعی مشخص می گردد. پیروفیلیت و کائولینیت به عنوان مواد اصلی و ارزشمند وجود اکسید آلومینیوم موجب افزایش مقاومت فرآورده های سرامیکی در برابر گرما، فشار و خواص موم سانی می گردد. حضور کانی ارتوکلاز با فرمول شیمیایی  $KAlSi_3O_8$  در نتایج بسیار حائز اهمیت است که با تأثیر محلول ها و سیالات هیدروترمای می تواند به عنوان یک منشأ احتمالی برای کانی های رسی مطرح گردد. پیروفیلیت یک کانی رسی ۱:۲ شامل یک لایه اکتاهدرال در میان دو لایه تتراهدرال می باشد که این کانی به عنوان منبع مهم تأمین کننده اکسیدهای مهم که در کیفیت خاک نسوز ( $SiO_2$  و  $Al_2O_3$ ) مطرح می گردد (اطمینان، ۱۳۸۶). پیروفیلیت به طور معمول به سیستم های کانه زایی اپی

ترمال وابسته است. این کانی در سنگ های آتش فشانی فلسیک و خاکستر های آتش فشانی دگرگون شده که توسط متاسوماتیزم و فعالیت های هیدروترمالی، دگرسان شده اند حضور دارند. (Zaykov, et all.2005). پیروفلیت و کائولینیت به عنوان مواد اصلی و ارزشمند وجود اکسید آلومینیوم موجب افزایش مقاومت فرآورده های سرامیکی در برابر گرما، فشار و خواص موم سانی می گردد.

### مطالعات میکروسکوپی

مقطع نازک از نمونه های معدنی و سنگ های دیابازی و کوارتزیتی محدوده معدنی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. در بررسی های صورت گرفته به روی مقاطع نازک تهیه شده از ماده معدنی تجمعات رسی، کانی کربناته، اکسید های آهن و ماده آلی مشاهده شد که کانی های رسی بخش غالب را تشکیل داده و کانی های کربناته به صورت شکافه پرکن و ثانویه مشاهده می شوند (شکل ۳، الف) و اکسید آهن و ماده آلی عموماً به صورت پراکنده یا رگه ای در مقاطع مشاهده می شوند (شکی ۳، ب). حضور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و ماده آلی یکی از پارامترهای مهم دخیل در کاهش کیفیت ماده معدنی می باشد (شکل ۷). حضور کربنات ها نشان دهنده محیطی آرام و مناسب برای تشکیل کانی های رسی و حضور و فعالیت جانداران می باشد (Chen et all.2019).

دایک های دیابازی و پورفیری های دیابازی با رنگ سبز تا سبز مایل به خاکستری با بافت پورفیری منطقه به صورت هم شیب با سنگ های دربرگیرنده قرار دارند که عمدتاً از پیروکسن و آمفیبول تشکیل یافته اند (شکل ۴). اندازه ی درشت بلورهای پیروکسن تا چند میلی متر هم می رسد (شکل ۵). لایه کوارتزیتی رخنمون یافته در منطقه با بافت گرانولار درشت بلورهای کوارتز در مقاطع به چشم می خورند (شکل ۶، الف). فنوکریست های پیروکسن و آمفیبول در مقاطع نازک خردشدگی و تجزیه شدگی را نشان می دهد، که این شکستگی ها توسط کانی های ثانویه پر شده اند (شکل ۶، ب).



ب

الف

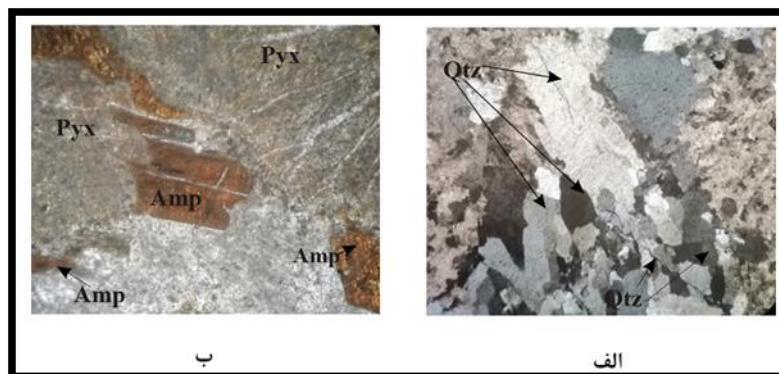
شکل ۳: الف: تصویر میکروسکوپی از تجمعات رسی (Clay Minerals) و کربنات های ثانویه (Secondary Carbonate) در نور PPL بزرگ نمایی 4X: ب: تجمعات رسی (Clay Minerals) در کنار کانی کربناته (Secondary Carbonate) در نور PPL بزرگ نمایی 4X



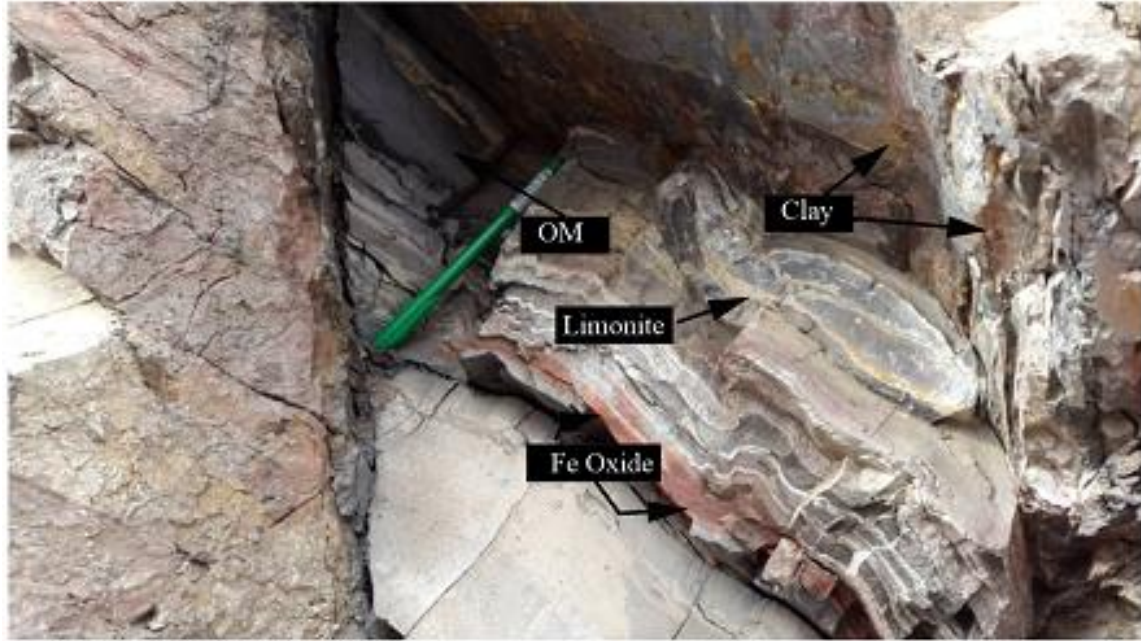
شکل ۴: دایک‌های دیابازی در میان لایه‌های رسی



شکل ۵: کانی پیروکسن (Pyx) درشت بلور دارای بافت پورفیری موجود در سنگ دیاباز کانسار کویر ۵



شکل ۶: بافت گرانولار و خاموشی موجی کانی کوارتز (Qtz) در کوارتزیت در نور XPL بزرگ نمایی 4X ب: تجزیه شدگی کانی پیروکسن (Pyx) و آمفیبول (Amp) در دیاباز، در نور XPL بزرگ نمایی 4X



شکل ۷: حضور کانی لیمونیت (Limonite)، اکسید آهن (Fe Oxide) و ماده آلی (Organic Matter) به صورت لایه ذغالی به همراه کانی های رسی (Clay) در کانسار کویر ۵

#### نتیجه گیری:

- کانساررسی کویر ۵ آبنده دارای میزبان با توالی شیل - شیل سیاه - کوارتزیت و ماسه سنگ به سن دونین بالایی می باشد سازندهای اصلی زمین شناسی منطقه شامل سازند شیشتو (دونین-کربونیفر)، سنگ آهک، کوارتزیت، ماسه سنگ (پرمین)، دولومیت های ضخیم لایه شتری (تریاس میانی) و نهشته های کواترنری می باشند. کانسار کویر ۵ آبنده دارای میزبان با توالی شیل - شیل سیاه - کوارتزیت و ماسه سنگ به سن دونین بالایی می باشد.
- تشکیلات نفوذی منطقه شامل دایک های دیابازی سیلی شکل و پورفیری های دیابازی با سن پرموتریاس می باشند که به صورت هم شیب با سنگ های دربرگیرنده قرار دارند که عمدتاً از پیروکسن و آمفیبول تشکیل یافته اند.
- بر اساس تجزیه های XRD فازهای کانیایی اصلی این کانسار به ترتیب درجه اهمیت شامل: پیروفیلیت، ایلیت، کلریت و فازهای کانیایی فرعی کائولینیت، کوارتز، ارتوکلاز، گوئیت می باشند.
- براساس ویژگی های کانی شناسی و ضریب رنگ کانی های رسی می توان ماده معدنی کانسار را در سه گروه عمده جای داد که ماده معدنی در کانسار به عمدتاً به شکل رگه ای حضور دارند.
- احتمالاً منشا کانی های رسی موجود در کانسار را می توان دگرسانی سنگ های آذرین با تأثیر محلول ها و سیالات هیدروترمالی دانست.

#### منابع:

اطمینان، م.، ۱۳۸۶ فرآوری خاک نسوز معدن استقلال آبنده، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۸ صفحه.

طباطبایی، ب.، ۱۳۸۱. مطالعه کانی شناسی، ژئوشیمی و تعیین ژنز احتمالی کانسار کویر ۵ آباد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۲۲۹ صفحه.

اشتوکلین، ی.، ۱۹۸۰. نقشه زمین ساختاری ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

خرمایی، غ.، ابطحی، ع.، تازیکه، ح.، ۱۳۹۱. کانی های رسی (ویژگی ها و شناسایی)، انتشارات علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۰۴ صفحه

Amimi, A., Chen, F., Kehle, M., Khormalia, F., Landid, A., Taheria, M., Wang, X., Weib, H., 2019, Clay mineralogy and geochemistry of the Lower Pleistocene Loess in the Iranian Loess Plateau (AghBand section) and implications for its provenance and paleoclimate change. *Quaternary International*. 1040-6182

Fulignati, Paolo. 2020. "Clay Minerals in Hydrothermal Systems" *Minerals* 10, no. 10: 919. <https://doi.org/10.3390/min10100919>

Sinyakovskaya, I., Zaykov, V., Kitagawa, R. 2005. Types of Pyrophyllite Deposits in Foldbelts. *Resource Geology*, vol. 55, no. 4, 405-418,

Uysal, T. & Golding, S., 2003. Rare Earth Element Fractionation in Authigenic Illite-smectite From Late Permian Clastic Rocks, Bowen Basin, Australia: implications For Physico-chemical Environments of Fluids During Illitization. *Chemical Geology*. 193, 167.

مطالعات آماری بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ دیزج،

## آذربایجان غربی

لی لی دانشور صائین\*

استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

Daneshvar.saein@gmail.com

### چکیده:

با استفاده از داده‌های برداشت شده ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای، می‌توان اکتشاف ناحیه‌ای در مراحل شناسایی و پی‌جویی را انجام داد. در این پژوهش هدف بدست‌آوردن ارتباط بین عناصر شاخص براساس شواهد زمین‌شناختی و نیز مطالعات آماری دو و چندمتغیره براساس داده‌های رسوبات آبراهه‌ای و یافتن تیپ‌های احتمالی کانه‌زایی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ دیزج در استان آذربایجان غربی می‌باشد. نخست مطالعات آمار کلاسیک تک متغیره بر روی ۱۸ عنصر در این برگه صورت پذیرفت. سپس با استفاده از روش آماری دو و چندمتغیره ارتباط عناصر باهم سنجیده و مشخص گردید که با توجه به شواهد زمین‌شناختی، ضرایب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و آنالیز فاکتوری، کانسارهای مس رسوبی، سرب و نقره می‌توانند محتملترین کانسارهای موجود در منطقه باشند.

کلمات کلیدی: مطالعات آماری، رسوب آبراهه‌ای، آنالیز فاکتوری، آنالیز خوشه‌ای، دیزج

## Statistical analysis based on stream sediment data in Dizaj 1:100000 sheet, Western Azerbaijan

Lili Daneshvar Saein

Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Daneshvar.saein@gmail.com

### Abstract:

Stream sediment data used for a regional exploration in reconnaissance and prospecting stages. The aim of this study is finding of relationships among main elements due to geological particulars and multivariate classical statistics based on stream sediment data in Dizaj 1:100000 sheet, Western Azerbaijan. First, univariate analysis carried out for 18 elements in the area. Then, the elemental relationships were identified by bi-variate and multivariate statistics in the Dizaj sheet. The obtained results show that there are sedimentary Cu and Pb-Ag prospects.

*Keywords: Statistical analysis, Stream sediment, Factor analysis, Clustering analysis, Dizaj.*

### مقدمه:

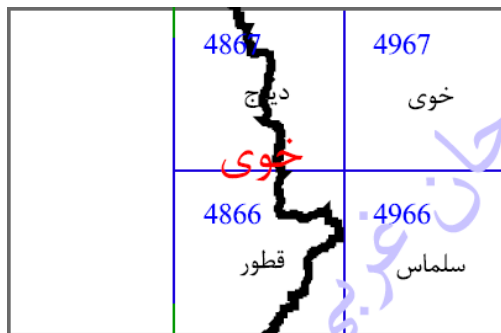
داده‌های رسوب آبراهه‌ای در مطالعات اکتشاف ناحیه ای بخصوص یافتن آنومالی های نخستین و ماطق امیدبخش موادمعدنی اهمیت زیادی دارند. تفسیر این داده‌ها با استفاده از روشهای آمار کلاسیک در شاخه‌های گوناگون آن شامل یک، دو و چند متغیره اهمیت بسیاری دارد [۱، ۳]. مطالعات آمار کلاسیک از دهه ۱۹۷۰ توسط بئوس و گریگوریان (۱۹۷۷) و هاوکس و وب (۱۹۷۹) نیز در ژئوشیمی اکتشافی آغاز شده و تاکنون ادامه یافته است [۴]. به‌طور کلی داده‌های اکتشافی بخصوص

ژئوشیمیایی را می‌توان با استفاده از روش‌های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار داد تا بر آن اساس بتوان ارتباط عناصر بصورت دودویی و نیز چند عنصره را مورد تحلیل قرار داد و حتی در مورد پارائزهای عناصر بحث و بررسی انجام داد [۵].

### روش مطالعه:

#### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ دیزج در چهارگوش ۱:۲۵۰,۰۰۰ خوی در استان آذربایجان غربی در مرز دو کشور ایران و ترکیه قرار دارد (شکل ۱). با توجه به تقسیمات واحدهای ساختاری (Stocklin, 1968) این ناحیه بخشی از کمربند دگرگونی، افیولیتی پهنه سنندج سیرجان دانسته شده است [۶]. از لحاظ سنگ شناسی شامل سنگ‌های دگرگونی از نوع آمفیبولیت، شیست، مرمر، متاولکانیک‌های مشتمل بر گدازه‌های برشی شده آندزیتی، تراکی آندزیتی به همراه سنگ‌های آذرآواری و جریان گدازه‌های آندزیتی-داسیتی همراه با توف و گدازه‌های پیروکسن و دایک‌های آپلیتی با رگه‌های سیلیسی که سنگ‌های دگرگونی واحد آمفیبولیت و شیست‌ها را قطع نمودند. کمربند افیولیتی و پهنه آمیزه رنگین مشتمل بر سنگ‌های اولترابازیکی (دونیت، پریدوتیت، سرپانتینیت) گدازه‌های بالشی و آهک‌های پلاژیک صورتی رنگ کرتاسه می‌باشند. سنگ‌های رسوبی با سن پالنوسن شامل شیل، ماسه سنگ آهک و واحدهای سنگی با تناوب شیل، سیلتستون، دولومیت با رگچه‌های کلسیتی و همچنین بخش‌های رادیولاریت با سن کرتاسه در این ورقه رخمون دارد. واحدهای سنگی مختلفی در محدوده دیزج وجود دارند که عموماً از زمان پرکامبرین تا عهدحاضر متغیر می‌باشند. گنایس‌های پورفایروبلاستیک تا گرانوبلاستیک، میکاشیست فلدسپات‌گروندار همراه با میان لایه‌هایی از آمفیبولیت و مرمر نواری واحدهای سنگی هستند که بیشترین گسترش را دارند. کانه‌زایی‌های مس، کرومیت و کائولینیت در منطقه مشاهده می‌شوند [۲]. علاوه بر افیولیت‌ها، کمربند ماگماتیک ارومیه-دختر از شمال این برگه می‌گذرد و نیز زون سنندج-سیرجان منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. بعبارتی سه زون کانه‌زایی اصلی ایران از آن عبور می‌نماید. در سال‌های اخیر اندیس‌هایی از مس رسوبی در منطقه مورد اکتشاف قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ دیزج در چهارگوش ۱:۲۵۰,۰۰۰ خوی

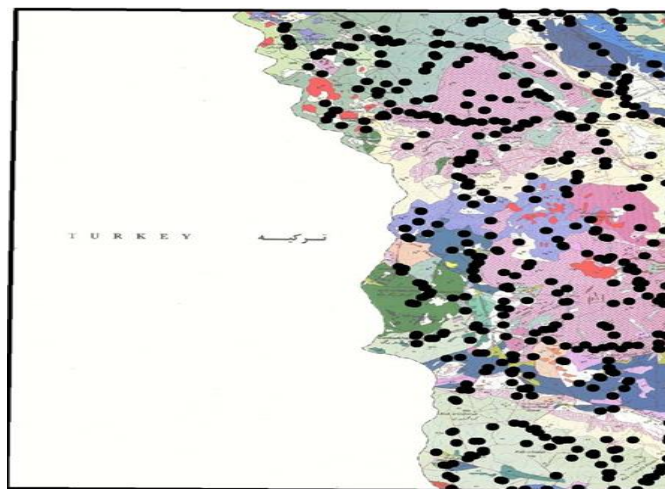
### بحث:

#### آماده سازی داده‌های اکتشافی

در این برگه ۱۰۰,۰۰۰ : ۱ تعداد ۴۴۸ نمونه رسوب آبراه‌های برداشت شده است. برای استفاده بهینه از داده‌های حاصل از هر نمونه سعی شده است تا توزیع نمونه‌ها در نواحی کوهستانی حتی الامکان فاصله نمونه‌ها بیش از یک کیلومتر در طول آبراه نباشد. البته اینکه پلیگون تحت پوشش هر نمونه وضعیت مناسبی برای تخمین شبکه‌ای داشته باشد نیز در انتخاب محل نمونه‌ها مؤثر بوده است. در شکل ۲ موقعیت نمونه‌های برداشت شده در این برگه آورده شده است. روش آنالیز عناصر انحلال



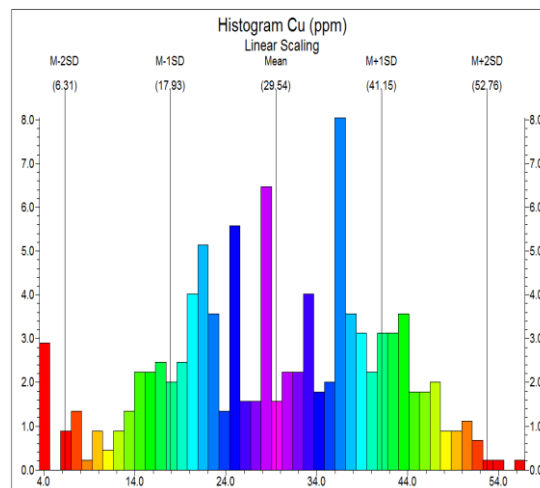
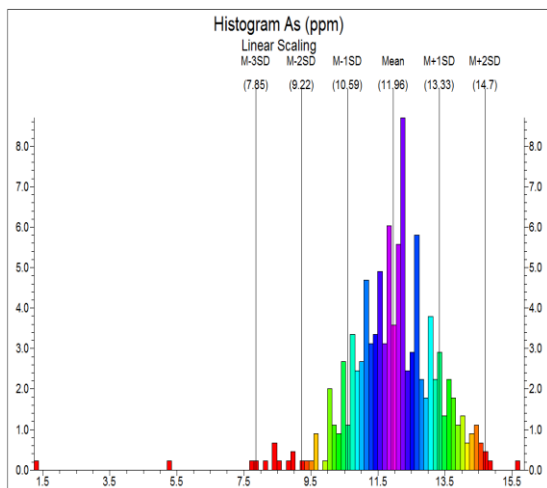
در چهار اسید و آنالیز ICP-MS بوده است. از این میان عناصر آنالیز شده ۱۸ عنصر که داده‌های بهتری داشتند و مقادیر سنسورد کمتری داشتند و نیز احتمال حضور آنها در منطقه بود انتخاب شدند

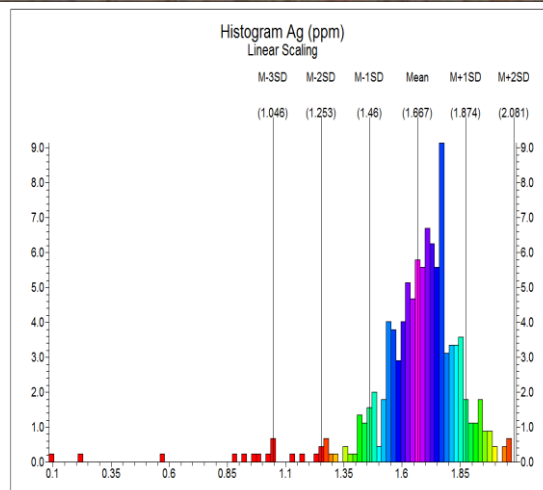
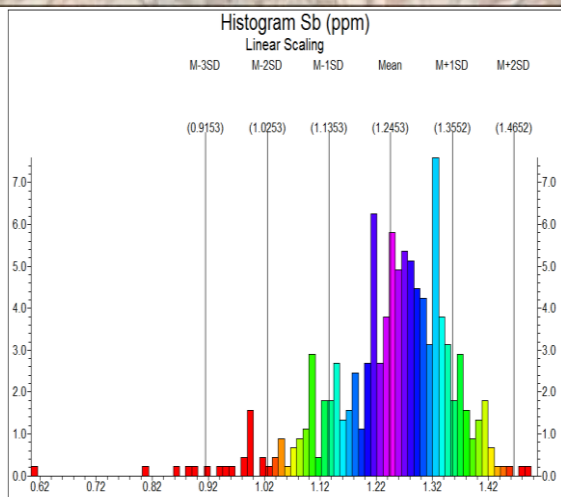


شکل ۲- موقعیت محل نمونه‌های برداشت شده

پارامترهای آماری و محاسبه آنها برای داده‌های رسوب آبراه‌های منطقه دیزج و توزیع فراوانی داده‌ها

یکی از مهمترین بخش‌های در هر پروژه، دسته‌بندی اطلاعات و داده‌های خام آن پروژه است. در این پروژه فایل بندی اطلاعات عددی حاصل از آنالیز نمونه‌ها در محیط نرم افزارهای Excel و Spss صورت پذیرفته است. ترسیم نمودار هیستوگرام نمونه‌ها (فراوانی عنصر مورد نظر یا عامل اندازه‌گیری) نیز انجام شد. هیستوگرام‌های توزیع فراوانی عناصر برای منطقه دیزج تهیه شدند که در شکل ۳ برای عناصر مس، نقره، آرسنیک و آنتیموان مشاهده می‌گردند. توزیع آرسنیک در این برکه نزدیکتر از دیگر عناصر مورد نظر به توزیع نرمال است. مس یک توزیع چندجمله‌ای نشان می‌دهد ولی دیگر عناصر به توزیع L شبیه‌تر هستند.





شکل ۳- هیستوگرام عناصر مس، نقره، آرسنیک و آنتیموان در منطقه دیزج

مهمترین پارامترهای آماری تک‌متغیره که در تعبیر و تفسیر داده‌های مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از میانگین، میانه و انحراف معیار که این پارامترها برای ۱۸ عنصر محاسبه گردید. چون عناصر دارای توزیع نرمال نیستند و این بخوبی از مقادیر چولگی و کشیدگی داده‌ها مشخص است در نتیجه حد آستانه‌ای عناصر برابر با میانه آنها می‌باشد. عناصر نقره و آرسنیک دارای میانه قابل توجهی هستند.

جدول ۱- پارامترهای آماری و نتایج حاصل از آن برای عناصر

	Mean (ppm)	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum (ppm)	Median (ppm)	Maximum (ppm)
Ag	1.666	0.207	0.043	-2.732	14.754	0.100	1.695	2.071
As	11.958	1.368	1.872	-1.488	9.185	1.261	12.056	15.732
Ba	430.472	138.387	19150.919	5.857	70.226	94.196	406.188	2267.984
Bi	0.088	0.014	0.000	-0.610	1.895	0.025	0.088	0.129
Cd	0.119	0.013	0.000	-0.118	-0.170	0.082	0.120	0.159
Co	66.940	11.055	122.206	-0.324	0.126	32.512	67.521	95.695
Cu	29.525	11.591	134.344	-0.185	-0.664	4.334	29.984	56.489
Hg	0.304	0.062	0.004	3.872	41.907	0.141	0.301	1.024
Ni	122.294	28.655	821.098	-0.167	0.171	26.669	123.489	196.960
Pb	10.574	3.913	15.312	0.466	0.076	4.240	10.521	24.905
Sb	1.245	0.110	0.012	-1.211	3.147	0.611	1.261	1.491
Sc	5.533	2.009	4.036	1.322	2.870	2.306	5.232	14.386
Sn	6.289	0.665	0.442	3.439	31.283	5.065	6.190	13.527
Sr	600.106	109.026	11886.750	2.256	6.665	419.391	575.968	1195.602
V	60.101	46.420	2154.811	1.425	3.091	3.351	54.670	267.323
W	3.231	10.012	100.241	9.702	126.464	0.014	0.014	154.600
Y	13.716	0.802	0.644	-0.216	0.378	10.408	13.753	16.166
Zn	10.944	10.540	111.090	3.875	26.342	4.949	4.949	115.322

### مطالعات آماری دومتغیره

مطالعات آماری دومتغیره بصورت تعیین ضریب همبستگی دو عنصر برای تعیین ارتباط عناصر در تعیین ژنتیک مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیان‌کننده عوامل مختلفی از جمله تفاوت‌های سنگ‌شناسی و فرایندهای ژئوشیمیایی می‌باشند

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



[۷، ۸، ۹]. از روش اسپیرمن یعنی با استفاده از داده‌های خام برای محاسبه این ضرایب استفاده شده است. از مهمترین ضرایب همبستگی را می‌توان به ضرایب بالای بین نقره با آرسنیک و سرب و نیز مس با نیکل و کبالت است. این ضرایب در جدول شماره ۲ دیده می‌شود. بخصوص ضرایب بیش از ۰/۵+ برای نشان دادن رابطه بین دو عنصر مناسب است [۳].

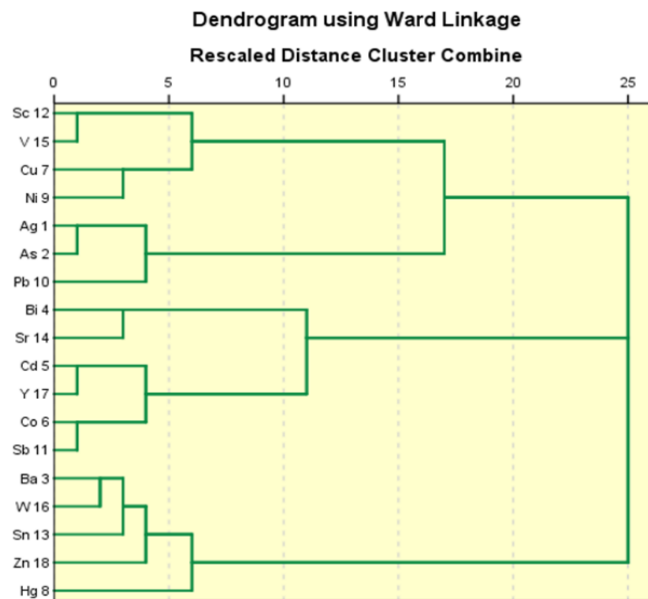
جدول ۲- ضرایب همبستگی بین عناصر

	Ag	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Sc	Sn	Sr	V	W	Y	Zn
Ag	1																	
As	.938	1																
Ba	-.084	-.013	1									0.8<			<1			
Bi	-.326	-.340	-.187	1								0.6<			<0.8			
Cd	-.597	-.767	-.575	.309	1							0.4<			<0.6			
Co	-.419	-.494	-.572	.195	.715	1												
Cu	-.038	-.142	-.479	-.099	.466	.257	1											
Hg	-.466	-.455	.238	.015	.213	-.571	-.007	1										
Ni	-.246	-.289	-.416	-.251	.488	.662	.612	.419	1									
Pb	.516	.531	.303	-.138	-.578	-.859	-.186	-.794	-.568	1								
Sb	-.111	-.191	-.806	.172	.632	.873	.418	.337	.646	-.714	1							
Sc	.187	.246	.080	-.446	-.239	-.300	.485	-.137	.497	.266	-.140	1						
Sn	-.013	.162	.735	.211	-.670	-.344	-.574	.334	-.403	.115	-.486	-.048	1					
Sr	.038	.147	-.239	.532	-.114	.170	-.078	.056	-.005	-.113	.299	-.023	.370	1				
V	.155	.215	.063	-.330	-.213	-.294	.491	-.144	.484	.265	-.128	.990	-.017	.049	1			
W	-.580	-.452	.819	.033	-.204	-.176	-.365	.510	-.142	-.092	-.520	-.004	.680	-.084	.001	1		
Y	-.495	-.670	-.671	.401	.978	.653	.474	.052	.401	-.473	.632	-.263	-.717	-.058	-.225	-.340	1	
Zn	-.691	-.595	.473	.442	.090	-.160	-.237	.135	-.284	.036	-.445	-.181	.406	.037	-.131	.739	.050	1

مطالعات آماری چندمتغیره

هدف از آنالیز فاکتوری یافتن پارامترهای مشابه و دسته‌بندی آن‌ها است. با مدل سازی یک فاکتور می‌توان همزمان وضعیت تعدادی متغیر مشابه را با هم بررسی کرد. تجزیه و تحلیل فاکتوری بین مجموعه‌ای از متغیرهای گوناگون که ظاهراً بی ارتباط هستند رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. در ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی که میزگی خاصی از ارتباط بین متغیرها را بیان می‌کند به مراتب کمتر از متغیرهای اصلی می‌باشد بنابراین یکی از اهداف اصلی روش تجزیه و تحلیل فاکتوری کاهش ابعاد داده‌هاست. فرض اساسی در به کارگیری این روش، وجود الگویی زیربنایی یا مدل خاص در تعیین مفاهیم پیچیده ارتباطی بین متغیرهاست که این ارتباط در قالب یک فاکتور در این مدل فرضی ظاهر می‌شود و به طور کلی هدف از تجزیه و تحلیل فاکتوری عبارت است از تعیین متغیرهای کنترل کننده اصلی در بین یک سری داده‌های ژئوشیمیایی به عبارت دیگر یافتن حداقل تعداد متغیرهایی است که بیشترین تغییرات مشاهده شد بین سری داده‌ها نشان دهد [۳، ۴]

مطالعات آمار چندمتغیره به دو روش آنالیز خوشه‌ای و آنالیز فاکتوری برای تعیین پاراژنز عناصر در تعیین ژنتیک موادمعدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیان‌کننده عوامل مختلفی از جمله تفاوت‌های کان‌زایی و فرایندهای ژئوشیمیایی می‌باشند [۳، ۷، ۸، ۹]. برای اینکار از نرم‌افزار Spss استفاده شده است. در شکل شماره ۴ نمودار دندروگرام برای آنالیز خوشه‌ای و در جدول شماره ۳ نتایج آنالیز فاکتوری آورده شده است. در آنالیز فاکتوری برای یافتن پاراژنز عناصر میزان مقادیر بالای ۰/۵ مناسب است [۳، ۴]. نتایج آنالیزهای فاکتوری و خوشه‌ای نشانگر وجود عناصر پاراژنز مس، نیکل و کبالت و نیز سرب و نقره با یکدیگر است. باتوجه به وضعیت زمین‌شناسی و وجود اندیس‌های مس و کانسارهای گرمابی در این منطقه می‌توان بدنبال کانسارهای رسوبی مس و نیز رگه‌های سرب و نقره بود.



شکل ۴- نمودار دندروگرام برای آنالیز خوشه‌ای

جدول ۳- نتایج آنالیز فاکتوری

Rotated Component Matrixa					
	Component				
	1	2	3	4	5
Sn	.914	.018	.079	-.089	.358
Ba	.874	-.189	.280	-.011	-.263
Y	-.860	.231	.420	-.101	.059
Cd	-.775	.363	.492	-.068	-.036
W	.732	.119	.649	.016	-.098
Pb	.189	-.915	-.211	.114	-.049
Hg	.325	.871	.269	-.025	-.039
Co	-.465	.830	.115	-.133	.123
Sb	-.627	.693	-.190	.000	.253
Ni	-.356	.655	.031	.616	-.100
Ag	.065	-.331	-.901	.037	-.018
As	.238	-.335	-.893	.085	.072
Zn	.308	-.205	.860	-.106	.173
V	.082	-.138	-.079	.973	.008
Sc	.097	-.119	-.126	.968	-.094
Cu	-.584	.126	.042	.627	-.056
Sr	.089	.143	-.137	.059	.932
Bi	-.172	-.069	.404	-.326	.766

نتیجه‌گیری:

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



مطالعه انجام شده نشانگر توانایی روش‌های آمارکلاسیک در یافتن تیپ‌های احتمالی کانه‌زایی در یک محدوده اکتشافی می‌باشد. فاکتورهای ۲ و ۴ و نیز خوشه‌های حاصل در دندروگرام به همراه ضرایب همبستگی نشانگر وجود کانسارهای مس رسوبی همراه با نیکل و کبالت و نیز رگه‌های سرب و نقره است. وجود زون‌های ماگماتیک ارومیه-دختر و زون سنندج-سیرجان به همراه زون البرز-آذربایجان اهمیت بسیاری دارد که با این تیپ کانسارهای می‌تواند تطابق مناسب داشته باشد.

**منابع:**

۱- دانشورصائین، ل.، رسا، ا.، افضل، پ.، ۱۳۹۰. بررسی ارتباط روند توزیع عیار عناصر قلع، تنگستن، جیوه و طلا با روند گسل‌ها با استفاده از روش کریگینگ در برگه ۱:۵۰۰۰۰ ده‌بیرآبان (جنوب شرق ایران)، مجله علمی و پژوهشی علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات ۸۱: ۱۶۸-۱۵۳.

۲- گروه اکتشاف، ۱۳۷۹. بررسی‌های دورسنجی به منظور شناسایی نواحی دارای پتانسیل مواد معدنی در برگه های ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی، دیزج، قطور، سلماس. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (گزارش منتشر نشده).

3- Davis, J.C., 2002. Statistics and data analysis in Geology (3th ed.). John Wiley & Sons Inc., New York.

4- Hawkes RAW. & Webb HE. 1979: Geochemistry in mineral exploration, 2nd edn. Academic Press, New York, 657 pp.

5- Beus, A.A., Grigorian, S.V., 1977. Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits. Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois.

6- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG Bulletin 52, 1229-1258.

7- Pirajno, F., 1992. Hydrothermal Mineral Deposits—Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist. Springer-Verlag, Berlin, 709 pp.

8- Pirajno, F., Bagas, L., 2002, Gold and silver metallogeny of the South China Fold Belt: a consequence of multiple mineralizing events?, Ore Geology Reviews 20, 109–126.

9- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Springer, The University of Western Australia, Perth, 1273 pp.

## کانی شناسی و ژنز کانسار آهن جلال آباد زرند کرمان

فرشته حسن نیا\*، حسن برزگر

گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور تهران

f.hassannia1368@gmail.com

### چکیده:

کانسار آهن جلال آباد در ۳۸ کیلومتری شمالغرب زرند و از نظر موقعیت جغرافیایی در عرض  $31^{\circ}00'12''$  و طول  $56^{\circ}25'42''$  واقع شده است. عمده سنگهای ولکانیکی در منطقه ریوداسیت تا آندزیت و سنگهای ولکانو کلاستیک شامل توف و ایگنمبریت است. سنگهای آذرین مافیک (دیاباز) موجود در منطقه جلال آباد با سنگهای موجود در منطقه آهن دار بافق شباهت زیادی دارند و از نظر سنی به کامبرین زیرین نسبت داده می شود که همراه سنگهای ولکانیکی و رسوبی کامبرین زیرین (گروه ریزو و دزو) مشاهده می شوند. بررسی های سطحی و مطالعه مقاطع نازک از مغزه های حفاری در منطقه نشان می دهد که آهک های دولومیتی در سطح و ماسه سنگها، سیلتستون و سیلتستونهای ماسه ای در بخشهای عمیق محدوده رخنمون دارند. از مهمترین کانه های تشکیل دهنده توده معدنی می توان به مگنتیت و هماتیت اشاره کرد. روابط بافتی میان کانه های موجود و پدیده مارتیتی شدن در مقاطع صیقلی گویای دگرسانی است و تبدیل دو طرفه کانه های مگنتیت به هماتیت، گوئیت و لیمونیت می باشد که نشان دهنده شرایط متفاوت محیطی از نظر دما، pH و Eh می باشد. کانیهای کلسیت و دولومیت زمینه سنگ آهن در آهک های دولومیتی است. بررسی تغییرات ژئوشیمیایی عناصر کمیاب نشان می دهد که عیار تیتانیوم و وانادیوم کمتر از ۶۰۰۰ ppm در کانسار جلال آباد می باشد که با استفاده از نمودارهای عناصر کمیاب این کانسار در محدوده کانسارهای هیدروترمال - ماگمایی (آهن آپاتیتی) و آتشفشانی - رسوبی قرار می گیرد. تغییرات ژئوشیمیایی نسبت عناصر کمیاب Co/Ni (۲۵/۴۴ ppm تا ۵۰/۲۲ ppm) نشان می دهد که کانسار آهن جلال آباد منشأ هیدروترمال دارد.

کلیدواژه: کانسار آهن، جلال آباد، گروه ریزو و دزو، هیدروترمال

## Mineralogy and genesis of Jalalabad Zarand iron ore deposit in Kerman

Fereshte Hassannia, Hassan Barzegar

### Abstract

Jalalabad iron deposit is located 38 km northwest of Zarand with latitude  $31^{\circ}00'12''$  and longitude  $56^{\circ}25'42''$ . The main volcanic rocks in the Jalalabad region are rhyodacite to andesite and volcanoclastic rocks include tuff and ignimbrite. Mafic igneous rocks (diabase) in Jalalabad region are analogous to those rocks in Iron ore-content region of Bafgh. Both are attributed to Lower Cambrian in terms of age. Those rocks are observed with accompanied by volcanic and sedimentary rocks of Lower Cambrian (Rizu and Desu group). Surface surveys and study of thin sections of drilling cores in the area show that dolomitic limestone outcropped on the surface and sandstones, siltstones and sandstone siltstones are observed in the deeper sections of the limited area. The most important ore minerals constitute magnetite and hematite. The textural relationships between the existing ore minerals and the martitization phenomenon in the polished sections indicate alteration and the two-way conversion of the magnetite to hematite, goethite and limonite. They indicate different environmental conditions in terms of temperature, pH and Eh. Calcite and dolomite minerals are the host rocks of iron ore in dolomitic limestone. Investigation of geochemical variations of trace elements shows that the grade of titanium and vanadium 6000 ppm in Jalalabad deposit is low, which is lied in the range of hydrothermal- magmatic (apatite iron) and volcanic-sedimentary deposits. Proportional geochemical variations of trace elements Co/Ni (22.44 ppm up to 50.22 ppm) indicate that Jalalabad iron deposit has a hydrothermal origin.

Keywords: Iron ore deposit, Jalalabad, Rizu and Desu groups, Hydrothermal

#### مقدمه:

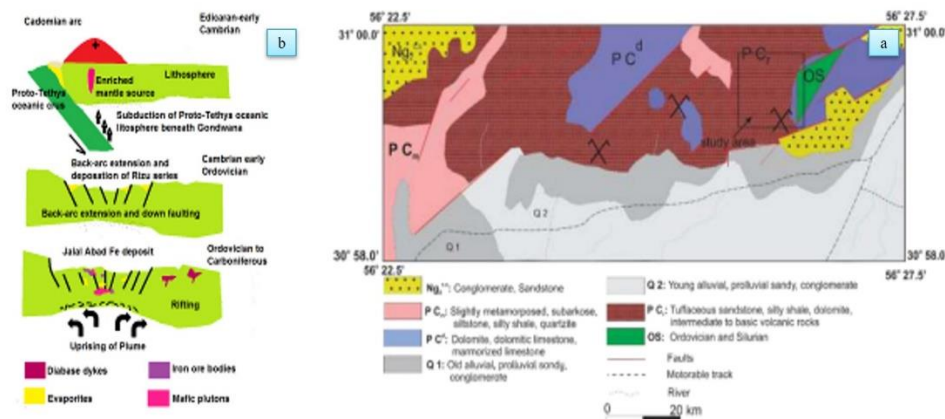
کانسارهای آهن در ایران زمین منحصر به دوره خاصی از تاریخ زمین ساختی نیست، به گونه‌ای که با پیدایش و شکل‌گیری پوسته ایران زمین در پروتروزوئیک پسین و عملکرد و ادامه فعالیت‌های زمین ساختی- ماگمایی تاکنون، کانی‌سازی آهن به موازات آن رخ داده است و ذخایر نهشته شده در پروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین، از زمان‌های دیگر نمود بسیار آشکارتری دارد. تا به حال حدود ۱ میلیون تن سنگ آهن با خاستگاه‌های متفاوت ماگمایی (سنگان، ناحیه بافق، زنگان، مرواریه، سرخه دیزج)، آتشفشانی- رسوبی (ناحیه بندرعباس و شمس‌آباد، آهنهای محور سلطانیه- مهاباد) و اسکارنی - ماگمایی (مجموعه همه کسی همدان) کشف شده است (Ghorbani, 2008). استان کرمان از لحاظ مطالعات زمین‌شناسی در منطقه جنوب‌شرقی- مرکزی، ایران مرکزی قرار دارد و در برگزیده واحدهای سنگی متنوعی از آذرین، دگرگونی و رسوبی می‌باشد. به دلیل عدم وضوح ارتباطات ساختمانی میان تشکیلات زمین شناسی ناحیه کرمان و همچنین تنوع و فراگیر بودن تمامی سازندها از پرکامبرین تا عهد حاضر مطالعه و بررسی زمین‌شناسی این ناحیه چندان خالی از اشکال نبوده است. منطقه رباط پشت بادام- بافق- زرد حاوی بیش از ۳۴ آنومالی و کانسار آهن است که میزبان تقریباً ۲ میلیارد تن سنگ آهن بوده که در سنگهای ولکانیکی- رسوبی کامبرین واقع شده است (Stosch et al., 2011). هدف از این پژوهش این است که با بررسی‌های میدانی، کانی شناسی و ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب، مدلی برای منشا و نحوه کانی‌زایی کانسار آهن جلال آباد ارائه شود.

#### جایگاه زمین شناسی و زمین ساختی:

محدوده مورد مطالعه در بخش شرقی ایران مرکزی در استان کرمان، ۳۸ کیلومتری شمالغرب زرد و در قسمت شمال نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ داوران و ۱:۲۵۰۰۰۰ راور قرار گرفته و از نظر موقعیت جغرافیایی در عرض  $31^{\circ}00'12''$  و طول  $56^{\circ}25'42''$  واقع شده است. گسل کوهبنان تعیین کننده روندهای اصلی تکتونیکی در محدوده است. ساز و کار این گسل فشاری شیب به سمت شمال شرق است و در راستای آن سنگهای پرکامبرین پسین و پالئوزوئیک بر روی مخروط افکنه‌های جوان و رسوبات کواترن دشت رانده شده‌اند. منطقه معدنی جلال آباد از سنگهای سری مراد در قاعده کانسار و سازندهای ریزو و دزو در بخش فوقانی را شامل می‌شود (Ghorbani, 2008). مهمترین واحدهای سنگ شناسی مورد مطالعه مربوط به گروه ریزو و دزو با رخساره رسوبی- ولکانیک و سنگهای توده‌ای آهکی با سن اینفراکامبرین (کامبرین زیرین) و پالئوزوئیک است. سنگهای رسوبی- تخریبی و واحدهای آتشفشانی- رسوبی کامبرین زیرین از مهمترین واحدهای تشکیل دهنده کانسار جلال آباد است. وجود رخساره‌های کربناته تخریبی نشان دهنده تغییر تکتونیکی ناگهانی محیط می‌باشد که حتی با فعالیت‌های شدید ولکانیکی نیز همراه بوده است. عمده سنگهای ولکانیکی در منطقه ریوداسیت تا آندزیت و سنگهای ولکانوکلاستیک شامل توف و ایگنمبریت است. سنگهای آذرین مافیک موجود در منطقه جلال آباد با سنگهای موجود در منطقه آهن‌دار بافق شباهت زیادی دارند و از نظر سنی به کامبرین زیرین نسبت داده می‌شود که همراه سنگهای ولکانیکی و رسوبی کامبرین زیرین (گروه ریزو و دزو) دیده می‌شوند. مجموعه گروه‌های ریزو و دزو زیر عنوان سنگهای آتشفشانی- رسوبی کامبرین (CVSU) نامگذاری شده است (Ramezani and Tucker, 2003). سنگ میزبان کانسار جلال آباد از سنگهای آتشفشانی- رسوبی سری ریزو با سن کامبرین زیرین است و مهمترین سنگهای تشکیل دهنده شامل ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون، دولومیت، سنگ آهک دولومیتی، توف و ایگنمبریت است (شکل ۱a) (Mehrabi and Karimr, 2003).

سنگهای منطقه جلال آباد به شکل دایکهای دیابازی و همچنین توده‌های آذرین در سراسر منطقه و در بلوک پشت‌بادام پراکنده هستند. این سنگها در پهنه کافت میان قاره‌ای قرار دارند. براساس چینه‌شناسی این سنگها وابسته به ماگماتیسم پالئوزوئیک زیرین هستند و بیشتر در سنگهای گروه ریزو تزریق شده‌اند. منطقه زرد به ویژه کانسار جلال آباد در بردارنده توالی گسترده‌ای از سنگهای پالئوزوئیک

زیرین است. بررسی‌ها نشان می‌دهد این منطقه از پالئوزوئیک زیرین تا زمان تریاس پهنه کافتی عقیم (اولاکوژن) بوده که از شمال به پالئوتیس مرتبط بوده است. براساس گستردگی سنگهای آذرین اسیدی و مافیک در منطقه پدیده ماگمایی مرتبط با کافت‌زایی برای پیدایش ماگمایی منطقه پیشنهاد شده است (Ale-Taha-Kuhbanani, 1994). بررسی صحرایی نشان دهنده جوان‌تر بودن ماگماتیسم اسیدی این منطقه است، به گونه‌ای که تزریق دایکها و نفوذ توده‌های آذرین درونی در سنگهای آتشفشانی- رسوبی با رویداد دگرگونی همبری و دگرسانی موضعی همراه بوده است (Vesali et al., 2018). بررسی‌ها بر روی سنگهای آذرین کانسار جلال آباد نشان می‌دهد، ماگماتیسم مرتبط با سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی کامبرین سنگ شناسی گوناگونی دارد که شامل بازالت، ریولیت، کوارتز پورفیری، تراکیت، داسیت، ریوداسیت و گرانودیوریت است و بخشی از ماگماتیسم کمان کادومین در منطقه در بر می‌گیرد. ماگماتیسم بازیک به صورت توده‌های گابرویی، دیوریتی و دسته دایک‌ها و سیل‌های بازیک در منطقه جلال آباد دیده می‌شود. رویدادی جوان‌تر در پی ماگماتیسم کشتی در سراسر پهنه ایران مرکزی روی داده است که از اردوئین آغاز و تا دونین و پرمین ادامه داشته است (Vesali and Esmaeily, 2016). افزون بر این، رویداد دگرگونی همبری در برخورد دایک‌های بازیک با ریولیت‌ها و همچنین تزریق این دایک‌ها درون دولومیت‌های دزو و انکلاوهای دولومیتی در دایک‌ها نشان دهنده جوانتر بودن این ماگماتیسم و نبود وابستگی آنها با ماگماتیسم اسیدی منطقه است، در صورتی که ماگماتیسم اسیدی با دگرشیبی آذرین پی با دولومیت‌های سری ریزو پوشانده شده است (شکل ۱b) (Vesali et al., 2018).



شکل ۱- (a) نقشه زمین‌شناسی منطقه جلال آباد برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ داوران، (b) مدل زایشی کانسار آهن جلال آباد از پروتروزوئیک پسین تا دونین (Vesali et al., 2016)

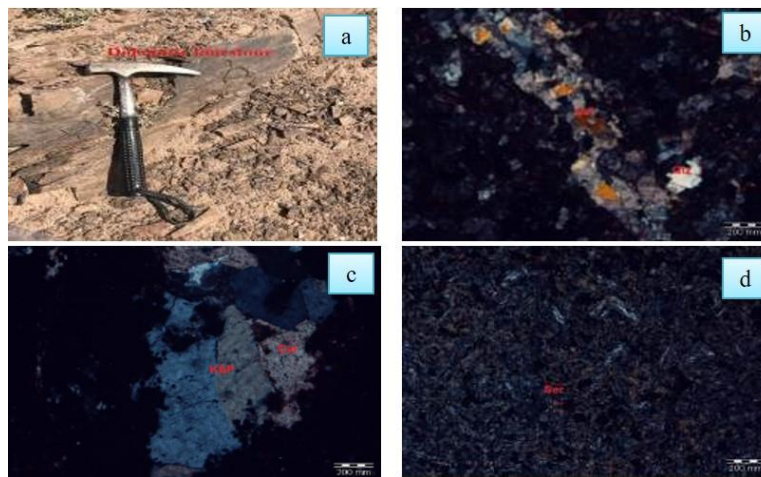
### روش مطالعه:

در این پژوهش سعی شده است تا با بررسی‌های میدانی، کانی شناسی و ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب، مدلی برای منشا و نحوه کانی‌زایی کانسار آهن جلال آباد ارائه شود. در این راستا پس از بررسی و مطالعه پیشینه محدوده مورد نظر عملیات صحرایی و نمونه برداری‌های میدانی در امتدادهای مشخصی صورت گرفته و با توجه به اینکه نمونه برداری از رخنمونهای سنگی روش مناسبی برای مطالعات زمین شناسی است به همین منظور در کانسار آهن جلال آباد از واحدهای سنگی و کانه‌زایی نمونه برداری انجام شده و پس از بررسی‌های اولیه، شماره گذاری و عکس برداری شده است و به آزمایشگاههای نوین شیمیار و زرازا جهت آنالیز ICP-OES و XRF فرستاده شدند.



بحث:

شکل کلی کانسار جلال آباد به صورت یک عدسی کشیده است که طول توده معدنی از شمال به جنوب ۱۶۵۰ متر و از شمال غربی و جنوب غربی ۲۵۰۰ متر است. کانی سازی در اعماق صورت گرفته است و ضخامت لایه های معدنی از ۱۰ تا ۱۵۰ متر می باشد (Karimi Shahraki, 2003). بررسی های سطحی و مغزه های حفاری شده از منطقه و همچنین مطالعه مقاطع نازک در شکل ۲ نشان می دهد که ماسه سنگها، سیلتستون و سیلتستونهای ماسه ای در بخشهای عمیق و آهکهای دولومیتی در سطح محدوده رخنمون دارند (Karimi Shahraki, 2003). سنگ میزبان کانسار از سیلتستون ماسه ای و سیلتستون با رنگ ظاهری سبز، این سنگها از کوارتز، فلدسپار، توف و خاکسترهای آتشفشانی تشکیل شده است. آهکهای دولومیتی در منطقه گسترش زیادی دارند. بلورهای درشت آن به رنگ خاکستری مایل به قهوه ای تیره در سطح هوازده و قهوه ای مایل به زرد در سطح تازه است. بلورهای کلسیت و دولومیت بصورت شکل دار تا نیمه شکل دار و دارای بافت موزاییکی و در بعضی قسمتها شکسته و خرد شده بین اکسید آهن و کوارتز و همچنین ناحیه ای اکسیدان را پر کرده است. این دو کانی زمینه سنگ آهن در آهکهای دولومیتی است. اکوارتز به صورت پراکنده و رگه ای درون سیلتستونهای ماسه ای، کانسنگهای آهن و آهکهای دولومیتی دیده می شود.

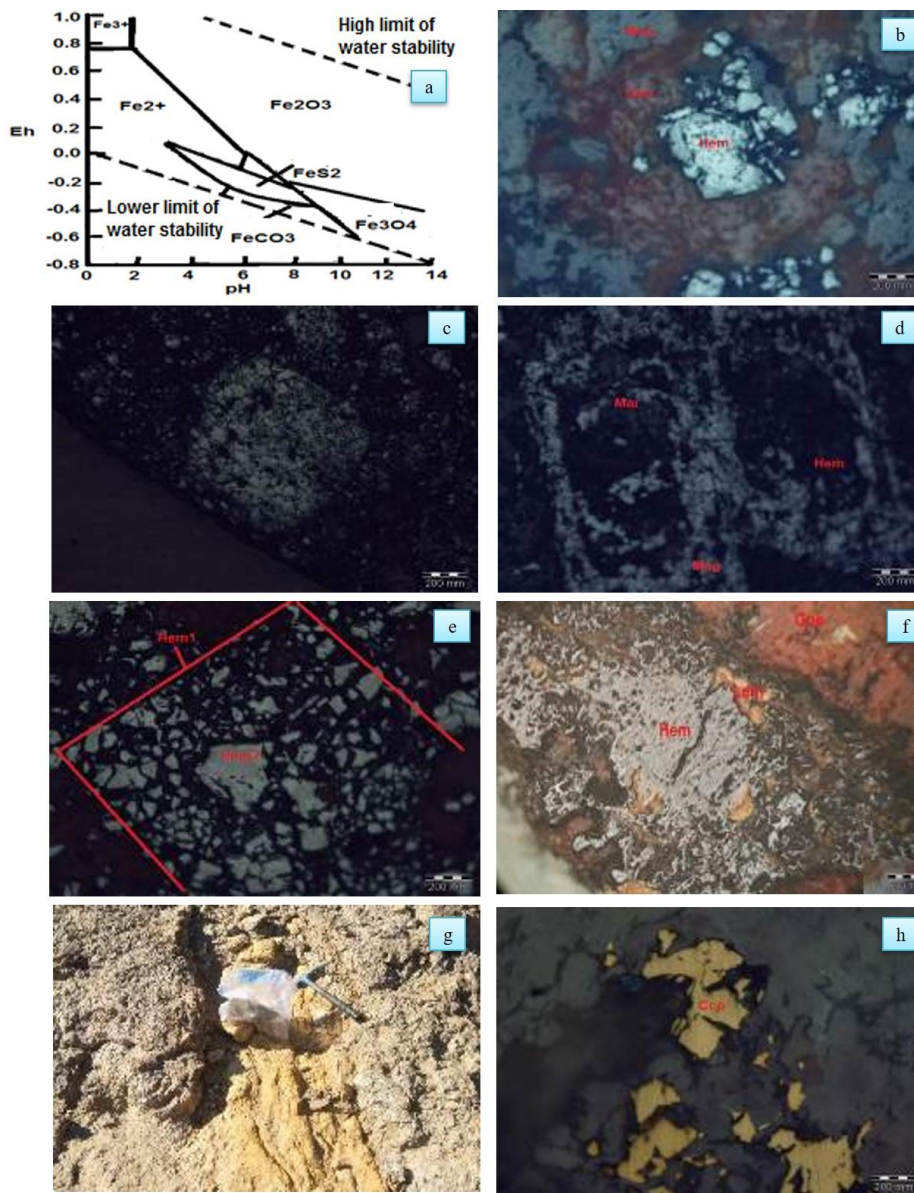


شکل ۲- (a) سنگ آهک دولومیتی که دارای خاصیت مغناطیسی می باشد، (b) رگه های کلسیت و بافت موزاییکی در مقطع نازک، (c) کانی فلدسپار و کلسیت در مقاطع نازک، (d) کانی سریسیت و تیغه های پلاژیوکلاز در مقطع نازک. (نور XPL)

از مهمترین کانه های تشکیل دهنده توده معدنی می توان به مگنتیت و هماتیت اشاره کرد. همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده، روابط بافتی میان کانه های موجود در مقاطع صیقلی، شامل مگنتیت، گوتیت و هماتیت گویای تبدیل شدن های مختلف و گاهی دو طرفه کانه های یاد شده به یکدیگر، در شرایط مختلف محیطی از نظر دما، pH و Eh است.

طبق مطالعه مقاطع صیقلی مگنتیت کانه اصلی کانسار جلال آباد و بیشترین حجم کانسار را تشکیل می دهد. در مقاطع صیقلی این کانه با اندازه های ۰,۵ تا ۱ میلی متر که بیش از ۵۰ تا ۷۰ درصد کانسنگ را به خود اختصاص داده است. عمده ترین بافتی که در کانه مگنتیت مشاهده می شود بافت منطقه ای، مارتیتی و جانیشینی است. بافت منطقه ای که مگنتیت و باطله اشکالی را به شکل مدور در کانسار ایجاد کرده اند. کانی های باطله در این بافت از نوع کوارتز، کلسیت، کلریت و سریسیت است. این نوع بافت در محلهایی که کانه های مگنتیت جانشین بخشهای کربناته شده اند حضور دارند. مارتیتی شدن از حاشیه دانه های هماتیت در اطراف مگنتیت و در امتداد شکستگیها و سطوح رخ شروع شده و در مراحل پیشرفته در داخل کانه توسعه یافته است. بعد از کانه مگنتیت هماتیت فراوان ترین کانه

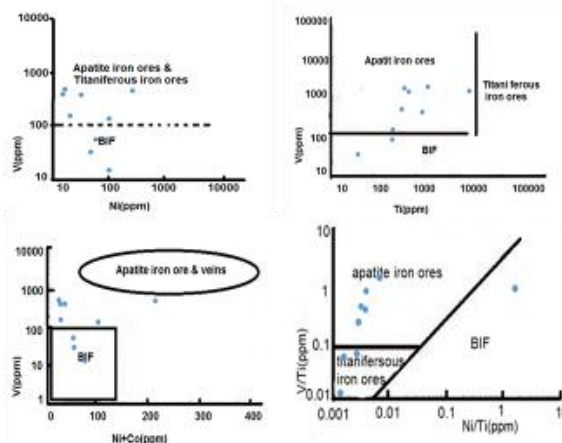
در کانسار جلال آباد است. هماتیتهای اغلب بصورت ثانویه بوده و از اکسیداسیون مگنتیت حاصل شده است. براساس هماتیتهای اولیه و ثانویه و هسته‌های مگنتیتی درون هماتیتهای ثانویه نشان می‌دهد که مارتیتزاسیون کامل نبوده و هماتیتهای در اثر هوازدگی به گوتیت و لیمونیت تبدیل شده‌اند. گوتیت در کانسار جلال آباد در زون هماتیت‌دار دیده می‌شود و در اثر هوازدگی اکسیدها و سولفیدهای آهن بوجود آمده. اغلب فضای خالی بین سنگها را پر کرده و سبب سخت شدن بخش هماتیتهای شده است.



شکل ۳- (a) نمودار Eh-pH پایداری کانی‌های رایج آهن (Krauskopf and Bird, 1979). (b) هماتیت، مگنتیت و گوتیت در مقاطع صیقلی، (c) کانه مگنتیت با بافت منطقه‌ای را نشان می‌دهد که در اثر تبدیل مگنتیت به هماتیت ایجاد شده است، (d) هماتیت، مگنتیت و مارتیتی شدن در مقطع صیقلی. (e) هماتیت اولیه و ثانویه در مقاطع صیقلی، (f) هماتیت، لیمونیت و گوتیت در مقطع صیقلی، (g) لیمونیت در نمونه سنگی، (h) کالکوپیریت در مقطع صیقلی. (نور XPL)

کانه پیریت بصورت فراوان در کانسار جلال آباد دیده می‌شود که درصد بالایی از گوگرد محصول این کانه است. اصلی‌ترین کانه مس‌دار در محدوده کالکوپیریت است که بعد از پیریت از فراوان‌ترین کانی سولفیدی منطقه به حساب می‌آید. کالکوپیریت بصورت رگه‌ای، پرکننده فضای خالی در کانسار جلال آباد است. همراهی کالکوپیریت با هماتیت ثانویه در زونهای اکسیده نشان می‌دهد که سیالات کانی‌سازی بعدی غنی از سولفور مس بوده‌اند. علاوه بر کانه‌های گفته شده دیگر کانی سولفیدی و اکسیدی که در کانسار آهن جلال آباد مشاهده می‌شود کانی‌های آرسنوپیریت، مالاکیت، اسفالریت، آزوریت، لیمونیت و بورنیت است. وجود مالاکیت و آزوریت به عنوان کانی‌های ثانویه مس می‌تواند به علت اکسیداسیون کالکوپیریت باشد که در زون اکسیدی در اعماق زیرین قرار دارد.

طبق نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های منطقه جلال آباد اولین قدم برای بدست آوردن ارتباط میان عناصر اصلی و جزئی با آهن در محیط تشکیل کانسار از ضریب همبستگی استفاده می‌شود. طبق ضریب همبستگی روند تغییرات  $\text{CaO}$ ،  $\text{MnO}$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نسبت به  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  نشان می‌دهد که با افزایش مقدار اکسید آهن مقدار این عناصر کاهش می‌یابد و همبستگی منفی بین اکسید آهن و این عناصر وجود دارد. وجود همبستگی منفی قوی بین  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  نشان دهنده تمرکز پلاژیوکلاز در ماگمای سازنده است. بررسی عناصر کمیاب در سنگهای مگنتیتی و هماتیتی راهنمای خوبی در مورد شرایط تشکیل کانسار است. منگنز، اسکاندیم، نیکل و کبالت عناصری هستند که با آهن دو ظرفیتی جانشین می‌شوند و عناصر وانادیم و کروم قابلیت جانشینی با آهن سه ظرفیتی را دارند. جانشینی باعث پایداری شبکه و تغییر در خواص مگنتیت می‌شود. تیتانیوم و منگنز باعث افزایش پایداری شبکه و عناصر منیزیم، آلومینیوم، نیکل، کروم و کبالت کاهش شبکه پایداری مگنتیت می‌شوند (Nockolds, 1966). براساس شکل a۴ که غلظت عناصر کمیاب را در تیپهای مختلف کانسارهای آهن جهان و جلال آباد نشان می‌دهد. طبق این نمودارها و نمودار جلال آباد عناصر  $\text{Zn}$ ،  $\text{Cr}$ ،  $\text{Co}$ ،  $\text{V}$ ،  $\text{Ni}$  موجود در منطقه با نمودار نمونه‌های برداشت شده از معدن جلال آباد همخوانی دارد و نسبت به کانسارهای جهان متوازن است. همچنین برای تعیین موقعیت کان‌سنگ آهن از نمودار لوپرگ و هوراندل استفاده شده است. براساس نمودار لوپرگ و هوراندل (۱۹۸۳) در شکل b۴، تغییرات وانادیم در برابر تیتانیوم سه کانسار آهن آپاتیتی، آهن تیتانیوم‌دار و آهن رسوبی را از هم جدا می‌کند. براساس نظریات هیتزمن و همکاران (۱۹۹۲)، کانسارهای آهن که در اثر مذابهای نامیژاک تشکیل شده‌اند، مگنتیت-آپاتیت همراهی خوبی را نشان می‌دهند. طبق نمودار، نمونه‌های کانسار آهن جلال آباد بیشتر در محدوده آهن آپاتیتی قرار گرفته است. براساس تغییرات وانادیم در مقابل  $\text{Ni}+\text{Co}$  محدوده کانسار آهن آپاتیتی و آهن رسوبی را از هم جدا می‌کند. در این نمودار، نمونه‌های کانسار جلال آباد بیشتر در محدوده بین آهن آپاتیتی و رسوبی قرار گرفته است. تغییرات وانادیم در مقابل نیکل کانسارهای آپاتیتی و تیتانیوم‌دار را از آهن رسوبی جدا کرده و نمونه‌های کانسار آهن جلال آباد در قسمت آهن آپاتیتی و تیتانیوم‌دار قرار گرفته‌اند. براساس تغییرات میزان  $\text{V}/\text{Ti}$  نسبت به میزان  $\text{Ni}/\text{Ti}$  کانسنگ آهن به سه گروه مشابه گروه A تقسیم شده‌اند. طبق این نمودار نیز نمونه‌های بیشتر در محدوده آهن تیتانیوم‌دار غنی از فسفر قرار می‌گیرد. بارتون و جانسون (۱۹۹۶)، محلولهای هیدروترمالی را ناشی از منشا ماگمایی و تبخیری می‌دانند که کانسارهای اکسید آهن را تشکیل داده است. طبق تغییرات نسبت‌های دوتایی بعضی از عناصر کانسار جلال آباد حاوی مقدار پایین تیتانیوم و وانادیوم است و با استفاده از نمودارهای عناصر کمیاب نشان می‌دهد که کانسار جلال آباد در محدوده کانسارهای هیدروترمال-ماگمایی (آهن آپاتیتی) و آتشفشانی-رسوبی واقع شده است. تعیین ژنر نمونه‌های برداشت شده براساس نسبت  $\text{Co}/\text{Ni}$  (۲۵/۴۴ ppm تا ۵۰/۲۲ ppm) نشان می‌دهد که کانسار آهن جلال آباد منشأ هیدروترمال دارد (شکل c۴).



شکل ۴- (a) نمودار مقایسه غلظت عناصر کمیاب در تیپهای مختلف کانسارهای آهن جهان و جلال آباد، (b) موقعیت کانسنگ آهن جلال آباد در نمودار لوبرگ و هوراندل (۱۹۸۳)، (c) نمودار تعیین ژنر کانسار آهن جلال آباد با استفاده از نسبت Co/Ni (Taylor, 1965) نتیجه گیری:

کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه دارای کنترل سنگ‌شناختی است. زیرا کانه‌زایی به صورت جانشین، عمدتاً در داخل سنگ‌های کربناتی- دولومیتی رخ داده است. بنابراین، اصلی‌ترین فرآیند نهشت آهن، واکنش بین سیال گرمابی و سنگ میزبان کربناتی است. هر چند کاهش دما و به دنبال آن کاهش فشار نقش مهمی را در نهشت هماتیت داشته‌اند، اختلاط یک محلول کاهیده غنی از آهن، با یک محلول اکسیدان نیز می‌تواند باعث نهشت هماتیت و کاهش pH شود که این کاهش pH نیز دلیل جایگزینی فلدسپار پتاسیم توسط سریسیت و حل شدن کلسیت است. تغییر حجم و افزایش شکنندگی ناشی از دولومیتی‌شدن سنگ میزبان اولیه به همراه عوامل تکتونیکی موجب آماده‌سازی زمینه برای کانه‌زایی شده‌اند به طوری که رگه‌ها و رگچه‌هایی را به صورت معبری مناسب جهت کانه‌زایی به وجود آورده است. بررسی ویژگی‌های کانسار آهن جلال آباد در مقایسه با تیپهای مختلف کانسارهای آهن، حاکی از آن است که کانه‌زایی در کانسار آهن جلال آباد از نظر کانی شناسی، دگرسانی، پاراژنز، ژئوشیمی و منشا و به دلیل داشتن اکسیدهای فراوان آهن، مقادیر پایین آپاتیت، میزان ذخیره زیاد، نوع و شدت دگرسانی و همچنین از نظر سن و جایگاه تکتونیکی شباهت زیادی به کانسارهای آهن هیدروترمال دارد.

#### منابع:

- Ale-Taha-Kuhbanani, B., 1994. Petrological and geochemical investigations on volcanic rocks in east of Zarand, Kerman. M.Sc. thesis. University of Tehran, Iran
- Barton, M.D., Janson, D.A., 1996. Evaporitic-source model for igneous-related Fe Oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization. *Geology*, V. 24, pp. 259-262
- Ghorbani, M., 2008. Economic Geology of Mineral and Natural Resources of Iran, Arian Zamin, p. 327, 401
- Ghorbani, M, 2008. Economic Geology of Iranian Mineral Deposits and Signs, Arian Zamin, pp. 10, 52-61
- Hitzman, M.W., Oreskes, N., Einaudi, M.T., 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits *Precambrian Research*, V.58, pp. 241-287
- Krauskopf, K.P., Bird, D.K., 1979. Introduction to geochemistry, McGraw-Hill, and edition, International Series, p. 617
- Karimi Shahraki, B., 2003. Study of Geochemistry and Economic Geology of Jalal Abad iron deposit Zarand (Kerman Province), M.Sc thesis. University of Tarbiat Moallem, Tehran
- Loberg, B.E.H., Horndahl, A.K., 1983. Ferride Geochemistry of Swedish Precambrian iron ores, mineralis deposita. Springer-Verlag18, pp.487-504
- Maynard, J.B., 1983. Geochemistry of sedimentary ore deposits, Springer-Verlag, p. 305
- Mehrabi, B. and Karimi, B., 2003. Jalalabad as a hydrothermal iron oxide deposit. The 22nd Geosciences symposium, Geological Survey of Iran. Tehran

- Nockolds, S.R., 1966. The behavior of some elements during fractional crystallization of magma. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, pp. 267-278
- Ramezani, J., Tucker, R.D., 2003. The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *American Journal of Science* 303(7), 622-665
- Stosch, H.G., Romer, R.L., Daliran, F., 2011. Uranium-Lead ages of apatite from iron oxide ores of the Bafq District, East-Central Iran. *Mineralium Deposita*, 46(1). pp. 9-21
- Taylor, S.R., 1965. The application of trace element data problems in petrology, in physics and geochemistry of earth, Pergamon Press, Oxford, 6. pp. 133-213
- Vesali, Y., Esmaily, D., 2016. Cadomian (Ediacaran-Cambrian) arc magmatism in the Jalalabad iron district, NW Zarand, Central Iran. *Proceeding of the 8 international Siberian Early Career Geoscientists conference*, Novosibirsk, Russia
- Vesali, Y., Esmaily, D., Sepidbar, F., Sheibi, M., Niroomand, Sh., 2018. Petrology, geochemistry and tectonic setting of alkaline mafic rocks in the Jalalabad area in the NW of Zarand (Kerman Province): Evidence for Paleo-Tethys rifting in the central Iran. *Petrology*, 9. pp. 32.1-20

## کانی‌شناسی، ساخت و بافت و محیط تشکیل رخداد معدنی مس آرک، شمال غرب

### بیرجند، استان خراسان جنوبی

آرزو خسروی<sup>۱\*</sup>، آزاده ملکزاده شفارودی<sup>۱</sup>، امیر مهدوی<sup>۲</sup>

۱. گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

arezookhosravi7675@gmail.com

#### چکیده:

رخداد معدنی مس آرک واقع در 55 کیلومتری شمال غرب بیرجند در استان خراسان جنوبی قرار دارد. منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه رسوبی-ساختاری فلیش شرق ایران (زون سیستان) است، که در مجاورت حاشیه شمال شرقی بلوک لوت واقع شده است (شهیدی و همکاران، ۱۳۷۹). واحدهای سنگی موجود در منطقه کانه‌دار شامل تناوب ضخیمی متشکل از ماسه‌سنگ‌های قرمز، کنگلومرا با میان لایه‌های شیلی به سن ائوسن است. کانه‌زایی مس در بخش‌های دارای مواد آلی درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری پهنه شسته شده رخ داده است. گسل‌های متعدد با روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق توالی ماسه‌سنگی را قطع نموده است. در رخداد معدنی مس آرک ۲ افق احیایی کانه‌دار مشاهده شد و هر یک از این افق‌ها شامل سه پهنه کانه‌زایی شده، شسته شده و سرخ اکسیدان است. ضخامت افق‌های کانه‌زایی از 30 سانتی‌متر تا یک متر متغیر است و طول رخنمون آنها گاه تا ۳۰۰ متر می‌رسد. از نظر کانی‌شناسی، کانی‌های اولیه قابل مشاهده در این منطقه عبارتند از: کالکوسیت و پیریت (نسل I و II). کانی‌های ثانویه عبارتند از: کولیت، مالاکیت، کریزوکلا، آزوریت، آتاکامیت و نئوتاسیت. بافت‌های اولیه مانند بافت دانه‌پراکنده، فرامبوئیدال و سیمان بین‌دانه‌ای و بافت‌های ثانویه مانند جان‌شینی (حاشیه‌ای، شبکه‌ای، سلولی، جزیره‌ای یا باقیمانده) از مهمترین بافت‌های موجود در این منطقه است. وجود ساختارهای رسوبی مانند لایه‌بندی مورب، ریپل‌مارک، ساخت‌های وزنی و ردپای فسیل بیانگر تشکیل سنگ میزبان کانی‌سازی در محیط ساحلی و جزر و مدی است.

کلیدواژه: کانی‌شناسی، ساخت و بافت، مس آرک، بیرجند، زون سیستان.

## Mineralization and construction and texture in Copper Ark mineral event, northwest of Birjand, South Khorasan province

Arezoo Khosravi<sup>1</sup>, Azadeh Malekzadeh Shafaroodi<sup>1</sup>, Amir Mahdavi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, faculty of science, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>2</sup> Department of Geology, faculty of science, University of Birjand

Arezookhosravi7675@gmail.com

#### Abstract

Copper ore mine is located 55 km northwest of Birjand in South Khorasan province. The study area is part of the sediment-structural zone of the flysch of eastern Iran (Sistan Zone), which is located near the northeastern margin of the Lut block. The rock units in the ore-bearing area include a thick alternation consisting of red sandstones, conglomerates, and a series of thin-layered shales between the sandstones. Copper mineralization in the sections with organic matter within the gray sandstones of the zone has been leached and occurred in the Eocene age. Numerous faults with a general trend of northwest-southeast have cut the sandstone sequence. In the Ark arc mineral occurrence, two mineralized reduction horizons were observed, and each of these horizons includes three zones, mineralized, washed, and oxidant red. The thickness of mineralization horizons varies from 30 cm to one meter and their outcrop lengths sometimes reach up to 300 meters. Mineralogically, the primary minerals observed in this area are chalcocites and pyrite (generations I and II). Secondary minerals include covellite, malachite, chrysocolla, azurite, atacamite, and neotacite. Primary tissues such as dispersed granular tissue, framboidal and intergranular cement and secondary tissues such as substitution (marginal, reticular, cellular, islet or residual) are the most important tissues in this region. The presence of sedimentary structures such as oblique stratification, Ripple marks, weight structures and fossil footprints indicates the formation of mineralization host rocks in the coastal and tidal environment.

Key word: Mineralogy, Construction and Texture, Arc Copper, Birjand, Sistan Zone.

#### مقدمه:

کانسارهای مس رسوبی دومین تولید کننده مهم مس پس از کانسارهای پورفیری هستند. در حدود ۲۰ درصد از ذخایر مس دنیا را تشکیل می‌دهند (Hayes et al., 2010). این کانسارها علاوه بر مس منشا مهمی برای فلزات نقره، کبالت و در برخی اورانیوم هستند. تعداد کمی از کانسارها از قبیل لوبین\_سیروزویک در لهستان و بعضی کانسارهای کوچک در ناحیه کلوزی کنگو حاوی طلا و عناصر گروه پلاتین می‌باشد (Hitzman et al., 2005; Pirajno, 2009; Brown, 2014) و این کانسارها در حوضه‌های دریایی یا دریاچه‌ای بزرگ مقیاس که واحدهای تبخیری بلافاصله لایه‌های قرمز قاره‌ای را می‌پوشانند، تشکیل می‌شوند (Hitzman et al., 2005). بر اساس تقسیم‌بندی‌های صورت گرفته، کانسارهای نوع SSC به سه دسته تقسیم می‌شوند (Hayes et al., 2010; Brown, 2014; Hitzman et al., 2005; Kirkham, 1989): ۱- کانسارهای نوع رخساره احیایی (یا نوع کوپرفرشیر) ۲- کانسارهای نوع ماسه‌سنگی (یا Revett) ۳- کانسارهای نوع لایه‌های سرخ که سنگ میزبان در این ذخایر توالی ضخیمی از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سیلت‌استون می‌باشد. دگرسانی عمده در این کانه‌زایی‌ها از نوع Blaching است. رخداد معدنی مس آرک واقع در ۵۵ کیلومتری شمال غرب بیرجند در استان خراسان جنوبی و ۳۵ کیلومتری شمال\_شمال غربی شهر خوسف قرار دارد. راه‌های دسترسی به منطقه از راه آسفالتی بیرجند\_آرک می‌باشد، همچنین راه آسفالتی فرعی آراین شهر موسویه\_روستای حصارسنگی دسترسی به بخش‌های شمالی منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد. از لحاظ مختصات جغرافیایی، محدوده مورد مطالعه در  $33^{\circ}05'00''$  تا  $35^{\circ}01'30''$  عرض شمالی قرار دارد. در این پژوهش تلاش شده است تا علاوه بر شناسایی کانه‌زایی مس در منطقه به ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساختی و بافتی و همچنین محیط رسوب‌گذاری و بررسی تیپ آن در مقایسه با انواع جهانی ذخایر مس در سنگهای میزبان رسوبی، مشخص و معرفی گردد.

#### روش مطالعه

به منظور بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و مینرالوگرافی تعداد ۷۰ نمونه از منطقه مورد مطالعه برداشت گردید. که ۱۵ مقطع نازک به منظور مطالعات پتروگرافی و ۲۵ مقطع نازک صیقلی به منظور مطالعات مینرالوگرافی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. جهت ارزیابی پتانسیل عنصر مس و عناصر همراه و بررسی تغییرات عنصری، تعداد ۱۰ نمونه از ماسه‌سنگ‌های کانه‌دار برای آنالیز با روش ICP-MS و جهت بررسی ژئوشیمی سنگ میزبان تعداد ۷ نمونه ماسه‌سنگی به روش XRF به آزمایشگاه معدنی زرآرما ارسال گردید. مطالعات پتروگرافی با میکروسکوپ‌های نوری مدل leitz laborlux 12 pol و در آزمایشگاه اقتصادی دانشگاه بیرجند صورت گرفت.

#### زمین‌شناسی ناحیه ای و زمین‌شناسی منطقه معدنی

از نظر تقسیمات زمین‌شناسی شرق ایران به پهنه‌های فلیش شرق ایران یا زون نهپندان\_خاش، بلوک لوت و پهنه مکران تقسیم می‌گردد. مرز شمالی شرق ایران گسل شاهرود مرز شرقی آن مرز ایران با افغانستان و پاکستان و مرز جنوبی آن را فرو رفتگی جازموریان در نظر گرفته، و پهنه مکران بخش جنوبی آن را شامل می‌شود (نبوی ۱۳۵۵). باتوجه به نظرات حاجیان (۱۳۷۵) و اوهانیان و همکاران (۱۳۵۷) در خصوص نهشته‌های پالتوسن-اٹوسن در اطراف بیرجند میتوان چنین اظهار داشت: در منطقه بیرجند، پیوستگی رسوبگذاری پالتوسن-اٹوسن مشخص گردیده و مجموعه سنگ‌های منتسب بر اٹوسن و الیگوسن به وسیله سنگ‌های آتشفشانی در پیوند چینه‌ای است. در نهشته‌های اٹوسن ملاحظه می‌گردد که بین اٹوسن میانی و بالایی نیز گسستگی چینه‌ای وجود دارد. در تقسیم بندی لیتولوژیکی چنین دیده می‌شود که بخش زیرین اٹوسن، رخساره کنگلومرایی با میان لایه‌های مارن، ماسه‌سنگ و سنگ آهک نومولیت‌دار است. اٹوسن میانی با مجموعه‌ای از سنگ آهک‌های مارن و سنگ آهک آلئولینا (*Alveolina*) و نومولیت‌دار (*Nummulites*) پدیدار می‌شود که پس از، یک وقفه رسوبگذاری، لایه‌های ضخیم کنگلومرا، ماسه‌سنگ قرمز روی لایه‌های قبلی را فرا می‌گیرد که بنوبه خود به سوی بالاتر به لایه‌های آذرین-رسوبی، مارن توفی، شیل‌های مدادی، ماسه سنگ و آذرین آواری و ایگنمبریت‌ها می‌رسد. با توجه به نقشه زمین-

شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ موسویه (روشن روان و همکاران، ۱۳۵۸) منطقه مورد مطالعه از نظر سنگ‌شناسی به طور عمده متشکل از رسوبات ائوسن است و شامل واحدهای رسوبی زیر می‌باشد (شکل ۱).

$K^f_2$ : این واحد از فلیش‌های کرتاسه بالایی که تناوب ماسه‌سنگ، شیل، کنگلومرا و آهک‌های نازک‌لایه خاکستری رنگ هستند تشکیل شده است. شیل‌های سبز رنگ بوده و روند آن‌ها با گسل خوردگی‌های فراوان در داخل این واحدها قطع شده است.

$E^c_1$ : این واحد شامل تناوبی از کنگلومرا و ماسه‌سنگ ضخیم‌لایه به رنگ‌های قرمز تیره مایل به بنفش حاوی قلوه‌های آهکی و ماسه‌سنگی با سیمان رسی ماسه‌ای است. به طور متوسط قطر قلوه‌ها از ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر بوده، در بین آن برش‌های تیره رنگ نیز از گسترش زیادی برخوردار است.

$E^c_3$ : کنگلومراهای این بخش دارای رنگ قرمز تا قهوه‌ای، ضخیم‌لایه و درشت دانه‌اند این کنگلومرا پلی‌میکتیک بوده و در ابتدای توالی غنی از قطعه و میزان ماتریکس ماسه‌ای کمتر و در انتها توالی غنی از ماتریکس ماسه‌ای و قطعه کمتر است. اندازه قلوه‌ها ۱۵ سانتی‌متر است طبقه بندی تدریجی نرمال در این کنگلومرا دیده شده است.

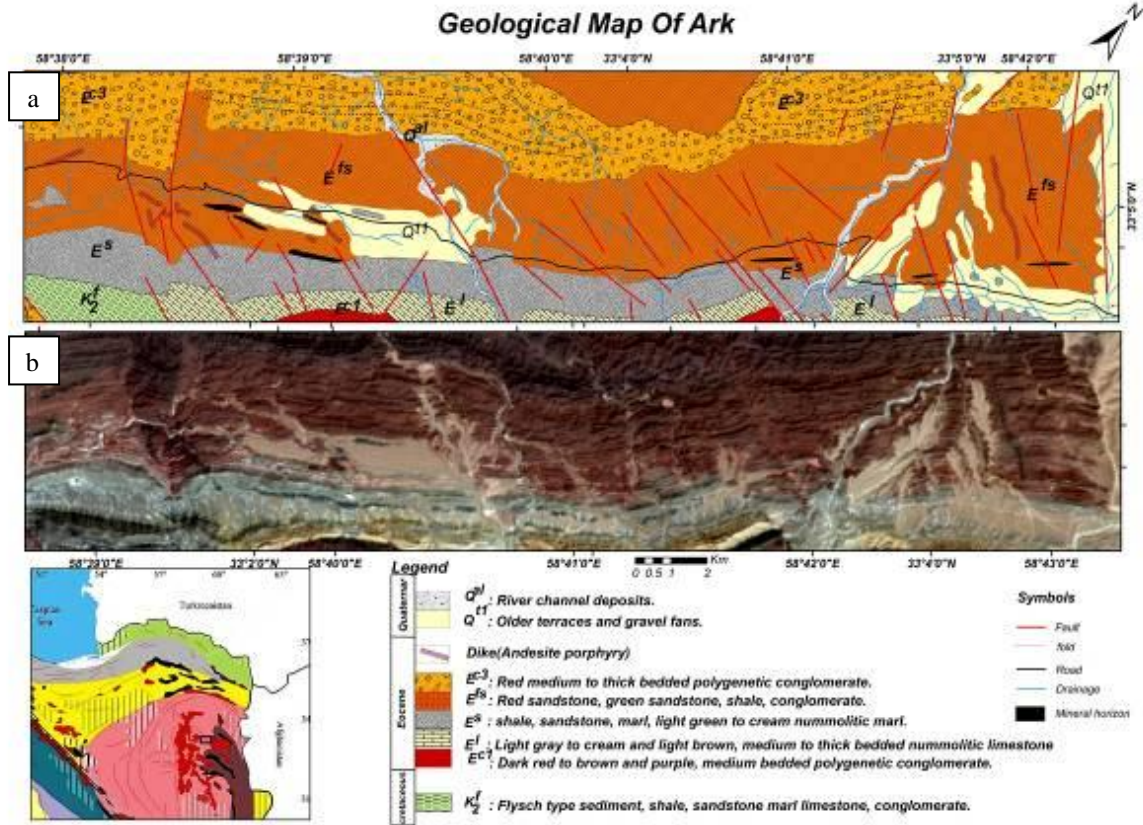
$E^{fs}$ : این واحد به طور عمده از تناوب ماسه‌سنگ‌های فلیش گونه نازک تا متوسط‌لایه به رنگ‌های قرمز و خاکستری تشکیل شده است که در بین آن کنگلومرا و بعضا باندهای نازک سیلتی ماسه‌ای نیز وجود دارند. در قسمت فوقانی این واحد و در بخش‌های از ماسه‌سنگ‌ها که تجمعات خرده‌های فسیل گیاهی وجود دارد سنگ احیایی و به رنگ خاکستری دیده می‌شود. کانی‌سازی مس در همین افق‌های احیایی رخ داده است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، که بر این اساس ماسه‌سنگ‌های موجود در این منطقه براساس نامگذاری فولک از نوع لیت‌ارنایت و گری‌وک بوده و کانی‌های اصلی سنگ کوارتز، چرت و خرده‌سنگ و کانی‌های فرعی شامل: مسکویت، کانی‌های رسی، پیریت، کوولیت، آزوریت و اکسیدهای آهن بوده، نوع سیمان در این ماسه‌سنگ‌ها کربناته و از نظر بافتی ساب‌مچور تا ایمچور هستند. براساس مطالعات مقاطع نازک صیقلی که با استفاده از میکروسکوپ‌های انعکاسی انجام شد مهمترین کانی‌های موجود در منطقه شامل: کالکوسیت، پیریت، کوولیت، ملاکیت، آزوریت و کریزوکلا و هماتیت می‌باشد که به صورت انواع بافت‌های جانشینی (سلولی، حاشیه‌ای، شبکه‌ای، جزیره‌ای) دانه پراکنده و بافت فرامبوئیدال وجود دارد. با توجه به وجود ساخت‌های رسوبی از قبیل ریپل‌مارک، فلوت‌کست، گرومارک و اثرات حرکت دوکفه‌ای‌ها محیط تشکیل این واحد محیط جزر و مدی می‌باشد.

$E^s$ : این واحد با ضخامتی بالغ بر ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر از شیل‌ها و مارن‌های سبز رنگی تشکیل شده که شیل‌های آن بسیار نازک-لایه است باندهای آهک نازک ماسه‌ای حاوی نومولیت نیز به تناوب در ابتدای گسترش آن دیده می‌شود.

$E^l$ : این واحد با سن ائوسن زیرین با ضخامت متغیر ۱۵ تا ۲۵ متر با امتداد شرقی غربی و شمال شرقی-جنوب غربی بصورت سنگ آهک‌های ماسه‌ای متوسط‌لایه در غرب محدوده مس آرک گسترش دارد و حاوی سنگواره‌های فراوان نومولیت و رگچه-های کلسیتی است.

در منطقه دایک‌های با جنس آندزیت پورفیری و ضخامتی بین ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متر و روند شمال غرب-جنوب شرق با شیب زیاد که واحدهای رسوبی را قطع می‌نمود مشاهده شده که ارتباطی با کانی‌سازی نداشت.

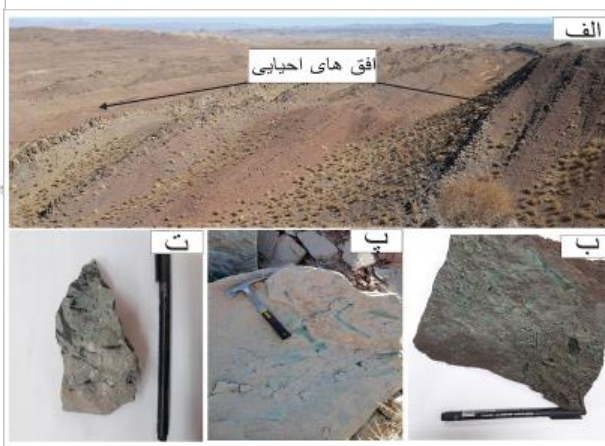
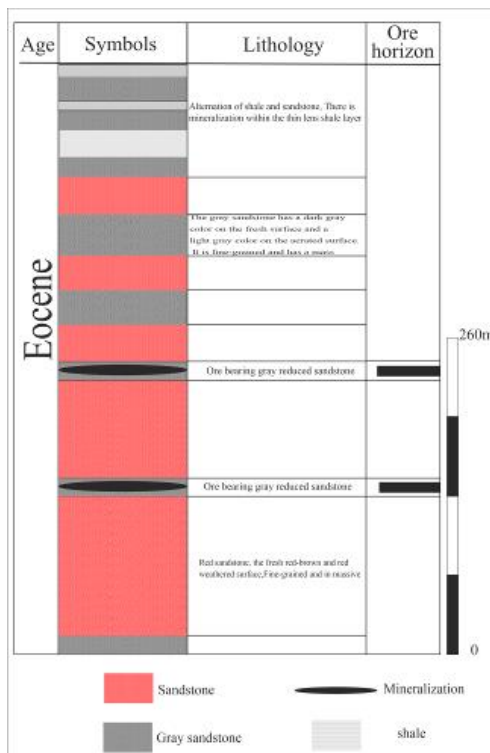




شکل ۱: (a) نقشه زمین شناسی اندیس معدنی آرک و موقعیت افق‌های کانهدار بر روی آن (b) تصویر ماهواره‌ای پردازش شده ۷۴۲ ماهواره لندست.

### بحث

کانی‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه در بخش فوقانی ماسه‌سنگ‌های  $E^{fs}$  به سن ائوسن به صورت عدسی در لایه‌های احیایی وجود دارد. حداقل دو لایه احیایی که در بخش‌هایی به دلیل عملکرد گسل‌ها دچار بهم ریختگی شده، دیده می‌شود. ضخامت افق‌ها بین ۳ تا ۵ متر و طول چند صد متر بوده، فاصله این دو افق حدوداً بین ۸۰ تا ۱۰۰ متر است. هر یک، از افق‌ها از سه پهنه قرمز اکسیدان (Red Zone)، پهنه شسته شده (Bleached Zone) و پهنه احیایی کان‌زایی شده (Mineralized Zone) تشکیل شده‌اند که در رخداد مس آرک، بخش‌های کان‌دار درون بخش شسته شده افق‌های احیایی وجود دارد. (شکل های ۳ و ۲).



شکل ۲: الف) نمایی از توالی Red bed به سن Eocene دید به سمت شرق. ب و پ و ت) بخش های قطعات فسیل گیاهی و حضور کانی سازی در اطراف آن در نمونه دستی

### کانی شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی

کانی زایی در رخداد معدنی مس آرک توسط حضور مواد آلی مخصوصا فسیل های گیاهی کنترل می گردد. این ویژگی در کانسارهای مس رسوبی نوع لایه های قرمز (Red Bed type) مشاهده می شود. مهمترین کانی های موجود در منطقه عبارتند از: کانی های اولیه شامل کالکوسیت و پیریت و کانی های ثانویه شامل کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا، آتاکامیت و نئوتاسیت و هماتیت می باشد. کانی های اولیه: کالکوسیت: مهمترین کانی اقتصادی و فراوان ترین کانی مس دار در منطقه است، این کانی دارای بالاترین درصد مس در بین کانی های مس دار است، کالکوسیت معمولا به دو فرم رمبوند و ارترومبیک وجود دارد که نوع ارترومبیک آن در دمای پایین تشکیل می شود (Dill, 2010). در کانسارهای دما پایین مس رسوبی و بخصوص کانسارهای نوع Red bed کانی کالکوسیت غالب می باشد (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). کالکوسیت در رخداد معدنی مس آرک شامل دو نسل می باشد نسل اول که به صورت بین دانه ای، انتشاری و جانشین بافت های سلولی گیاه وجود دارد، خود کالکوسیت توسط کوولیت جانشین شده و کالکوسیت های نسل دوم که جانشین پیریت های فرامبوئیدال شده اند. در نمونه دستی در حاشیه برخی از قطعات فسیل گیاهی قابل مشاهده است و بیشتر آنها توسط کوولیت جانشین شده است. کالکوسیت در مراحل میانی تا پایانی دیاژنز به صورت بافت جانیشینی تشکیل شده است.

پیریت: کانی پیریت یکی از سولفیدهای اولیه و اساسی در اکثر کانسارها، مخصوصا کانسارهای سولفیدی مس و فلزات پایه می باشد. رخداد معدنی مس آرک دارای نسل های متفاوتی از پیریت است. نسل اول پیریتی است که در مراحل اولیه دیاژنز و پس از تنهست ژل سولفیدی به صورت فرامبوئیدال از ژل سولفیدی متبلور شده است اندازه این پیریت ها ریز و کوچک ولی دارای پراکندگی زیادی در مقاطع می باشد، به صورت تجمعی و خوشه ای وجود دارد و توسط کالکوسیت نسل اول جانشین می شود؛

پیریت نسل دوم پیریت‌های خود شکلی هستند که از پیریت‌های نسل اول تشکیل می‌شوند. در بعضی مناطق پیریت‌ها در اثر فرایند هوازدگی و اکسیداسیون به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است.

کانی‌های سوپرژن

کوولیت: مهمترین کانی سوپرژن مس‌دار در منطقه مس آرک این کانی که به صورت جانشینی کالکوسیت، جانشینی شبکه‌ای، در مقاطع قابل مشاهده است.

از دیگر کانی‌های سوپر ژن منطقه مس آرک می‌توان به مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا اشاره کرد مالاکیت به صورت مختلف از قبیل جانشینی و رگه‌ای مشاهده می‌شود که جانشین کانی‌های سولفیدی اولیه و ثانویه شده است. مالاکیت می‌تواند از اطراف جانشین کالکوسیت شود و تمام کالکوسیت تبدیل به مالاکیت شود و یا به صورت نوار باریک سبز رنگ در اطراف کانی‌ها سولفیدی جانشین می‌گردد.

از دیگر کانی‌های برونزاد کانی نئوتاسیت می‌باشد که به صورت پچ‌های پراکنده در بین قطعات مشاهده می‌گردد. نئوتاسیت یک سیلیکات آهن-منگنز آبدار است که در کانسارهای مس می‌تواند جای مقادیری مس در ترکیب خود باشد. این کانی در شرایط اکسیداسیون بالا تشکیل شده و در محیط‌های با تخلخل بالا قابلیت انجلا و جابجایی دارد. لذا در بخش‌های دور از افق کانه‌دار نیز قابل مشاهده است

از کانی‌های دیگر در زون برونزاد که بعضاً از اکسیداسیون پیریت حاصل می‌شوند شامل هماتیت و گوتیت است.

#### ساخت و بافت‌های رسوبی

در سنگ میزبان کانه‌زایی در اندیس معدنی آرک ساخت و بافت‌های رسوبی متعددی دیده می‌شود که از این میان می‌توان به لایه بندی، طبقه‌بندی تدریجی، ریپل‌مارک، فلوت‌کست و گرومارک اشاره کرد. در ادامه به توصیف این ساخت و بافت‌ها پرداخته خواهد شد.

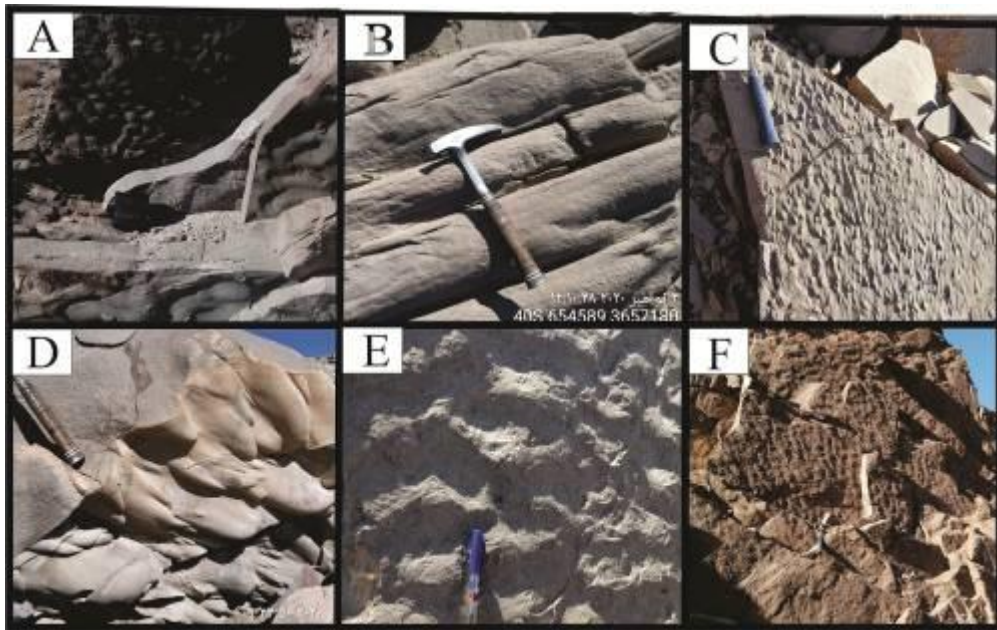
**لایه‌بندی و لامیناسیون** مهمترین ساخت رسوبی در منطقه می‌باشد که نشان‌دهنده تغییر شرایط رسوبگذاری (ترکیب و یا اندازه رسوب) می‌باشد. این ساخت در مقیاس ماکروسکوپی تا میکروسکوپی مشاهده می‌شود و نشان می‌دهد که کانسار در یک حوضه رسوبی تشکیل شده است.

**طبقه‌بندی تدریجی** این طبقه‌بندی، در طبقات کنگلومرایی مشاهده شده است. در این نوع طبقه‌بندی، اندازه ذرات رسوبی بطور تدریجی از پایین به بالا کاهش می‌یابد و معمولاً کاهش تدریجی سرعت جریان را در طی رسوب گذاری نشان می‌دهد. **ریپل مارک‌ها** ساخت‌های موجی شکل هستند که در اثر حرکت امواج آب یا حرکت باد روی سطوح ماسه‌ای در محیط‌های خشکی، حدواسط و دریایی تشکیل می‌گردند. ریپل‌ها از دو قسمت تشکیل شده‌اند: قسمتی که دارای شیب ملایم بوده و در خلاف جهت جریان و قسمتی که دارای شیب تند بوده و در جهت جریان قرار دارد.

**فلوت مارک** که شامل یک سری حفره‌های کشیده غیر ممتد و به شکل قاشق می‌باشد که شیب زیاد آن در جهت جریان و شیب کم آن خلاف جهت جریان است، شکل این حفره‌ها در سطح زیرین طبقات ماسه‌ای باقی می‌ماند که قالب‌های فلوت یا فلوت‌کست نامیده می‌شوند.

**گرو مارک‌ها** شیارهایی هستند که به صورت‌های مختلف، خطی و مستقیم و خمیده و یا هلالی شکل بر سطوح چینه بندی نقش بسته‌اند. انواع خطی‌ای مارک‌ها تحت نام اصلی گرو مارک نام خود را حفظ کرده‌اند.

وجود ساختارهای رسوبی مانند لایه‌بندی مورب، ریپل‌مارک‌ها و ساخت‌های وزنی، ردپای فسیل و.. بیان تشکیل سنگ میزبان کانی‌سازی در محیط ساحلی و جزر و مدی است (شکل ۳).



شکل ۳: نمایی از ساخت های رخداد مس (A,E,F) ریبیل مارک (B) لایه بندی در ماسه سنگ ها (C) گرو مارک (D) فلوت کست.

### کانی شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی

در کانسارهای مس رسوبی مهمترین بافت در ماده معدنی، بافت جانیشینی، انتشاری، رگچه ای می باشد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). در رخداد معدنی مس آرک مهمترین بافت های ماده معدنی شامل، بافت دانه پراکنده انواع بافت های جانیشینی (سلولی، حاشیه ای، شبکه ای، جزیره ای یا برجای مانده)، بافت فرامبوئیدال و انتشاری می باشد (شکل ۴).

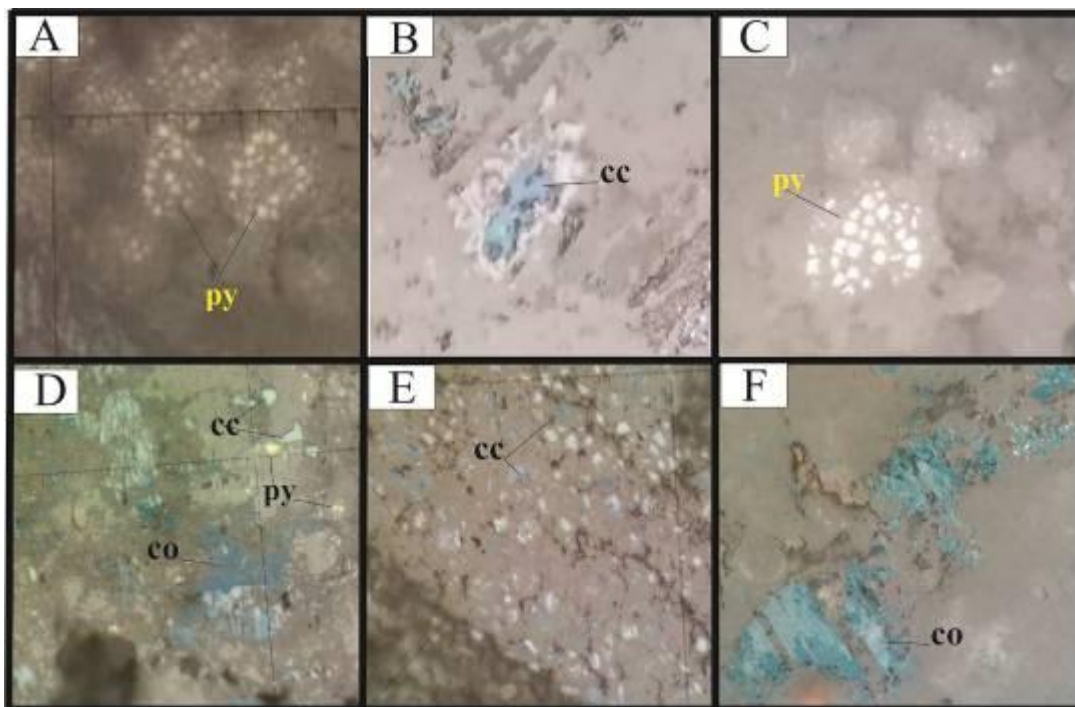
بافت جانیشینی: مهمترین بافت قابل مشاهده در ماده معدنی است و به صورت های جانیشینی سلولی، حاشیه ای، شبکه ای، جزیره ای یا برجای مانده در رخداد معدنی مس آرک قابل مشاهده است.

جانیشینی پیریت توسط کانی های سولفیدی مس دار از جمله کالکوسیت که باقیمانده پیریت در میان کانی های مذکور به صورت بافت جزیره ای قابل مشاهده است، جانیشینی کانی های سولفیدی مس دار اولیه توسط کانی های سولفیدی ثانویه که در جانیشینی کالکوسیت توسط کولیت قابل مشاهده است و جانیشینی سلولی که در آن کالکوسیت جانشین بافت های سلولی شده است

بافت انتشاری این بافت در اکثر کانسارهای اپی ژنتیک مشاهده می شود و از بافت های معمول در کانسارهای کمربند مس کنگو می باشد (ال دوسکی، ۲۰۰۸). این بافت در مقاطع بصورت جانیشینی پیریت دانه پراکنده توسط سولفیدهای مس دار از جمله کالکوسیت و همچنین نهشت سولفیدها که در فضای خالی بین دانه های تخریبی سنگ میزبان تشکیل می شود قابل مشاهده است.

بافت دانه پراکنده بیشتر در پیرامون پهنه احیایی کانه زایی شده (غنی از فسیل گیاهی) و گاه در بخش های نفوذ پذیر دارای مواد آلی دیده می شود، قرارگیری سولفیدهای مس اولیه در فضای خالی میان دانه ها به صورت سیمان میان دانه ای می تواند بافت دانه پراکنده ایجاد کند (Asael et al., 2009). در مقاطع منطقه مورد مطالعه سولفیدهای مس و پیریت دارای این بافت هستند.

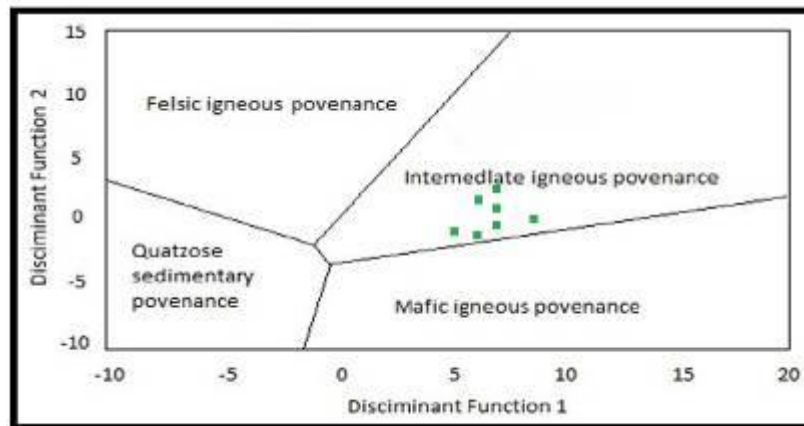
پیریت دانه پراکنده دو نسل دارد نسل اول پیریتی است که در مراحل اولیه دیاژنز و پس از ته نشست ژل سولفیدی به صورت فرامبوئیدال از ژل سولفیدی متبلور شده است؛ پیریت نسل دوم پیریت های خود شکلی هستند که از پیریت های نسل اول تشکیل می شوند.



شکل ۴: (A) نمایی از پیریت فرامبوئیدال که در مرحله دیاژنز اولیه و پس از ته نشست ژل سولفیدی از آن متبلور شده است. (B) بافت جزیره‌ای. (C) پیریت‌های خودشکل نسل دوم که از پیریت‌های نسل اول تشکیل شده. (D) جانشینی سولفیدهای مس (کالکوسیت، کولیت) یافت شبکه‌ای و پیریت‌های خودشکل. (E) بافت دانه پراکنده سولفیدهای مس (F) بافت شبکه‌ای و سلولی کولیت... (CC: کالکوسیت، CO: کولیت، PY: پیریت).

### محیط رسوبی

براساس مطالعات قبلی صورت گرفته در این محدوده محیط رسوبگذاری برمبنای تفکیک رخساره‌های سنگی و بررسی تغییرات عمودی و جانبی رخساره‌ای و نیز اختصاصات پتروگرافی آنها تفسیر شده است رخساره‌های این منطقه در دو محیط قاره‌ای و دریایی برجای گذاشته شده، که هر یک اختصاصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مخصوص به خود را دارند. نهشته‌های قاره-ای برش مورد مطالعه در سیستم رودخانه بریده بریده و نواحی ساحلی برجای گذاشته شده است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶). جهت تعیین سنگ منشأ سنگ میزبان از نمودار دو تابعی روسر و کوروش (Roser & Korosh (1988)) استفاده گردید. Roser & Korosh (1988) دیاگرام دو تابع تمایزی را برای شناسایی رسوباتی که منشأ اولیه آن‌ها سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط، فلسیک و رسوبی کوارتزی است، ارائه نموده اند در این نمودار تفکیکی از اکسیدهای  $MgO$  و  $Fe_2O_3$  برای  $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $CaO$  تفکیک بین منشأهای چهارگانه استفاده شده است. داده‌های مربوط به اکسیدهای عناصر اصلی نمونه‌های مورد مطالعه، در دیاگرام در محدوده حدواسط قرار می‌گیرند (شکل ۵). با وجود ساختارهای رسوبی مثل ریپل‌مارک‌ها، گرومارک، فلوت‌کست، ردپای فسیل و... بیان تشکیل سنگ میزبان کانی‌سازی در محیط ساحلی و جزر و مدی است.



شکل ۵: داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمی عناصر اصلی نمونه‌های مورد بررسی در نمودار تابع تمایزی (Poser&Korsch, 1988) در محدوده حد واسط قرار می‌گیرد.

### نتیجه گیری

کانه‌زایی در منطقه آرک از دید سنگ‌شناسی (سنگ میزبان ماسه‌سنگی) کانی‌شناسی ماده معدنی (کالکوسیت، کوولیت) ساخت و بافت، چینه‌شناسی و عامل‌های کنترل کننده کانه‌زایی (وجود آثار و بقایای گیاهی به عنوان عامل اصلی احیاکننده محیط، نفوذپذیری مناسب سنگ میزبان) همانند کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed است وجود پیریت‌های فرامبوئیدال در افق‌های کانه‌دار و نیز سالم ماندن ساختارهای سلولی‌ای که توسط سولفیدها جانشین شده است نشان می‌دهد که این کانسار در مراحل اولیه دی‌آئز و قبل از تدفین عمقی تشکیل شده است. رخساره‌های سنگی در این منطقه بر اساس طبقه بندی فولک در محدوده‌ی لیت‌ارنایت قرار می‌گیرد. و همچنین شواهدی از قبیل وجود سیکل‌های درشت‌شونده در توالی سرخ و وجود ساخت‌های رسوبی مانند ریپل‌مارک، ساخت‌های وزنی، به نظر می‌رسد محیط ساحلی و جزر و مدی است.

### منابع

- آذرآئین، ح، بررسی رخداد فلز زایی کمربند مس رسوبی راور، ایران مرکزی، رساله دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۹۵) ص. ۲۰۰
- افتخار نژاد، ج، ۱۳۵۵، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ موسویه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بیگدلی ز، ابراهیمی م، نباتیان ق، مختاری م، کانه زایی، کانی شناسی، ساخت و بافت کانسار مس رسوبی چهرآباد، شمال باختر زنجان، مجله علوم زمین ، سال بیست و چهارم (۱۳۹۴) ص 249 تا 262
- کولایی س، یزدی م، مختاری م، زمین شناسی، کانه نگاری و ژنز کانه‌زایی مس چینه‌سان در منطقه تازه کند، شمال‌خاور تبریز، مجله علوم زمین سال بیست و پنجم (۱۳۹۵) ص 195 تا ۲۰۸.
- حسینی، ز، بررسی رخساره های سنگی، پتروگرافی و ژئوشیمی نهشته های سیلیسی آواری پالئوسن، برش فریزنوک، شمال بیرجند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند (۱۳۹۶) ۱۴۲ ص.
- روشن روان، ج، شجاعی کاوه، م، و بهره‌مند، م، ۱۳۸۵، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ موسویه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- صمدی افخم، م، مطالعه زیست چینه نگاری و ریز رخساره‌های توالی رسوبی پالئوسن - ائوسن در شمال خوسف (برش دهن رود) شرق ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند (۱۳۹۱) ۱۸۹ ص.

ملک محمدی فرادنبه، ف، تحلیل رخساره های سنگی و شرایط رسوبگذاری توالی آواری ائوسن در برش آرک، شمال غرب بیرجند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند (۱۳۹۸) ۱۳۴ ص.  
میلویش، ز، کانی شناسی، زمین شیمی والگوی پیدایش کانه زایی مس با میزبان رسوبی در شمال-شمال غرب تربت حیدریه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود (۱۳۹۴) ۲۳۲ ص.  
مهدوی ا، "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسارهای مس مارکاشه، شمال غرب راور، استان کرمان" پایان نامه کارشناسی ارشد، زمین شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۷) ۱۸۸ ص.  
مهدوی ا، راستاد ا، حسینی بزی م، کانی شناسی، ساخت و بافت و نحوه تشکیل رخداد مس رسوبی -دیاژنتیک مارکاشه، تیپ Redbed، در سازند سرخ گره دو به سن ژوراسیک، جنوب ایران مرکزی، مجله علوم زمین شماره ۸۱ (۱۳۹۰) ص ۸۱-۹۲.  
حسینخانی ف، اسلام کیش ت، هزارخانی ا، شکاریان ی، کانی شناسی و ژئوشیمی مس با میزبان رسوبی در منطقه ی شاملو در استان آذربایجان شرقی، کنفرانس ملی علوم معدنی، شهریور ۱۳۹۳.

- Asael, D., Matthews, A., Oszczepalski, S., Bar-Matthews, M. & Halicz, L., 2009- Fluid speciation controls of low temperature copper isotope fractionation applied to the Kupfer-Schiefer and Timna ore deposit. *Chemical Geology*, 262: 147- 158.
- Alavi, M., 1991, Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Bulletin of Geological Society of America*, v. 103 (8), p. 983-992
- Cox, D.P., Lindsey, D.A., Singer, D.A., Diggles, M.F., 2007, Sediment hosted copper deposits of the world: deposit models and database. US Geological Survey. Open-file report 03-107, 50 pp.
- El Desouky, H.A., Muchez, P., Tyler, R., 2008, The sandstone-hosted stratiform copper mineralization at Mwitapile and its relation to the mineralization at Lufukwe, Lufilian foreland, Democratic Republic of Congo. *Ore Geology Reviews*, v. 34, p. 561-579.
- Subias, I., Fanlo, I. & Mateo, J., 2003- A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Arago'n (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematic. *Ore Geology Reviews*, 23: 55-70.
- Hitzman, M.W., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J., Selley, D., 2005, The sediment-hosted stratiform copper ore system. *Economic Geology*, v. 100, p. 609-642.
- Kirkham, R.V., 1995. "*Sediment-hosted stratiform copper*". In: Eckstrand OR, Sinclair WD, Thorpe RI (eds) *Geology of Canadian mineral deposit types*. Geol Surv Can Geol Canada 8,223-240.
- Thorson, J.P, 2005. "*Lisbon Valley sediment-hosted copper deposits and Paradox Basin fluids field trip*". *Economic geology, guide book series, volume 37*. Deposita 42, 879-899.

## مطالعات کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی کانسار رسی کویر-۶ آباد، استان فارس

زهرا اعلمی‌نیا<sup>۱\*</sup>، شیوا فرنگی<sup>۲</sup>، مینا شاهین<sup>۲</sup>، هادی پورفرزی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان

۳- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، گروه زمین‌شناسی زیست محیطی، تهران

z.alaminia@sci.ui.ac.ir

### چکیده:

کانسار رسی کویر-۶ آباد به سن پرمین، ۱۱ کیلومتری شمال شورجستان استان فارس، در پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است. کانی‌های اصلی نهشته معدنی کوارتز و کائولینیت هستند و فاز فرعی آناتاز هم وجود دارد. داده‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که اکسیدهای سیلیسیوم و آلومینیوم عمده‌ترین سازنده‌های کانسار هستند. مقادیر بالای اندیس شیمیایی دگرسانی (CIA)، هوازدگی (CIW) و تا حدودی کاهش عناصر آلکالی، شدت بالای هوازدگی سنگ‌های منشا را پیشنهاد می‌کند. رسوبات احتمالاً از سنگ‌های بازالت+گرانیت/ریولیت مشتق شده‌اند. مطالعه کانی‌شناسی، شیمی و ویژگی‌های فیزیکی در مقایسه با سایر رس‌های تجاری، کیفیت مناسب کانسار رس کویر-۶ آباد را تایید می‌کند.

کلیدواژه: رس، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، کاربرد، آباد

## Mineralogical and geochemical studies of the Kavir-6 clay deposit, Abadeh of Fars province

Zahra Alaminia<sup>1\*</sup>; Shiva Farangi<sup>1</sup>; Mina Shahin<sup>1</sup>; Hadi Pourfarzi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>2</sup> Geological survey and mineral exploration of Iran, Environmental geology department

### Abstract

Kavir-6 clay deposit of Abadeh with the age of Permian, is located in 11 km north of Shourjestan of Fars province, Central Iran zone. Quartz and kaolinite are the dominate minerals and a minor phase of anatase is present in the deposit. Geochemical data show that the  $Al_2O_3$  and  $SiO_2$  are major components of deposit. The high Chemical Index of Alteration (CIA) and Weathering (CIW) values, and relatively decrease of alkali elements suggest a more intense weathering of source rocks. Sediments are most likely derived from basalt+granite/rhyolite rocks. The study of mineralogy, geochemistry and physical properties compared to other commercial clays, refers to the proper quality of Kavir-6 clay deposit.

**Keywords:** clay, mineralogy, geochemistry, application, Abadeh

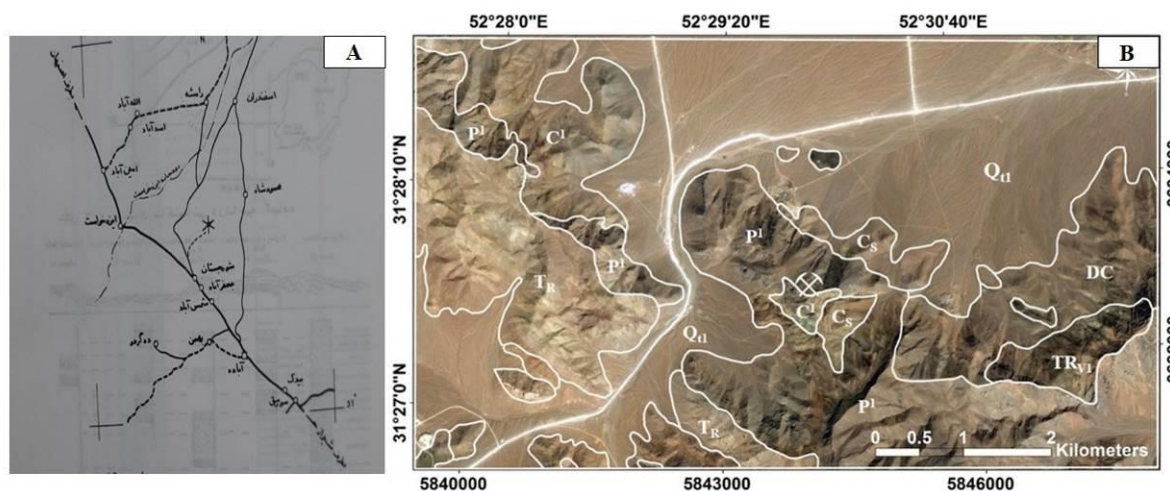
### مقدمه:

در کمربند رسی شهرضا-آباد-همبست (Mahjoor et al., 2007) حدود ده معدن فعال و بیش از سی محدود اکتشافی جای گرفته است که از مهم‌ترین آن‌ها معادن خاک نسوز استقلال آباد (کویرهای یک تا هفت) هستند. این کانسارها اولین بار از سوی کارشناسان روسی شناسایی و اکتشاف شده‌اند که به استناد پژوهش‌های زیست‌چینه‌ای سن آن‌ها را به پرموترباس نسبت داده‌اند (استیانوف، ۱۹۶۷). افق‌های خاک نسوز در معادن ناحیه شورجستان-آباد توسط طبایی (۱۳۷۱) بررسی و بر اساس ۳۱ جنس و ۲۵ گونه از روزن بران، سن پالئوژوئیک بالایی (کربونifer زیرین، پرمین زیرین، و بخش زیرین پرمین بالایی) معادل بخش فوقانی سازند درود (آرتینسکین



تا اوایل گوادالوپین) برای آن‌ها در نظر گرفته شده است (Bozorgnia, 1973). (Mahjoor et al (2009) در محدوده رسی ابرکوه (معدان رس تراب، حوض سفید و فریدون)، با بررسی کانی‌شناسی و شیمی رس‌های منسوب به پرمین زیرین (آرتینسکین)، کانی‌های کائولینیت، ایلیت، کوارتز همراه با اندکی کلریت، آلبیت، گوئیتیت، پاراگونیت، ناترولونیت و ژپس شناسایی کرده و خاستگاه آن‌ها را سنگ‌های عمدتاً اسیدی و کمتر بازیک دانسته و آن‌ها را قابل مقایسه با رس‌های تجاری معرفی نموده است. مقدار  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  این محدوده بترتیب بین ۴۸/۸ تا ۷۰/۴ درصد و ۱۴/۶ تا ۲۹/۲ درصد اندازه‌گیری شده است. اخیراً تقی‌پور و ابراهیمی‌مقدم (۱۳۹۹) در کار مشابهی، کانسار کویر ۵ آباده را از جنس پیروفیلیت، ایلیت، کلریت با اندکی کائولینیت، کوارتز، اورتوکلاز و گوئیتیت معرفی می‌کنند. مقدار  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  بترتیب بین ۴۲/۸ تا ۶۰/۳ درصد و ۱۸/۹ تا ۲۴/۵ درصد اندازه‌گیری کرده‌اند.

معدن فعال کویر ۶ آباده یکی از بزرگترین محدوده‌های معدنی است که در نزدیکی شورشستان، ۳۹ کیلومتری آباده (شکل ۱) واقع در استان فارس، و در جنوب پهنه ایران مرکزی هم مرز با سنندج- سیرجان قرار دارد (Aghanabati, 1977). در منطقه معدنی، کانی‌سازی غیرفلزی از نوع خاک صنعتی بوده و در این پژوهش سعی شده است علاوه بر ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی و کاربرد صنعتی ماده معدنی، به سن چینه‌ای آن هم پرداخته شده است.



شکل ۱- A: راه‌های دسترسی به محدوده معدنی کویر ۶ نسبت به جاده اصفهان شیراز، B: محل پیشکار اصلی بر روی تصویر ماهواره‌ای ساس پلنت.

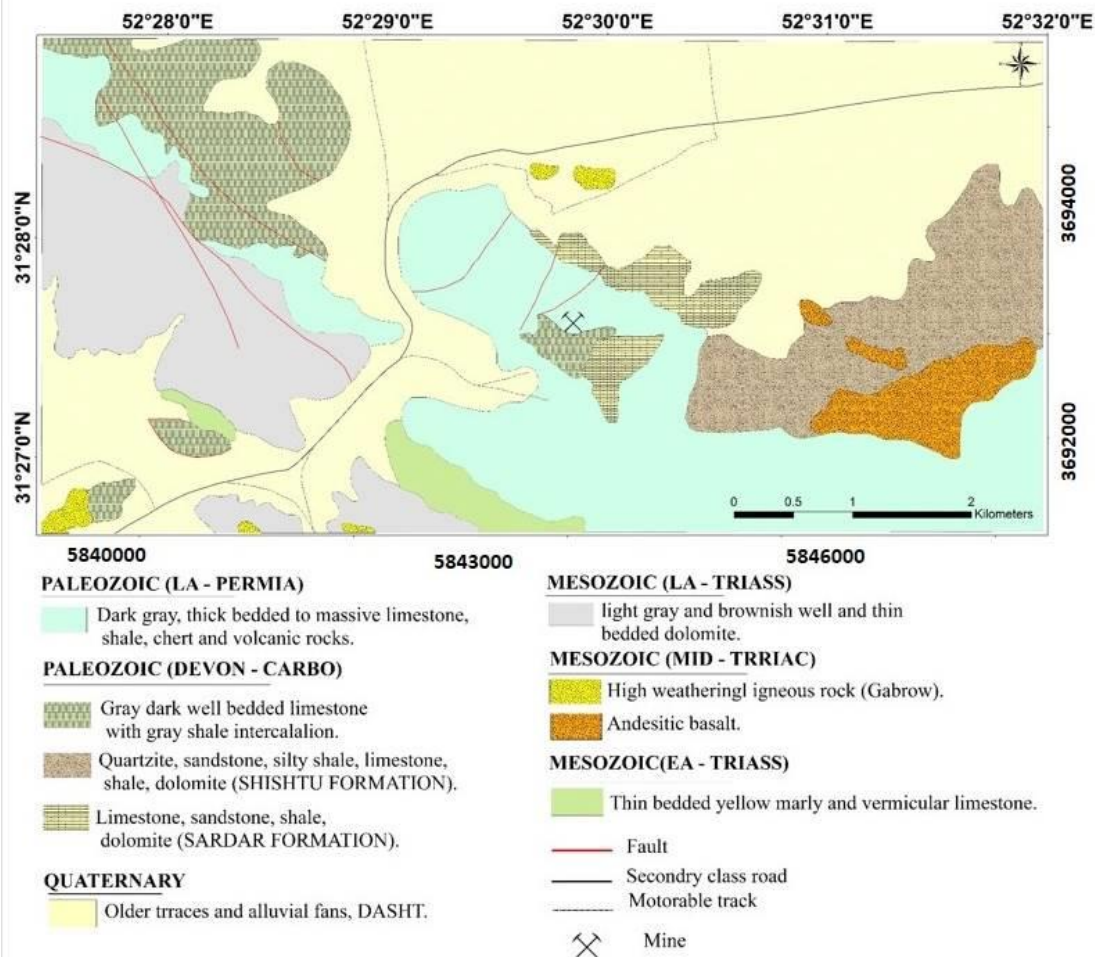
### زمین‌شناسی:

قدیمی‌ترین واحدها مربوط به نهشته‌های کربونیفر بوده که شامل دو رخساره آهک خاکستری سیاه رنگ با لایه‌بندی خوب (ضخامت ۰/۲ تا ۰/۶ متر) در زیر و سنگ ماسه‌ای شیلی در بالا می‌باشد (علوی، ۱۳۷۲). نهشته‌های پرمین شامل لایه‌ای از ماسه‌سنگ، میکروکنگلومر در قاعده، ماسه‌سنگ، شیل‌های ارغوانی تا قرمز رنگ، ماسه‌سنگ کوارتزیتی و میان لایه‌هایی از سنگ آهک ماسه‌ای نازک (۳ تا ۱۰ سانتی‌متر) تا متوسط لایه به رنگ کرم تا نخودی است. این نهشته‌ها با ناپیوستگی هم-شیب روی سنگ‌های کربونیفر واقع هستند و به تدریج به سنگ آهک‌های پرمین تبدیل می‌شوند (پرتوآذر، ۱۳۷۴). سنگ آهک با لایه‌بندی خوب تا توده‌ای سیاه رنگ، سنگ آهک به رنگ نخودی تا خاکستری همراه با چرت‌های صفحه‌ای و

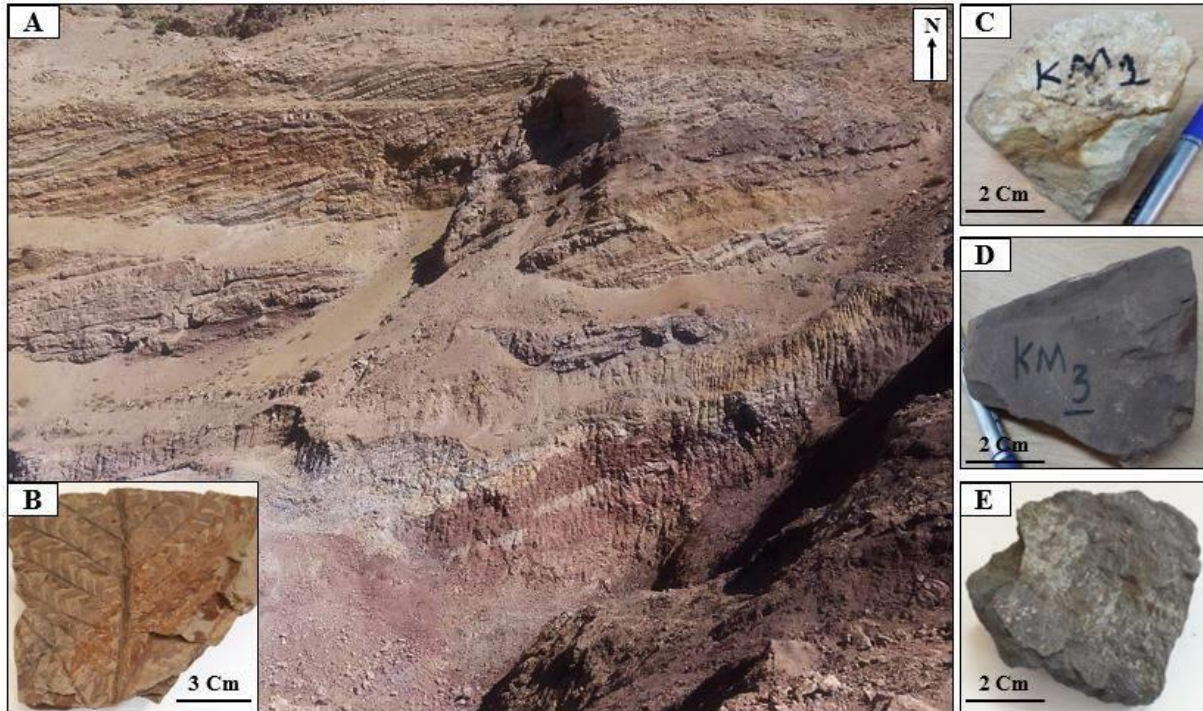
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



چرت‌های قلوهای است. تریاس زیرین تا میانی، از دو بخش آهکی دولومیتی پدید آمده و بخش شیلی ماسه‌سنگی تریاس زیرین دیده نشده است (یوسفی راد و نوروزپور، ۱۳۹۶). بخش آهکی در برگیرنده سنگ آهک زرد مارنی لایه نازک ورمیکوله، شیل مارن زرد آجری با میان لایه‌های سنگ آهک لایه متوسط خاکستری رنگ دارای ستبرای حدود ۱۳۰ متر و دارای میان لایه‌های آذرین است. همبری پائین آن بدلیل عملکرد تکتونیک شدید با سنگ‌نهشته‌های پرمین، نامشخص است ولی مرز بالایی آن با بخش دولومیتی تدریجی است. گذر نهشته‌های این واحد با نهشته‌های پرمین تدریجی و هم‌شیب است (باغبانی، ۱۹۹۱). بخش دولومیتی از دولومیت زرد متمایل به قهوه‌ای با لایه‌بندی خوب تا توده‌ای پرتگاه‌ساز میان لایه‌های مارن کرم رنگ، با میان لایه‌های سنگ آذرین به ضخامت ۱۵۰ متر رخ داده است. با توجه به جای گرفتن آن بر روی واحد آهکی تریاس زیرین و همسانی سنگ چینه‌ای آن با تریاس ایران مرکزی در طبس (Stocklin et al., 1971)، یزد و اصفهان می‌توان آن را هم ارز تریاس میانی ایران مرکزی دانست (سیوند و پورخواجه، ۱۳۸۵). رخنمون‌های محدودی از دایک‌های دیابازی و توده‌های دیوریتی و گرانودیوریتی به سن تقریبی پرمین تا اوایل تریاس دیگر سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. انباشته‌های کواترنری در منطقه که از گسترش چشمگیری برخوردارند در برگیرنده مخروط افکنه‌ها و پادگانه‌های بلند قدیمی است که از مخلوط انباشته‌ها با اندازه‌های گوناگون در حد تخته سنگ تا خاک و سنگریزه بدون سیمان است.



شکل ۲- موقعیت معدن کویر-۶ آباده بر روی بخشی از نقشه‌های زمین‌شناسی یکصد هزار شورجستان و آباده



شکل ۳- A: نمایی از ماده معدنی در سنگ نهشته‌های پرمین، B: فسیل سرخس در لایه زیرین همراه با ماده معدنی، C تا E: رنگهای متفاوت ماده معدنی.

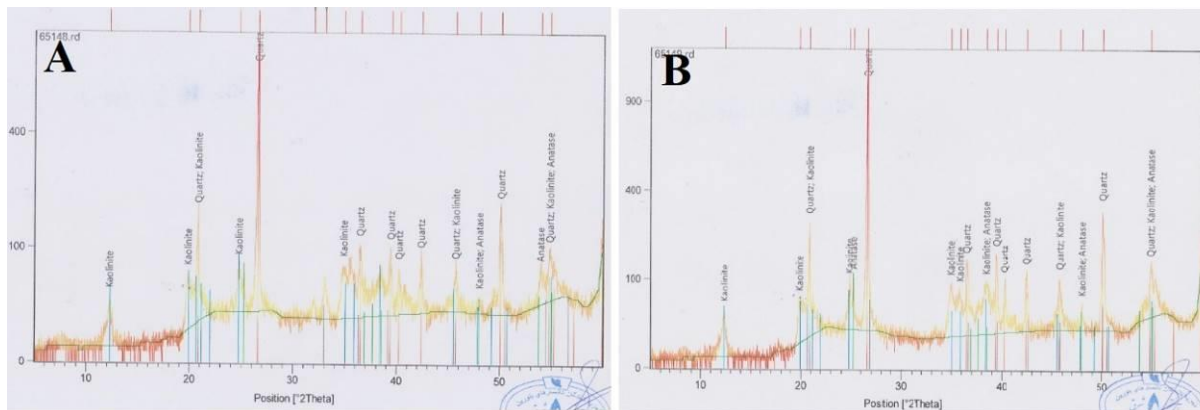
#### روش مطالعه:

بازدید صحرایی و نمونه‌برداری ماده معدنی در آبان ۱۳۹۸ به منظور بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی و تعیین جنس فسیل‌های موجود انجام گردید. از میان ۸ نمونه معدنی برداشت شده با رنگ‌های سبز روشن، خاکستری تیره و قرمز، برای تعیین فاز کانیایی دو نمونه برای تهیه مقطع نازک و مطالعات پتروگرافی و دو نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) انتخاب شدند. پس از همگن‌سازی، نمونه‌ها پودر و مقدار درصد مواد فرار (LOI) در دانشگاه اصفهان اندازه‌گیری شدند. بدین صورت که مقدار مشخصی از پودر نمونه را در بوته چینی قرار داده و یکبار تا دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و بار دوم تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره حرارت می‌دهیم تا آب ساختاری و سایر گازها از نمونه خارج شود و مجدد وزن و اختلاف آن بصورت درصد LOI اندازه‌گیری می‌گردد. برای تعیین ترکیب شیمیایی کانسار، ۳ نمونه جهت تشخیص اکسید عناصر اصلی از روش فلورسانس پرتو X (XRF) به کانساران بینالود ارسال گردید. همچنین ۵ نمونه برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و صنعتی نیز به آزمایشگاه ارسال شده است. نتایج در جداول ۱ و ۲ آمده است.

#### بحث:

ماده معدنی خاک نسوز کویر-۶ آباد با تنوعی از رنگ‌های خاکستری، زرد، زیتونی تا قرمز و قهوه‌ای با رگچه و لکه‌های سفیدرنگ استخراج می‌شود. کمر پایین ماده معدنی از نهشته‌های آهکی کربونیفر شکل گرفته که در برخی قسمت‌ها توسط آبرفت پوشیده شده است. نهشته‌های آواری و قرمز رنگ پرمین زیرین (سازند درود) با ناپیوستگی هم‌شیب روی آن جای دارد و کمر بالا را بوجود آورده‌اند. بر روی ماسه‌سنگ‌های این منطقه فسیل‌های گیاهی مشاهده می‌شود که شاهد محیط احيایی می‌باشد. در بازدید صحرایی فسیل سرخس *Lebeckia* متعلق به پرمین زیرین در لایه زیرین ماده معدنی شناسایی شد. بر اساس نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس، فازهای کانیایی عبارتند از کوارتز، کائولینیت و آاناتاز (شکل ۴). نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد میزان  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  بترتیب بین ۵۰ تا ۶۱/۴ درصد و ۱۷/۷ تا ۲۸/۳ درصد می‌باشد. جایگیری نمونه‌ها در نمودارهای

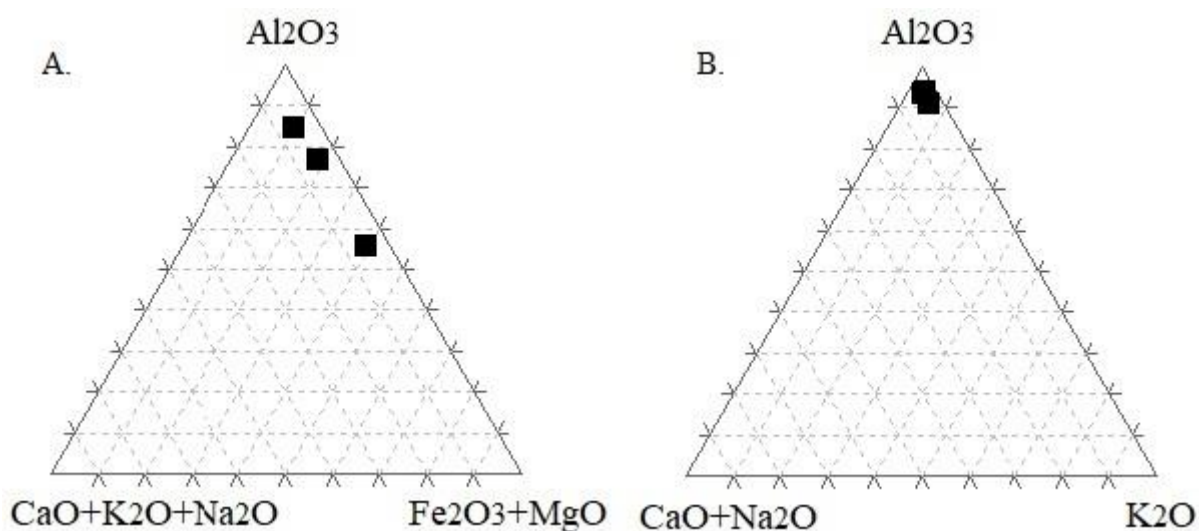
سه تایی شاخص هوازدگی (شکل ۵) نشانگر شدت هوازدگی می باشد که سبب خروج عناصر قلیایی سدیم، پتاسیم و کلسیم از رسوبات شده است. بالابودن اندیس CIA و CIW رسوبات کویر ۶ نسبت به سایر شیلها، بیانگر بلوغ نمونه های رسوبی و حضور کانی های رسی و نبود فلدسپار آواری در نمونه ها می باشد. برای تشخیص سنگ مادر کانسار رسی از نمودار دوتایی  $Al_2O_3-TiO_2$  استفاده شده است. با استفاده از داده های تجزیه شیمیایی، سنگ مادر کانسار کویر ۶ آباد، بازالیت+ریولیت/گرانیت می باشد (شکل ۶).



شکل ۴- الگوهای XRD وابسته به نمونه های کانسار خاک نسوز کویر-۶ آباد.

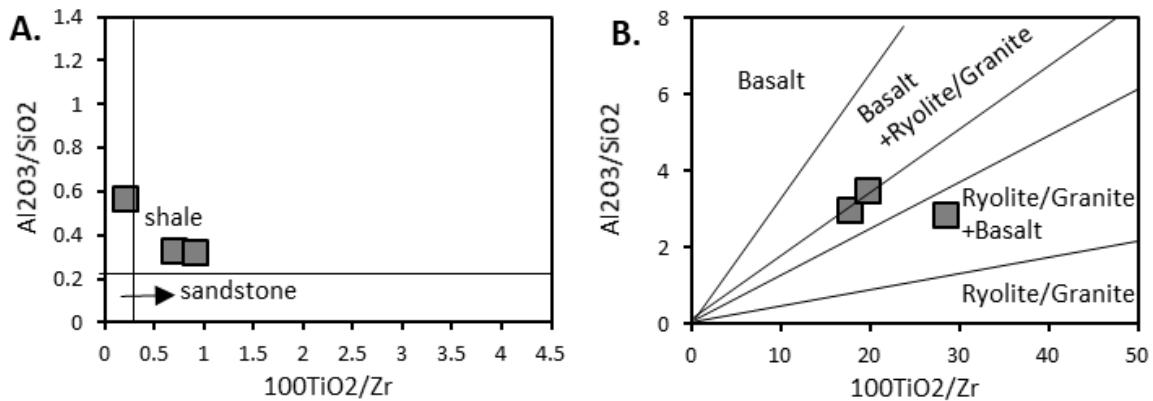
جدول ۱- ترکیب شیمیایی نمونه های کانسار رسی کویر ۶ آباد، عناصر اصلی بر حسب درصد.

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	LOI
Is-kM2	50.00	28.36	2.89	0.36	0.69	0.95	0.20	2.87	0.01	0.05	1.26	12.24
Is-kM3	53.73	17.67	11.90	0.43	0.17	1.08	0.43	2.99	0.00	0.07	0.48	10.96
Is-kM4	61.38	19.74	4.50	0.40	0.11	0.71	0.23	3.51	0.00	0.04	0.01	9.31



شکل ۵- نمودار سه تایی A:  $Al_2O_3-(CaO+Na_2O+K_2O)-Fe_2O_3+MgO$  (نمودار از Nesbitt and Young, 1980; 1982). B:

$Al_2O_3-(CaO+Na_2O)-K_2O$  (نمودار از Taylor and McLennan, 1985) از نمونه های رسوبی معدن کویر ۶ آباد.



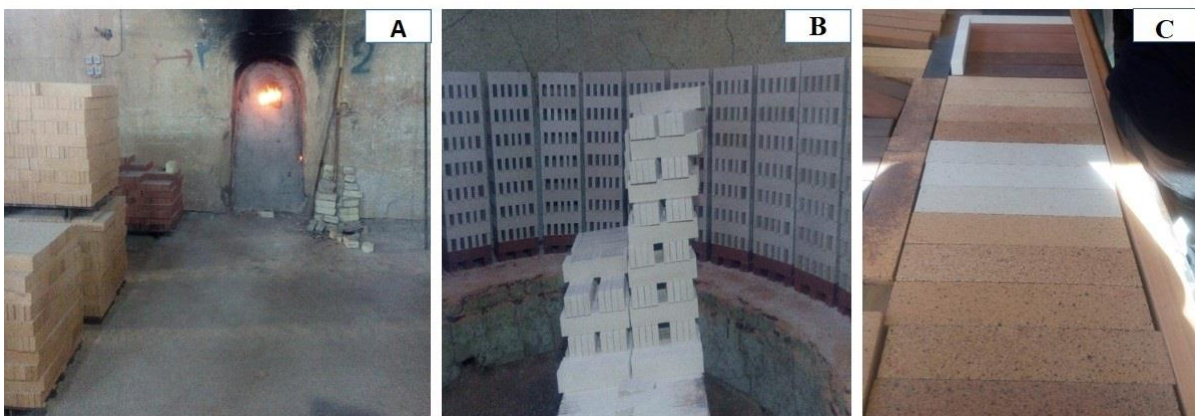
شکل ۶- A: نمودار  $Al_2O_3/SiO_2$  در برابر  $100TiO_2/Zr$  از نمونه‌های رسوبی کویر ۶. B: موقعیت سه نمونه رسوبی کویر ۶ بر روی نمودار Ekosse (2001)

### کاربرد صنعتی:

چگونگی تعیین کاربرد مواد معدنی غیر فلزی در صنایع نیازمند تعیین تست‌های صنعتی در پالوت آزمایشگاهی می‌باشد. این آزمایش‌ها بر روی ماده معدنی انجام گرفته است (جدول ۲). درصد مواد فرار و پرت گرمایی (LOI) در نمونه‌ها بالاست که به حضور کائولینیت در آن‌ها اشاره دارد. از ماده معدنی در تهیه آجرهای نسوز انگلیسی (طیف رنگی قرمز) استفاده می‌شود که در نمای ساختمان، دکوراسیون داخلی و شومینه بکار برده می‌شود.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و صنعتی ماده معدنی.

رنگ نمونه	دانسیته	ویسکوزیته	استحکام خاک	استحکام خشک	شیرپنکیج	استحکام بعد از پخت	رنگ بعد از پخت	قوس	دما	زمان پخت	LOI
سفید	1.67	28	4.19	13.21	0.49	121.23	خاکستری	مقعر	1112/1112	41	8.9
سفید زرد	1.50	26	6.82	18.56	1.68	288	صورتی کمرنگ	مقعر	1112/1112	41	5.7
قرمز	1.6	39	6.66	19.13	3.08	400.19	قهوه‌ای قرمز	تخت	1112/1112	41	7.69
زیتونی	1.64	35	6.27	18.41	2.98	340.35	قرمز کم رنگ	مقعر	1112/1112	41	6.59
خاکستری	1.45	25	5.1	15.39	5.53	234.14	فاخته ای	مقعر	1112/1112	41	10.44



شکل ۷- A: پخته شدن آجرها تا دمای ۴۰۰ درجه در کوره‌های دست‌ساز و کاه‌گلی، B: آجرهای چیده شده داخل کوره و آماده برای پخت، C: انواع آجرهای نسوز با رنگ و ابعاد مختلف.

### نتیجه‌گیری:

مقایسه سنگ‌نهبشته‌های کربونیفر زیرین و پرمین زیرین در ناحیه معدنی کویر ۶ آباد با سازندهای کلمرد و درود در ایران مرکزی نشان می‌دهد این کانسار در پهنه ایران مرکزی قرار دارد. شناسایی فسیل‌های گیاهی (مانند Lebeckia) در پیمایش

صحرائی انجام گرفته از کانسار نشان می‌دهد ماده معدنی در سازند پرمین قرار دارد. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و XRD فازهای اصلی موجود در عبارتند از کوارتز، کائولینیت و آنتاز. بر پایه بررسی‌های ژئوشیمیایی سنگ مادر اصلی این شیل‌ها، سنگ‌های بازیک تا اسیدی می‌باشد. میزان اکسید آلومینیوم متوسط و بین ۱۷/۷ تا ۲۸/۳ درصد می‌باشد. با توجه به مقادیر پایین عناصر قلیایی، این سنگ‌های رسوبی از شدت بالای هوازدگی برخوردارند بطوریکه کانی فلدسپار در میان سازنده‌های اصلی سنگ رسوبی مشاهده نشد. مقدار بالای LOI نیز حضور رس را در نمونه‌ها تایید می‌کند. میزان بالاتر اکسیدهای آهن و تیتان و ایجاد طیف رنگی قرمز پس از پخت، جذب آب کم و نبود کانی‌های ژیپس و کلسیت در نمونه‌ها شاهد افزایش تقاضای مصرفی این ماده معدنی در تولید آجرهای نسوز برای استان‌های مجاور شده است.

#### قدردانی و تشکر:

این پژوهش بدون مساعدتهای آقای کارگران از شرکت ایساتیس و راهنمایی‌های ارزنده جناب آقایان دکتر یزدی و دکتر بهرامی مقدور نبود. لذا صمیمانه از عنایت‌های ایشان قدردانی می‌گردد. همچنین از تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان که امکانات بازدید را فراهم آوردند سپاسگزاری می‌شود.

#### منابع:

- باغبانی، د.، ۱۹۹۱، سکانس پرمین در ناحیه آباد- ایران مرکزی، کنگره بین المللی سیستم پرمین، اتحاد جماهیر شوروی سابق.
- پرتوآذر، ح.، ۱۳۷۴، سیستم پرمین در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سیوند، س.، پورخواجه، م.، ۱۳۸۵، نگاهی ویژه به معادن خاک نسوز در شمال استان فارس، دومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست، اسلام‌شهر.
- طبایی، م.، ۱۳۷۱، تعیین سن افق‌های خاک نسوز در معادن ناحیه شورجستان- آباد بر اساس پژوهش‌های زیست چینه‌ای، دومین گردهمایی پژوهش‌های اکتشافی، صفحات ۲۶۸-۲۹۹.
- علوی نائینی، م.، ۱۳۷۲، چینه‌شناسی پالئوزوئیک ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یوسفی‌راد، م.، نوروزپور، ح.، ۱۳۹۶، تحلیل حوضه رسوبی پرموتریاس با نگرشی بر ریزرخساره‌ها در ناحیه شورجستان، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی.
- Aghanabati, A., 1977, Etude geologique region de Kalmard stratigraphie et tectonique, Geol, Iran, 35.
- Bozorgnia, F., 1973, Paleozoic foraminiferal biostratigraphy of central and east Alborz mountains, Iran. No. 4.
- Ekosse, G., 2001, Provenance of the KgwaKgwe kaolin deposit in southeastern Botswana and its possible utilization, Applied clay science 20 (30), 137- 152.
- Mhjoor, P., Susan, L., 2007, Inor 721- using ionic liquids solvents in the preparation of novel hybrid materials, Vol.234.
- Mahjoor, A.S., Karimi, M., Rastegarlar, A., 2009, Mineralogical and geochemical characteristics of clay deposit (Central Iran) and their applications, 601- 614.
- Nesbitt, H.W., Markovics, G., 1980, Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering, Geochimical Acta 44, 1659- 1666.
- Nesbitt, H.W.P., Young, G.M., 1982, Early Proterozoic climates plate motions inferred from major element chemistry of Iutites, 715- 717.
- Stocklin, J., Setudehnia, A., 1971, Stratigraphic lexicon of Iran, Geol. Surv. Iran, 18.
- Tylor, S., McLennan, S., 1985, The continental crust: its composition and evolution.

کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه محدوده معدنی خاک‌های صنعتی و نسوز چاه-  
علی‌اکبر، طبس، خراسان جنوبی

محمود شجاع سنگ‌چولی<sup>۱\*</sup>، شجاع‌الدین نیرومند<sup>۲</sup>، سروش مدبری<sup>۳</sup>، محمد امینی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران

<sup>۲</sup> و <sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران

<sup>۴</sup>دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران

Mahmood.shoga.sa@ut.ac.ir

### چکیده

منطقه مورد مطالعه در ۸ کیلومتری شمال‌شرق روستای چاه‌علی‌اکبر از توابع شهرستان طبس در استان خراسان جنوبی قرار دارد. منطقه ذکر شده در زون ساختاری بلوک طبس و در قسمت شمال‌شرقی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ حلوان واقع شده است. واحد میزبان کانی‌زایی، ماسه‌سنگ‌های بین سازندهای خان و سرخ شیل می‌باشند. کانی‌شناسی خاک‌های صنعتی و نسوز چاه‌علی-اکبر، بر اساس مطالعات میکروسکوپی و انجام آزمایش‌های XRD، عبارتند از کوارتز، کائولینیت، مونتموریلونیت، ایلیت، هماتیت، روتیل و تا حدودی آاناتاز. مقدار آهن موجود در کائولینیت‌ها با توجه مطالعات زمین‌شیمی صورت گرفته در اکثر نمونه‌های مایه‌پایین می‌باشد که این مهم، باعث ارزش بالای آن می‌شود. با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته (XRF) و تطبیق آن‌ها در نمودار چند متغیره  $Zr/TiO_2$  در مقابل  $SiO_2$ ، سنگ منشاء کائولن در منطقه مورد مطالعه در محدوده نفلنیت، باسانیت و تراکی باسانیت قرار می‌گیرند. با توجه به مقدار  $TiO_2$  در نمونه‌های آنالیز شده، چنین برداشت می‌شود که تشکیل این نهشته‌ها در ارتباط با عملکرد محلول‌های سوپرژن بوده است.

کلید واژه: کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، خاک صنعتی، چاه‌علی‌اکبر، طبس

### Mineralogy, geochemistry and genesis of mineral area of industrial and refractory soils Chaha-Ali-Akbar, Tabas, South Khorasan

Mahmood Shoja Sangchooli; Shojaeddin Niroomand; Soroush Modabberi; Mohammad Amini

#### Abstract

This study area is located 8 km northeast of ChahAliAkbar village of Tabas city in South of Khorasan province. The mentioned area is located in the structural zone of Tabas block and in the northeastern part of the 1:100,000 map of Halvan. The host unit of mineralization is the sandstones between Khan and Sorkh-Shale formations. Mineralogy of industrial and refractory soils of CahahAliAkbar well, based on microscopic studies and XRD tests, include quartz, kaolinite, montmorillonite, illite, hematite, rutile and to some extent anatase. According to geochemical studies, the amount of iron in kaolinites is low in most of the samples, which makes it high in value. According to the experiments (XRF) and their adaptation in the multivariate diagram of  $Zr/TiO_2$  versus  $SiO_2$ , the source rocks of kaolin in the study area are in the range of nephelinite, basanite and trachybasanite. Given the amount of  $TiO_2$  in the analyzed samples, it is assumed that the formation of these deposits was related to the performance of supergene solutions.

## مقدمه

خاک‌های صنعتی یا خاک‌های نسوز به دسته‌ای از مواد معدنی غیرفلزی گفته می‌شوند که در دماهای بالا، خواص فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ می‌کنند و به عبارتی دیگر دارای نقطه ذوب بالایی هستند، لذا در صنایعی همچون ذوب فلزات، کاشی و سرامیک و ریخته‌گری و ... کاربرد دارند (Pohl, 2020). با توجه به محدودیت ذخایر فلزی در جهان و نیاز روز افزون بشر به خاک‌های صنعتی، آشنایی و شناخت این ذخایر حائز اهمیت می‌باشند. کانی‌های صنعتی زیادی تاکنون تحت عنوان خاک‌های صنعتی به کار گرفته شده‌اند و از نظر میزان تولید و ارزش کلی، نسبت به مواد معدنی فلزی دارای اهمیت بیشتری هستند (Noststaller, 1988). از جمله مهم‌ترین این خاک‌های صنعتی، کائولینیت می‌باشند که در گروه رس‌ها قرار می‌گیرند و به اندازه ذرات ۷۴ میکرومتر (در مهندسی)، ۲-۴ میکرومتر (در زمین‌شناسی) و ۲ میکرومتر (در خاک‌شناسی) گفته می‌شود و در زمین‌شناسی اقتصادی، کائولن برای کانسارهای رسی تقریباً سفید بکار می‌رود و از نظر صنعتی به رس‌هایی که دارای مقادیر قابل توجهی کائولینیت داشته باشند، اطلاق می‌شود و جزء مرغوب‌ترین نوع خاک‌های صنعتی می‌باشند همچنین کائولن در صنایع مختلف به عنوان ماده اولیه و در بسیاری از صنایع به عنوان ماده اولیه جانبی در کنار سایر مواد کاربرد دارد به عنوان مثال؛ برای پوشش کاغذ یا بنتونیت در گل حفاری (Jessica, 2002). اعمده ذخایر کائولن ایران در اثر دگرسانی سنگ‌های آذرین و به ویژه سنگ‌های آتشفشانی مانند ریولیت و آندزیت حاصل شده‌اند و میزان اکسید سیلیسیم موجود در آن‌ها زیاد است، به همین دلیل نیاز به شستشو دارند تا کیفیت آن‌ها بهبود یابد، همچنین اکثر این ذخایر در کمرندهای آتشفشانی دوران‌های سوم و به ویژه ائوسن جای دارند (قربانی، ۱۳۸۷). هدف از انجام این پژوهش، معرفی منطقه معدنی خاک‌های صنعتی و نسوز چاه‌علی اکبر می‌باشد که به مطالعه کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه آن، پرداخته می‌شود. بررسی این ویژگی‌ها می‌تواند کمک شایانی به شناسایی ذخایر مشابه در این محدوده بنماید.

## روش مطالعه

پس از انجام مطالعات دفتری و جمع‌آوری اطلاعات، چند سری بررسی‌های صحرایی صورت گرفته و نمونه‌برداری به صورت پیمایشی از منطقه مورد مطالعه صورت پذیرفته است. در این بررسی‌ها تعداد ۵۴ نمونه از منطقه برداشت گردید. پس از انجام مطالعات بر روی نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۲۳ عدد مقطع نازک و ۱ عدد مقطع صیقلی در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه گردیده و مطالعات میکروسکوپی در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تهران صورت پذیرفته است. از این نمونه‌های برداشت شده تعداد ۲۱ نمونه آنالیز XRD در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با دستگاه DRUKER-D4 ساخت کشور آلمان و تعداد ۲۹ نمونه آنالیز XRF در همان آزمایشگاه با دستگاه MAGIX-PRO ساخت کشور آلمان صورت پذیرفت.

## موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

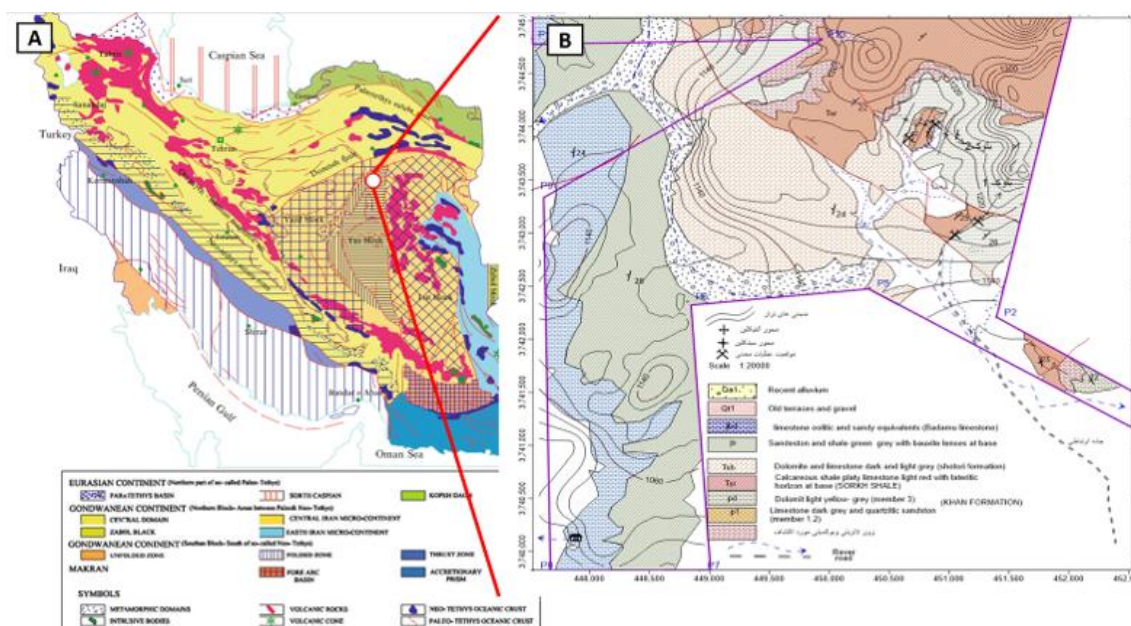
شهرستان طبس با وسعتی حدود ۵۰ هزار کیلومترمربع، به علت دارا بودن ذخایر متنوع معدنی نظیر انواع زغالسنگ، فلورین، ماسه ریخته‌گری، انواع خاک‌های صنعتی، باریت، بنتونیت، سنگ‌های ساختمانی، در جهت تبدیل شدن به یک قطب معدنی و صنایع وابسته آن گام بر می‌دارد. منطقه مورد مطالعه در ۶۵ کیلومتری شمال غرب شهر طبس و در ۳۲ کیلومتری جنوب شرقی حلوان و در ۸ کیلومتری غرب روستای چاه‌علی اکبر واقع شده است. راه اصلی جهت دسترسی به منطقه مورد مطالعه،



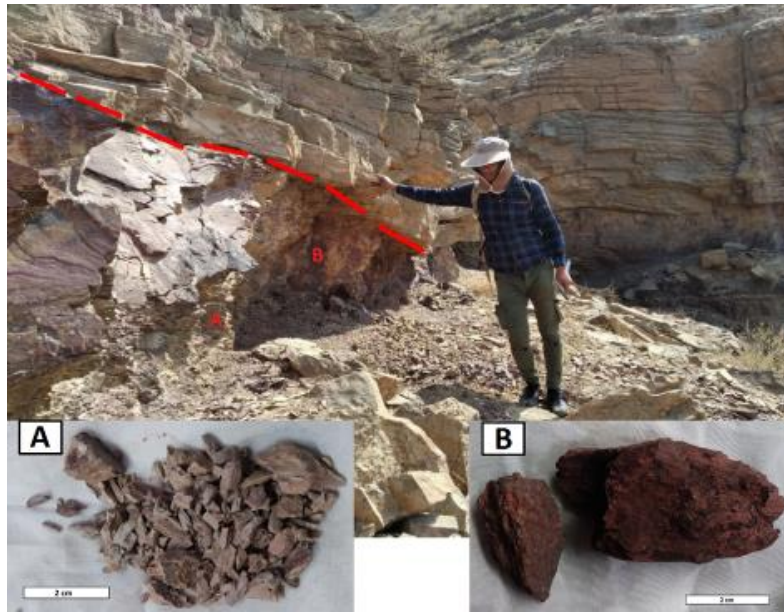
جاده آسفالت طبس- خور بیابانک می باشد که پس از طی مسافت حدود ۵۰ کیلومتر از مبدأ شهر طبس به دو راهی جاده حلوان می رسد و سپس از ۹ کیلومتر پیش روی در جاده حلوان به دوراهی چاه علی اکبر می رسد که از سمت شرق جاده جدا می شود و پس از طی ۴ کیلومتر در این جاده به روستای چاه علی اکبر رسیده و محدوده مورد اکتشاف در حدود ۸ کیلومتری شمال شرق این روستا قرار دارد (شکل ۱).

### زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در زون ساختاری بلوک طبس (شکل ۱، A) و در قسمت شمال شرق نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ حلوان قرار می گیرد. زمین شناسی منطقه طبس همواره مورد توجه پژوهشگران زمین شناسی و معدن قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه از شمال و شمال شرق به آهک های خاکستری رنگ سازند خان که ارتفاعات بلند منطقه را تشکیل می دهند و از طرف غرب به آهک ها و دولومیت های سازند شتری و رسوبات سبز رنگ شیل و ماسه سنگی سازند آب حاجی و از طرف جنوب به رسوبات رودخانه ای محدود می شود (شکل ۱، B). در این منطقه بیشتر زون های میزبان کانی زایی در شمال محدوده گسترش دارند و شامل رسوبات آهکی و دولومیتی سازند خان با سن پرمین و رسوبات شیل و ماسه سنگی و آهک های مارنی سازند سرخ شیل با سن پرمین فوقانی که بر روی آن ها آهک ها و دولومیت های سازند شتری قرار گرفته است، می باشند. بر اساس نقشه یکصد هزار حلوان، قدیمی ترین واحد سنگ شناختی در منطقه حلوان، سازند کلمرد به سن پرکامبرین و جدیدترین آن، سازند بادامو به سن زوراسیک بالایی می باشد. در مرز بین سازند خان (به سن پرمین بالایی) و سازند سرخ شیل (به سن تریاس پایینی)، ماسه سنگ های با میزبان خاک های صنعتی تشکیل شده است (شکل ۲). از جمله مهم ترین دگرسانی منطقه؛ لیمونیتی شدن می باشد (شکل ۳). منطقه مورد مطالعه از لحاظ تکتونیکی بهم ریخته و دارای چین خوردگی های زیادی می باشد. با توجه به بررسی های صحرائی بنظر نمی رسد تشکیل ماده معدنی ارتباط زیادی با گسل ها داشته باشد، البته گسل بزرگ کلمرد در شرق منطقه مورد مطالعه می تواند در تعیین سرگذشت رسوبات زمین شناسی این منطقه تاثیر گذار باشد و بعضی از گسل های کوچک مقیاس در منطقه مورد مطالعه (شکل ۴)، از شاخه های این گسل اصلی می باشند.



شکل ۱: (A) زون های ساختاری ایران (Aghanabati, 2004). (B) جایگاه منطقه مورد مطالعه در آن (نقشه ۱:۲۰,۰۰۰ حلوان).



شکل ۲: افق‌های ماسه‌سنگ و کنتاکت شارپ با کائولینیت (A) و خاک‌های نسوز صنعتی (B).



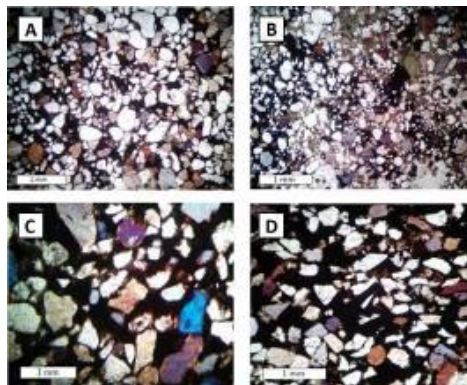
شکل ۳: دگرسانی لیمونیتی در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال)



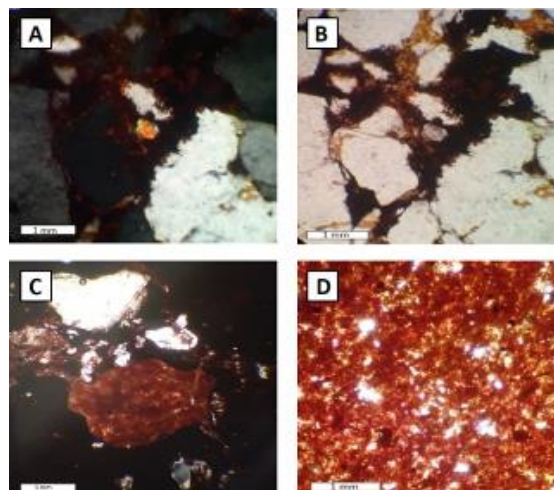
شکل ۴: نمونه‌ای از گسل‌های منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شرق)

### کانی شناسی

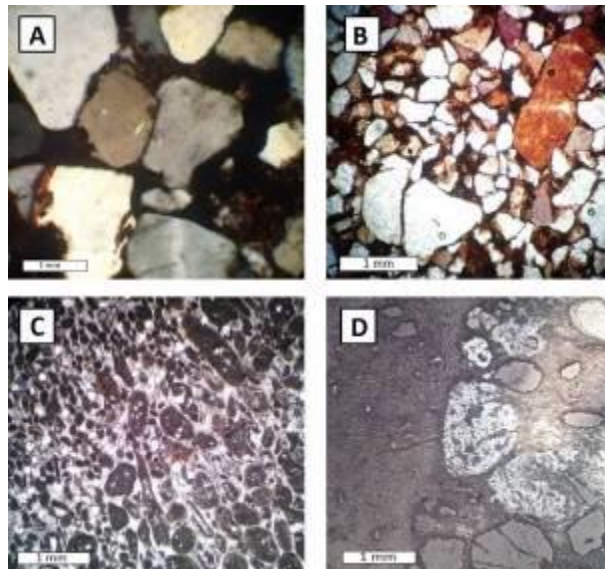
با توجه به بلورهای کوارتز در اندازه (حدود یک میلیمتر)، گرد شده تا نسبتاً گرد شده هستند و قطعات ریزتر کوارتز دارای زاویه بیشتری هستند. در کوارتزها پدیده خاموشی مطالعات میکروسکوپی موجی به وضوح نشان دهنده اثر گذاری فشار است و به صورت تک بلور می‌باشند و این پدیده می‌تواند دلیلی بر منشاء آذرین یا دگرگونی این بلورها باشد (شکل ۵، A و B). به نظر می‌رسد یک سری از قطعات کوارتز از یک ماسه‌سنگ رسوبی قدیمی منشا گرفته‌اند که دلیل آن می‌تواند وجود سیمان با رشد اضافی (اتوژنیک) در لبه‌های قطعه کوارتز باشد (شکل ۵، C و D). در (شکل ۷، B) دو نوع قطعات کوارتز دیده می‌شود: ۱-گرد شده (با اندازه بزرگتر تا دو میلیمتر) ۲- زاویه‌دار (با اندازه کوچکتر تا ۰.۵ میلیمتر) که می‌تواند نشان دهنده محیطی با دو انرژی متفاوت باشد. تعدادی از کوارتزها دارای (ادخال) هستند (مایع یا گاز) که احتمالاً این ادخال‌ها دارای منشا آذرین می‌باشد. (بافت‌های خلیجی) بر روی سطوح فوقانی دانه‌های کوارتز دیده می‌شوند که می‌تواند ناشی از انحلال باشند (شکل ۷، C).



شکل ۵: A) ماسه‌سنگ با قطعاتی از کوارتزهای تخریبی. B) نشان دهنده دانه‌های کوارتز همراه سیمان کلریتی (قسمت‌های سبز رنگ) و سیمان اکسید آهن (قسمت‌های سیاه و قهوه‌ای مایل به قرمز رنگ). C) قطعات کوارتز در زمینه‌ای از سیمان اکسید آهن است. D) قطعات کوارتز با گرد شدگی کم تا ضعیف در زمینه‌ای از سیمان اکسید آهن است.



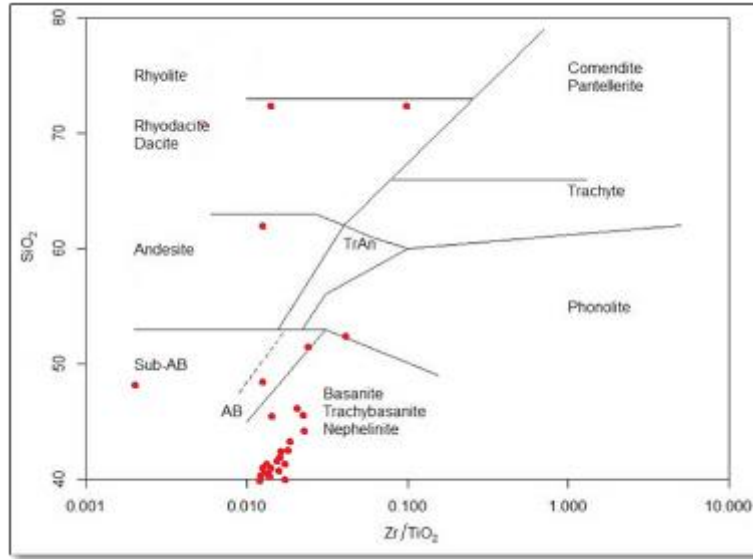
شکل ۶: A) در نور پلاریزه: در مرکز تصویر مقطع، یک قطعه رنگارنگ با برجستگی بالا دیده می‌شود که احتمالاً می‌تواند کانی زیرکن از منشاء ماگمایی یا دگرگونی باشد. B) همان تصویر مقطع شکل A در نور ساده. C) در نور پلاریزه: مقطع نشان دهنده ماسه‌سنگ با مقدار اکسید آهن بالاست. D) نمایی از اکسیدهای آهن موجود در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۷: A) تصویر ماسه سنگ با سیمانی از اکسید آهن. در مرکز تصویر بلور کوارتز در برگیرنده یک (ادخال) است که می تواند مایع یا گاز باشد. B) مقطع نشان دهنده یک ماسه سنگ با سیمان کلریتی آغشته به اکسید آهن است. C) مقطع نشان دهنده سنگ آهک گرینستون اینتراکلاست دار است و حاوی قطعات کوارتزی است که به دام افتاده اند. D) قطعات هماتیت (اکسید آهن با منشأ ثانویه) به رنگ خاکستری در مقطع مشاهده می شوند.

### زمین شیمی

برای انجام مطالعات زمین شیمیایی از نتایج آنالیز XRD و همچنین XRF استفاده شده است. شیمی خاک های صنعتی و نسوز توسط فاکتورهایی که شامل تغییر رنگ اولیه در سنگ میزبان است کنترل می شود و یکی از مواردی که برای تعیین منشأ محلول های دگرسان کننده می توان استفاده کرد، میزان  $TiO_2$  در نمونه های دگرسان شده است. بدین صورت که اگر مقدار  $TiO_2$  کمتر از یک درصد باشد، نهشته هایی با ماهیت هیپوژن و اگر بیشتر از یک درصد باشد نهشته هایی با ماهیت سوپرژن خواهیم داشت (Maiza et al., 2003). از آن جا که میزان  $TiO_2$  این مقادیر در اکثر نمونه های مورد بررسی بیشتر از یک درصد می باشند (جدول ۱)، از این رو چنین برداشت می شود که تشکیل نهشته ها در منطقه مورد مطالعه در ارتباط با عملکرد محلول های سوپرژن بوده است. با ترسیم یافته های حاصل از آنالیزهای صورت گرفته نمونه های به دست آمده از کائولن های منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار دو متغیره  $SiO_2$  بر روی  $Zr/TiO_2$  و در نمودار ترکیب شیمیایی سنگ منشأ کائولن منطقه در محدوده باسانیت، تراکی باسانیت و نفلنیت قرار گرفته است (شکل ۸). در جدول های (۱ و ۲)، به ترتیب، نتایج آنالیزهای صورت گرفته (XRF و XRD)، گزارش شده است (به درصد مناسب اکسیدهای آلومینیوم موجود در جدول ۱، توجه شود).



شکل ۸: موقعیت نمونه‌ها در نمودار  $Zr/TiO_2$  در مقابل  $SiO_2$  برگرفته از (Winchester and Floyd, 1977).

جدول ۱: لیست آنالیزهای انجام شده به روش XRF در نمونه‌های مایخود شده خاک‌های نسوز و صنعتی منطقه مورد مطالعه

Sample No	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
CHA02	48.5	8.1	33.8	2.0	1.1	<1	0.2	0.4	0.1	<1
CHA07	34.7	27.3	21.3	0.2	0.6	<1	0.3	<1	<1	<1
CHA11	77.2	4.7	13.6	0.9	0.7	<1	<1	<1	<1	<1
CHA19	54.1	6.5	31.7	0.6	0.9	<1	<1	0.1	0.1	0.2
CHA26	28.1	14.6	49.0	0.8	<1	0.3	0.6	<1	0.3	n.d
CHA27	37.1	25.9	20.1	2.3	0.4	0.3	0.5	0.1	<1	<1
CHA29	54	14.1	24.5	0.6	0.4	0.1	0.3	<1	0.2	<1
CHA33	39.2	34.2	5.4	0.2	<1	0.5	<1	<1	<1	<1
CHA34	16.5	16.1	53.9	0.4	1.1	0.4	0.4	0.1	<1	<1
CHA35	34	29.7	10.2	3.0	<1	1.1	0.8	1.0	0.2	n.d
CHA36	33.2	28.0	18.6	1.2	<1	2.3	1.1	0.8	<1	n.d
CHA37	38.8	28.1	14.8	0.1	<1	1.6	<1	<1	<1	<1
CHA38	74.2	6.0	14.9	0.4	0.6	<1	1.9	<1	<1	<1
CHA39	40.2	25.4	15.8	1.0	0.3	2.4	0.1	0.2	0.1	n.d
CHA40	36.6	11.0	38.8	0.4	1.3	<1	1.2	<1	0.2	<1
CHA41	42	24.6	15.3	0.8	0.4	2.5	0.9	<1	0.1	n.d
CHA42	34	29.0	13.1	2.0	0.3	2.1	0.6	0.2	<1	nd
CHA43	47.8	12.4	30.1	0.4	1	0.5	0.6	<1	0.1	<1
CHA44	35.3	29.9	16.9	0.3	<1	0.9	0.6	0.2	0.2	<1
CHA45	25.3	21.2	39.9	0.3	<1	0.7	0.5	0.1	<1	n.d
CHA46	41.6	33.9	5.8	0.3	<1	1.0	0.8	0.1	<1	n.d
CHA47	62.6	8.0	18.2	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	<1	<1
CHA48	37.9	29.4	13.7	0.4	<1	1.9	1.2	<1	0.1	n.d
CHA49	18.3	16.5	60.6	0.8	0.5	0.5	0.4	<1	0.3	<1
CHA50	26.5	24.1	34.8	0.7	<1	1.3	0.9	<1	0.3	<1
CHA51	29.2	25.7	28.7	0.3	<1	1.2	0.7	<1	0.1	n.d
CHA52	16.5	13.1	62.0	0.3	0.3	0.5	0.3	<1	<1	n.d
CHA53	37.5	34.2	6.7	0.5	<1	1.9	1.4	<1	<1	<1
CHA54	8.5	4.2	6.3	45.4	0.3	<1	0.1	<1	<1	<1
Sample No	TiO <sub>2</sub>	ZnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	ZrO <sub>2</sub>	Cl	L.O.I			
CHA02	1.6	0.1	<1	<1	0.1	<1	4.0			
CHA07	5.6	<1	0.2	<1	0.2	n.d	9.3			

CHA11	0.8	<1	n.d	<1	<1	n.d	1.9
CHA19	1.9	<1	<1	<1	0.2	<1	3.5
CHA26	1.7	<1	<1	<1	<1	n.d	4.3
CHA27	3.7	0.1	<1	<1	0.2	n.d	9.2
CHA29	2.5	0.1	<1	<1	0.1	n.d	3.0
CHA33	7.3	<1	<1	<1	0.2	<1	12.4
CHA34	2.8	<1	<1	<1	0.1	n.d	8.5
CHA35	7.0	<1	<1	0.2	0.2	0.4	12.5
CHA36	4.1	<1	<1	<1	0.1	0.9	9.8
CHA37	7.2	<1	<1	<1	0.2	0.1	7.8
CHA38	1.7	<1	<1	<1	0.1	n.d	1.9
CHA39	5.3	0.3	<1	0.1	0.2	n.d	6.5
CHA40	6.3	<1	<1	<1	0.6	<1	4.4
CHA41	6.0	0.1	<1	<1	0.3	<1	6.5
CHA42	7.2	<1	0.2	0.2	0.2	n.d	10.5
CHA43	2.5	<1	<1	<1	0.1	<1	4.2
CHA44	5.5	<1	<1	0.3	0.2	<1	9.6
CHA45	3.4	0.1	<1	<1	0.1	n.d	8.3
CHA46	5.0	<1	<1	<1	0.3	n.d	11.1
CHA47	1.7	<1	<1	<1	0.1	<1	8.1
CHA48	6.5	<1	<1	0.1	0.2	n.d	8.3
CHA49	3.5	<1	<1	<1	0.1	n.d	8.5
CHA50	4.6	<1	<1	<1	0.1	n.d	7.4
CHA51	5.1	<1	<1	<1	0.2	n.d	8.6
CHA52	2.1	n.d	<1	<1	<1	n.d	5.5
CHA53	7.0	<1	<1	0.1	0.3	<1	10.0
CHA54	1.1	<1	n.d	0.1	<1	n.d	33.8

جدول ۲: لیست نمونه‌های مورد آزمایش XRD در نمونه‌های ماخوذ شده خاک‌های نسوز و صنعتی منطقه مورد مطالعه

Sample No	XRD RESULTS
CHA-13	QUARTZ +MONTMORILLONITE
CHA-27	PYROPHILLITE + HEMATITE + KAOLINITE
CHA-33	KAOLINITE+ HEMATITE + FELDESPAR
CHA-34	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-35	KAOLINITE+ HEMATITE + GEHLENITE + FELDESPAR + ANATAZ + HALITE
CHA-36	KAOLINITE+ HEMATITE + RUTILE + HALITE
CHA-37	KAOLINITE+ HEMATITE + RUTILE
CHA-39	QUARTZ+ KAOLINITE + HEMATITE + FELDESPAR
CHA-40	QUARTZ+ KAOLINITE + HEMATITE+ ANATAZ
CHA-41	QUARTZ+ KAOLINITE + HEMATITE+ FELDESPAR+ RUTILE
CHA-42	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE + QUARTZ+ ILLITE
CHA-44	KAOLINITE QUARTZ+ HEMATITE+ RUTILE
CHA-45	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-46	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE
CHA-48	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE+ HALITE
CHA-49	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-50	HEMATITE + KAOLINITE+ RUTILE
CHA-51	HEMATITE + KAOLINITE+ RUTILE
CHA-52	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-53	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE
CHA-54	CALCITE + KAOLINITE

### نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، چنین می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل نهشته‌های خاک نسوز و صنعتی در منطقه مورد مطالعه، در ارتباط با عملکرد محلول‌های سوپرژن بوده است. ترکیب شیمیایی سنگ منشأ نمونه‌های ماخوذ شده در محدوده باسانیت، تراکی باسانیت و نفلنیت قرار گرفته است. چنانچه در این منطقه عملیات سیستماتیک اکتشافی در مقیاس مناسب صورت بگیرد و شناسایی سنگ‌های با ترکیب شیمیایی باسانیت، تراکی باسانیت و نفلنیت مورد توجه ویژه قرار بگیرد، می‌تواند به شناخت نقاط امیدبخش بیشتری در بلوک طبس کمک شایانی نماید.

### منابع

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological survey of Iran.
- Jessica, E. K., 2002. The georgiakaolins: geology and utilization Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 105.
- Maiza, P. J., Pieroni, D., Marfil, S. A., Dominguez, E. A., Mas, G. R., & Cravero, F., 2003. Geochemistry of hydrothermal kaolins in the SE area of Los Menucos, Province of Rio Negro, Argentina. A Clay Odyssey, 123-130.
- Noststaller, R., 1988. Industrial Minerals: A technical review. The World Bank, Washington.
- Pettijohn, F. J., 1952. Geology of the Northern Crystal Falls Area, Iron County, Michigan. United States Department of the Interior, Geological Survey.
- Pettijohn, F. J., Potter, P.E., Siever, R., 1987. Sand and sandstone. Second ed. Springer, New York (553 pp.).
- Pohl, W, L., 2020. Economic Geology: Principles and Practice. Earth Sciences (Books), Schweizerbart Sche Vlgsh. (755 pp.).
- Winchester, J. A., & Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical geology, 20, 325-343.

م، قربانی، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی اقتصادی، ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آریز زمین، چاپ اول، ۵۵۲ ص.

## بررسی کانیاپی کانه‌زایی اپی‌ترمال زواریان (سلفچگان)

الناز زحمتکش<sup>۱\*</sup>، سیدمهران حیدری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>\* الناز زحمتکش؛ گروه کانی شناسی و اکتشافات معدنی کاربردی، پژوهشکده علوم زمین، کارشناس ارشد

زمین‌شناسی اقتصادی، تهران، ایران، elnazzahmatkesh32@gmail.com

<sup>۲</sup> سیدمهران حیدری؛ هیات علمی گروه کانی شناسی و اکتشافات معدنی کاربردی، پژوهشکده علوم زمین،

تهران، ایران، sm.heidari@gmail.com

### چکیده:

رخدادهای طلائی زواریان در ۶۰ کیلومتری جنوب باختر قم و در فاصله ۵ کیلومتری سلفچگان در شمال غرب در کمربند ماگماتی ارومیه دختر واقع شده است. اغلب واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در این ناحیه، مربوط به یک توالی از واحدهای رسوبی به سن الیگومیوسن می‌باشد، که توسط مجموعه‌های آتشفشانی قطع شده‌اند. با توجه به نمونه‌برداری منظم انجام شده بر روی رگه سیلیسی طلادار در این محدوده، عیار اقتصادی طلا در این کنسار، محدود به بخش‌های سیلیسی و دیواره‌های دگرسان آن، می‌باشد. این رخدادهای کانه‌زایی اپی‌ترمال به لحاظ روند تکوین کانه‌زایی در ارتباط با برشی شدن و ته‌نشینی سولفیدهای مس، شبیه به کنسارهای با سولفیداسیون بالا در جایگاه‌های آتشفشانی است. طلا در این کانه‌زایی به صورت آزاد شده از دانه‌های پیریت اکسیده، همچنین در داخل کوارتزها در برش‌های هیدروترمالی و محلول جامد در دیگر کانه‌های سولفیدی از قبیل سولفیدها رخ داده است.

کلمات کلیدی: کانه‌زایی، اپی‌ترمال، طلا، زواریان، ارومیه – دختر

### Study of Zavarian (Salafchegan) epithermal mineralization

#### Abstract

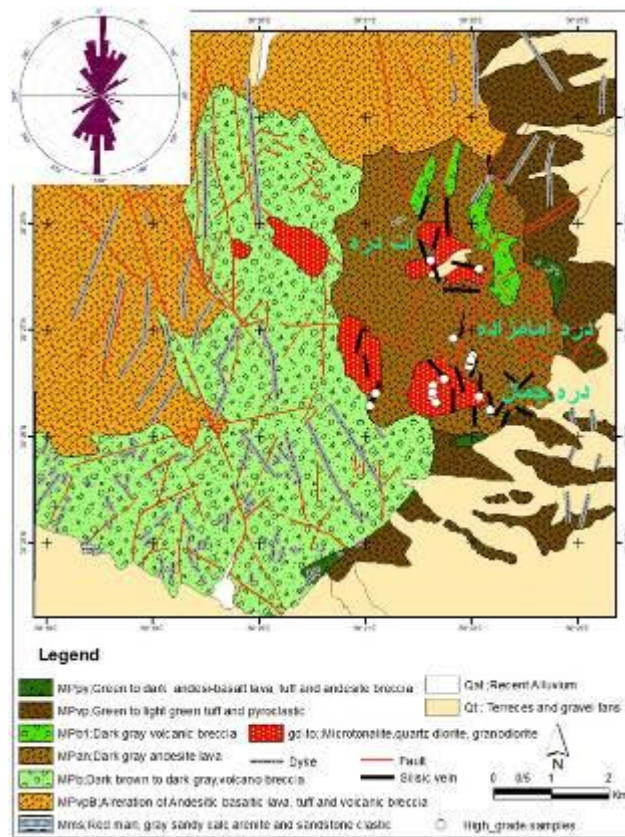
The Zavarian gold epithermal mineralization is located 60 km south of Qom and 5km northwest of salafchegan in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc belt of Iran. most of the exposed rock units in this area are related to a sequence of Oligo-Miocene sedimentary rock units that are cut by volcanic compounds. According to the regular sampling of siliceous gold vein in this area, the economic grade of gold is limited to siliceous zones and its altered margins. Development of this epithermal mineralization event is related to brecciation and deposition of copper sulfides in similarity to ore deposits with high sulfidation at volcanic sites. Gold is originated from oxidized pyrites, as well as inside the quartz in hydrothermal breccia and solid solution in other sulfides.

Key words: Mineralization, Epithermal, Gold, Zavarian, Urumieh – Dokhtar, Iran



مقدمه:

مطالعه کانی‌شناسی، ساخت، بافت و پارائز کانی‌ها اطلاعات سودمندی در مورد ویژگی‌های چگونگی تشکیل هر کانسار و فرآیندهای شکل‌گیری آنها در اختیار قرار می‌دهد. بطوریکه ویژگی‌های تشکیل هر کانسار در آئینه رفتار کانی‌های تشکیل دهنده آن منعکس می‌شود (Craig and Vaguhan 1994). کانسار طلا-مس اپی‌ترمال (زحمتکش و حیدری، ۱۳۹۹) زواریان در ۶۰ کیلومتری جنوب‌باختر شهر قم و در فاصله ۵ کیلومتری جنوب‌باختر سلفچگان که به لحاظ تقسیمات ساختمانی در بخش مرکزی کمان ماگمایی ارومیه دختر واقع شده است. به لحاظ زمین‌شناسی واحدهای رخنمون‌یافته در این منطقه را مجموعه رسوبی شامل کنگلومرا، مارن قرمز، آهک، مارن و شیل با سن الیگومیوسن و مجموعه آتشفشانی به سن میوسن-پلیوسن و نیمه عمیق شامل گدازه‌های آندزیتی، توف‌های لاپیلی‌دار، توف‌های برشی، و کریستال لیتیک توف و توده‌های نیمه-عمیق با ترکیب دیوریت، گرانودیوریت، تونالیت و دایک‌های آندزیتی-بازالتی تشکیل می‌دهند (نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰ زواریان ۱۳۸۹). پهنه کانه‌دار در این کانه‌زائی با توجه به گزارش پی‌جویی و پتانسیل‌یابی مواد معدنی صورت گرفته و نمونه‌برداری سیستماتیک، شامل مجموعه‌ای از رگه‌های سیلیسی (زون سیلیسی) است که از شمال به جنوب نامگذاری شده‌اند، و در واقع پهنه کانه‌دار زواریان را تشکیل می‌دهند (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی (۱:۲۰۰۰۰) همراه با رگه‌های سیلیسی کانه‌دار و نمونه‌های پرعبار در پهنه‌های کانه‌دار (آت دره، دره جمال، دره امامزاده) و رز دیاگرام رگه‌های سیلیسی در محدوده زواریان (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی اقتصادی ۱:۲۵۰۰۰ زواریان (روزبه کارگر و موحدی، ۱۳۸۹)).

در این بین بیشترین عیارهای فلزات قیمتی و کانه‌زائی طلا محدود به رگه و رگچه‌های سیلیسی- برشی حاوی اکسیدهای آهن و حاشیه دگرسان آنها با روند تقریباً شمالی-جنوبی (شکل ۱) بخصوص در دره جمال می‌باشد (گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۰). بنابراین فعالیت گرمایی در کانسار زواریان در ارتباط با فعالیت های کششی و یا گسلی تشکیل شده است. در این محیط کششی، حرکت گسل ها سبب ایجاد شکستگی ها و فضاهای خالی می شود که معمولاً معبری مناسب برای جایگیری ماگما و سیال های کانه ساز مرتبط با آنهاست (Tosdal & Richards, 2001). در چنین شرایطی، سیال‌های کانه‌ساز از راه شکستگی‌ها به سرعت از بخش‌های با فشار بالا به بخش‌های با فشار پایین مهاجرت نموده و از راه رخداد جوشش و یا آمیختگی با سیال‌های دیگر سبب کانه‌زایی اپی‌ترمال و تهنشست فلزات گرانبها می‌شوند (Pirajno, 2009). بنابراین کانه‌زایی طلا در پهنه کانه‌دار زواریان به لحاظ ژئومتری و بافت بصورت رگه ای، رگچه ای و رگه های سیلیسی - برشی دیده می شود بطوریکه در درون واحد های سیلیسی مشاهده می شوند. انطباق نتایج آنالیز نمونه های برگرفته در پهنه کانه‌دار و دگرسان با واحدهای سنگی مختلف نشان‌دهنده‌ی ارتباط قوی بین عیارهای طلا با واحدهای به شدت دگرسان ( سیلیسی- سولفیدی ) است. بر این اساس و بمنظور بررسی ماهیت کانی‌سازی در این بخش، مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی (ساخت، بافت و کانه‌شناسی) صورت گرفته در این قسمت بیشتر بر روی پهنه دره جمال متمرکز شده است. به لحاظ کانه‌زائی این بخش از محدوده زواریان (دره جمال) از سه رگه در مجموع به طول تقریبی ۱۵۰-۱۰۰ متر و ضخامت ۴۰ سانتیمتر تشکیل شده است و بیشترین عیاری که گزارش شده است، مربوط به رگه شماره ۶ با عیار ۱۰۷۶۵ میلی گرم در تن می‌باشد. علاوه بر برداشتهای نمونه‌های دستی (مطالعه ساخت)، مطالعات کانی‌شناسی و بافتی بر روی ۷ عدد مقطع نازک- صیقلی و ۱۱ عدد مقطع صیقلی، صورت گرفت. لذا، در این مقاله تلاش بر این است که با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی ساخت- بافت کانه‌زایی، به توالی پاراژنزی کانسار و تقدم و تاخر فازهای آن دست یافت.

### ساخت، بافت، کانی‌شناسی و مواد معدنی

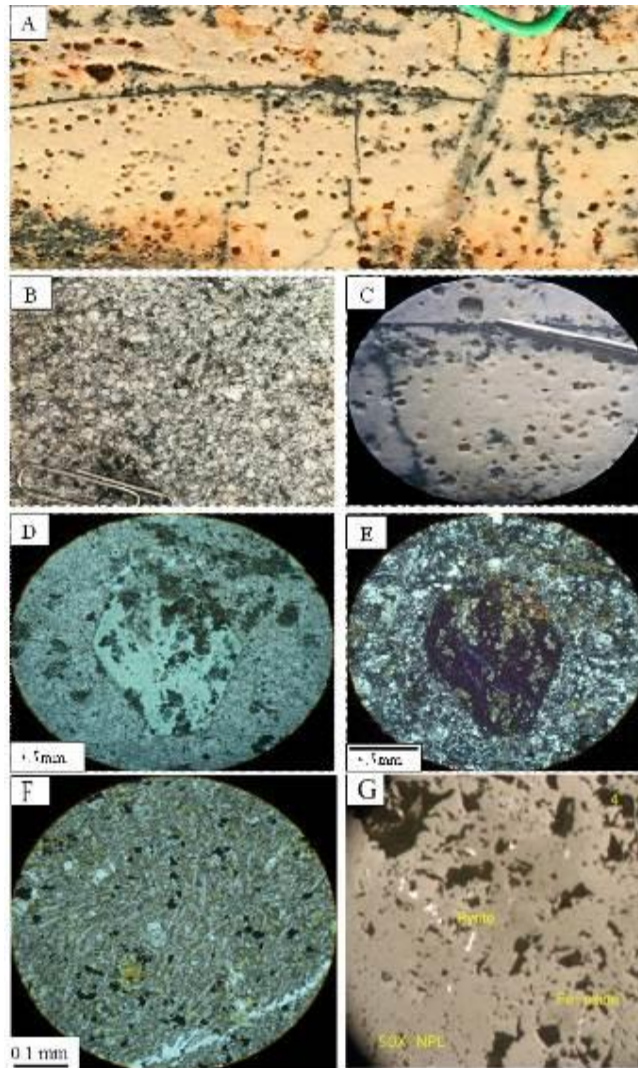
عمده ساخت و بافتهای معمول در کانی‌سازی زواریان عبارتند از: بافت پرکننده فضای باز (مشخصه محیطهای با فشار پایین)، وجود سیلیس حفره‌دار که محصول بازماندی شستشوی اسیدی سنگ هاست و از مشخصه های اصلی آن، حضور حفرات پر شده توسط بلور، رگه‌های نواری، برش‌های هیدروترمال و جان‌شینی سنگ دیواره توسط کوارتز دانه ریز بصورت توده‌ای است. با توجه به مطالعات صورت گرفته کانی‌شناسی رگه‌های حاوی کانه‌زائی ساده بوده و به طور عمده مجموعه کانه‌ها و کانی‌های تشکیل دهنده واحدهای دگرسان و کانه‌دار زواریان عموماً شامل: پیریت، ملنیکویت، کالکوپیریت، پیروتیت، بورنیت، منیتیت، تیتانومنیتیت، تورمالین، هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوئتیت و لیمونیت)، سیلیس، کوارتز، ژاروسیت، فلدسپات (پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپات)، کانی‌های تیره (هورنبلند و پیروکسن)، کانی‌های میکایی (کلریت، سربیسیت)، کانی‌های رسی، اسفن، اپیدوت، روتیل، ایلمنیت، لوکوکسن، ژیبس و بندرت باریت می‌باشند.

### مراحل کانه‌زایی

بطور کلی مراحل تکوین سیستم اپی‌ترمال زواریان و پیرو آن کانه‌زایی با توجه به مطالعات کانه‌نگاری صورت گرفته به‌طور خلاصه شامل مراحل زیر می‌باشد: مرحله اول ۱- : تشکیل سیلیس باقیمانده (Residual silica)، این سیلیس (شکل A۲) متعلق به سنگ میزبان اولیه با ماهیت آندزیتی است (شکل B۲)، که تحت تاثیر شستشوی اولیه سیالات اسیدی حاصل شده (بدلیل مقاومت سیلیس در برابر شستشوی اسیدی) است (شکل ۲). ظاهر متخلخل آن (شکل C۲) حاصل تخریب کانی‌های اولیه به‌ویژه فلدسپات‌ها (به کانی‌های رسی) و کانی‌های تیره از قبیل هورنبلند (به اکسیدهای آهن، کلریت و کربنات ) می‌باشد

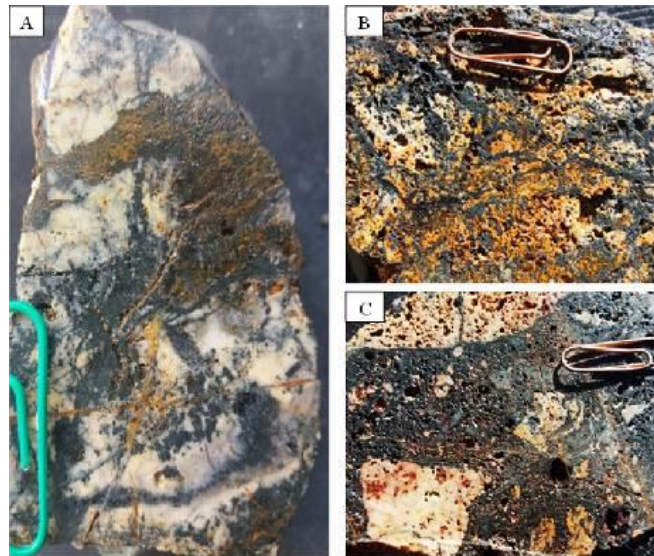
(شکل D&E۲). نتیجه تخریب این کانی‌ها (روشن و تیره) ایجاد کانی‌های رسی و دگرسانی آرژیلیک است. بنابراین این مرحله در واقع بخشی از دگرسانی آرژیلیک می‌باشد، که در طی تشکیل مراحل اولیه سامانه‌های اپی ترمال- پورفیری حاصل می‌شوند (Sillitoe, 1997, 2002).

علاوه بر کانی‌های تشکیل دهنده اصلی سنگ میزبان آندزیتی، در این واحد کانی‌های اپاک (غالباً پیریت‌های اولیه) به صورت دانه پراکنده در متن این سنگها حضور دارند (شکل F۲). این سولفیدها گاهی در متن سیلیس باقیمانده بصورت پراکنده حفظ شدگی نشان می‌دهند (شکل G۲).

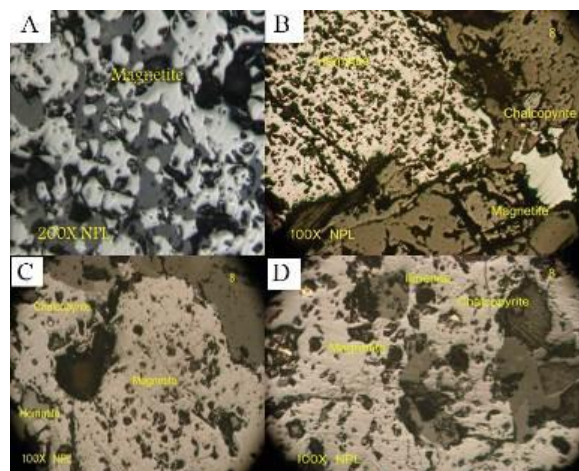


شکل ۲. سنگ میزبان آندزیتی که در مرحله اول تحت تاثیر سیال اسیدی (ماگمایی) تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته و کانی‌های تیره آن اضمحلال یافته و تنها سیلیس سفید رنگ از آن باقیمانده است (Residual silica). البته این نمونه توسط فازهای بعدی بصورت رگچه‌های تیره رنگ کانه‌زایی قطع شده است. (A) سیلیس سفیدرنگ متخلخل باقیمانده از مرحله اول. (B) واحد آندزیتی غیردگرسان حاوی بلورهای کوارتز، فلدسپات و کانی‌های تیره که در آن سیال تاثیر نداشته است. (C) سیلیس باقیمانده از نمایی نزدیک با ظاهری متخلخل حاصل از تخریب کانی‌های فلدسپات و تیره با ظاهری سفیدرنگ. (D&E) نمائی میکروسکوپی از دگرسانی و اضمحلال کانی آمفیبول سنگ آندزیتی تحت تاثیر سیال اسیدی (ماگمایی) و تبدیل آن به کانی-های اپیدوت، کلریت، کربنات و ایجاد حفره در نمونه در نور عبوری و پلاریزه. (F) نمائی میکروسکوپی از سنگ میزبان آندزیتی پورفیری کانه‌زایی حاوی بلورهای کانی‌های اپاک (غالباً پیریت) به صورت دانه پراکنده در متن اولیه سنگ. (G) نمائی از بلورهای پیریت بصورت افشان در داخل سیلیس‌های باقیمانده سفیدرنگ مرحله اول واحد آندزیتی.

مرحله دوم رگه‌های سیلیسی-منیتیتی-هماتیتی-ایلمنیتی (تورمالینی) است که گاهی با برش‌های هیدروترمالی همراه است (اشکال ۳ و ۴). در این قسمت کانی غالب اکسیدهایی از جمله منیتیت، هماتیت و تورمالین می‌باشد (اشکال ۳ و ۴) در حالیکه کانی‌های سولفیدی نسبتاً بسیار کم است (شکل ۴ B, C, D). کانی‌سازی سولفیدی در این مرحله بیشتر شامل کالکوپیریت (مس) است (شکل ۴ B, D). از مشخصات این مرحله حضور برش‌های هیدروترمالی است که با سیالات حاوی کانی‌های اکسیدی پر شده‌اند (شکل ۳ C). شدت نفوذ سیالات در داخل شکستگی‌ها و برش‌ها به‌حدی است که قطعات برش در آن عمدتاً بصورت زاویه‌دار می‌باشند (شکل ۳ C). بیشترین گسترش این نوع رگه و برش محدود به حواشی توده و نزدیک به آن می‌باشد (شکل ۱).

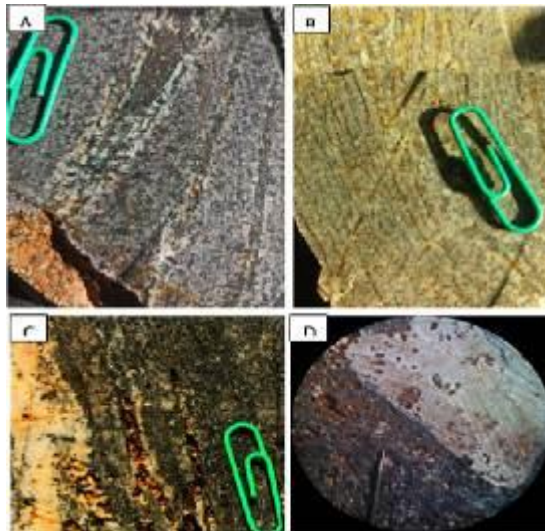


شکل ۳. نمائی از مرحله دوم کانه‌زایی حاوی رگه‌های سیلیسی مگنتیتی، ایلمنیتی قطع کننده مرحله اول. (A) نمائی از رگه-رگچه‌های اکسیدی موازی، متقاطع و قطع کننده به رنگ تیره مرحله دوم، که کوارتزهای سفیدرنگ را قطع نموده است. (B) ، رگچه‌های سیلیسی، مگنتیت، ایلمنیت تیره رنگ متقاطع که در داخل کوارتزهای سفیدرنگ باقیمانده و حفره دار مرحله اول نفوذ نموده است. (C) برش‌های هیدروترمالی پر شده توسط مگنتیت و ایلمنیت مرحله دوم کانی‌زایی همراه با قطعات برش زاویه‌دار از کوارتزهای سفیدرنگ باقیمانده و حفره دار مرحله اول.

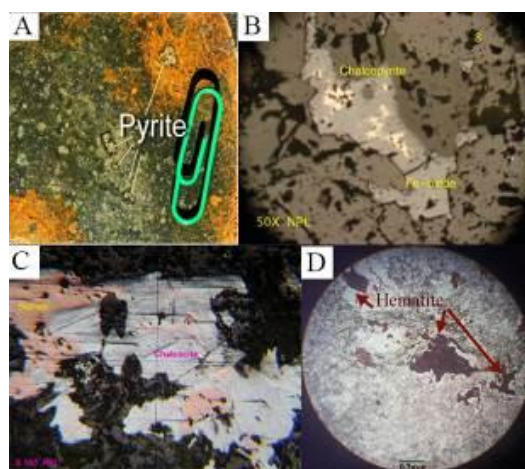


شکل ۴. نمائی میکروسکوپی از مرحله دوم کانه‌زایی (فاز اکسیدی) حاوی مگنتیت، هماتیت اولیه و بندرت کالکوپیریت (A) نمائی از مگنتیت واقع در رگه رگچه‌های فاز اکسیدی مرحله دوم. (B) نمائی دیگر از هماتیت، منیتیت و کالکوپیریت اولیه در این فاز از مرحله دوم کانه‌زایی. (C&D) نمائی دیگر از منیتیت‌های حاوی اذخال کالکوپیریت و هماتیت اولیه در این فاز از مرحله دوم کانه‌زایی.

مرحله سوم رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی، این مرحله با فراوانی کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت) مشخص می‌شود (اشکال ۵ و ۶) در این مرحله کانی‌های اکسیدی کم است. محتوای سولفید به ۵-۱۰ درصد میرسد مهمترین کانی سولفیدی در این فاز، پیریت است که عموماً بصورت خود شکل دانه درشت و بی شکل و گاهی بصورت رگه‌ای سولفیدی و دانه‌پراکنده در داخل رگه‌ها و پهنه‌های سیلیسی دیده می‌شود (شکل ۵). رگه‌های سیلیسی-سولفیدی مهمترین رگه‌های کانه‌زایی در کانسار زواریان هستند (شکل ۵ A, B). رنگ سیلیس همراه، تیره و سیاه به نظر می‌رسد، در حقیقت این مرحله بیانگر وجود یک سری از کوارتزهای سولفیددار همراه با کانه‌زایی می‌باشد (شکل ۵ C, D). این مرحله عموماً فضاهای خالی حاصل از مراحل قبلی یعنی حفرات و برشی شدن و ایجاد شکستگی در رگه‌های سیلیسی حاصل شده است، را پر می‌کند (شکل ۵ C, D). عمده قطعات برشها مربوط به سیلیسهای سفید رنگ حفره دار (سیلیس باقیمانده) است که در زمینه‌ای از سیلیس تیره رنگ حاوی اکسیدهای آهن واقع شده‌اند. قطعات برشها بصورت شناور در زمینه سیلیسی قرار گرفته‌اند و فضای خالی و حفرات در آن تشکیل نمی‌شود. این مرحله به واسطه وجود فضاهای خالی به واسطه برشی شدن نقش بسیار مهمی در کنترل کانه‌زایی داشته است و عمده کانه‌زایی طلا به این فاز تعلق می‌گیرد.



شکل ۵. نمائی از رگچه‌های سیلیسی سولفیدی مرحله سوم کانه‌زایی. (A&B) رگچه‌های سیلیسی موازی سولفیددار در سنگ میزبان. (C&D) فضاهای خالی (حفرات و شکافها) پرشده توسط رگه‌های کوارتزی سولفیددار تیره که داخل کوارتزهای سیلیسی باقیمانده سفیدرنگ تزریق شده‌اند که برخی آنها به اکسید تبدیل شده‌اند.



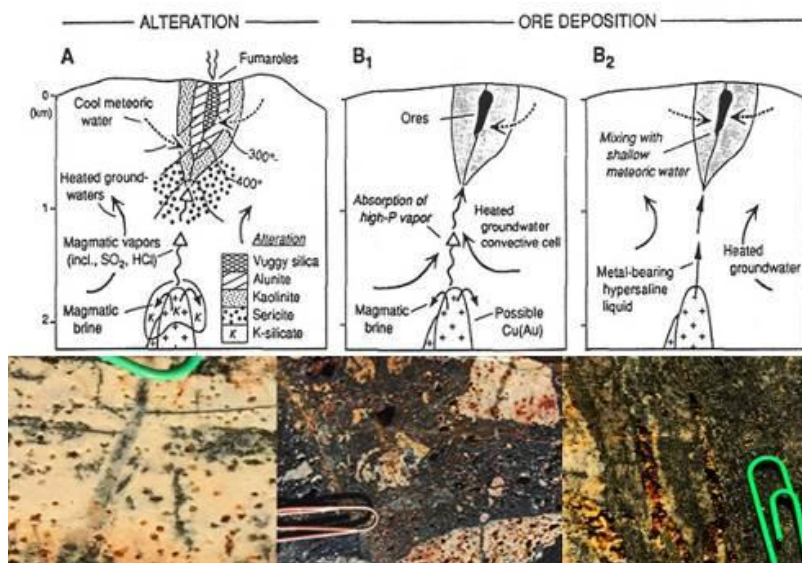
شکل ۶. نمائی از سولفیدهای مرحله سوم کانه‌زایی در داخل سیلیس تیره‌رنگ. (A) سولفیدهای پیریت در بخش‌های تیره که بعضاً به اکسید آهن (به رنگ زرد) تبدیل شده‌اند. (B) مقطع میکروسکوپی از کالکوپیریت فاز سوم کانه‌زایی که از حواشی دگرسان شده‌اند. (C) نمائی از کانی کالکوپیریت و

بورنیت و کالکوسیت اولیه بصورت هم رشد مربوط به فاز سولفیدی طلا دار مرحله سوم کانه زائی. (D) فرآیند سوپرژن و تبدیل سولفیدها به اکسیدهای آهن (هماتیت).

به گونه ای که نمونه دارای عیار ۷۰۰ PPb طلا به این فاز تعلق دارد. همچنین از نمونه گیری هایی که از این رگه و رگچه ها در مطالعات اکتشافی مقدماتی بدست آمده است. مقادیر خیره کننده ای از طلا در آنها یافت گردید. بطوریکه از شصت نمونه اخذ شده از منطقه تعداد بیست و سه نمونه دارای مقادیر بیش از یک گرم در تن طلا می باشند. همچنین پنج نمونه دارای ۴۵ و ۲۵ و ۱۸ و ۲۲ و ۸ گرم در تن طلا می باشند (گزارش سازمان پی جویی و پتانسیل یابی مواد معدنی به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ در محدوده زواریان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۹). آخرین مرحله کانه زایی (مرحله چهارم)، بعد از تشکیل ماده معدنی، فرآیند سوپرژن می باشد که مناطق سطحی کانسار را تحت تاثیر قرار داده و باعث اکسید شدن ماده معدنی و تشکیل کانی های اکسید و هیدروکسیدهای آهن از جمله گوتیت و هماتیت بصورت، پرکننده ی فضاهای خالی، جانشینی شده است. بنابراین مراحل کانه زایی اقتصادی طلا در کانسار زواریان بیشتر در ارتباط با مراحل ۲ و ۳ برشی شدن همراه با رگه های سیلیسی و کانی های سولفیدی می باشد که با توجه به نتایج آنالیز طلا با مرحله برشی شدن و سولفیدی همراه بوده است. نکته حائز اهمیت در این بخش جدا نمودن مرحله دوم و سوم در این فاز کانه زائی است که بنظر می رسد با توجه به تقدم و تاخر آنها فاز دوم نسبت به فاز سوم مدتی زودتر اتفاق افتاده است.

### نتیجه گیری

بر اساس مطالعات کانه نگاری صورت گرفته رخداد طلای کانه زایی اپی ترمال به لحاظ روند تکوین کانه زائی در ارتباط با برشی شدن و تهنشینی سولفیدهای مس، شبیه به کانسارهای با سولفیداسیون بالا در جایگاههای آتشفشانی است (شکل ۷). طلا در این کانه زائی با توجه به نمونه های سیستماتیک برداشت شده از رگه های سیلیسی و نیز مطالعات فرآوری صورت گرفته (Abdi Bastami, et al., 2015) به صورت آزاد شده از دانه های پیریت اکسیده، همچنین در داخل کوارتزها در برش های هیدروترمالی و محلول جامد در دیگر کانه های سولفیدی از قبیل سولفیدها رخ داده است.



شکل ۷- مدل ژنتیکی پیشنهادی در مورد ذخائر طلای اپی ترمال با سولفیداسیون بالا (برگرفته از هدنکوئیست و آریباس، ۲۰۰۰) و مقایسه آن با توالی کانه زائی در زواریان.

### تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند، از همکاری صمیمانه معاونت اکتشاف سازمان زمین‌شناسی تشکر و قدردانی نمایند.

### - منابع

پی‌جویی و پتانسیل‌یابی مواد معدنی به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ در محدوده زواریان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۹  
زحمتکش، الناز و حیدری، سیدمهران، ۱۳۹۹، زمین‌شناسی و کانه‌زائی طلا (مس) زواریان (قم- سلفچگان)، فصلنامه علوم زمین، سال سی‌ام، شماره ۱۱۷، صفحه ۳۹-۵۰.

Abdi Bastami, S., Rezaei, B., Pazooki, A. and Amini, A., 2015- Preliminary Cyanidation of Gold Ore from Zavvarian, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), (V. )4(, P. 191-194.

Craig, G.R., and Vaughan, D., 1994, Ore microscopy and ore petrography: Gohn wiley and sons ,434P.

Taylor, Roger G, 1939. Ore textures :recognition and interpretation. Geology Economic.

Hedenquist, J. W., Arribas, J. A. and Gonzalez-Urein, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits: Society of Economic Geologists, Review, v. 13, p. 245-277.

## بررسی ذخایر گچ در ایران

مهدی هاشمی

استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷ - ۱۹۳۹۵، تهران

Economic.geology@yahoo.com

### چکیده:

گچ نوعی کانی تبخیری به نام ژپس (سولفات کلسیم آبدار) است. ذخایر گچ ایران عمدتاً با پلایاها و دریاچه‌ها مرتبط هستند. سن ذخایر گچ ایران از پرکامبرین پسین تا کواترنری است، اما مهمترین ذخایر گچ ایران در ائوسن و الیگوسن تشکیل شده‌اند. گچ ایران جزو یکی از مرغوب‌ترین گچ‌های دنیا است. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ذخایر قطعی و احتمالی سنگ گچ ایران را بترتیب حدود ۹۰۰ میلیون تن و ۲ میلیارد تن برآورد کرده است. تاکنون بیش از ۴۵۰ کانسار گچ در کشور شناخته شده که درحال حاضر ۲۶۰ معدن فعال است. بیشترین معادن گچ ایران به ترتیب در استانهای سمنان، خراسان رضوی، فارس، آذربایجان شرقی، مرکزی، قم و بوشهر واقع شده‌اند. دشت کویر (کویر مرکزی) که در حاشیه استان های تهران، سمنان، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، اصفهان و فارس قرار دارد، بخش بسیار زیادی از ذخایر گچ ایران را در خود جای داده است. رتبه اول کشوری از نظر تولید گچ متعلق به استان سمنان است (دارای ۸۴ معدن فعال). حدود ۸۰ درصد گچ ایران در استان سمنان ذخیره شده و معادن گچ سمنان جزء غنی ترین و خالص ترین معادن گچ کشور محسوب می شوند. حدود ۹۵ درصد از معادن گچ استان سمنان در شهرستان سرخه واقع شده و روستای مؤمن‌آباد سرخه، پایتخت گچ ایران معرفی شده است. کلیدواژه: مومن‌آباد، گچ، پلایا، ائوسن، الیگوسن

## Investigation Gypsum Deposits in Iran

Mehdi Hashemi

### Abstract

Gypsum is a type of evaporite mineral called gypsum (hydrated calcium sulfate). Iranian gypsum deposits are mainly associated with playas and lakes. The age of Iranian gypsum deposits is from Late Precambrian to Quaternary, but the most important deposits of Iranian gypsum are formed in Eocene and Oligocene.

Iranian gypsum is one of the best quality gypsums in the world. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran has estimated the proven and probable reserves of Iranian gypsum at about 900 million tons and 2 billion tons, respectively.

So far, more than 450 gypsum deposits have been identified in the country, of which 260 are currently active. Most of Iran's gypsum mines are located in Semnan, Khorasan Razavi, Fars, East Azerbaijan, Markazi, Qom and Bushehr provinces, respectively. The Dasht-e Kavir, which is located on the outskirts of Tehran, Semnan, Razavi Khorasan, South Khorasan, Isfahan and Fars provinces, has a large part of Iran's gypsum deposits.

The first rank of the country in terms of gypsum production belongs to Semnan province (has 84 active mines). About 80% of Iranian gypsum is stored in Semnan province and Semnan gypsum mines are among the richest and purest gypsum mines in the country. About 95% of gypsum mines in Semnan province are located in Sorkheh city and the village of Mo'men Abad in Sorkheh, the gypsum capital of Iran, has been introduced.



#### مقدمه:

گچ، ژپس ( $CaSO_4$  و  $2H_2O$ ) یا سولفات کلسیم آبدار (هیدراته) طبیعی یا غیرطبیعی است که بطور فراوان در زمین یافت می شود و فقط در مناطق آتشفشانی مشاهده نمی گردد. ژپس در گروه کانیهای تبخیری قرار دارد. تبخیری ها عمدتاً رسوبات شیمیایی هستند که پس از تغلیظ نمکهای محلول در آب (در اثر تبخیر) رسوب کرده اند. سنگ گچ جز سنگ های رسوبی شیمیایی محسوب می شود و بصورت محلول در آب دریا وجود دارد. هنگامی که در نقاطی از دریا، آب تبخیر شود این ماده (سنگ رسوبی) دیگر نمی تواند بصورت محلول باشد، بناچار مقداری از آن نامحلول شده و رسوب می کند، سپس بر اثر فعالیت های شیمیایی، با گذشت سال ها این ذخایر نمکی با گیاهان پوسیده و سایر مواد معدنی ترکیب شده و سرانجام حاصل کار تشکیل سنگ های لایه لایه می باشد که بطور متناوب یک لایه آن سنگ گچ و لایه دیگر آن سنگ آهک است. این لایه سنگی که یک نوع ورقه شفاف است، بصورت معادن گچی در می آید که از نظر زمین شناسی ارزش فراوان دارد. ذخایر سنگ گچ بصورت لایه های تخت با ضخامتی در حدود ۱/۸ تا ۲/۴ متر روی هم قرار گرفته اند که اغلب در بین این لایه ها سنگ آهک یا سنگ رسی نیز قرار گرفته است.

#### بحث:

##### تاریخچه گچ در ایران

گچ در ایران از زمان های بسیار دور مورد مصرف قرار گرفته است زیرا گچ از جمله مصالحی است که در صنایع ساختمان سازی از اهمیت مخصوص برخوردار است و به علت ویژگی هایی که دارد، از زمان های قدیم در امر ساختن مسکن مورد مصرف قرار می گرفته است. رنگ سفید گچ، فراوانی معادن و در دسترس بودن آن در تمام مناطق کره زمین، روش های به نسبت آسان پخت و عمل آوری، عایق صوت بودن، دانه بندی ریز و... سبب شده تا این ماده از اعصار قدیم تاکنون جایگاه خود را در ساختمان حفظ کند. گچ از دوران پیش از اسلام (۲۵۰۰ سال پیش) یکی از مصالح ساختمانی سنتی ایران بوده است. یکی از کاربردهای ویژه گچ، اندود کردن دیوارها و آراستن سطوح داخلی ساختمان ها است و با استفاده از هنر گچبری به آن زیبایی می بخشند. هنر گچ بری یکی از پدیده های هنری در معماری بی همتای ایران است که در کاوش های باستان شناسی نمونه ها و نشانه هایی از رواج این هنر در روزگار قدیم به دست آمده است. از میان نمونه های به جا مانده می توان به گچبری، چفت گیری و ابزار زنی طاقچه بازمانده از کاخ بیشاپور در شهر کازرون نام برد. پس از ظهور اسلام نیز از هنر گچبری در بناها استفاده می شده است، ولی این هنر به دلیل حرمت پیکره سازی در قالب نقوش برجسته از گل و گیاه و نیز انواع طرح های اسلیمی و بندهای ختایی و خط های مختلف تجلی یافت. از نمونه های به جا می توان به مسجد فریومد در سبزوار اشاره کرد. کاربرد گچ در پوشش قوسی کانال ها در قسمتی از بناهای تخت جمشید از دوره هخامنشی به یادگار مانده است. در زمان اشکانیان استفاده زیادی از گچ در بناها شده است و گچ بری های بجا مانده از آن تاریخ گواه این موضوع می باشد. ملات گچ در دوره ساسانیان در اسکلت سازی بناها و همچنین جهت نماسازی کاربرد فراوان داشته است. هنر گچبری در انواع خط کوفی همراه نقوش اسلیمی خرطوم فیلی روند تحول این هنر در دوره سلجوقی بوده است. به طور کلی هنر گچبری در دوره سلجوقی مورد توجه در نماسازی داخلی بوده است. از میان آثار این دوره می توان به گچ بری های مسجد اردستان با خط کوفی مژهر و گنبد و مسجد علویان در همدان اشاره کرد. گچبری در دوره ایلخانی رونق یافت. به وجود آمدن محراب های گسترده با انواع خط کوفی و خط های سلطانی، دیوانی، رقعی و به کارگیری انواع گره هندسی با نقوش اسلیمی توماری و اسلیمی ماری در لابلای کتیبه و اسپرهای خط با گل و برگ های پهن گود و برجسته در آن به وجود آورده شد. از آثار این دوره به بقعه بایزید بسطامی در بسطام (نزدیک شاهرود) و مسجد الجایتو در اصفهان اشاره کرد. در بسیاری از ساختمان های قدیمی مخصوصاً در دوران صفویه که اغلب آن ها در اصفهان موجود می باشد، گچ نقش مؤثری داشته و گچ بری های بسیار زیبایی از آن دوران باقی مانده است.

بطور کلی آثار گچ بری را در دوره های مختلف ایران می توان مشاهده کرد. برای نمونه در دوره سلجوقی مسجد جامع ساوه و مسجد علویان در همدان، در دوره ایلخانی به بقعه بایزید بسطامی در بسطام، در دوره تیموری به بقعه شیخ احمد جامی در تربت جام، در دوره صفویه به کاخ عالی قاپو در اصفهان، در دوره زندیه به عمارت کلاه فرنگی در شیراز و در دوره قاجار به کاخ گلستان در تهران می توان اشاره نمود.

### چینه شناسی و تکتونیک ذخایر گچ در ایران

نقشه پراکندگی نهشته های تبخیری در ایران (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۹۲) در شکل ۱ مشاهده می شود.

رسوبات تبخیری در ایران بر اساس سن و جایگاه زمین شناسی به چهار گروه به شرح زیر طبقه بندی می شوند:

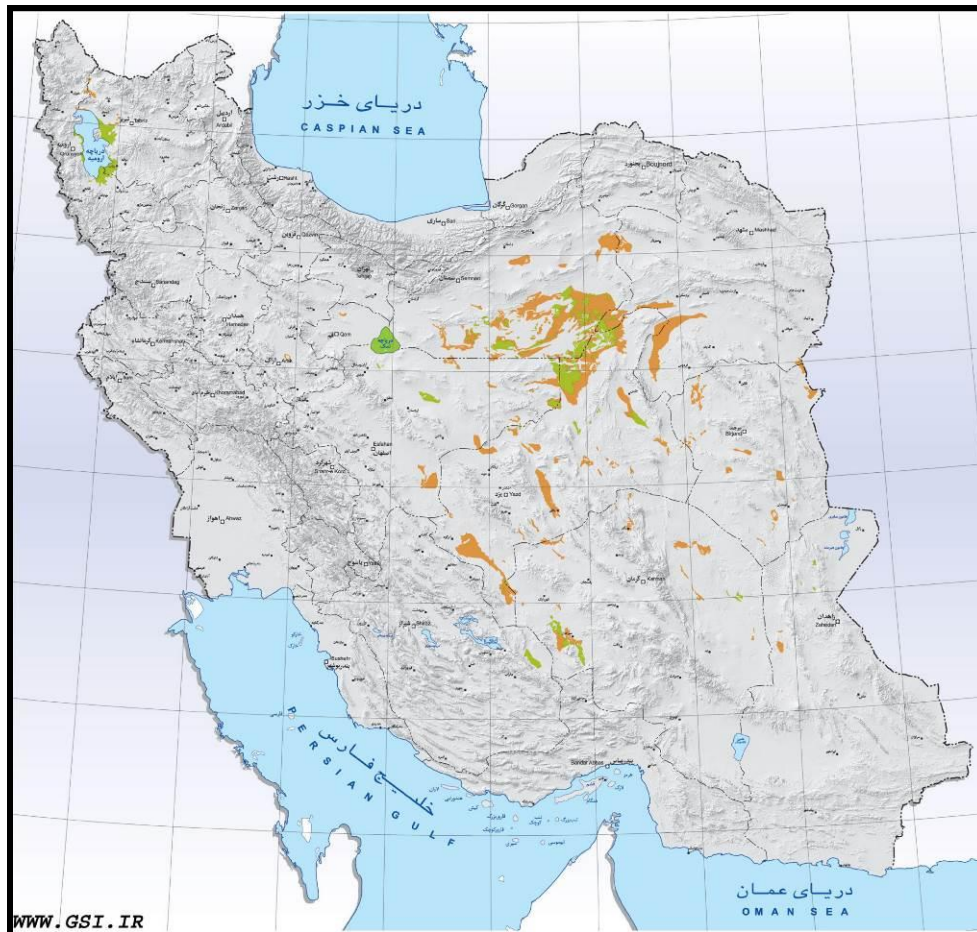
۱- تعداد زیادی حوضه رسوبی منفصل از هم در جنوب کمربند البرز به طول ۱۰۰۰ کیلومتر که از غرب دریای خزر تا جنوب مشهد پراکنده هستند و بعضی از آنها عبارتند از ناحیه زنجان- خوی، قم، گرمسار، دامغان، حوضه کویر بزرگ نمک، غرب و جنوب غرب مشهد.

ناحیه کلات اردکان ممکن است تنها براساس سن و استراتیگرافی در این گروه طبقه بندی شود.

۲- حوضه راور در ایران مرکزی که از غرب طیس به سمت جنوب- جنوب شرق تا کرمان حدود ۳۰۰ کیلومتر گسترش دارد.

۳- حوضه کویر بزرگ نمک و حوضه هایی از قبیل قم که نمک در دریاچه ها یا پهنه های نمکی که پلایا نامیده می شود، در حال رسوبگذاری است.

۴- نمک های هرمز شامل تعداد بسیار زیادی گنبد نمکی در زاگرس و در خلیج فارس.



شکل ۱: نقشه پراکندگی نهشته های تبخیری در ایران (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۹۲).

ذخایر گچ بر اساس محیط و ساختار زمین شناسی به چهار گروه زیر تقسیم می شوند:

- ۱) ذخایر مرتبط با پلایاها و مناطق بیابانی
  - ۲) ذخایر رسوبی مرتبط با حوضه های رسوبی - تبخیری: شامل ذخایر دریاچه ای و دریایی
  - ۳) ذخایر همراه با گنبد های نمکی
  - ۴) ذخایر مرتبط با فعالیتهای آتشفشانی
- ذخایر گچ ایران عمدتاً با پلایا و مناطق بیابانی و دریاچه ها مرتبط هستند. پلایاها دریاچه های نمک خشک و فصلی هستند که در فصلهای مرطوب پر آب می شوند ولی در فصل خشک آب خود را از دست می دهند. در ایران بیش از ۶۰ پلایا وجود دارد که برای مثال می توان از پلایای طرود، جازموریان، ساغند، راین، سیرجان، شهربابک، بجستان، میقان، حوض سلطان، سهل آباد، خور، گاوخونی، کویر بزرگ، ابرکوه، مهرگان (بندر لنگه) و قم نام برد. بیابانهای اصلی و بزرگ ایران شامل کویر لوت (دشت لوت) و دشت کویر (کویر مرکزی) هستند. مهمترین دریاچه های ایران نیز شامل دریاچه ارومیه، دریاچه نمک (دریاچه حوض سلطان)، دریاچه بختگان دریاچه هامون، دریاچه هامون جازموریان، دریاچه مهارلو و دریاچه پریشان (فامور) هستند.
- در شکل ۲ موقعیت کویرها و دریاچه های اصلی ایران (بجز دریاچه ارومیه) در بخشی از نقشه ژئومورفولوژی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ ایران (محمودی و همکاران، ۱۳۹۰) مشخص شده اند.

شرایط زمین شناسی و گستردگی رسوبات دریایی و دریاچه ای به ویژه حوضه های رسوبی مناسب، نشانگر پتانسیل مهم ذخایر گچ در ایران است. دامنه سنی ذخایر گچ ایران از پرکامبرین پسین تا کواترنری است، اما مهمترین دوره های زمانی تشکیل ذخایر گچ ایران شامل ائوسن و الیگوسن (دوران سوم زمین شناسی) است. موقعیت چینه شناسی ذخایر گچ دار ایران در جدول ۱ ارایه شده است.

بررسی اجمالی نشانگر آن است که انباشتگیهای گچی رابطه نزدیک با حرکات تکتونیکی دارند. پس از حرکات کوهزایی آسنیتیک شرایط سکویی (پلاتفرمی) در سرتاسر ایران حکمفرما بوده است. این شرایط تقریباً از پرکامبرین پسین تا اواسط تریاس تداوم داشته است. هم زمان با حرکات زمین ساختی شناخته شده در دنیا، از عمق آب سکو کاسته و در مواردی از آب خارج شده که در نتیجه آن حوضه های تبخیری و رسوبات مربوط تشکیل شده است. ذخایر گچ پرکامبرین پسین، کامبرین، دونین، کربنیفر، پرمین و تریاس ایران مربوط به تشکیل این حوضه های تبخیری بوده است. در نتیجه حرکات سیمیرین جوان، رسوبات دلتایی و به طور محلی رسوبات گچی در ژوراسیک زیرین تشکیل شده است. در ژوراسیک میانی و فوقانی، دریا عمق بیشتری داشته، ولی در اواخر ژوراسیک پس از حرکات کوهزایی سیمیرین پسین از عمق دریا کاسته شده و نهشته های گچی ضخیم در قسمت وسیعی از رسوبات ژوراسیک فوقانی ایران تشکیل شده است. این شرایط تا اوایل کرتاسه زیرین ادامه داشته و افقهای گچدار در رسوبات اوایل کرتاسه زیرین ایران مربوط به این دوره است. در ترشیری، دریای کم عمق و در حال نشست، قسمت اعظم ایران را پوشانده و شرایط مناسبی برای تشکیل رسوبات گچی فراهم کرده که گچهای تشکیل شده در زمانهای ائوسن، الیگوسن و میوسن از آن جمله است.

### ذخایر گچ در ایران

بر اساس مطالعات زمین شناسی و رسمی صورت گرفته در ایران، ایران بخش بسیار قابل توجهی از ذخایر سنگ گچ خام جهان را در دل خود جای داده است. ایران از لحاظ ذخیره معدنی گچ پس از چین با تولید ۱۳ میلیون تن، رتبه دوم تولید گچ در جهان را دارا است ولی به خاطر متنوع نبودن محصولات این ماده معدنی، صادرات گچ ایران کمتر از ۲ درصد است. براساس محاسبات صورت گرفته از سوی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران ۲ میلیارد تن ذخیره سنگ گچ دارد.



شکل ۲: بخشی از نقشه ژئومورفولوژی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ ایران (محمودی و همکاران، ۱۳۹۰) که در آن موقعیت کویرها و دریاچه های اصلی ایران (بجز دریاچه ارومیه) مشخص شده است.

ذخایر قطعی سنگ گچ شناسایی شده در ایران بیش از ۹۰۰ میلیون تن برآورد شده است. ایران به عنوان دومین تولیدکننده گچ، بیش از ۶۰ درصد از تولید خود را در گچ ساختمانی و بعد از آن در تولید سیمان پورتلند استفاده می کند.

گچ ایران جزو یکی از مرغوبترین گچهای دنیا است. ایران دارای غنیترین معادن گچ جهان است که از نظر کیفی کم نظیر است اما مهم بحث فرآوری گچ است. ذخایر سنگ گچ ایران دارای کیفیت های مختلف با درصد خلوص مختلف و با شرایط گوناگون زمین شناسی بوده و کم و بیش در سراسر کشور یافت می شود.

بیشترین معادن گچ ایران به ترتیب در استانهای سمنان، خراسان رضوی، فارس، آذربایجان شرقی، مرکزی، قم و بوشهر واقع شده اند. ذخایر گچ مخصوصاً در کویر مرکزی از جمله سمنان و اطراف تهران، جاجرود، آذربایجان، هرمزگان (بندر خمیر)، اطراف مشهد و ... یافت می شود.

دشت کویر (کویر مرکزی)، یعنی جایی که شهرستان های استان های تهران، سمنان، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، اصفهان

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۱: موقعیت چینه شناسی ذخایر گچ دار ایران.

محل	لیتولوژی	نام سازند	زمان زمین شناسی
شمال کرمان	دولومیت، گچ، ماسه سنگ، شیل و سنگهای آتشفشانی	سری ریزو	پرکامبرین پسین
شمال کرمان	گچ، دولومیت، ماسه سنگ و شیل	سری دزو	
کوههای زاگرس	نمک، گچ و دولومیت	سازند هرمز	
شمال کرمان تا شمال راور	اسلیت، گچ، دولومیت و سنگهای آتشفشانی	سازند راور	
ناحیه شیرگشت	دولومیت، آهک، شیل، گچ و سنگهای آتشفشانی	کالشانه	کامبرین
نواحی شیرگشت، جام، شمال اسفراین و غرب راور	ماسه سنگ، شیل، کوارتزیت و گچ	سازند پادها	دوینین
غرب طبس	گچ و دولومیت	سازند گچال	کربونیفر
شرق مهاباد (گوجر)	گچ	نامگذاری نشده	پرمین
کوههای زاگرس	آهک، دولومیت و گچ	سازند خواف	
شمال مهاباد - شمال راور	دولومیت و گچ	سازند شتری	تریاس میانی
کوههای زاگرس	دولومیت، شیل و گچ	سازند خانه کت	
شمال شرق ایران (کپه داغ)	کنگلومر، ماسه سنگ، شیل و گچ	سازند پستلیق	
کوههای زاگرس	انیدریت و ژپس	واحد انیدریت حیث	ژوراسیک فوقانی
کوههای زاگرس	انیدریت، دولومیت و شیل	سازند عدایه	
کوههای زاگرس	انیدریت و آهک	سازند علن	
کوههای البرز	گچ و ملافیر	ژپس و ملافیر	
بین طبس و کرمان	آهک و گچ	آهکهای پکتن دار	
غرب و جنوب غرب طبس	گچ و آهک	گچهای مگو	
شمال کرمان	ماسه سنگ، شیل و گچ	سازند بیدو	
شمال و جنوب راور	گچ، نمک، ماسه سنگ و آهک	گنبدهای نمکی - گچی	
قم، ساوه، سمنان، زنجان و نواحی ایران مرکزی و آذربایجان	شیل، مارن، ماسه سنگ و گچ	سازند قرمز زیرین	الیگوسن
کوههای زاگرس	گچ	عضو کلهر از سازند آسماری	

ادامه جدول ۱: موقعیت چینه شناسی ذخایر گچ دار ایران.

محل	لیتولوژی	نام سازند	زمان زمین شناسی
قم و کاشان	آهک، مارن و گچ	سازند قم	میوسن
قم و کاشان	مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا و گچ	سازند قرمز فوقانی	
کوههای زاگرس	گچ، انیدریت، مارن، آهک و شیل	سازند گچساران	
بسیاری از نواحی ایران مرکزی و آذربایجان	مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا و گچ	سازند قرمز بالایی	
در نواحی کویری و دریاچه های فصلی	رس، گچ و سیلت (گچ خاکی)	نامگذاری نشده	کواترنری

و فارس واقع گردیده اند، بخش بسیار زیادی از ذخایر گچ ایران را در خود جای داده اند.

تاکنون بیش از ۴۵۰ کانسار گچ، انیدریت و گچ خاکی در کشور شناخته شده است. طبق آخرین آمارها ۲۶۰ معدن گچ در کشور فعال است که سالیانه در حدود ۱۷-۱۶ میلیون تن استخراج دارند. از ۲۶۰ معدن، تعداد ۸۴ مورد متعلق به استان سمنان است. رتبه اول کشوری از نظر تولید گچ متعلق به استان سمنان است. صنعت گچ در این خطه صنعتی غالب است و ارزش ریالی، حجم ذخایر، اشتغال پایدار و انرژی مصرفی در تولید، گچ را تبدیل به ماده معدنی ارزشمندی در استان سمنان کرده است. استان سمنان دارای ظرفیت های معدنی فلزی و غیرفلزی بی شماری است که معادن گچ از لحاظ وزنی ظرفیت غالب محسوب می شود. ۲۳ درصد گچ جهان و حدود ۸۰ درصد گچ ایران در استان سمنان ذخیره شده است ولی فقط ۴۰ درصد گچ کشور در این استان تولید می شود. معادن گچ سمنان جزء غنی ترین و خالص ترین معادن گچ کشور محسوب می شوند. سالانه حدود ۱۰ میلیون تن سنگ گچ از این تعداد معادن استخراج می شود. تمرکز اکثر کارخانه های گچ این استان در محور سمنان به فیروزکوه قرار دارد. حدود ۹۵ درصد از معادن گچ استان سمنان در شهرستان سرخه واقع شده است. روستای مؤمن آباد سرخه، پایتخت گچ ایران معرفی شده است.

مهمترین معادن گچ خالص ایران شامل موارد زیر هستند:

میانه (آذربایجان شرقی)، قره کوره و کلو، گروس و صوفیان، ناحیه هشتگرد، قهرمانلو، دواوغلی ماکو (آذربایجان غربی)، چاله قراباغک کاشان، گچ خاکی یک لنگی، علی آبادچی (اصفهان)، ملکشاهی، ماربره، نقاره کوب و انری، راهدار و برزجان، اهرم، خورموج، رسنان و آهار، ساران، زیارت، سردره ایوانکی، چلقز و توچال، گوجان، فردوس، کلاته سازنده، بجستان، سلطان آباد، رامهرمز، منصوریه بهبهان، هفت گل، بیدروبه، قمچه قای، نجف آباد آبگرم، معادن گچ سمنان (ابتدای جاده فیروزکوه)، معادن گچ عبدل آباد (تهران، کیلومتر ۱۵۵ جاده خراسان)، سنگسر (کیلومتر ۱۵ شمال سمنان)، کزند گرمسار، معادن گچ ناحیه کازرون، لارستان، معادن گچ استهبان و فسا، معادن گچ شیراز، خانه نهرجرم، قره آغاج، خوش مقام، بردسیر، امیر آباد ماهان، زیدآباد سیرجان، شمیمس عرب دوگنبدان، معادن گچ گچساران، بلوط بنگان، معادن گچ پل دختر (استان لرستان)، شوراب، تدرستاق آمل (استان مازندران)، رامیان، خیر آباد و گردنه لر، بندرخمیر - چاه دراز، نیز اردلیجان، دوچاه قم، بالقو، ویسمان غام آباد یزد، لنگه، بستک، عصرآباد یزد

اگر چه در بیشتر کشورهای دنیا معادن سنگ گچ به صورت زیرزمینی هستند ولی در ایران تمام معادن سنگ گچ به شکل سطحی و با روش های استخراج روباز استخراج می شوند. معادن سنگ گچ ایران در سطح زمین قرار دارند و به علت وجود این معادن سنگ گچ خام در لایه های بیرونی زمین، هزینه های استخراج در آن ها بسیار ناچیز است. این خود نکته بسیار پر

اهمیتی است که هزینه های تولید گچ در ایران را نسبت به سایر نقاط دنیا بسیار کمتر می کند و همچنین قیمت تحویل سنگ گچ ایران در بنادر خلیج فارس بسیار کم خواهد بود. بطوریکه برای این محصول مشتری بالقوه زیادی در کشورهای هند، چین، پاکستان و آسیای مرکزی موجود است.

هم اکنون صفر تا ۱۰۰ کارخانه های گچ در داخل تولید می شود و ۱۲ تا ۱۳ نوع گچ بوسیله کارخانجات در ایران تولید می شود.

#### نتیجه گیری:

گچ نوعی کانی تبخیری به نام ژپس (سولفات کلسیم آبدار) است. ذخایر گچ ایران عمدتاً با پلایاها و دریاچه ها مرتبط هستند. سن ذخایر گچ ایران از پرکامبرین پسین تا کواترنری است، اما مهمترین ذخایر گچ ایران در ائوسن و الیگوسن تشکیل شده اند. گچ ایران جزو یکی از مرغوب ترین گچ های دنیا است. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ذخایر قطعی و احتمالی سنگ گچ ایران را بترتیب حدود ۹۰۰ میلیون تن و ۲ میلیارد تن برآورد کرده است.

تاکنون بیش از ۴۵۰ کانسار گچ در کشور شناخته شده که درحال حاضر ۲۶۰ معدن فعال است. بیشترین معادن گچ ایران به ترتیب در استانهای سمنان، خراسان رضوی، فارس، آذربایجان شرقی، مرکزی، قم و بوشهر واقع شده اند. دشت کویر (کویر مرکزی) که در حاشیه استان های تهران، سمنان، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، اصفهان و فارس قرار دارد، بخش بسیار زیادی از ذخایر گچ ایران را در خود جای داده است.

رتبه اول کشوری از نظر تولید گچ متعلق به استان سمنان است (دارای ۸۴ معدن فعال). حدود ۸۰ درصد گچ ایران در استان سمنان ذخیره شده و معادن گچ سمنان جزء غنی ترین و خالص ترین معادن گچ کشور محسوب می شوند. حدود ۹۵ درصد از معادن گچ استان سمنان در شهرستان سرخه واقع شده و روستای مؤمن آباد سرخه، پایتخت گچ ایران معرفی شده است.

#### منابع:

- آقانباتی، س. ع، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- امیری بختیار، ح، باوی عویدی، ع، ۱۳۸۹. زمین شناسی تبخیری های ایران، انتشارات ترآوا.
- انصاری، ا، رشوند، ا، ۱۳۹۱. تاریخ هنر گچ بری و روشهای گچ کاری در ایران زمین، انتشارات راه نوین.
- خلیلی نژاد، س. م، ۱۳۹۲. تاریخچه سنگ گچ، انتشارات ماهواره.
- سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۹۲. نقشه پراکندگی نهشته های تبخیری در ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شاه حسینی، ع، ۱۳۹۴. مومن آباد پایتخت گچ ایران، انتشارات حبله رود.
- شیرازی، ع، شیرازی، ع، کلانکی، ح، ۱۳۹۸. گچ، طلای سفید (از طبیعت تا صنعت)، انتشارات صفر تا صد.
- فیاضی، ف. ا، پروین، ح، ۱۳۸۲. رسوب شناسی تبخیریها، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- محمودی، ف. ا، جداری عیوضی، ج، جعفر بیگلو، م، یمانی، م، مقصودی، م، ۱۳۹۰. نقشه ژئومورفولوژی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ ایران، انتشارات دانشگاه تهران.
- مطیعی فرد، م، فتوحی، پ، ۱۳۹۱. گچ بری: احیای هنرهای از یاد رفته، انتشارات نقش مانا.
- موحدی، م، چیتگری، ا، ۱۳۹۲. اکتشاف و کاربرد سنگ گچ، انتشارات راز نهان.

## جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از مدلسازی مولتی فرکتالی در کانسار چندفلزی کارونگاه، کوهبنان، کرمان

لی لی دانشور صائین

استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

Daneshvar.saein@gmail.com

### چکیده:

جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه برای عناصر گوناگون از مهمترین بخش‌های یک مطالعه اکتشافی است. امروزه روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال باتوجه به امتیازاتی همچون توجه به توزیع سطحی و فضایی داده‌ها و نیز شکل هندسی آنومالی‌ها کاربرد زیادی در این امر یافته‌اند. رایجترین روش در این میان روش عیار-مساحت است که مبتنی بر تغییرات مساحت دربرگیرنده عیارهای گوناگون است. یکی از مهمترین مزیت‌های این روش مشخص نمودن رفتار چندفرکتالی یا مولتی فرکتالی توزیع داده‌های ژئوشیمیایی در یک منطقه است. این رفتارها می‌تواند مشخص کننده مراحل غنی‌شدگی و نیز کانی‌سازی عناصر گوناگون در منطقه باشد که به تعیین این رفتار در عناصر مدلسازی مولتی فرکتالی گویند. در پژوهش حاضر هدف اصلی جداکردن مناطق آنومال عناصر سرب، روی، مس و باریم در محدوده کانسار چندفلزی کارونگاه واقع در استان کرمان است. دلیل توجه به این محدوده شواهد زمین‌شناسی موجود در آن و همچنین نزدیکی به یک معدن متروکه سرب است. تعداد ۶۷ نمونه لیتوژئوشیمیایی از محدوده برداشت و مورد آنالیزشیمیایی قرار گرفت. براساس نتایج حاصل برای عناصر مذکور در منطقه شبکه‌بندی و تخمین عیار صورت پذیرفت. سپس با ترسیم منحنی لگاریتمی عیار-مساحت جوامع زمینه و آنومالی‌ها برای عناصر موردنظر در منطقه مورد مطالعه از یکدیگر جدا و با استفاده از نتایج حاصل از مدل‌سازی مولتی فرکتالی نقشه‌های توزیع این عناصر در این محدوده ترسیم و جوامع آنومالی به تفکیک مشخص شدند. درنهایت با تلفیق نقشه‌های حاصله با داده‌های زمین‌شناسی و نیز گسل‌ها صحت نتایج بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت. مهمترین محدوده آنومالی برای این چهار عنصر در بخش مرکزی محدوده قرار دارد و یک محدوده با اولویت پایینتر در غرب محدوده برای این عناصر مشاهده می‌شود.

کلید واژه‌ها: سرب، روی، مس، مدلسازی مولتی فرکتالی، روش فرکتالی عیار-مساحت

## Geochemical anomalies separation from background by using of multifractal modeling in Karungah poly metallic deposit, Kuhbanan, Kerman

Lili Daneshvar Saein

Department of Geology, Payame Noor University, PO Box 19395-3697, Tehran, Iran

Daneshvar.saein@gmail.com

### Abstract:

Geochemical anomalies separation from background is an important stage in mineral exploration. Nowadays, methods basis fractal geometry are very applicable according to their advantages such attention to as surface and spatial data distributions and anomalies geometric shapes. Concentration-area (C-A) method is very applicable and one of its important advantages is multifractal nature of elements distribution in any region. These natures could help for determination of elements enrichments stages. It is multifractal modeling. Main goal of this study is Pb, Zn, Ba and Cu anomalies separations from background in poly metallic Karungah deposit in Kerman province. There is an old



lead mine. First, 67 litho-geochemical samples were collected and analyzed. Next, the area is gridded and evaluated grades. Then, C-A log-log plots for these elements were drawn and anomalies separated from background. Based on multifractal modeling results, elements distribution maps drew and anomalous populations were separated by high accuracy. Multifractal natures of these elements show that there are 2 or higher enrichment stages for the elements. Finally, these maps composed by geology data and faults that it shows high level of accuracy multifractal modeling. Best anomalous area situated in centre of deposit and low intensive anomaly situated in western part of this deposit.

Key Words: *Pb, Zn, Cu, Multifractal modeling, Concentration-area fractal model*

مقدمه:

امروزه اکتشافات ژئوشیمیایی نقش مهمی را در یافتن مناطق امیدبخش جهت اکتشاف‌های تفصیلی تر ایفا می‌کند. شاید بتوان گفت که مهمترین نتایج حاصل از تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی جدایش جوامع گوناگون آنومالی (ممکن، احتمالی و قطعی) از یکدیگر و نیز تعیین زمینه برای هر عنصر در منطقه مورد اکتشاف می‌باشد. عبارتی در صورت عدم تعیین درست زمینه هر عنصر در هر منطقه میزان آنومالی‌ها در آن منطقه دچار نوسان شده و سبب اشتباهاتی اساسی در برآورد محدوده‌های امیدبخش برای ادامه عملیات اکتشافی می‌شود (Moon, Whately, Evans, 2006). نتایج حاصل از روش‌های سنتی مبتنی بر آمار کلاسیک تا مدتی مدید به‌عنوان تنها روش‌های تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند که دارای نقص‌هایی چون شرط تبعیت از توزیع نرمال، حذف تعدادی از داده‌ها به‌عنوان خارج از ردیف، عدم توجه به توزیع فضایی داده‌ها و نیز عدم توجه به شکل هندسی آنومالی‌ها می‌باشد (Davis, 2002). این مساله سبب شده که روش‌های دیگری برای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی بخصوص برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی به‌کار گرفته شوند. یکی از مهمترین این روش‌ها روش‌های فرکتالی هستند که مورد بحث قرار خواهند گرفت.

در پژوهش حاضر ۶۷ نمونه لیتوژئوشیمیایی برداشت و به آزمایشگاه ALS در کانادا ارسال و به روش ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفت. سپس با استفاده از روش عیار-مساحت جوامع زمینه و آنومالی‌های عناصر سرب، روی، مس و باریم از یکدیگر جدا و نقشه آنها به تفکیک ترسیم گردید. در نهایت نیز با تلفیق لایه‌های زمین شناسی، ساختاری و ژئوشیمیایی آنومالی‌های محدوده مشخص گردید.

بحث:

#### - موقعیت جغرافیایی و کلی کانسار مورد مطالعه

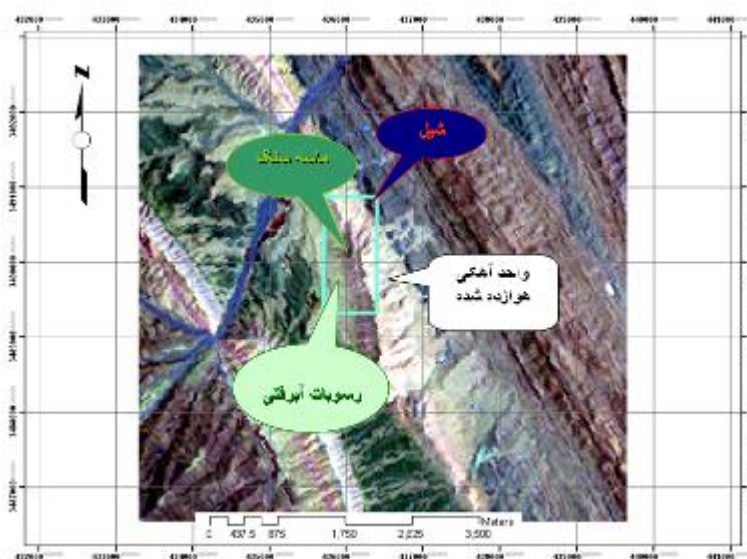
کانسار کارونگاه در شمال غربی استان کرمان و ناحیه معدنی سرب و روی راور-کوهبنان-بهباد، در نزدیکی شهرستان کوهبنان واقع شده است. در نزدیکی این کانسار یک معدن متروکه سرب و روی به همین نام وجود دارد.

#### - زمین‌شناسی کلی کانسار مورد مطالعه

مطالعات نشانگر آنست که این کانسار جزء کانسارهای با سنگ میزبان دولومیتی- آهکی به سن پالئوزوئیک بالایی-تریاس می‌باشد و کانی‌سازی عموماً در امتداد شکستگی‌ها و در حفره‌های کارستی انجام شده است. منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی زونهای تکتونیکی - رسوبی ایران در محدوده زون ساختاری ایران مرکزی و در نقشه زیرپهنه‌های ایران مرکزی در حدفاصل بلوک پشت‌بادام و بلوک طبرس واقع شده است (Alavi, 1991). بیشترین حجم واحدهای سنگی بروزده در این ناحیه را نهشته‌های مزوزوئیک تشکیل می‌دهد. این نهشته‌ها از دیدگاه معدنی، چه در تشکیل کانسارهای فلزی نظیر سرب و روی و چه به لحاظ کانسارهای غیر فلزی نظیر ذغالسنگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در این ناحیه بلوک‌های ساختاری پشت‌بادام و

طبس به عنوان مهمترین پهنه‌های ساختاری قابل تشخیص هستند. در واقع این ناحیه در حد جنوب غربی بلوک طبس و بلوک پشت‌بادام قرار داشته و مرز جداکننده آنها گسل کوهبنان است. محدوده مورد مطالعه محصور بین دو گسل کوهبنان و بهاباد است که هر دو گسل تأثیرات بسیاری بر روی منطقه گذاشته اند. گسل کوهبنان در جنوب محدوده واقع شده و گسل بهاباد از شمال محدوده عبور می‌کند. جهت گسل‌ها، شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد و امتداد لایه‌بندی و درزه‌ها از راستای گسل‌ها تبعیت می‌کند. توده‌های گابرویی، دیوریت تا کوارتز دیوریت، سینیت، لوکوگرانیت، گرانیت تا گرانودیوریت و دایکها و سیل‌های دیابازی تا دیوریتی در این ناحیه وجود دارند. کهن‌ترین واحدهای لیتولوژی موجود در منطقه شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ به سن کامبرین پایینی می‌باشد که متعلق به سازند داهو است. واحدهای جوانتر ماسه‌سنگ میکادار، ماسه‌سنگ کوارتزی، مقدار کمی آهک نازک لایه، شیل‌های تیره به عدسی و لایه‌های محلی زغال به سن ژوراسیک زیرین می‌باشد و متعلق به سازند شمشک است. کانه‌های اصلی این تیپ کانسارها معمولاً شامل اسفالریت (سولفید روی)، گالن (سولفید سرب)، پیریت (سولفید آهن) به همراه کانی‌های باطله‌ای همچون کلسیت، باریت، دولومیت، سیدریت و کوارتز می‌باشد.

در بیشتر کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته در ناحیه راور-کوهبنان-بهاباد از جمله کانسار کارونگه، قرارگیری کانسار در شرایط اکسیدان سطحی و واکنش با آبهای جوی از یکسو و واکنش پذیر بودن سنگ میزبان کربناته از سوی دیگر باعث تغییرات زیادی در ترکیب کانی‌شناسی کانسنگ گردیده و در نتیجه در اغلب این کانسارها اثری از کانه‌های اولیه اسفالریت، گالن و پیریت دیده نمی‌شود و تنها کانی‌های غیرسولفیدی روی و سرب (شامل سیلیکات، کربنات و اکسیدهای سرب و روی) حضور دارند. البته در صورت وجود ذخیره معدنی در زیر سطح ایستایی (شرایط احیایی) احتمال حضور سولفیدهای اولیه دور از تصور نمی‌باشد. گواه بر این مدعی حضور سولفیدهای اولیه در زیر سطح ایستایی در معادنی همچون طرز و تاجکوه است. افق اصلی کانی‌سازی در این کانسار تشکیلات حاوی واحدهای سنگی کربناته به خصوص سنگ آهک با روند شمال-شمال غربی-جنوب جنوب شرقی می‌باشد. مطالعات نشانگر این است که تیپ این کانسار شبیه کانسارهای سرب و روی تیپ MVT می‌باشد. نوع و محل قرارگیری واحدهای سنگی در محدوده کانسار در شکل شماره ۱ که با کمک تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده، نشان داده شده است.



شکل ۱- تفکیک واحدهای سنگی در محدوده کانسار کارونگه بر روی تصویر ماهواره‌ای

### - روش عیار-مساحت

روش عیار-مساحت مبتنی بر میزان مساحتی است که هر عیار خاص در منطقه مورد مطالعه اشغال نموده است. هر چه عیار عنصر افزایش یابد میزان مساحت اشغالی توسط آن کاهش می‌یابد. با ترسیم تغییرات مساحت در برابر عیار در نموداری لگاریتمی می‌توان بعد هر جامعه را از طریق شیب خط برازش شده به آن حساب نمود. نقاط شکست (تغییر شیب خط برازش شده) در این نمودار بیانگر تغییر جامعه‌ای به جامعه دیگر است، به گونه‌ای که علاوه بر جدا کردن زمینه می‌توان آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی یک عنصر و حتی در برخی موارد کانی‌زایی‌های اصلی و فرعی مربوط به آن عنصر را از یکدیگر جدانمود (Li, Ma and Shi, 2003). بعبارتی تغییر از جامعه‌ای به جامعه‌ای دیگر نشانگر تغییر شرایط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی می‌باشد. این توانایی منحصر به فرد به خاطر ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت است. این مساله سبب می‌شود که نیازی به حذف مقادیر خارج از ردیف نباشد زیرا به دلیل ماهیت فرکتالی داده‌ها به طور خودکار این داده‌ها به کنار گذاشته می‌شوند (Cheng and Agterberg, 1996; Turcotte, 1997; Goncalves, 2001). نظریه مدلسازی چندفرکتالی یا مولتی فرکتالی ناشی از طبیعت توزیع فرکتالی عناصر و نیز نوع ارتباط عیار با مساحت دربرگیرنده آن به صورت یک تابع توانی است یعنی اینکه در نمودار لگاریتمی عیار-مساحت حالتی پلکانی دیده می‌شود (Agterberg et al., 1996; Goncalves, 2001). این حالت پلکانی که تعداد تکرار نمودار در اندازه‌های مختلف را نشان می‌دهد می‌تواند نمایانگر تعداد مرحله‌های غنی‌شدگی عناصر و به تبع آن تعداد مراحل کانی‌زایی و نیز پراکندگی‌های ثانویه را در منطقه مورد مطالعه نشان دهد (Cheng and Agterberg, 1996; Turcotte, 1997; Goncalves, 2001). بی‌تردید با مدلسازی مولتی فرکتالی و نیز تلفیق نتایج آن با داده‌های زمین‌شناسی می‌توان به تفسیری ایده‌آل از کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه پرداخت.

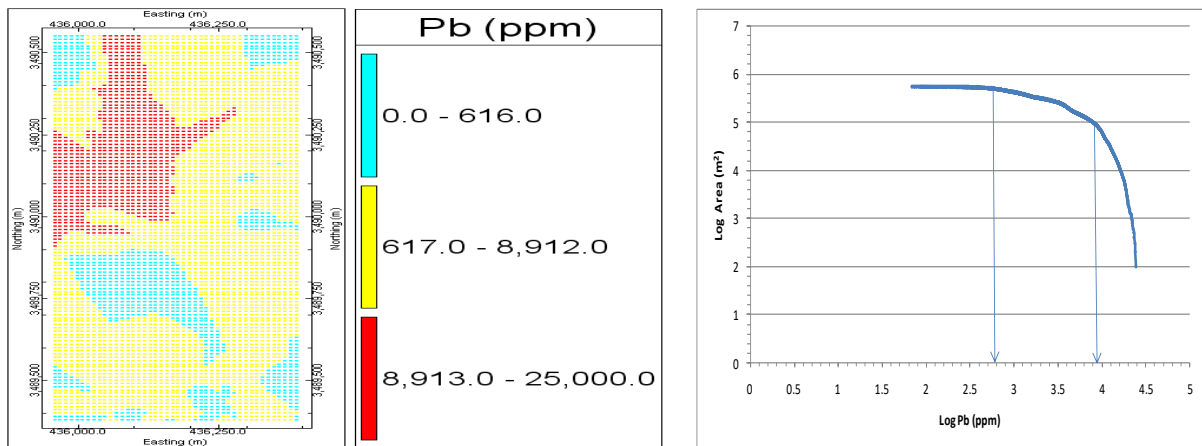
### جداسازی جوامع ژئوشیمیایی در عناصر ذکر شده با استفاده از روش فرکتالی عیار-مساحت

نخستین کاری که در این مرحله صورت پذیرفت، شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه بود که بر اساس آن، محدوده اکتشافی به ۵۴۷۴ سلول با ابعاد ۱۰×۱۰ متر بخش‌بندی شد. سپس با روش مجذورعکس فاصله (IDS) دوبعدی میزان عیار برای هر یک از عناصر سرب، مس و روی در هر سلول با استفاده از نرم‌افزار RockWorks 2006 مورد تخمین قرار گرفت. با توجه به اینکه مساحت هر سلول معلوم و برابر ۲۵۰۰ مترمربع و نیز مقدار عیار هر عنصر برای هر سلول محاسبه شده است، پس ترسیم منحنی لگاریتمی عیار-مساحت برای هر عنصر کار آسان می‌باشد (Cheng, Agterberg, Ballantyne, 1994). بر این اساس منحنی‌های لگاریتمی عیار-مساحت برای این ۴ عنصر در محدوده مورد مطالعه ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

### - سرب

در نمودار لگاریتمی عیار-مساحت این عنصر می‌توان ۲ نقطه شکست شاخص و دو مرحله غنی‌شدگی این عنصر در کانسار را به دلیل رفتار مولتی فرکتالی آن مشاهده نمود (شکل ۲). بر این اساس حد آستانه‌ای عنصر سرب در ۶۱۶ ppm یعنی جایی است که در آن شیب خط با افق اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. بر این اساس کمتر از این میزان سرب در محدوده زمینه و بیش از این آنومالی است. در نقطه دوم که منحنی نخست به پایان رسیده و منحنی دوم شروع می‌شود عیار سرب به حدود ۰/۸۹ درصد می‌رسد که می‌توان گفت عیار سرب تا این مرحله حاصل کانی‌زایی اولیه یا پراکندگی ثانویه است. آخرین نقطه شکست نیز که در عیار حدود ۰/۸۹ درصد است نمایانگر حد آنومالی قطعی این عنصر است زیرا بعد از آن شیب نمودار به حالت نزدیک به قائم می‌رسد و می‌توان گفت از این عیار به بالاتر آنومالی قطعی سرب در این کانسار است (Cheng, Agterberg, Ballantyne, 1994). در نقشه توزیع عنصر سرب می‌توان مشاهده نمود که مناطق اصلی آنومال سرب یا همان آنومالی قطعی با عیار ۰/۸۹

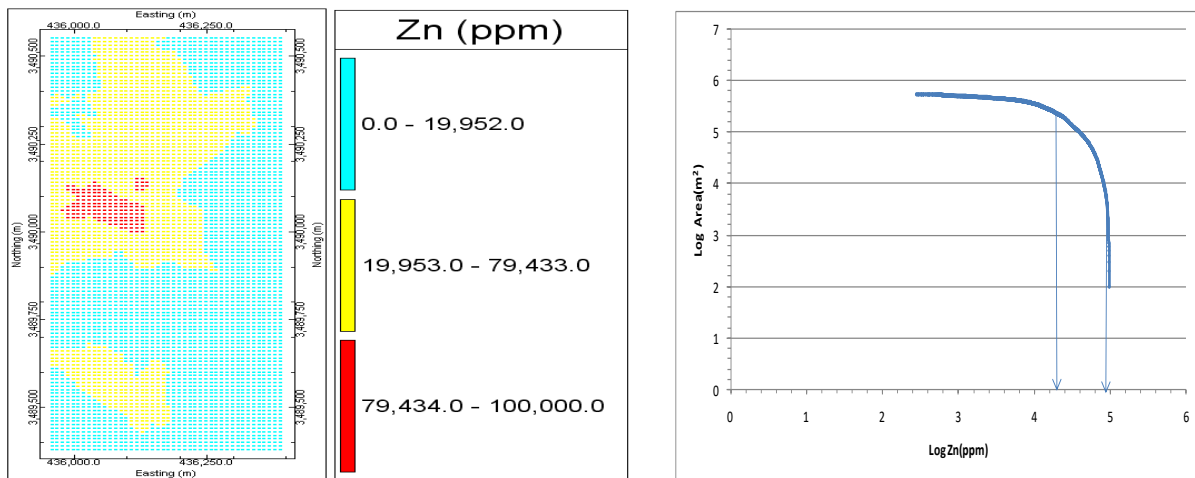
درصد به بالا در دو بخش غرب و مرکز و نیز تا حدی در شمال غربی آن قرار دارند. محدوده اصلی کانی سازی در محدوده طول جغرافیایی ۴۳۵۹۰۰ تا ۴۳۶۲۵۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۸۹۹۰۰ تا ۳۴۹۰۶۰۰ قرار دارد (شکل ۳).



شکل ۲- نمودار لگاریتمی عیار-مساحت برای عنصر سرب شکل ۳- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی سرب در محدوده کانسار کارونگاه

### - روی

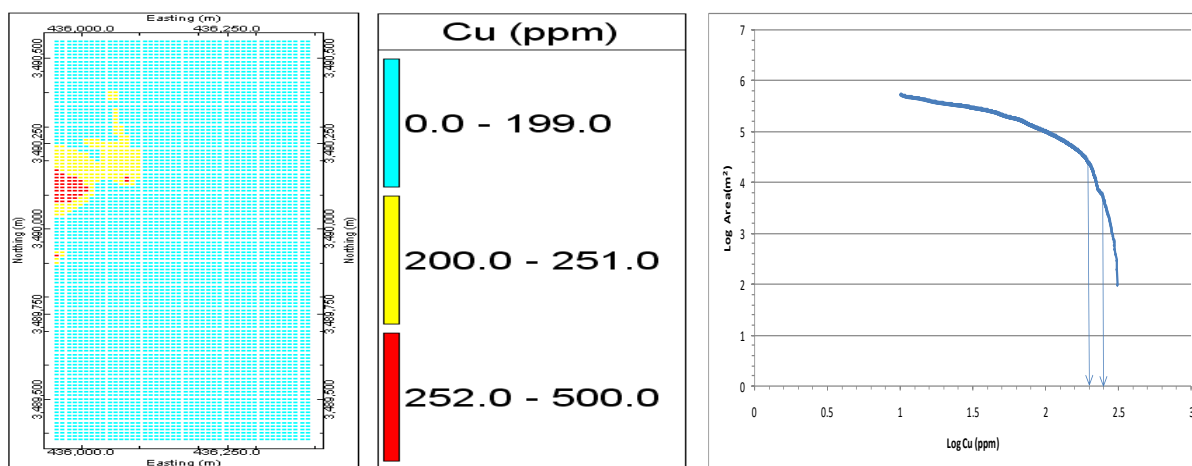
در نمودار لگاریتمی عیار-مساحت این عنصر می توان ۲ نقطه شکست شاخص و دو مرحله غنی شدگی این عنصر در کانسار را به دلیل رفتار مولتی فرکتالی آن مشاهده نمود (شکل ۴). بر این اساس حد آستانه‌ای عنصر روی در ۱/۹ درصد می باشد. همچنین می توان گفت آغاز مرحله اصلی کانی سازی روی از این عیار به بالا بوده است. آخرین نقطه شکست که در عیار حدود ۷/۹ درصد است نمایانگر حد آنومالی قطعی این عنصر است زیرا بعد از آن شیب نمودار به حالت نزدیک به قائم می رسد و می توان گفت از این عیار به بالاتر آنومالی قطعی روی در این کانسار است که البته می توان آنرا در ۱/۵ درصد نیز در نظر گرفت ولی چون شیب بسیار نزدیک به قائم در عیار ۷/۹ درصد دیده می شود بهتر است در این حد در ۷/۹ درصد در نظر گرفته شود (Cheng, Agterberg, Ballantyne, 1994). در نقشه توزیع عنصر روی می توان مشاهده نمود که آنومالی های روی در نیمه غربی محدوده قرار دارند و نیز آنومالی اصلی روی که از ۷/۹ درصد به بالا آغاز می شود در بخش مرکزی محدوده کانسار و در محدوده طول جغرافیایی ۴۳۶۰۰۰ تا ۴۳۶۲۰۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۹۰۰۰۰ تا ۳۴۹۰۱۰۰ قرار دارد که درست منطبق بر محدوده اصلی کانی زایی سرب است (شکل ۵).



شکل ۴- نمودار لگاریتمی عیار-مساحت برای عنصر روی شکل ۵- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی روی در محدوده کانسار کارونگاه

مس -

در نمودار لگاریتمی عیار-مساحت این عنصر می توان ۲ نقطه شکست شاخص و دو مرحله غنی‌شدگی این عنصر در کانسار را به دلیل رفتار مولتی فرکتالی آن مشاهده نمود (شکل ۶). بر این اساس حد آستانه‌ای عنصر مس در ۲۰۰ ppm یعنی جایی است که در آن شیب خط با افق اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. بر این اساس کمتر از این میزان مس در محدوده زمینیه و بیش از این آنومالی است. دومین نقطه شکست که در عیار حدود ۲۵۲ ppm است نمایانگر حد آنومالی قطعی این عنصر است زیرا بعد از آن شیب نمودار به حالت نزدیک به قائم می‌رسد و می‌توان گفت از این عیار به بالاتر آنومالی قطعی مس در این کانسار است (Cheng, Agterberg, Ballantyne, 1994). در نقشه توزیع عنصر مس می‌توان مشاهده نمود که تنها منطقه آنومال مس در بخش غربی آن قرار است و نیز کانی‌سازی اصلی آن که از ۲۵۲ ppm به بالا آغاز می‌شود در بخش کوچکی از غرب متمایل به مرکز محدوده کانسار قرار دارد. محدوده اصلی در بخش غربی و در محدوده طول جغرافیایی ۴۳۵۹۰۰ تا ۴۳۶۰۰۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۹۰۱۰۰ تا ۳۴۹۰۲۰۰ منطبق بر بخش‌هایی از محدوده کانی‌زایی سرب و روی است. (شکل ۷).

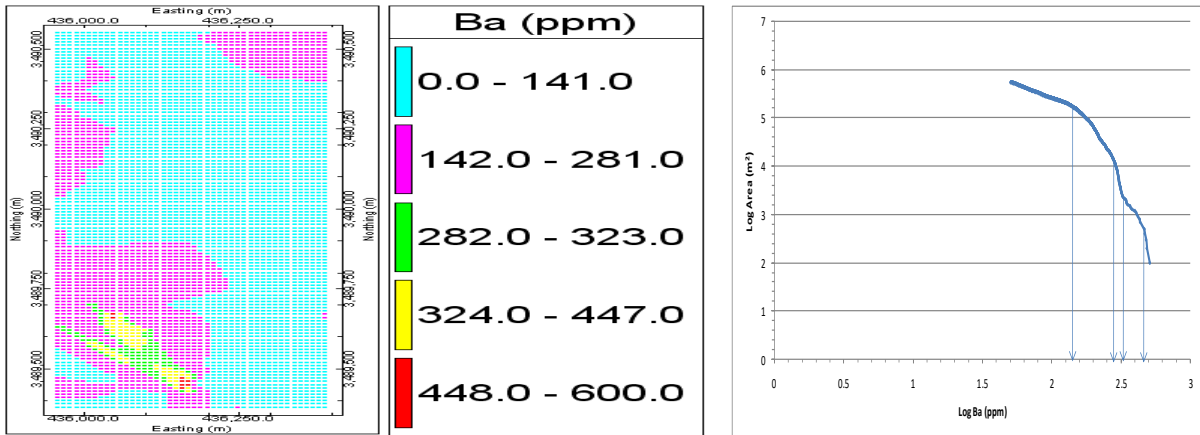


شکل ۶- نمودار لگاریتمی عیار-مساحت برای عنصر مس

شکل ۷- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی مس در محدوده کانسار کارونگاه

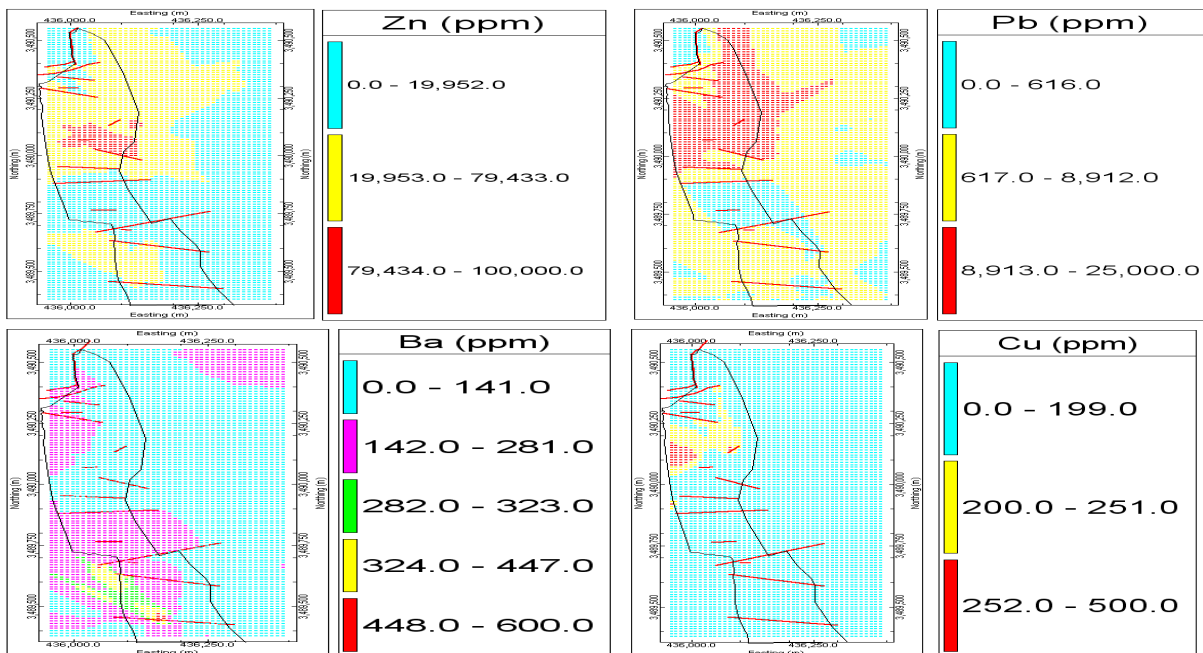
باریم

در نمودار لگاریتمی عیار-مساحت این عنصر می‌توان ۴ نقطه شکست شاخص و حداقل دو مرحله غنی‌شدگی این عنصر در کانسار را به دلیل رفتار مولتی فرکتالی آن مشاهده نمود (شکل ۸). در این شکل مشاهده می‌شود که این عنصر دارای رفتار مولتی فرکتالی پیچیده‌ای است و می‌توان گفت که می‌توان در این محدوده بیش از ۲ مرحله غنی‌شدگی باریم را مشاهده نمود. ولی می‌توان گفت که دو جامعه سمت چپ (تا عیار کمتر از ۲۸۱ ppm) تنها یک پراکندگی ثانویه است. بر این اساس حد آستانه‌ای عنصر باریم در ۲۸۱ ppm می‌باشد. بر این اساس کمتر از این میزان باریم در محدوده زمینیه و بیش از این آنومالی است. در نقطه سوم که عیار باریم به حدود ۳۲۳ ppm می‌رسد می‌توان گفت آغاز مرحله اصلی کانی‌سازی باریم از این عیار به بالا بوده است. آخرین نقطه شکست که در عیار حدود ۴۴۷ ppm است نمایانگر حد آنومالی قطعی این عنصر است زیرا بعد از آن شیب نمودار به حالت نزدیک به قائم می‌رسد و می‌توان گفت از این عیار به بالاتر آنومالی قطعی باریم در این کانسار است که البته می‌توان آنرا در ۳۲۳ ppm نیز در نظر گرفت ولی چون یک حالت پلکانی و مولتی فرکتالی در آن دیده می‌شود بهتر است در این حد در ۴۴۷ ppm در نظر گرفته شود (Cheng, Agterberg, Ballantyne, 1994). در نقشه توزیع عنصر باریم می‌توان مشاهده نمود که آنومالی‌های آن در جنوب غربی محدوده قرار دارند و نیز کانی‌سازی اصلی روی که از ۳۲۳ ppm به بالا آغاز می‌شود در بخش کوچکی از مرکز محدوده کانسار و در محدوده طول جغرافیایی ۴۳۶۰۰۰ تا ۴۳۶۲۰۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۸۹۴۰۰ تا ۳۴۸۹۷۰۰ قرار دارد که منطبق بر محدوده‌های آنومالی اولیه سرب و روی نیز است (شکل ۹).



شکل ۸- نمودار لگاریتمی عیار-مساحت برای عنصر باریم شکل ۹- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی باریم در محدوده کانسار کارونگاه - انطباق لایه ژئوشیمیایی با لایه‌های زمین‌شناسی و ساختاری

در این مرحله نقشه‌های ژئوشیمیایی حاصل از مدلسازی مولتی‌فرکتالی با داده‌های حاصل از زمین‌شناسی و ساختاری تلفیق شدند. همانطور که بخش زمین‌شناسی آورده شد، در این کانسار یک رگه با روند شمالی-جنوبی وجود دارد. همچنین گسل‌ها در این کانسار دارای روندی شرقی-غربی، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی-جنوب‌غربی است. با تلفیق این لایه‌ها مشخص گردید که منطقه مشترک و مهم در بخش غربی متمایل به مرکز کانسار در محدوده طول جغرافیایی ۴۳۹۴۸۰ تا ۴۳۹۶۲۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۹۰۰۰۰ تا ۳۴۹۰۲۵۰ که شامل آنومالی‌های قطعی سرب، روی و مس باهم می‌باشد (شکل ۱۰). در این محدوده شدیدترین آنومالی‌های سرب، روی و مس دیده می‌شود. این منطقه درست منطبق بر افق کانی‌سازی اصلی است. همچنین یک بخش با اولویت پایین‌تر در جنوب‌غربی این محدوده دیده می‌شود. در این بخش آنومالی قطعی باریم بصورت کانی‌سازی باریت با آنومالی‌های درجه پایین روی و سرب دیده می‌شود. این محدوده در حدفاصل طول‌های جغرافیایی ۴۳۶۱۰۰ تا ۴۳۶۲۰۰ و عرض‌های جغرافیایی ۳۴۸۹۴۰۰ تا ۳۴۸۹۶۰۰ دیده می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- تلفیق لایه‌های ژئوشیمیایی، زمین‌شناسی و ساختاری در محدوده کانسار کارونگاه

#### نتیجه گیری:

مطالعات نشان داد که پراکندگی عناصر سرب، روی، مس و باریم از زفتار مولتی فرکتالی تبعیت می نماید به گونه ای که نشاندهنده حداقل دو مرحله غنی شدگی این عناصر در محدوده مورد نظر است. مهمترین آنومالی قطعی روی، سرب و مس با هم در بخش غربی متمایل به مرکز محدوده کانسار و در بین طول جغرافیایی ۴۳۹۴۸۰ تا ۴۳۹۶۲۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۹۰۰۰۰ تا ۳۴۹۰۲۵۰ قرار دارد. یک محدوده کوچکتر برای آنومالی های شدید باریم و درجه پایین روی و سرب در جنوب غربی محدوده و در بین طول های جغرافیایی ۴۳۶۱۰۰ تا ۴۳۶۲۰۰ و عرض های جغرافیایی ۳۴۸۹۴۰۰ تا ۳۴۸۹۶۰۰ قرار دارد. با تلفیق لایه زمین شناسی که شامل محل رگه و کانی سازی های درجه گوناگون است و نیز لایه ساختاری مشخص شد که نتایج حاصل از مدلسازی مولتی فرکتالی با شواهد زمین شناسی و ساختاری انطباق کامل دارد به گونه ای که مناطق آنومال ذکر شده منطبق بر کانی سازی مشاهده شده سطحی و نیز در محل برخورد گسل ها است. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می شود که تمرکز اکتشافات مراحل بعدی در بخش غربی متمایل به مرکز و در حدفاصل طول جغرافیایی ۴۳۹۴۸۰ تا ۴۳۹۶۲۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۹۰۰۰۰ تا ۳۴۹۰۲۵۰ باشد زیرا در این محدوده بیشترین میزان غنی شدگی هر سه عنصر سرب، روی و مس و نیز کانی سازی اصلی آنها قرار دارد. برای اولویت بعدی منطقه آنومال موجود در بخش جنوب غربی در حدفاصل طول های جغرافیایی ۴۳۶۱۰۰ تا ۴۳۶۲۰۰ و عرض های جغرافیایی ۳۴۸۹۴۰۰ تا ۳۴۸۹۶۰۰ مورد نظر قرار بگیرد.

#### منابع:

- Alavi, M., 1994, Tectonic of Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations, *Tectonophysics*, 229, pp. 211-238
- Cheng, Q, Agterberg, F. P., Ballantyne, S. B., 1994, The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods, *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 51, p.p. 109-130
- Cheng, Q., Agterberg, F.P., 1996. Multifractal modeling and spatial statistics. *Math. Geol.* 28 (1), pp. 1-16.
- Davis, John.C., 2002, *Statistics and data analysis in Geology* (3th ed.), John Wiley & Sons Inc., New York, p.p. 342-353
- Goncalves, M.A., 2001. Characterization of geochemical distributions using multifractal models. *Math. Geol.* 33 (1), pp. 41-61.
- Li, Changjiang, Ma, Tuhua, Shi, Junfa, 2003, Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background, *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 77, p.p. 167-175
- Mandelbrot, B.B., 1983, *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman, San Fransisco, 468 pp.
- Moon, Charles j., Whateley, Michael K.G., Evans, Anthony M., 2006, *Introduction to Mineral Exploration*, Blackwell, Oxford.
- Turcotte, D.L., 1997. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.

## نقش کنترل کننده های ساختاری در کانه‌زایی آنتیموان سفیدابه، جنوب شرق ایران

مهدی کوهساری\*، محمد بومری، ساسان باقری

دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

[Mehdi.k.makran@gmile.com](mailto:Mehdi.k.makran@gmile.com)

### چکیده:

معدن آنتیموان سفیدابه در شمال غرب زاهدان و در مرز برشی پهنه‌ی جوش خورده سیستان با بلوک لوت واقع شده است. واحدهای سنگی منطقه شامل مجموعه‌های افیولیتی کرتاسه، توالی فلیش ائوسن، واحد کنگلومرایی و تخریبی‌های عمدتاً برشی شده الیگوسن و همچنین سنگ‌های آذر-آواری می‌باشد. کانه‌زایی در سفیدابه به صورت رگه‌ی کوارتز-استینیت در واحد کنگلومرایی و تخریبی‌های عمدتاً برشی شده الیگوسن رخ داده است. آلتراسیون‌ها شامل آرژیلیک و سیلیسی-کربناتی با آغشتگی‌هایی از کانی‌های هماتیت، لیمونیت و گوتیت می‌باشند. رگه‌ی استینیت در حدود یک کیلومتر در محدوده رخنمون داشته و روند آن بیشتر شمال غرب-جنوب شرق است. کنترل کننده‌های ساختاری نقش مهمی را در تمرکز کانی‌زایی آنتیموان داشته است. هدف اصلی این مقاله بررسی همین کنترل کننده‌ها است. گسل‌های منطقه شامل گسل‌های تراستی، معکوس، نرمال و راستالغز می‌باشند و روندهای غالب آنها شمال غرب و شمال شرق می‌باشد. دسته‌ی راستالغز و رانده با میلی به سمت غرب متعلق به سیستم گسله نه هست.

کلیدواژه: زمین درز سیستان، سفیدابه، شرق ایران، آنتیموان، کنترل کننده‌های ساختاری

## Structural controllers on Sefidabeh antimony mineralization, southeast Iran

Mehdi Koohsari\*; Mohamad Boomeri; Sasan Bagheri

Department of Geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

\*Email: [Mehdi.k.makran@gmile.com](mailto:Mehdi.k.makran@gmile.com)

### Abstract

The Sefidabeh antimony mine is located in northwestern of Zahedan on the shear boundary between the Sistan suture zone and the Lut block. The rock units in the region are the Cretaceous ophiolitic complex, Eocene flysch sequence, Eocene-Oligocene conglomerate and brecciated detritus unit and pyroclastic rocks. The mineralization occurs as vein-type quartz-stibnite in the Eocene-Oligocene conglomerate and brecciated detritus unit. The distinguishable alteration accompanied the mineralization is argillic and silica-carbonate types with some hematite, limonite and goethite contaminations. The stibnite veins extend for more than one kilometer mainly with a NW-SE trend. The structural controllers play an important role in transportation and formation of the antimony mineralization. The main aim of this study is investigation of these structural controllers. The faults of study area are thrust, inverse, normal and strike-slip faults that mainly have NW and NE trends. The right-lateral strike-slip and west-verging thrust faults belong to the Neh fault system.

*Keyword: Sistan suture zone, Sefidabeh, southeast Iran, antimony, Structural controllers*

### مقدمه:

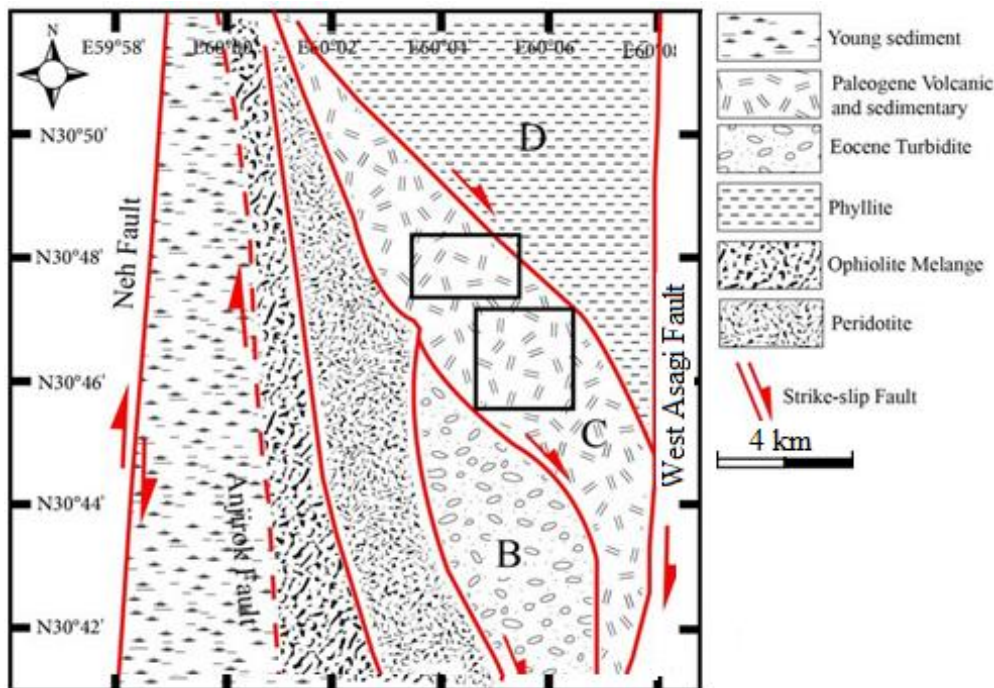
معدن آنتیموان سفیدابه در استان سیستان و بلوچستان در ۲۸۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان (از طریق جاده زاهدان-نهبندان-حیدرآباد-معدن) واقع شده است. محدوده‌ی مورد مطالعه در مرز برشی پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان با بلوک لوت واقع شده است. پهنه جوش خورده سیستان از دو مجموعه‌ی افیولیتی رتوک در شمال شرق و نه در غرب تشکیل شده که به



وسيله‌ی حوضه رسوبي سفیدابه از هم تفکیک می شوند (Tirrul et al., 1983). از کانه زایی‌های آنتیموان در استان سیستان و بلوچستان میتوان به شورچاه و توزگی، در گیابان، چاه بریش، لخشک، سفیدسنگ و غیره اشاره کرد که عمدتاً سن ترشیاری و اپی ترمال و به صورت رگه ای هستند (مرادی، ۱۳۹۱، خرمی، ۱۳۹۱، بومری، ۱۳۹۳، مارزی، ۱۳۹۴ و مظلوم، ۱۳۹۶). از مطالعات قبلی در این منطقه میتوان به کارهای یعقوب پور و اسدی کرم، ۱۳۸۴، فرشیدپور، ۱۳۹۱، صبوری، ۱۳۹۶، و مجددی مقدم، ۱۳۹۸، اشاره کرد. هدف از این پژوهش بررسی نقش کنترل کننده های ساختاری در کانه زایی آنتیموان است که در مطالعات پیشین کمتر به آن توجه شده پرداخته می شود.

### زمین شناسی

زمین شناسی محدوده ی معدن و اطراف آن شامل مجموعه ی افیولیتی کرتاسه، سنگ های رسوبي رخساره فیلیش ائوسن، واحد های تخریبی قاره ای شامل کنگلومرا و ماسه سنگ های تا حدی برشی شده الیگوسن می باشد (شکل ۱). این واحد ها مورد نفوذ و خروج سنگ های آذرین به صورت گدازه، آذرآوری و ساب ولکانیک بخصوص در شرق محدوده واقع شدند. مرز این واحدها گسله می باشد (شکل ۱). کانه زایی آنتیموان در سفیدابه بیشتر به صورت رگه های ی کوارتز- استینیت همراه با مقداری کربنات است که در یک منطقه ی برشی تشکیل شده است. رگه ی استینیت دار حدود یک کیلومتر در محدوده ی سفیدابه رخنمون دارد و روند آن شمال غربی است. ادامه ی رخنمون آن در محدوده ی اکتشافی حیدرآباد نیز مشاهده شده که در هر دو محل بهره برداری از آن شروع شده است. سنگ میزبان این رگه کنگلومرای و تخریبی های قاره ای برشی شده است.



شکل ۱- نقشه ی زمین شناسی-ساختاری محدوده ی اطراف آنتیموان از سفیدابه (اصلاح شده از باقری). کادراهی چهارگوشه محدوده معادن آنتیموان حیدرآباد (شمالی) و سفیدآبه (جنوبی).

### روش مطالعه

برای مطالعه ساختاری منطقه ضمن مطالعات دور سنجی و صحرایی مشخصات، شیب، امتداد، زاویه ریک و پلانچ لایه های رسوبي، دایک ها، رگه ها و خش لغزها برداشت شده و سپس با استفاده از نرم افزارهای مختلف مورد پردازش قرار گرفت.

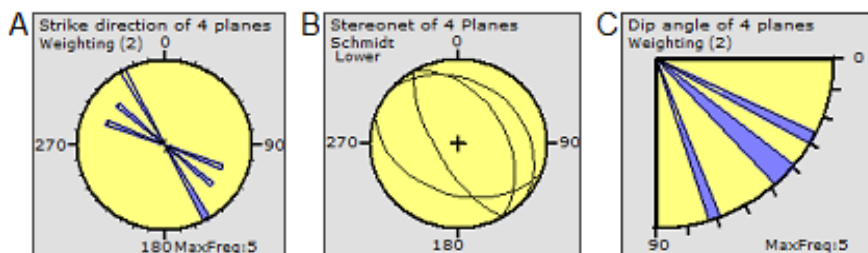
### لایه های رسوبی

لایه های رسوبی در محدوده معدنی چین خورده می باشند ولی میزان چین خوردگی در بخش های مختلف متفاوت هست ( شکل A و B). میزان شیب از کمتر از ۴۵ درجه تا نزدیک به ۹۰ درجه متغیر است. در قسمت مرکزی محدوده جایی که سنگ میزبان کنگلومرایی و برشی شده وجود دارند میزان شیب لایه ها بیشتر است هرچند لایه بندی در این واحد چندان مشخص نیست (شکل C). معمولا شیب هایی که در شرق سنگ های میزبان رگه آنتیموان واقع هستند به سمت شرق شیب دارند و آنهایی که در غرب واقع می باشند به سمت غرب شیب دارند.



شکل ۲- تصاویر صحرایی از لایه های رسوبی در محدوده معدنی (A) تناوبی از لایه های ماسه سنگ، و شیل که دارای شیب متوسطی می باشند، (B) تناوب لایه های شیل و ماسه سنگ که دارای شیب زیادی می باشند، (C) چین های برگشته و خوابیده در لایه های متناوب شیل و ماسه سنگ، (D) لایه کنگلومرایی با چین خوردگی و لایه بندی مبهم.

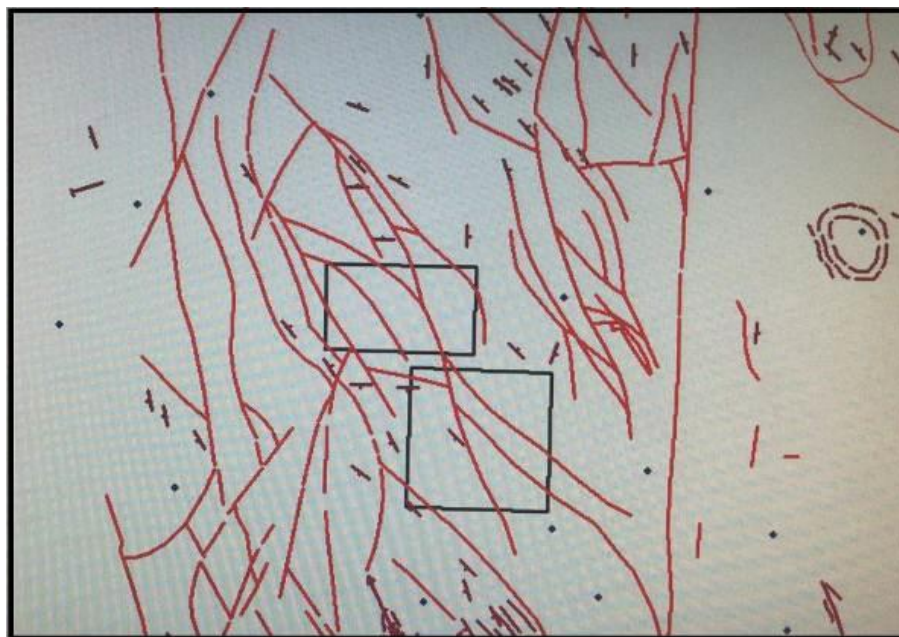
در تصاویر ماهواره و برداشت های صحرایی شکل طاقدیس مشخص نیست ولی چین خوردگی های طاقدیزی و ناودیزی از مقیاس کوچک تا بزرگ در منطقه وجود دارد. چین خوردگی اغلب اوقات شامل چین های ریز و درشت از نوع عادی می شود ولی گاهی در بعضی نقاط از محدوده، چین های خوابیده و برگشته مشاهده می شود (شکل C). مشحصات امتداد و شیب اندازه گیری شده لایه های رسوبی در شکل ۳، A، B و C نشان داده شده است.



شکل ۳- (A) رزیدیاگرام امتداد لایه ها، (B) استرونت داده ها و (C) رزیدیاگرام شیب لایه ها در محدوده مورد مطالعه.

## گسل ها

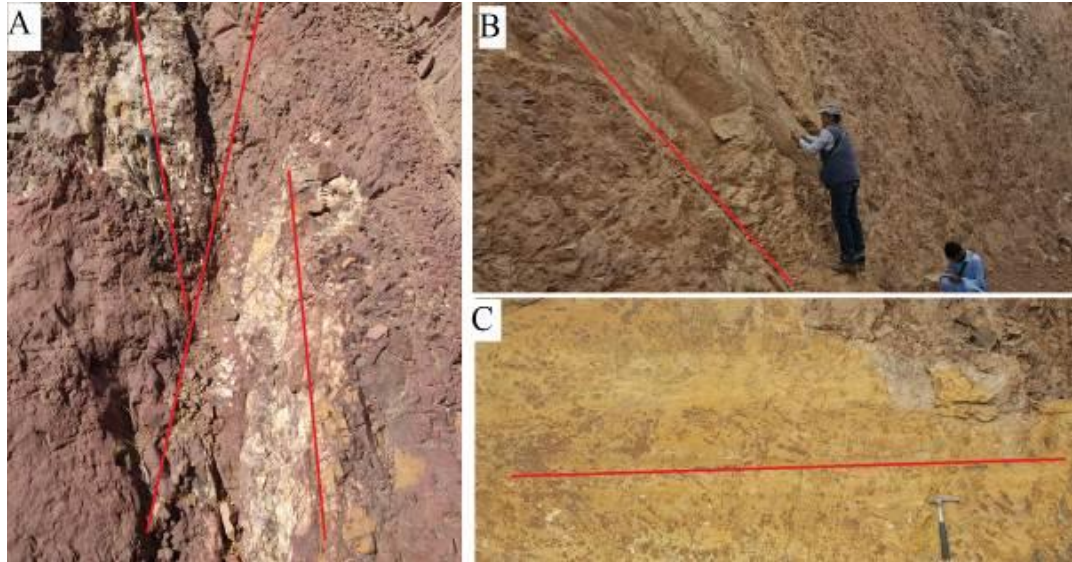
محدوده مورد مطالعه بین گسل غرب آساگی (گسل نه شرقی) و گسل نه غربی واقع شده و ساختاری شبیه یک دوپلکس امتداد لغز را به خود اختصاص داده است (شکل ۱). همچنین منطقه تحت تاثیر گسل های فرعی متعددی به صورت تراستی، راستالغز و شیب لغز می باشد (شکل ۴). به نظر می رسد مرز اکثر واحد های سنگی گسل های تراستی باشد مثلا مرز بین افیولیت ها با رخساره فلیش و مرز واحد کنگلومرایی با تناوب ماسه سنگ و شیل گسل رانده با سازوکار معکوس می باشد.



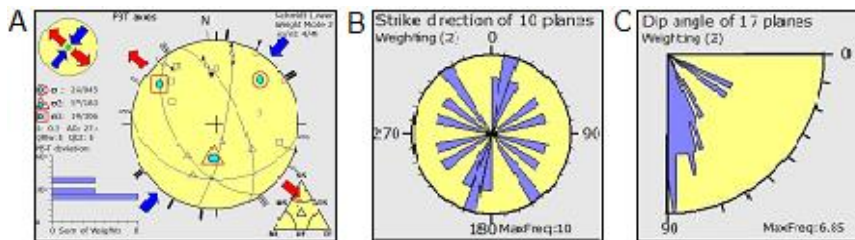
شکل ۴- نقشه ساختاری محدوده مورد مطالعه و اطراف آن و نحوه توزیع گسل های اصلی و فرعی (بدون مقیاس).

سیستم گسلی نه اصلی ترین گسل و ساختار منطقه است که بین پهنه زمین درز سیستان و پهنه لوت است و دارای شاخه های متعددی در پهنه زمین درز سیستان است. پهنه این گسل کیلومترها طول و عرض دارد و شاخه های آن بنام های متعددی نامیده شدند. این گسل با اعمال نیروی فشاری در جهت E-W ناشی از همگرایی بلوک لوت در زمان ائوسن و حتی قبل تر تشکیل شده است و هنوز از گسل های فعال منطقه است. از طرف دیگر به دلیل چرخش لوت، این گسل تحت رژیم امتدادی فشارشی دیگری قرار گرفته است. به این ترتیب مجموعه ای از حرکات فشارشی و امتدادی را باید برای این گسل متصور شد. گسل نه از روندی به طور کامل خطی پیروی می کند شاخه های این گسل دارای روندهای متعددی است که نشان از قطعه قطعه بودن این گسل دارد. سیستم گسلی نه دارای سازوکار راستالغز راستبر و روند اصلی آن شمالی - جنوبی است و باعث پهنه های برشی متعددی شده است. داخل پهنه های برشی گسل های فرعی با امتداد شمال شرق - جنوب غرب، شمال غرب - جنوب شرق، و حتی شرقی - غربی وجود دارند. محدوده مورد مطالعه روی پهنه برشی نه واقع است و کاملا گسله می باشد (شکل ۴) و چون بین دو گسل نه غربی و نه شرقی واقع هست به صورت قطعاتی ماهی شکل یا تا حدی متوازی الاضلاع به نظر می آیند. گسل های اصلی گاه خیمیده و جهتشان تغییر کرده است. گسل هایی که در مرز سکانس های رسوبی واقع شدند و باعث دوپلکس و هورست های متعددی در منطقه شده اند نیز اغلب به شکل منحنی می باشند. گسل های فرعی که بیشتر به شکل متقاطع دیده می شوند باعث جابجایی های کمی در محدوده شده اند. شواهد متعددی برای وجود گسل های رانده، گسل های راستالغز، گسل های نرمال و گسل های معکوس در محدوده مطالعاتی وجود دارد. این شواهد شامل جابجایی

لایه ها، برشی شدن، شکستگی های فراوان، پر شدگی گسل ها و شکستگی ها توسط رگه های متعدد سیلیسی، هماتی و کربناتی، خش لغزها، آینه گسل و غیره می باشد. شواهد صحرایی بعضی از گسل ها در شکل ۵ نشان داده شده است. مشخصات هندسی اینها با برداشت های صحرایی نشان می دهد که گسل های اصلی منطقه عمدتاً راستالغز راستبر می باشند (شکل ۶).



شکل ۵- شواهد صحرایی از انواع گسل ها در محدوده مطالعاتی، (A) برشی شدن در امتد یک گسل راستالغز چپگرد که به وسیله یک گسل معکوس جابجا شده است، (B) محل جابجایی یک گسل با ایجاد درزه، خش لغز و آینه گسل با مولفه راستالغز. (C) سطح صیقلی و خش لغز دار و برشی شده لیمونیتی شده که نشان دهنده یک گسل راستالغز می باشد.



شکل ۶- (A) استرونت داده ها، (B) رزیدیاگرام امتداد لایه ها و (C) رزیدیاگرام شیب لایه ها در محدوده مورد مطالعه.

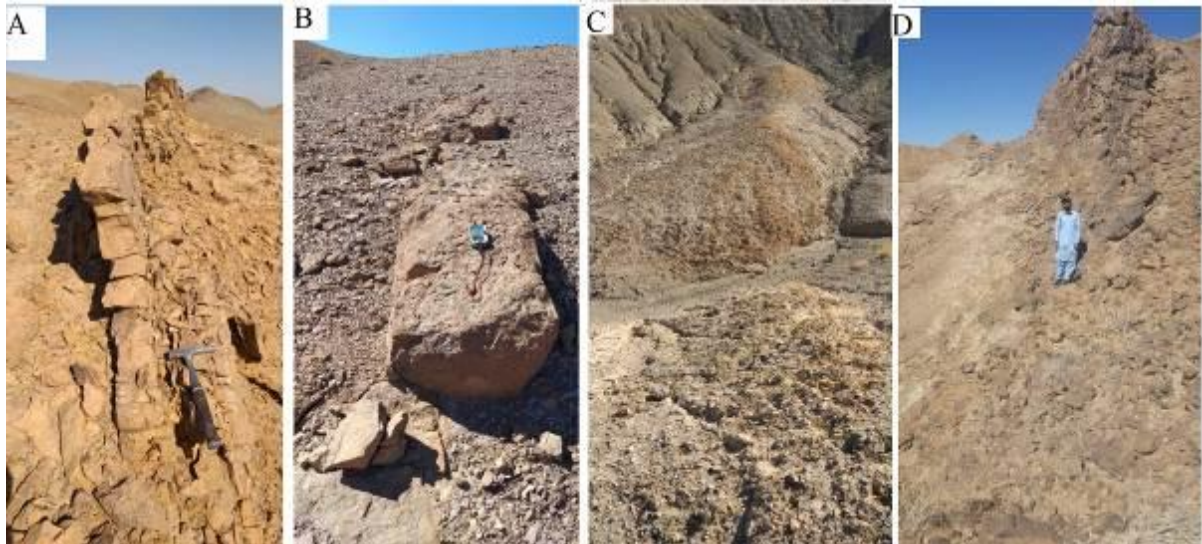
## رگه ها

در منطقه مورد مطالعه رگه های زیادی در جهات مختلف وجود دارند که در یک تقسیم بندی کلی می توان آنها را به دو گروه دارای کانی زایی و بدون کانی زایی تقسیم بندی کرد.

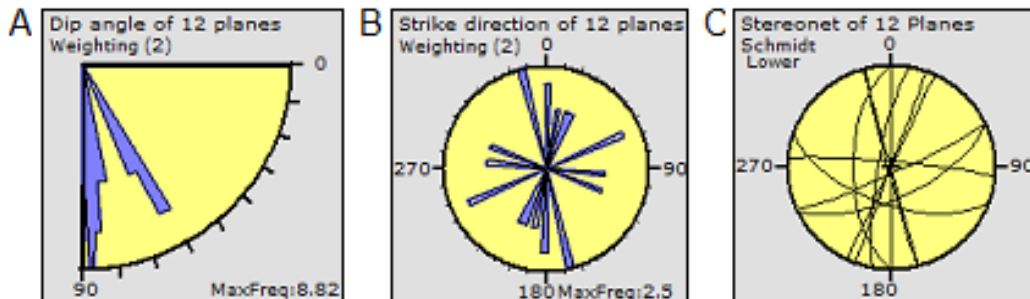
## رگه های بدون کانی زایی

این رگه ها از نظر ترکیب، امتداد، ضخامت، بافت، ساختار و حتی شیب متنوع هستند. از نظر امتداد عمدتاً دارای روند شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب و احتمالاً مزدوج هستند. شیب اینها عمدتاً جنوب غربی و گاهی شمال شرقی می باشد که در ادامه در استرنوگرام ها نمایش داده میشود. براساس ترکیب می توان این رگه ها را به انواع کربناته، سیلیسی، کربناته-سیلیسی، هماتی و غیره تقسیم بندی کرد (شکل ۷). این رگه ها از پر شدن گسل ها و شکستگی بوجود آمدند و غالباً برشی شده می باشند. رگه هایی که از کربنات های خالص و بلوری پر شدند به نظر جوانترین رگه ها می باشند. رگه

هایی که در شکل ۸V نشان داده شده عمدتاً کربناته و برشی می باشند که در بخشهای میانی آنها آگات و کوارتز تشکیل شده است اطراف این رگه ها که به طور مزدوج و بیشتر نزدیک به سنگهای آذرین تشکیل شدند هاله دگرسانی وجود ندارد. ضخامت این رگه گاهها به بیش از یک متر میرسد و طول آنها صدها متر ادامه است و در عکس های ماهواره ای قابل تشخیص می باشند. رگه های مشاهده شده در شکل ۸V از نوع کربناته می باشند که در نزدیک پهنه کانی سازی واقع شدند. رگه های که در شکل ۸C مشاهده می شود نیز حاوی آگات، کوارتز های بلورین و کلسیت های خود شکل می باشند که در اطراف آنها هاله دگرسانی دیده می شود و معمولاً نزدیک به سنگهای آذرین آندزیتی تشکیل شدند. اما شاخص ترین رگه ها، رگه هایی با سطح هوازگی سیاه رنگ می باشند که در جهت شمال غرب به جنوب شرق کیلومترها به موازات لایه های رسوبی ادامه دارند (شکل ۸D). اینها عمدتاً سیلیسی-کربناته و حتی لیمونیتی شدند و به نظر می رسد که محل گسل های موازی می باشند که به دلیل دگرسانی سخت شده اند و در نتیجه در مقابل فرسایش مقاومت کرده اند. رگه های باریک کربناته نازک اکثر شکستگی ها و گسل ها مزدوج را پر کرده اند. مشخصات هندسی و سازوکار انواع رگه ها در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷- تصاویر صحرایی از رگه های بدون کانه زایی در محدوده مورد مطالعه ، (A) رگه های کربناته که در بخش مرکزی آن سیلیس به شکل آگات و کوارتز تشکیل شده است، (B) رگه های عمدتاً کربناته، (C) رگه های کربناته-سیلیسی با هاله دگرسانی و (D) رگه های سیلیسی-کربناته-لیمونیتی ضخیم و طویل.



شکل ۸- (A) رزیدیاگرام شیب رگه ها، (B) رزیدیاگرام امتداد لایه ها و (C) استرونوت داده ها در محدوده مورد مطالعه.

### رگه های دارای کانی زایی

این رگه ها در یک زون در جهت شمال غربی-جنوب شرقی دیده می شود و دارای چند کیلومتر طول هست که در دو منطقه به نام- های معدن حیدرآباد و سفید آبه در حال بهره برداری هست. به نظر میرسد یک رگه اصلی وجود دارد که در بعضی جاها شاخه شاخه شده است. این رگه غالبا دارای شیبی به سمت غرب می باشد که منطبق بر جهت شیب اغلب لایه ها است ولی مخالف با شیب سنگهای میزبان می باشد. زون میزبان رگه استینیت دار، دارای امتداد N35W می باشد. کانه اصلی رگه استینیت هست که اکسید های آنتیموان نیز همراه آن دیده می شود و باطله ها ترکیبات سیلیسی، کربناته و رسی و سنگ کنگلومرایی می باشد. ضخامت بخش استینیت دار متغیر هست و گاهی تا یک متر نیز می رسد. ساختار آن تحت تاثیر گسل امتداد لغز شمال غربی بوده اما به نظر می رسد گسل های معکوس نیز نقش مهمی داشتند و باعث ساختار باقلایی و باز وبسته شدن رگه شده اند. اطراف این رگه های کم و بیش دگرسانی سیلیسی، کربناته، لیمونیتی و آرژیلیک دیده میشود.

**بحث:** نهشت ماده معدنی در کانسارهای گرمایی توسط دو عامل اساسی ساختاری و فیزیکوشیمیایی کنترل می شود (مهرابی ۱۳۹۱). ساختارها اطلاعات بارزشی بر جریان سیالی که در پوسته ی سطحی زمین دارد اشاره می کنند. زیرا نفوذپذیری آنها موجب شکل گیری کانال ها یا مجراهایی در سنگ میزبان و سرانجام با توجه به شرایط خاص موجب نهشت محلول های کانه دار می شود (Boschi et al., 2009; Tanelli, 1983; Tanelli et al., 1991; Brogi and Fulignati, 2012). کانه زایی Sb در سفیدآبه و حیدر آباد یک کانی زایی رگه ای شاخص هست. کانسارهای رگه ای معمولا از محلول های گرمایی بالارونده در گسل ها وشکستگی ها تشکیل می شوند و بنابراین در این نوع کانسارها کانه زایی به طور مشخصی به وسیله ی عوامل ساختاری و بخصوص گسل ها کنترل می شود و همانطور که قبلا ذکر شد محدوده مورد مطالعه بین دوگسل نه در غرب و شرق واقع شده است و احتمالا این گسل ها بهترین کنترل کننده ساختاری کانی زایی آنتیموان در محدوده سفیدآبه هستند. سوالی که مطرح است این است که گسل ها وشکستگی ها زیادی در محدوده وجود دارد ولی فقط در یکی از این گسل ها کانی زایی آنتیموان اتفاق افتاده است، چرا؟. در جواب به این سوال ذکر شده که در پهنه های برشی شکستگی های متفاوتی توسعه می یابند که کنترل کننده کانه زایی فقط یک یا دو مورد از این شکستگی ها هست و معمولا در پهنه های برشی بلوک های خاصی به وجود می آیند که نفوذپذیری بیشتری دارند و چرخش محلول ها راحتتر است و در نتیجه میزبان بهتری برای کانی زایی می باشند. علاوه بر این ته نشست استینیت به عوامل فیزیکوشیمیایی متعددی مثل کاهش فشار به موجب ایجاد فضای باز، کاهش دما، تغییر pH و Eh نیز بستگی دارد.



شکل ۹- تصاویر صحرایی از رگه های کانه زایی شده در منطقه، (A) رگه استیبینیت در کف پیت که دارای جابجایی و پیچ و خم است، (B) رگه استیبینیت که در یک زون خرد شده واقع است، (C) رگه استیبینیت که در دیواره پیت عمود بر رگه اصلی رخنمون دارد و همراه با دگرسان آرژلیک و لیمونیتی هست، (D) رگه آنتیمون که نازک و عریض شده، (E) رگه پرشیب در سطح گسلی که دارای ساخت عریض و باز شدگی هست، (F) رخنمون استیبینیت در محل شکستگی و گسل های متقاطع و (G) دگرسانی سیلیسی و آرژلیک در محل رخنمون رگه استیبینیت.

### نتیجه گیری:

- ۱- لایه های رسوبی در محدوده غالباً چین خورده و گسله هستند و بیشتر روند شمال غرب-جنوب شرق دارند.
- ۲- گسل ها به دو دسته ی راستالغز راستبر و رانده تقسیم بندی می شوند که بیشتر آنها مولفه ی راستالغز راستبر دارند و متقاطع هستند.
- ۳- رگه ها به انواع با کانی زایی و بدون کانی زایی قابل تقسیم بندی هستند. رگه با کانی زایی دارای روند غالب شمال غربی و شیب غالب آن به سمت غرب جنوب غرب می باشد. رگه هایی بدون کانی هم شامل انواع قبل از کانی زایی، همزمان با کانی زایی و بعد از کانی زایی می شوند. انواعی بعد از کانی زایی غالباً باریک و از کلسیت و آراگونیت پر شده اند.
- ۴- کانه زایی در محدوده ی سفیدابه به شکل اپی ژنتیک و با کنترل ساختاری در گسل های تشکیل شده است.
- ۵- به نظر می رسد محل گسل های تراستی که تحت تاثیر گسل های راستالغز و نیروی های برشی قرار گرفتند برای نهشت استیبینیت مناسب تر است.

#### منابع:

- بومری، م، ۱۳۹۳، کانسارها و اندیس های معدنی در استان سیستان و بلوچستان، ششمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- خرمی، ز، ۱۳۹۱، ژنز کانسار آنتیموان بائوت، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
- صبوری، س، ۱۳۹۶، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار آنتیموان حیدر آباد، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
- فرشیدپور، ج، ۱۳۹۱، ژنز کانسار آنتیموان سفیدابه، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
- مجددی مقدم، ح، ۱۳۹۸، ژئوشیمی، زمین حرارت-فشار سنجی رگه های آنتیموان در مناطق درگیابان، سفیدسنگ، لخشک، شورچاه، بائوت و سفیدابه، رساله دکترای تخصصی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
- مرادی، ر، ۱۳۹۱، سبک و منشاء کانی زایی آنتیموان و طلا در شورچاه، جنوب شرق زاهدان، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- مظلوم، غ، ۱۳۹۶، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز آنتیموان لخشک، شمال غرب زاهدان، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.
- مهرابی، ب، ۱۳۹۱، فهرست خدمات چهار گانه اکتشاف آنتیموان، سازمان نظام مهندسی معدن ایران (۳۴)، تهران، ۴ص.
- یعقوب پور، ع، اسدی کرم، ع، ۱۳۸۴، بررسی ژئوشیمیایی و سیالات درگیر کانسار آنتیموان سفیدابه در شمال غرب کوه آساگی (شمال استان سیستان و بلوچستان)، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران، ایران.

- Boschi, C., Dini, A., Dallai, L., Ruggieri, G., Gianelli, G., 2009. Enhanced CO<sub>2</sub>-mineral sequestration by cyclic hydraulic fracturing and Si-rich fluid infiltration into serpentinites at Malenrata (Tuscany, Italy). *Chem. Geol.* 265, 209–226.
- Brogi, A., and Fulignati, P. 2012. Tectonic control on hydrothermal circulation and fluid evolution in the Pietratonda–Poggio Peloso (southern Tuscany, Italy) carbonate-hosted Sb-mineralization. *Ore Geology Reviews* 44, 158-171.
- Tanelli, G., 1983. Mineralizzazioni metallifere e minerogenesi della Toscana. *Mem. Soc. Geol. It* 25, 91–109.
- Tanelli, G., Lattanzi, P., Ruggieri, G., Corsini, F., 1991. Metallogeny of gold in Tuscany, Italy. In: Ladeira, E.A. (Ed.), *Brazil Gold '91*. Balkema, pp. 109–114.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The siston suture zone of eastern Iran. *Geological society of American, Bulletin*, 94, 134-150.



## تحلیل هندسی زون فرورانش مکران از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی

سید رضا مهرنیا، دانشیار دانشگاه پیام نور قزوین

[srmehrniya@pnu.ac.ir](mailto:srmehrniya@pnu.ac.ir)

### چکیده:

زون فرورانش مکران (جنوب شرقی ایران)، یک ساختار پیچیده با رفتار ژئودینامیکی دوگانه است. بطوری که تحت زاویه ۱۰ درجه (فرورانش کم شیب)، زمینه برافزایش رسوبات و رورانگی افیولیت های منطقه را فراهم نموده و در خلال فرورانش پرشیب (زاویه ۵۲ درجه)، موجب توسعه آتشفشان های تفتان و بزمان شده است. از آنجا که تغییر شیب رژیم های مخرب، یکی از عوامل پیدایش گرانیتوئیدهای نوع I، A و H می باشد، لذا دستیابی به مدل مکانی رخساره های ماگمایی با تمرکز بر مناطق جازموریان و بلوک لوت ضرورت دارد. در تحقیقی که با استناد بر توزیع طلایی میدان های مغناطیسی، گرانی و سرعت امواج عرضی بعمل آمد، مدل هندسی فرورانش مکران در پنجره ای به مختصات ۵۹ تا ۶۱ درجه طول جغرافیایی و ۲۵ تا ۲۹ درجه عرض جغرافیایی مطالعه گردید. نتایج مدلسازی نشان میدهند که منشور برافزایشی مکران و کمپلکس افیولیتی شمال آن، تحت تاثیر لختی بیشینه نئوتیتس هستند و فاقد گرانیتوئیدهای نوع I می باشند. همچنین کمر بند ولکانیکی شمال جازموریان با مکان هندسی فرورانش عمیق مطابقت دارد و ناحیه اثر آن به دلیل تکانه های بلوک لوت کاهش یافته است. از منظر زمین شناسی اقتصادی، ماهیت کمر بند افیولیتی گرانیتوئیدی شمال مکران مستقل از زمین ساخت صفحه ای نئوژن است و برای ذخایر نوع H پتانسیل دارد. برای یافتن نشانه هایی که دال بر تشکیل ماگمای هیبریدی و توسعه آن به سمت بلوک لوت باشد، نیازمند برداشت، پردازش و تحلیل داده های رادیومتری (بررسی محتوای پتاسیم در مقابل توریم) هستیم.

کلیدواژه: تحلیل هندسی، زمین شناسی اقتصادی، ژئوفیزیک، مکران

## Geometric Analysis of MSZ for Economic Geological Investigations

Seyed Reza Mehrnia, Assoc. Prof., PNU

[srmehrniya@pnu.ac.ir](mailto:srmehrniya@pnu.ac.ir)

### Abstract

Makran Subduction Zone (South East of Iran) is a complex system with complicated geodynamic pattern. Ophiolite-Granitoid belt has been located in the southern fore-arc basin and impressed by low angle subduction ( $< 10$  dg). Other hand, Taftan-Bazman volcanic belt has been extended due to high angle subduction ( $> 50$  dg) and steeped down to upper mantle at the southern Lut block. Generation of A, I and H-type granitoids depends on the geodynamics of the subduction zone as well as the kinematic equilibrium of the slabs. Pythagorean G.ratio analysis of airborne magnetic, airborne gravimetric and land-surveyed S-velocity, has been well done in 59-61 dg of longitudes and 25-29 dg of the latitudes. The results show that appearing maximum momentums next to the ophiolite belt is a kinematic reason for I-type granitoids absence. Also the volcanic belt of the southern Jazmuriyan has H-type potential and need more geophysical investigations such as K-content radiometry versus the content of immobilized Th.

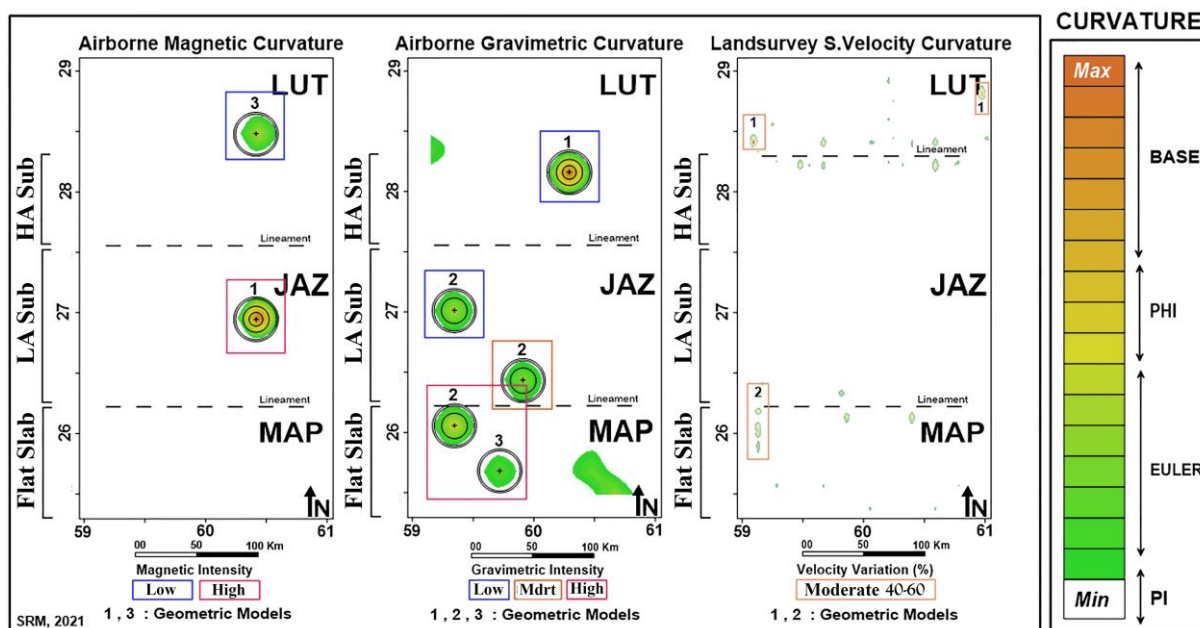
Keywords: Geometric Analysis, Economic Geology, Geophysics, Makran.

مقدمه:

تاکنون تحقیقات متعددی درباره ماهیت و سازوکار فرورانش مکران بعمل آمده که اغلب آنها با استناد بر شواهد زمین شناختی و یافته های ژئوفیزیکی، مدل هایی را برای توجیه رخساره های ماگمایی و تعیین مکان هندسی کانون های زلزله ارائه نموده اند. در سال های اخیر، مدل سازی عددی جایگزین مدل های توصیفی شده است و در اغلب موارد از داده های ژئوفیزیک ه ای و سطحی برای دستیابی به سازوکار فرورانش مکران و تفسیر فازهای مختلف آن استفاده شده است (Manaman et al 2010؛ Namaki et al, 2011؛ Motaghi et al, 2020). اما در هیچکدام از آنها، تحلیل هندسی با تاکید بر کینماتیک صفحات تکتونیکی عربی - اوراسیا بعمل نیامده است. لذا بخش قابل توجهی از کمیت های اصلی این ناحیه نظیر تکانه های خطی و زاویه ای که مبنای پیدایش ماگماتیسم، ولکانیسم و توسعه کانون های زلزله هستند، بدون بررسی باقی مانده اند. چشم پوشی از پارامترهای هندسی - مکانیکی مکران، موجب افزایش متغیرها و پیچیدگی الگوریتم هایی می گردد که با هدف دستیابی به مدل ژئودینامیکی ناحیه مورد نظر ارائه شده اند. بطور مثال، از آنجا که شناخت دقیقی از لختی زاویه ای مکران وجود ندارد، لذا رابطه پایداری تکانه ها با زمان زمین شناسی نامعین است. این تحقیق با در نظر گرفتن کاستی های موجود، اقدام به تحلیل هندسی داده های ژئوفیزیکی شامل مغناطیس، گرانی و سرعت امواج سطحی S نموده و از بانک اطلاعات موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، دانشکده علوم زنگان و پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی برای دستیابی به مدل خمینگی تلایی استفاده نموده است. در این مدل، بردارهای خطی و زاویه ای متناسب با رژیم فرورانش مکران محاسبه شده اند و نتایج پایداری از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی بررسی شده است

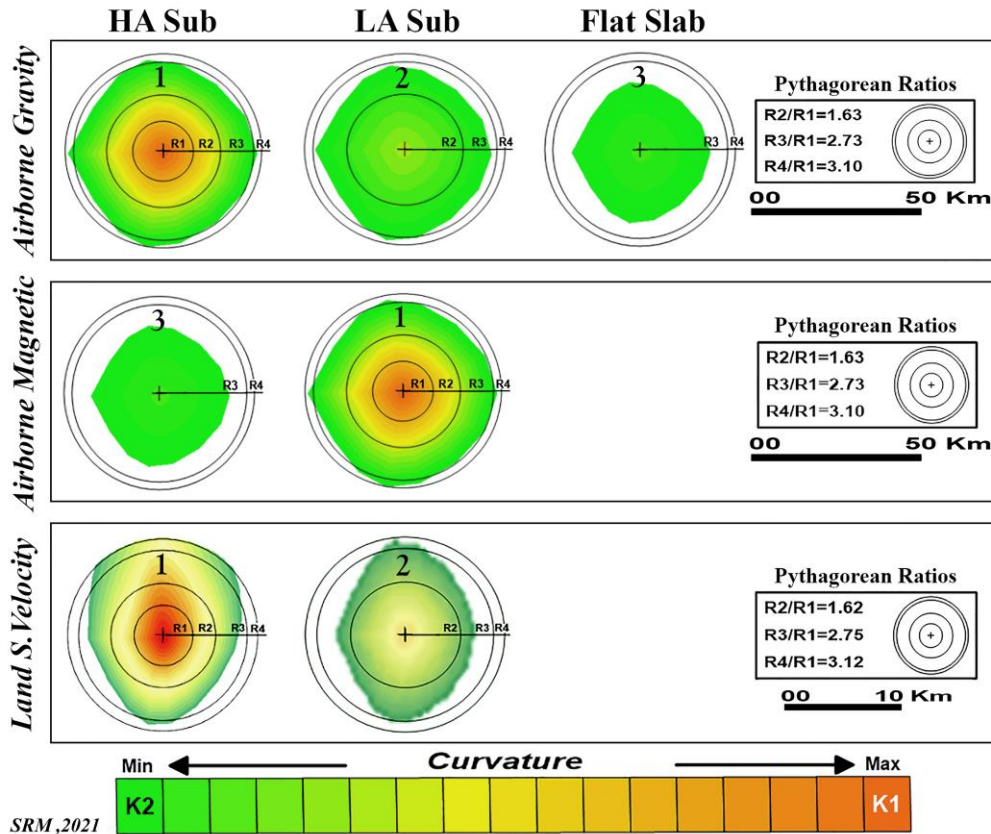
روش مطالعه:

مرحله اول تحقیق شامل تشکیل پایگاه داده های ژئوفیزیکی (مغناطیس هوایی، گرانی هوایی و تغییر سرعت امواج عرضی) و تولید نقشه های پربندی به روش IDW می باشد. در مرحله دوم، از الگوریتم مشتق دوم خمینگی برای دستیابی به بردارهای های مماسی و عمود بر سطح دوران گرادیان های ژئوفیزیکی استفاده است (مهرنیا، ۱۴۰۰). شکل ۱، مکان هندسی خمینه های مغناطیسی، گرانی و سرعت امواج عرضی را در محدوده مورد مطالعه نشان داده است.



شکل ۱- خمینگی داده های ژئوفیزیکی (مغناطیس، گرانی و سرعت امواج عرضی) در زون فرورانش مکران- بزمان

همچنین مطابق شکل ۲ و در مرحله سوم پردازش های هندسی، از دایره های تو در توی فیثاغورث برای تعیین رابطه پربندهای ژئوفیزیکی با تکانه های خطی و زاویه ای زون فرورانش مکران استفاده شده است (مهرنیا، ۱۴۰۰). چنانچه ملاحظه می گردد، خمینگی های ثقلی و سرعت امواج عرضی برای تعیین مولفه های هندسی با شیب زیاد مناسب هستند. همچنین الگوی هندسی پربندهای مغناطیسی برای دستیابی به کمیت های زون کم شیب اولویت دارد.



شکل ۲- مطابقت توزیع پربندهای خمینگی با الگوی معماری طبیعت (افراز نسبت طلایی در دایره های فیثاغورث) بدین ترتیب روش ارائه شده در این تحقیق بر اساس افراز نسبت طلایی در پربندهای خمینگی است تا با استفاده از شعاع اثر ضرایب فی (۱/۶۱۸) و اوپلر (۲/۷۱۸)، امکان محاسبه سرعت و تکانه های خطی و زاویه ای مناطق مختلف فرورانش فراهم شود. از فرمول زیر برای محاسبه کمیت های مورد نظر استفاده میگردد.

$$V=R \omega \quad (1)$$

که در آن، منظور از  $V$  سرعت خطی صفحه فرورو (بر حسب میلیمتر بر سال)، منظور از  $R$ ، شعاع خم (میلیمتر) و منظور از  $\omega$ ، سرعت زاویه ای فرورانش بر حسب زاویه میلیمتر بر سال است.

#### بحث:

فرورانش مکران، یک الگوی پیچیده و چندفازی است که از استاندارد فرورانش های نیمکره شمالی تبعیت نمی کند. تغییرات ناگهانی شیب فرورانش، ضخامت قابل توجه منشور برافزایشی، گودال اقیانوسی ناقص و گستردگی زون فرورانش (مکران تا شمال جازموریان)، از مصادیق نادر و منحصر بفرد این ناحیه است که برای شناخت دقیق آن، نیازمند دستیابی به داده های منسجم و تولید مدل هایی با منطق تقلید از طبیعت هستیم (مهرنیا، ۱۴۰۰).

بطور مثال وضعیت گرانیتوئیدهای این ناحیه که در کمربند افیولیتی شمال مکران یافت میشوند، ابهام آمیز است و تیپ شناختی معینی ندارد. از دیدگاه زمین شناسی (Burg, 2018)، افیولیت ها منسوب به کرتاسه هستند که در خلال روآندگی کلی، روی گرانیتوئیدهای منسوب به ژئوراسیک قرار گرفته اند و عملاً ارتباطی با ولکانوپلوتونیسیم مکران ندارند. از سوی دیگر، در بین افیولیت های جوانتر، نشانه های بارز و متعددی از نفوذ رخساره های گرانیتوئیدی مشاهده میشود که اغلب اب پیدایش گابرو همراه است و احتمال هیبریداسیون کمربند مذکور و تشکیل H-type را افزایش میدهد. بنابراین از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی، وضعیت گرانیتوئیدهای کمربند افیولیتی شمال مکران ابهام آمیز است و درخور توجه و مطالعات سیستماتیک می باشد.

علاوه بر موارد ذکر شده، تاکنون احتمال گسیختگی لوت جنوبی مورد توجه زمین شناسان نبوده است، حال آنکه از دیدگاه مکانیکی و با رعایت اصل پایستگی تکانه های خطی و زاویه ای، ساختار فرورانش مکران در ذیل زاویه خمش ۵۲ درجه (پیدایش آتشفشانی بزمان)، با گسیختگی پشت کمان متناسب است و نشانه های جزئی آن در پروفایل تغییر سرعت امواج عرضی (Manaman et al, 2010) و گرادیان های ثقلی-مغناطیسی شمال جازموریان مشاهده می گردد. بنابراین، علیرغم افت سازوکار آبدایی صفحه فرورو، احتمال پیدایش رخساره های ماگمایی با ماهیت غیر مغناطیسی در مرز جازموریان - بلوک لوت دور از انتظار نیست و در اغلب مناطقی که تحت زاویه فرورانش بیش از ۴۵ درجه قرار دارند (مانند فرورانش شیلی در آمریکای جنوبی)، نیروهای فشارشی پشت قوس توسط نیروهای کششی جایگزین شده اند و شرایط مقدماتی ریفت زایی و پیدایش گرانیتوئیدهای نوع A را فراهم نموده اند. از آنجا که این رخساره ها فاقد نشانه های مغناطیسی بارز هستند و در مقایسه با چگالی قاره ها، اختلاف گرانی معناداری بوجود نمی آورند، لذا توسط روش های معمول ژئوفیزیکی قابل شناسایی نیستند و نیازمند برداشت های رادیومتری منظم با تاکید بر سنجش تغییرات محتوای پتاسیم می باشند.

از دیدگاه هندسی، تکانه های خطی و زاویه ای مکران تابع شیب فرورانش هستند و به ترتیب بر حسب شعاع خمینگی مغناطش (زون کم شیب) و گرانش (زون پرشیب) محاسبه می گردند. از دیدگاه نظری، سرعت زاویه ای صفحه عربی در مرز برخورد صفحه اوراسیا حدود ۰/۵۹ درجه است (Argus et al, 2010). اما در اشل زمانی (میلیون سال)، ضابطه حاکم بر فرمول ۱، برقرار نیست و برآورد دقیقی از زمان فرورانش مجدد مکران (اویل تا اواسط کرتاسه) به دست نمیدهد. لذا با بهره گیری از پربندهای خمینگی (شکل ۱) و تعیین شعاع سطوح فی - اویلر (شکل ۲)، مقادیر مختلف R تعیین و نتایج متناسب با فازهای فرورانش به دست آمده اند. مطابق جدول ۱، سرعت زاویه ای بره تخت حدود ۰/۵ درجه بر میلیون سال، زون فرورانش کم شیب، ۰/۶ درجه بر میلیون سال و زون فرورانش پرشیب، ۰/۷ درجه بر میلیون سال است. لازم به ذکر است که تغییرات سرعت زاویه ای بر اساس تغییرات شعاع خمینگی پربندهای گرانی، مغناطیسی و امواج عرضی محاسبه گردیده و تابعی از شعاع دایره های فی - اویلر است.

جدول ۱- پارامترهای هندسی متناسب با پایستگی تکانه های خطی و زاویه ای در مقطع فرورانش مکران- بزمان

Subduction Angle	Location	Curvature Radius 10 <sup>-6</sup> m	Angular Velocity (dg M/yr)
Flat Slab	Coastal to Inner Makran	0/7	0/5
Low Angle	Inner to North Makran	2/69	0/6
High Angle	North Makran to Jazmuriyan	3/11	0/7

### نتیجه گیری:

نتایج تحلیل هندسی زون فرورانش مکران با استفاده از خمینگی پربندهای ژئوفیزیکی و با استناد بر الگوریتم نسبت های طلایی فیثاغورث بدست آمده اند. طبق الگوی هندسی ارائه شده، تغییرات سرعت زوایه ای در حدفاصل منشور برافزایشی مکران تا کمر بند آتشفشانی بزمان، منجر به ناپایداری تکانه های خطی و زوایه ای شده و آثار آن در دگرریختی آمیزه های افیولیت گرانیتوئیدی و گوناگونی رخساره های کالکوالکان بزمان مشهود است.

از دیدگاه ژئودینامیکی، گسستگی جنوب لوت، یک سازوکار اجتناب ناپذیر برای بازگشت به حالت پایدار است. نشانه های چنین سازوکاری در پایه سنگی جازموریان مشاهده شده است، بطوری که مغناطش زیر این چاله را ناشی از بازشدگی اولیه نئوتیس میدانند و شرایط گسیختگی لوت جنوبی بر اساس مولفه های مکانیکی و مورفولوژیک صفحه فرو رو فراهم است. در صورت وجود چنین تنش هایی، افزایش فشار پی سنگ جازموریان و عدم تشکیل کانون های زلزله توجیه پذیر است. همچنین علاوه بر پتانسیل گرانیتوئیدهای نوع H (کمر بند افیولیتی شمال مکران)، چنانچه گسیختگی پشت کمان جازموریان (فاز سوم)، شرایط ریفت زایی جزئی را در اعماق لوت جنوبی فراهم نموده باشد، بازبینی پتانسیل های معدنی نزدیک به پلوتونیسیم بزمان با هدف شناسایی گرانیتوئیدهای نوع A1، قویا توصیه می گردد. از منظر زمین شناسی اقتصادی، تغییرات شیب فرورانش مکران و قفل شدگی آن در همسایگی بلوک لوت، اهمیت دارد و احتمال شکل گیری رخساره های ماگمایی ترکیبی با گرایش به انواع  $H_I$  تا  $H_A$  را افزایش میدهد. بدین ترتیب، انتظار ما از منابع معدنی مکران بویژه در اطراف آتشفشان بزمان متفاوت از قبل خواهد بود. لذا یک پیشنهاد مهم و عملی برای بازبینی پتانسیل های معدنی این منطقه، استفاده از داده های رادیومتری هوایی با تاکید بر تغییر محتوای پتاسیم در مقابل توریم است تا زمینه تحقیقات مستقل از نوفه های ثقلی و مغناطیسی را فراهم نماید.

### منابع:

- مهرنیا، س.ر.، ۱۴۰۰. هندسه طلایی طبیعت (علوم زمین)، نشر ستایش، چاپ اول، ۲۸۳ ص.
- Argus, D.F., Gordon, R.G., Heflin, M.B., Ma, Ch., 2010. The angular velocity of the plates and the velocity of Earth center from space geodesy, *Geophysical Journal International (GJI)*, 180(3), 913-960.
- Burg, J.P., 2018. Geology of the onshore Makran accretionary wedge: Synthesis and tectonic interpretation, *Earth-Science Reviews*, 185, 1210-1231.
- Manaman, N.Sh., Shomali, H., Koyi. H., 2011. New constraints on upper-mantle S-velocity structure and crustal thickness of the Iranian plateau using partitioned waveform inversion, *GJInternational*, 184, 247-267.
- Motaghi, K., Shabanian, E., Nozad-Khalil, T., 2020. Deep structure of the western coast of the Makran subduction zone, SE Iran, *Tectonophysics*, 776. 228314.
- Namaki, L., Gholami, A., Hafizi, M.A., 2011. Edge-preserved 2-D inversion of magnetic data: an application to the Makran arc-trench complex, *GJI*, 184, 1058-1068.

## ارزیابی اهمیت متغیرهای موثر بر لرزه خیزی ایران

مرضیه خلیلی<sup>۱\*</sup>، مهدی ژولیده استوار<sup>۲</sup>

<sup>۱,۲</sup>بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

marzieh-khalili@ahirazu.ac.ir

### چکیده:

زلزله به عنوان یکی از مخرب ترین پدیده‌های طبیعی همواره زندگی بشر را مورد تهدید قرار می دهد. ایران به دلیل شرایط زمین ساختی خاص یکی از لرزه خیزترین مناطق جهان می باشد. مطالعه پدیده زمین لرزه و پارامترهای موثر بر آن به ما در جهت شناخت هر چه بیشتر زلزله کمک می نماید. در این پژوهش به منظور ارزیابی اهمیت متغیرهای موثر بر لرزه خیزی ایران، اطلاعات زمین شناسی شامل جنس و سن سنگ‌ها، چگالی طول گسل و داده‌های لرزه خیزی ایران به صورت رقومی جمع آوری گردید؛ سپس با استفاده از روش داده کاوی (روش کارت) اطلاعات جمع آوری شده به منظور استخراج پارامترهای موثر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصله حاکی از آن است که بزرگی زمین لرزه و نوع سنگ های منطقه (آذرین و رسوبی) مهمترین پارامترهای موثر بر لرزه خیزی در بین پارامترهای مورد مطالعه می باشد.  
کلیدواژه: (داده کاوی، روش کارت، زلزله، متغیرهای موثر بر لرزه خیزی)

## Assessing variable importance of seismicity in Iran

Maezieh Khalili; Mahdi Zholideh Ostovar

### Abstract

Earthquake is one of the most destructive natural phenomena that constantly threatens human life. Due to special tectonic conditions, Iran is one of the most seismic regions in the world. Studying the earthquake and its causative parameters helps to understand this event as much as possible. In this research, the geological and seismological information, including the type and age of the rocks, fault length density, and seismic data, were collected to assess the variable importance of seismicity in Iran. The classification and regression tree (CART) method is used to extract effective seismicity parameters in Iran. The results indicate that the magnitude of the earthquake and the type of rocks (igneous and sedimentary) are Iran's most important seismicity parameters.

### مقدمه:

با توجه به واقع شدن ایران بر روی یکی از فعال ترین کمربندهای لرزه خیز جهان، زمین شناسی پیچیده، وجود گسل های فراوان و آتشفشان های فعال همواره شاهد وقوع زلزله های مخرب در این سرزمین هستیم، لذا مطالعه پدیده زلزله و عوامل موثر بر آن یکی از مهمترین اهداف محققان بوده است. دانشمندان بسیاری لرزه خیزی در ایران را مطالعه نمودند که از جمله افراد پیشتاز می توان به نوروزی (۱۹۷۶)، بربریان (۱۹۷۹)، امبریسی و ملویل (۱۹۸۲) و توکلی و غفوری آشتیانی (۱۹۹۹) اشاره کرد.

با پیشرفت علم و افزایش حجم اطلاعات به کارگیری روشهای جدید تجزیه و تحلیل اطلاعات گسترش یافت و محققان برای مطالعه لرزه خیزی از این فناوریهای جدید بهره گرفتند که از آن جمله می توان به علم داده کاوی اشاره نمود. این دانش اطلاعات، الگوها و روابط مشخص در حجم انبوهی از دادهها را با هدف شناخت و پیش بینی رویدادها و با استفاده از مجموعه وسیعی از الگوریتمهای مبتنی بر علوم ریاضی و آمار بدست می آورد. پریتی و سونتی (Preethi and Sonthi, 2011) از روش داده کاوی برای پیش بینی زلزله استفاده کردند. در این تحقیق از دادههای تاریخی زلزله استفاده شد و در نهایت ترکیبی از داده کاوی و منطق فازی برای پیش بینی زلزلهها استفاده شد. زمانی و همکاران (Zamani et al., 2011; 2012) و (Khalili and Zamani, 2016) با بهره گیری از روش داده کاوی به مطالعه پارامترهای زمین شناسی و ژئوفیزیکی موثر بر لرزه خیزی ایران پرداختند.

اوتاری و ولکارن (Otari and Vulkarn, 2012) در مقاله خود به بررسی انواع روشهای داده کاوی در بحث پیش بینی زلزله پرداختند و منبع مفیدی را برای تحقیقات در زمینه داده کاوی زلزله را بوجود آوردند. بشلی و همکاران (Beshli et al., 2015) از داده های زلزلههای بیش از ۵ ریشتر که در ایران رخ داده اند استفاده کرده و از خوشه بندی دادهها به همراه پهنه بندی استفاده کردند. کولکارنی و همکاران (Kulkarni et al., 2017) کاربرد روشهای مختلف داده کاوی را برای بررسی زلزله بیان کردند. هدف این پژوهش، مطالعه برخی پارامترهای احتمالی موثر بر زمین لرزه و تعیین اهمیت آنها در وقوع زمین لرزههای با بزرگی  $M_w \geq 4.5$  در ایران می باشد. بدین منظور برخی پارامترهای زمین شناسی و لرزه خیزی ایران مورد بررسی، تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

#### روش مطالعه:

همه روزه حجم عظیمی از دادههای علمی در زمینههای گوناگون تولید می شوند. در چنین شرایطی، تحلیل بدنه بزرگ دادهها به شکل قابل درک و کاربردی، یک مساله چالش برانگیز است. علم داده کاوی (Data Mining) این مساله را با فراهم کردن روشها و نرم افزارهایی برای خودکارسازی تحلیلها و اکتشاف مجموعه دادههای بزرگ و پیچیده حل کرده است. به مجموعههای از روشهای قابل اعمال بر پایگاه دادههای بزرگ و پیچیده به منظور کشف الگوهای پنهان و جالب توجه نهفته در میان دادهها، داده کاوی گفته می شود. از داده کاوی برای خودکارسازی فرآیندها و انجام پیش بینی در پایگاه دادههای بزرگ استفاده می شود. فرآیند داده کاوی شامل چندین گام است. این فرآیند از دادههای خام آغاز می شود و تا شکلدهی دانش جدید ادامه دارد. فرآیند بازگشتی داده کاوی شامل گامهای زیر است: جمع آوری اطلاعات، یکپارچه سازی داده، انتخاب داده، تبدیل داده ها، کاوش دادهها، ارزیابی الگو و نهایتاً ارائه دانش.

در این تحقیق به منظور بررسی پارامترهای موثر بر لرزه خیزی ایران و کشف الگوهای موجود از یکی از محبوبترین و در عین حال سادهترین الگوریتمهای داده کاوی، درخت تصمیم (Classification & Regression tree) CART استفاده شده است که کاربردهای زیادی در طبقه بندی و رگرسیون دارد. روش کارت یکی از روشهای داده کاوی است که برای اولین بار توسط (بريمن و همکاران (1984) ارائه شد. این روش بطور موثری برای پیش بینی و استخراج قوانین از داده ها استفاده می شود. بدین منظور از روش کارت برای پیش بینی خروجی عددی بر اساس پارامترهای مختلف استفاده شده است. همان طور که نام آن نشان میدهد، CART ساخت درختان رگرسیونی دودویی را نیز تأمین می نماید. به منظور استفاده از الگوریتم CART، بایستی ابتدا یک ویژگی هدف را در مجموعه داده ها مشخص کنیم.

بحث:

در این تحقیق به منظور بررسی پارامترهای موثر بر لرزه خیزی ایران و کشف اهمیت آنها، در ابتدا منطقه مورد مطالعه (ایران) بر اساس نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ به چهار گوشه های یک درجه (عرض جغرافیایی) در یک و نیم درجه (طول جغرافیایی) به تعداد ۱۴۱ خانه تقسیم شد (شکل ۱).

برای هر چهار گوشه طیف وسیعی از داده های زمین شناسی را به صورت عددی با استفاده از GIS استخراج گردید. همچنین داده های لرزه ای ایران از تاریخ ۱۹۶۴ تا سال ۲۰۲۰ استخراج گردیده است.



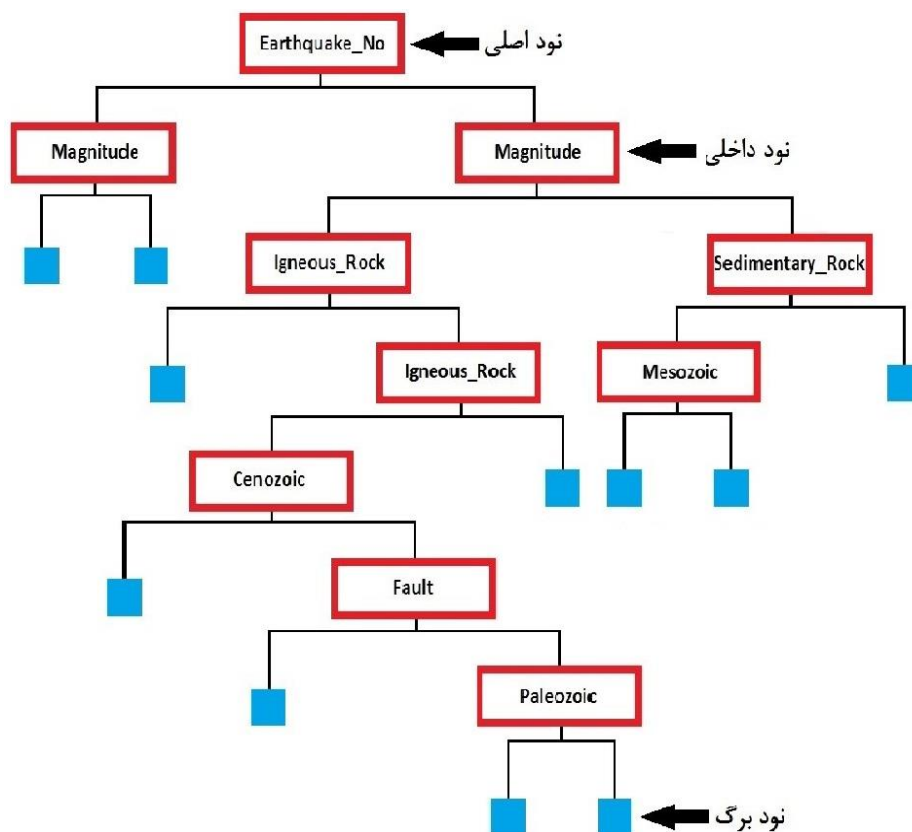
شکل ۱: تعداد ۱۴۱ چهار گوشه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰

این داده ها شامل تعداد زلزله با بزرگی  $M_w \geq 4.5$  در هر چهار گوشه، بزرگترین زلزله رخ داده، چگالی گسل های موجود در هر چهار گوشه، سن زمین شناسی و جنس سنگ در هر چهار گوشه می باشد. داده های زمین شناسی از نقشه های زمین شناسی ایران سازمان زمین شناسی به صورت رقومی استخراج شده است. داده های لرزه ای از سایت USGS بدست آمده است (جدول ۱).

جدول ۱: پارامترهای به کار رفته در پژوهش

شماره	پارامتر
۱	تعداد زلزله با بزرگی $M_w \geq 4.5$
۲	بزرگی زلزله (بزرگترین زلزله رخ داده در هر چهار گوشه)
۳	چگالی گسل
۴	سنگ رسوبی و رسوبات
۵	سنگ دگرگونی
۶	سنگ آذرین
۷	سنگهای زمان سنوزوئیک
۸	سنگهای زمان مزوزوئیک
۹	سنگهای زمان پالئوزوئیک
۱۰	سنگهای زمان پرکامبرین














شکل ۲: نمایی از نمودار درختی ترسیم شده توسط مدل با هدف تعداد زلزله های با بزرگی  $M_w \geq 4.5$

در درخت تصمیم خروجی قوانین به صورت درختی بوده و پارامترهایی که دارای اهمیت بیشتری باشند در سر شاخه ها قرار می گیرند. در موضوع اهمیت متغییرها به بررسی مقدار اهمیت پارامترها و میزان تاثیر آنها بر پارامتری که به عنوان هدف انتخاب شده است، پرداخته میشود. در ادامه، در فرایند بررسی اهمیت پارامترها، با توجه به میزان اهمیت هر یک از این متغییرها برای هدف، امتیازی به آن ها داده میشود که بازه آن از ۰ تا ۱۰۰ می باشد. نکته حایز اهمیت آنست که در این روش تنها پارامترهایی که دارای درجه اهمیت بالای ۳۳ درصد هستند مهم محسوب می شوند و پارامترهای زیر این مقدار در نظر گرفته نمی شود.

جدول ۲: جدول اهمیت متغیرهای موثر بر تعداد زلزله های با بزرگی  $M_w \geq 4.5$

Variable	Score	
Magnitude	100.0	
Igneous Rock	52.85	
Sedimentary	52.33	
Mesozoic	29.83	
Cenozoic	22.16	
Fault Length density	10.46	
Precambrian	7.54	
Paleozoic	4.24	
Metamorphic Rock	2.37	

با توجه به خروجی داده ها (جدول ۲)، مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر هدف (تعداد زلزله های با بزرگی  $M_w \geq 4.5$ ) بزرگی است که بیانگر بزرگترین زلزله رخ داده در هر چهارگوش میباشد. این پارامتر با مقدار ۱۰۰ درصد بیشترین اهمیت را برای هدف داشته اند، که بیانگر این مسئله میباشد که هر چه بزرگی زلزله های به وقوع پیوسته بیشتر باشد تعداد زلزله ها در آن محدوده نیز بیشتر است.

دومین پارامتر با اهمیت و موثر در لرزه خیزی ایران با توجه به پارامترهای بررسی شده، سنگ های آذرین با مقدار ۵۲.۸۵ می باشد. سومین پارامتر مهم و موثر بر لرزه خیزی، سنگ های رسوبی در یک چهارگوش است. مقدار اهمیت این پارامتر ۵۲.۳۳ می باشد. شاید با توجه به اینکه جنس سنگ رسوبی دارای مقاومت و سختی کمتری نسبت به سایر سنگ ها می باشند، سبب میشود تا در این مناطق تعداد زلزله های بیشتری را تجربه کنیم.

لازم به ذکر است که اهمیت پارامترها در این روش بر اساس مجموعه داده ارایه شده و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر بیان می نماید. این بدان معنی است که یک پارامتر به صورت مطلق دارای اهمیت کلی نمی باشد و اگر مجموعه جدید داده ای گردآوری شود مجدد نیاز است که فرایند تکرار گردد و مهمترین پارامتر در شرایط جدید ممکن است تغییر نماید زیرا تعامل کلی پارامتر ها را نشان می دهد.

### نتیجه گیری:

در این پژوهش به بررسی اهمیت متغیرهای موثر بر لرزه خیزی ایران پرداخته شده است. با توجه به عوامل متعدد دخیل در این رخداد و حجم بالای داده های مربوط به آن، به منظور بهره مندی هر چه بیشتر از داده ها و نتیجه گیری هر چه صحیح تر، از روش داده کاوی و تعداد نه پارامتر زمین شناسی و لرزه ای شامل جنس و سن سنگ ها، چگالی طول گسل و داده های لرزه خیزی ایران استفاده گردید. سپس، متغیرهای با اهمیت بالا برای هدف تعداد زلزله های با بزرگی  $M_w \geq 4.5$  مشخص گردید. نتایج حاکی از آنست که متغیرهای بزرگی زلزله، جنس آذرین و رسوبی سنگ ها نیز از متغیرهای با اهمیت بالا در لرزه خیزی ایران در نظر گرفته شده است و سایر متغیرها نیز از نظر اهمیت در درجات بعدی قرار گرفته اند.

منابع:

- Ambraseys, NN., Melville, C.P., 1982. A history of persian earthquakes. Cambridge Univ Press, Cambridge 219
- Berberian, M., 1979. Discussion of the paper A. A. Nowroozi, 1976 seismotectonic province of Iran. Bull Seismol Soc Am 69,293–297.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J., 1984. Classification and regression trees. Wadsworth, Inc, Monterey
- Besheli, P. R., Zare, M., Umali, R. R., Nakhaeezadeh, G., 2015. Zoning Iran based on earthquake precursor importance and introducing a main zone using a data-mining process. Natural Hazards 78(2), 821-835.
- Khalili, M., Zamani, A., 2016. Application of the rule extraction method to evaluate seismicity of Iran. Geopersia 6(2), 233-242.
- Kulkarni, R., Kulkarni, R., 2017. Earthquake Prediction Using Data Mining. IJSR, 6.
- Nowroozi, A., 1976. Seismotectonic provinces of Iran. Bull Seismol Soc Am 66: 1249–1276.
- Otari, G. V., Kulkarni, R. V., 2012. A review of application of data mining in earthquake prediction. International Journal of Computer Science and Information Technologies 3(2), 3570-3574.
- Preethi, G., Santhi, B., 2011. Study on techniques of earthquake prediction. International Journal of Computer Applications 29(4), 55-58.
- Tavakoli, B., Ghafory-Ashtiany, M., 1999. Seismic hazard assessment of Iran. Annali DI Geofisic.a 42: 1013– 1021.
- Zamani, A., Sami, A., Khalili, M., 2012. Multivariate rule-based seismicity map of Iran: a data-driven model. Bulletin of Earthquake Engineering 10(6), 1667-1683.
- Zamani, A., Khalili, M., Gerami, A., 2011. Computer-based self-organized zoning revisited: scientific criterion for determining the optimum number of zones. Tectonophys 510, 207–216.

## تحلیل ساختاری منطقه میشداغ و الله اکبر دشت آزادگان

میعاد عیباوی<sup>\*</sup>، عباس چرچی<sup>۱</sup>، بابک سامانی<sup>۲</sup>

\* - گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(abiavipan@gmail.com)

### چکیده:

محدوده ی مورد مطالعه در پهنه ساختاری فروافتادگی دزفول واقع شده است. بر اساس نتایج مطالعات سنجش از دور و ژئوفیزیک ۳ گسل سطحی، ۸ گسل زیر سطحی و ۷ تاقدیس در این محدوده شناسایی گردید. گسل های سطحی منطقه دارای روند شمال غرب - جنوب شرق می باشند. به دلیل عملکرد این گسل ها، در منطقه ارتفاعات منفردی در میان دشت ایجاد گردیده است که کوه های میشداغ و الله واکبر عمده ترین واحدهای ریخت شناسی منطقه می باشند. همچنین بررسی توزیع مکانی رویداد زمین لرزه ها در منطقه نشان می دهد که توزیع زمین لرزه های منطقه مرتبط با گسل های سطحی و زیر سطحی می باشد؛ بنابراین گسل های منطقه به عنوان چشمه های لرزه زا از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند.

کلیدواژه: تحلیل ساختاری، میشداغ، الله اکبر، دشت آزادگان

## Structural analysis of Mishdagh and Allah Akbar regions of Dasht Azadegan Miad Abiavi<sup>\*</sup>, Abbas Charchi<sup>1</sup>, Babak Samani<sup>2</sup>

\*-Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz,  
Ahvaz, Iran

### Abstract

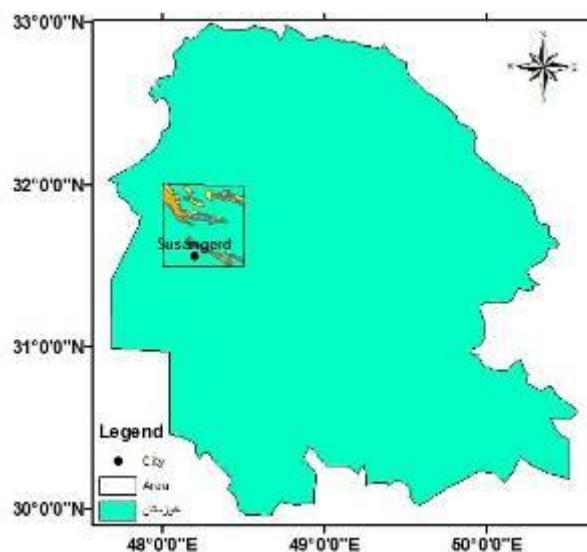
The study area has been located in the Dezful embayment structural zone. According to the remote sensing and geophysics studies 3 surficial faults, 8 underground faults and 7 Anticline have been detected. The surficial faults mainly show the NW- SE trend. Activation of these faults cases to form single heights such as Mishdagh and AllahAkbar mountains that are the main morphological units of the region. Also, the study of the spatial distribution of seismic events in the region show that the distribution of earthquakes in the region is related to activity of surface and subsurface faults. Therefore, faults in the region are the most importance seismic sources.

KeyWords: Structural analysis, Mishdagh, Allahu Akbar, Dashte Azadegan.

### مقدمه:

حوادث تکتونیکی یک ناحیه حاصل عملکرد ساختارهایی بر روی سطح یا زیر سطح پوشش رسوبی می باشند که موقعیت و نحوه عملکرد این ساختارها ناشناخته است و تنها با انجام مطالعات تکتونیکی دقیق می توان به وجود آن ها پی برد. ارزیابی تکتونیک فعال یک منطقه ضمن آن که اطلاعات تکتونیکی لازم را فراهم می نماید نقاطی با دگرشکلی های تکتونیکی را نیز آشکار می سازد و بنابراین می تواند وجود برخی از ساختارها در زیر پوشش رسوبی را به ما نشان دهد. وجود حرکت های مختلف بر روی گسل هایی با روند یکسان در جنوب غرب کشور نشان می دهد که هنوز تکتونیک خوزستان به خوبی شناخته نشده و ابهامات بسیاری در مورد آن وجود دارد که برخی از آن ها ممکن است حاصل عملکرد ساختارهایی در زیر پوشش رسوبی باشد. با شناسایی دگرشکلی های تکتونیکی در سطح منطقه خوزستان می توان نسبت به وجود گسل در زیر پوشش

رسوبی اظهار نظر نمود و تاثیر حرکت آن ها در تکتونیک جنوب غرب کشور و نیز در لرزه خیزی منطقه خوزستان را پیش بینی نمود. بنابراین ارزیابی تکتونیک فعال استان خوزستان ضمن آن که می تواند بسیاری از ابهامات تکتونیک را در سطح استان و منطقه روشن نماید اطلاعات اولیه و بنیادی از وضعیت تکتونیک استان را نیز فراهم می نماید. منطقه مورد مطالعه دارای موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی، در غرب استان خوزستان قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در ایالت ساختاری زاگرس چین خورده - رانده، از لحاظ جغرافیایی در گستره خوزستان و از لحاظ موقعیت ساختاری در فروافتادگی دزفول قرار گرفته است، این منطقه نیز دارای ساختارهای زمین شناسی متعددی می باشد که از این ساختارها، گسل ها مسبب زلزله های منطقه نیز می باشند به همین دلیل مطالعه این ساختارها اهمیت فراوان پیدا کرده اند که در مقاله حاضر به تحلیل این ساختارها پرداخته، و خطرهای حاصل از آن ها را نیز مورد مطالعه قرار داده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه خوزستان

#### روش مطالعه:

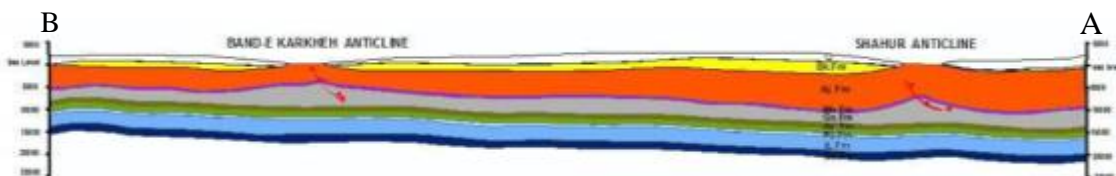
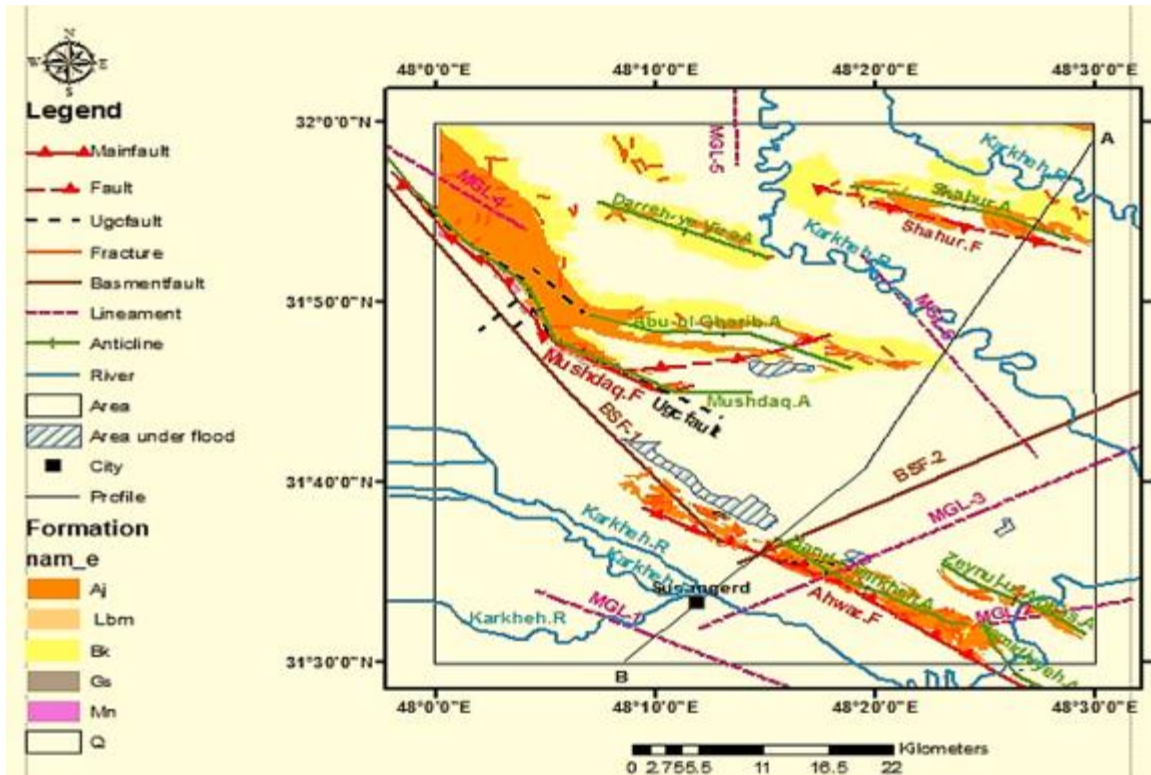
جهت تحلیل ساختاری منطقه مورد مطالعه، نقشه های زمین شناسی منطقه، گزارشات زمین شناسی و پایان نامه های اجرا شده در منطقه جمع آوری و مورد مطالعه قرار گرفتند. با استفاده از این اطلاعات اقدام به شناسای ساختارهای زمین شناسی گستره مطالعاتی گردید و با بکارگیری نرم افزار Arc Gis 10.6 نقشه ی زمین شناسی منطقه ترسیم گشت. هم چنین، به منظور آگاهی از پتانسیل لرزه خیزی محدوده، آمار زلزله های دستگاهی از پژوهشگاه مهندسی زلزله و زلزله شناسی ایران، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و سازمان زمین شناسی آمریکا اخذ گردید.

#### بحث:

#### ریخت شناسی:

منطقه مطالعاتی به لحاظ ریخت شناسی از دو واحد ژئومورفولوژی اصلی دشت های آبرفتی و کوهستانی تشکیل شده است. بخش دشت ۶۷ درصد منطقه را پوشش می دهد و حاصل آبرفت های ناشی از رودخانه کرخه می باشد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۲). حدود ۳۳ درصد منطقه مورد مطالعه کوهستانی می باشد. در این منطقه بواسطه عملکرد گسله هایی همچون اهواز، میشداغ و شاهور ارتفاعات منفردی در میان دشت ایجاد گردیده که کوه های میشداغ و الله اکبر عمده ترین واحدهای ریخت شناسی منطقه می باشند. مرتفع ترین منطقه دشت آزادگان کوه میشداغ است که حداکثر ارتفاع آن ۲۷۰ متر

می باشد. روند عمومی کوه های منطقه شمال غرب - جنوب شرق است (شکل ۲). حضور فرسایش تافونی که نوعی فرسایش بادی است، بیانگر حاکمیت اقلیم گرم و خشک در منطقه می باشد. سازندهای گچساران، میشان، آغاچاری، بخش لهبری و بختیاری در منطقه حضور دارند. بخش وسیعی از منطقه توسط نهشته های کواترنری شامل آبرفت های دامنه ای، رسوبات سیلابی آبراه ها، رسوبات ریزدانه دشت ها و ماسه های بادی پوشیده شده است.



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه همراه با مقطع زمین شناسی آن

### ساختارهای زمین شناسی گستره مورد مطالعه

#### تاقدیس ها:

**تاقدیس شاهور:** این تاقدیس در شمال شاهور قرار گرفته است و دارای طول تقریبی ۱۷ کیلومتر می باشد. روند این تاقدیس شمال غرب - جنوب شرق است (شکل ۳، الف). در این تاقدیس سازندهای بختیاری و آغاچاری و همچنین رسوبات کواترنری رخنمون دارند. شیب یال شمالی ۱۵ تا ۳۰ و شیب یال جنوبی ۲۴ تا ۵۲ درجه می باشد. این چین نامتقارن است.

**تاقدیس دره ویزا:** این تاقدیس در حاشیه شرقی رودخانه کرخه واقع شده است. طول تاقدیس دره ویزا حدود ۱۴ کیلومتر بوده و امتداد آن شمال غرب - جنوب شرق می باشد (شکل ۳، ب). در این تاقدیس سازند آغاچاری در هسته و سازند بختیاری و رسوبات کواترنری در یال های آن رخنمون دارند. تاقدیس مذکور تقریباً هم ارتفاع سطح دریاست. شیب یال شمالی این تاقدیس ۱۵ و یال جنوبی آن ۱۷ تا ۱۹ درجه است. این تاقدیس متقارن می باشد (سراب یاسی، ۱۳۹۶).

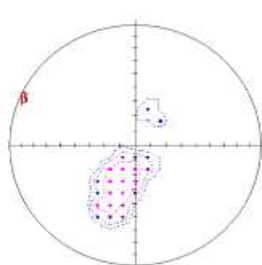
**تاقدیس ابوالغریب:** این تاقدیس در کوه میشداغ، واقع در شمال شرق شهرستان بستان قرار گرفته است. طول این تاقدیس حدود ۲۰ کیلومتر و دارای روند شرقی - غربی می باشد (شکل ۳، ج). سازندهای گچساران، آغاچاری، بختیاری و رسوبات کواترنر در محدوده تاقدیس رخنمون دارند. ارتفاع تاقدیس مذکور از سطح دریا حدود ۲۰۰ متر می باشد. شیب یال شمالی ۴ تا ۴۰ و شیب یال جنوبی ۲۳ تا ۵۹ درجه است. این تاقدیس نامتقارن می باشد (سراب یاسی، ۱۳۹۶).

**تاقدیس میشداغ:** این تاقدیس در شمال شرق شهرستان بستان و در کوه میشداغ قرار گرفته و دارای طولی حدود ۳۹ کیلومتر است که ۲۹ کیلومتر آن در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. روند این تاقدیس شمال غرب - جنوب شرق می باشد (شکل ۳، د). سازندهای بختیاری، آغاچاری، میشان و گچساران در محدوده تاقدیس رخنمون دارند. یال شمالی این تاقدیس لایه هایی با شیب ۶۵ تا ۷۰ و یال جنوبی آن لایه هایی با شیب ۸۵ درجه دارد. این تاقدیس نامتقارن می باشد.

**تاقدیس بند کرخه:** این تاقدیس در شمال شرق شهرستان سوسنگرد و در کوه الله اکبر قرار گرفته و دارای طولی حدود ۱۷ کیلومتر است. روند این تاقدیس شمال غرب - جنوب شرق می باشد (شکل ۳، ه). سازندهای موجود در محدوده تاقدیس بند کرخه عبارتند از سازند آغاچاری، بختیاری و رسوبات کواترنری می باشند. یال شمالی این تاقدیس دارای لایه هایی با شیب ۱۰ تا ۴۳ درجه و یال جنوبی آن دارای لایه هایی با شیب ۶ تا ۶۰ درجه می باشد. این تاقدیس در منطقه مورد مطالعه برگشته می باشد. این تاقدیس در کوه الله اکبر قرار دارد.

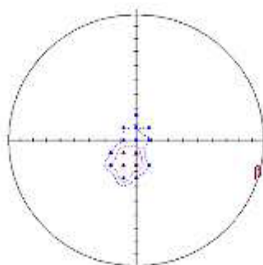
**تاقدیس حمیدیه:** این تاقدیس با طولی حدود ۱۱ کیلومتر در شمال رودخانه کرخه و غرب تاقدیس زین العباس و شرق شهرستان سوسنگرد و در کوه الله اکبر قرار گرفته که تقریباً ۵ کیلومتر آن در منطقه مورد مطالعه قرار دارد؛ امتداد آن شمال غرب - جنوب شرقی است (شکل ۳، پ) و در مرکز به سمت جنوب و جنوب غربی انحنای پیدا کرده است. سازندهای آغاچاری، بختیاری و رسوبات عهد حاضر در اطراف این تاقدیس رخنمون دارند. این تاقدیس تقریباً هم ارتفاع سطح دریاست. یال شمالی آن لایه هایی با شیب ۸ تا ۶۵ درجه و یال جنوبی آن لایه هایی با شیب ۹ تا ۶۴ درجه دارد. این تاقدیس در منطقه برگشته می باشد. تاقدیس حمیدیه در کوه الله و اکبر قرار گرفته است.

**تاقدیس زین العباس:** این تاقدیس در شرق شهرستان سوسنگرد بعد از تاقدیس های بند کرخه و حمیدیه قرار گرفته است. تاقدیس مذکور حدود ۱۳ کیلومتر طول دارد و روند عمومی شمال غرب - جنوب شرق می باشد (شکل ۳، ش) که با روند تاقدیس اهواز مطابقت دارد. تنها سازند رخنمون یافته در محدوده تاقدیس زین العباس، سازند آغاچاری و رسوبات کواترنری می باشند. تاقدیس مذکور تقریباً هم ارتفاع سطح دریاست و رودخانه کرخه عرض تاقدیس را بریده و از میان آن عبور کرده است. شیب یال شمالی ۶ تا ۶۷ و شیب یال جنوبی ۶ تا ۷۴ می باشد این تاقدیس نامتقارن است.



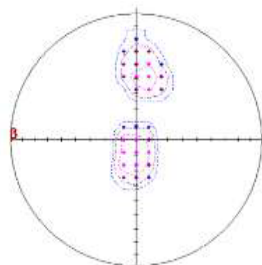
B:N294/003

الف



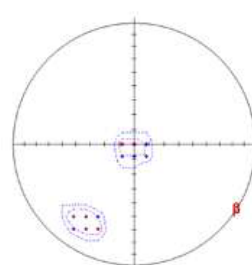
B:N104/002

ب



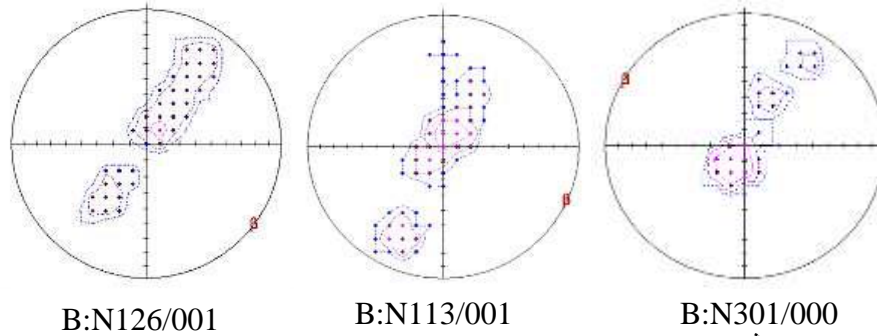
B:N273/002

ج



B:N122/001

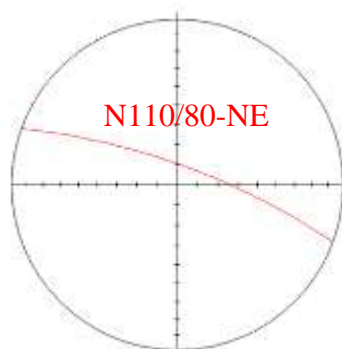
د



شکل ۳. استروگرام تاقدیس های منطقه با توجه به برداشت های صورت گرفته از منطقه الف) تاقدیس شاهر، ب) تاقدیس دره ویزا، ج) تاقدیس ابوالغریب، د) تاقدیس میشداغ، ه) تاقدیس بند کرخه، پ) تاقدیس حمیدیه، ش) تاقدیس زین العباس.

### گسل های سطحی

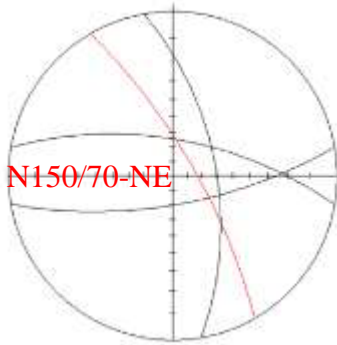
**گسل اهواز:** این گسل از شمال شهرستان سوسنگرد آغاز گردیده و ضمن عبور از شهرستان های حمیدیه و اهواز تا جنوب شرق اهواز کشیده شده است. طول این گسل ۹۰ کیلومتر بوده (چرچی و صفری، ۱۳۸۵) که تنها ۲۸/۱۹ کیلومتر آن در منطقه قرار دارد. روند این گسل شمال غرب - جنوب شرق و شیب آن شمال شرق می باشد (شکل ۴). بر اساس مطالعات و مشاهدات صحرائی و اندازه گیری های بعمل آمده این گسل دارای مکانیسم عمده حرکتی معکوس بوده که باعث راندگی تاقدیس اهواز (با رخنمون سطحی آجاجاری) بر روی دشت آبرفتی گردیده است.



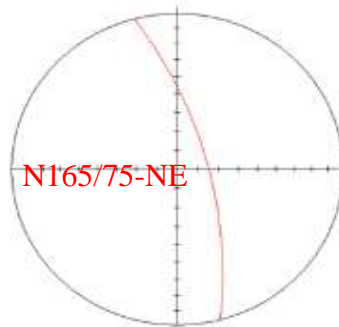
شکل ۴. نمایی از گسل اهواز در یال شمال شرقی تاقدیس حمیدیه (خط قرمز رنگ نشان دهنده گسل اهواز می باشد) به همراه استروگرام گسل اهواز در یال شمال شرقی تاقدیس حمیدیه

**گسل میشداغ:** این گسل در شمال شرق شهرستان بستان (در منطقه مرز ایران و عراق) واقع گردیده است. روند آن شمال غرب - جنوب شرق بوده که بایک خمش آشکار روند آن تغییر کرده و روند شرقی - غربی به خود گرفته است. شیب این گسل شمال شرق می باشد. طول کل گسل میشداغ ۵۲ کیلومتر بوده که بخش شمال غرب - جنوب شرق آن حدود ۳۶ کیلومتر بوده که ۲۵/۵ کیلومتر آن در منطقه حضور دارد و بخش شرقی - غربی حدود ۱۶ کیلومتر بوده که تمام آن در منطقه وجود دارد. بر اساس مطالعات و مشاهدات صحرائی و اندازه گیری های بعمل آمده، این گسل دارای عمده مکانیسم حرکتی راستالغز راست بر با مقداری مولفه معکوس می باشد و عملکرد آن باعث رانده شدن تاقدیس میشداغ بر روی دشت آبرفتی گردیده است. بخش خمش یافته گسل دارای مکانیسم عمده حرکتی شیب لغز معکوس می باشد (چرچی و صفری، ۱۳۸۵) (شکل ۵).





شکل ۵. نمایی از راندگی سازند گچساران بر روی دشت آبرفتی در اثر عملکرد گسل میشداغ به همراه استریوگرام آن  
**گسل شاهور:** این گسل در شمال شاهور (در مسیر دزفول – اهواز) قرار گرفته است و دارای طولی حدود ۲۲ کیلومتر بوده و  
 روند آن شمال غرب – جنوب شرق می باشد. شیب گسل شاهور شمال شرق بوده است (چرچی و صفری، ۱۳۸۵) و سازوکار  
 آن معکوس می باشد (شکل ۶).



شکل ۶: محاسبه صفحه گسلش گسل شاهور

### گسل های پی سنگی

**گسل میشداغ – حمیدیه (BSF-1):** این گسل در شمال غربی شهرستان سوسنگرد واقع شده دارای طولی حدود ۵۰  
 کیلومتر که ۳۶/۸ کیلومتر آن در منطقه دشت آزادگان قرار گرفته است. روند این گسل شمال غرب – جنوب شرق می باشد.  
**گسل سوسنگرد (BSF-2):** این گسل پی سنگی با داشتن طولی حدود ۹۳ کیلومتر که تنها ۳۰/۴ کیلومتر از آن در منطقه  
 قرار گرفته، از شهرستان سوسنگرد تا شرق شهرستان شوشتر کشیده شده است. امتداد این گسل شمال شرق – جنوب غرب  
 می باشد.

**UGCFAULT:** این گسل که از روی نقشه های ساختاری زیر سطحی مربوط به بخش بالایی سازند آسماری که دارای عمقی  
 حدود ۳۰۰-۵۵۰۰ متر استخراج شده؛ دارای طولی حدود ۳۲/۵ کیلومتر است که ۲۷/۵ کیلومتر آن در منطقه واقع شده است.  
 روند آن شمال غرب – جنوب شرق می باشد.

**گسل جنوب اهواز (MGL-1):** این خطواره که از جنوب سوسنگرد آغاز گردیده تا جنوب اهواز کشیده شده موازی با گسل  
 اهواز می باشد. امتداد آن شمال غرب – جنوب شرق است. این خطواره دارای طولی حدود ۷۵ کیلومتر می باشد که ۱۵/۴  
 کیلومتر از آن در منطقه قرار دارد. این خطواره در حد میادین اهواز و منصوری قرار گرفته است (چرچی و صفری، ۱۳۸۵).

**گسل حمیدیه - ملاثانی (MGL-2):** این خطواره از شمال حمیدیه شروع شده و با گذر از منطقه ملاثانی تا جنوب مسجد سلیمان کشیده شده است؛ دارای طولی حدود ۱۰۹ کیلومتر بوده که تنها ۸/۴ کیلومتر از آن در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. روند آن شمال شرق - جنوب غرب می باشد (چرچی و صفری، ۱۳۸۵).

**گسل سوسنگرد - بتوند (MGL-3):** این خطواره از شهرستان سوسنگرد آغاز گردیده و تا شرق شوشتر (روستای بتوند) و شمال غرب مسجد سلیمان کشیده شده است؛ دارای طولی حدود ۱۰۴ کیلومتر بوده که ۳۲/۶ کیلومتر آن در منطقه مطالعاتی واقع شده است. امتداد این خطواره شمال شرق - جنوب غرب می باشد (چرچی و صفری، ۱۳۸۵).

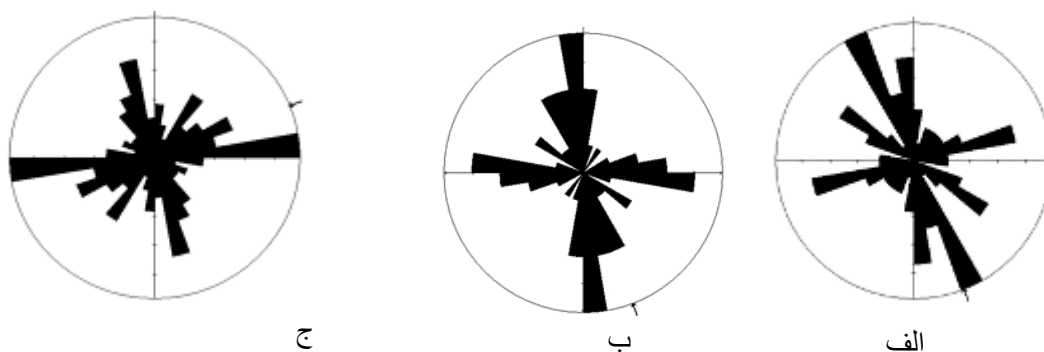
**گسل میشداغ (MGL-4):** این خطواره در کوه میشداغ در شرق شهرستان بستان واقع است. خطواره مذکور دارای طولی حدود ۵۱ کیلومتر بوده و امتداد آن شمال غرب - جنوب شرق می باشد. ۸/۸ کیلومتر آن در منطقه قرار دارد.

**گسل شوش (MGL-5):** این خطواره از شمال شهرستان شوش آغاز گردیده و تا غرب تاقدیس شاهر کاشیده شده است. از ۴۵ کیلومتر طول این خطواره تنها ۴/۶ کیلومتر آن در محدوده مورد مطالعه واقع است. امتداد این خطواره شمالی - جنوبی می باشد (چرچی و صفری، ۱۳۸۵).

**گسل شاهر (MGL-6):** این خطواره در جنوب تاقدیس و گسل شاهر (در مسیر اهواز - دزفول) قرار گرفته است. خطواره شاهر طولی حدود ۲۵ کیلومتر دارد که به طور کامل در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. روند این خطواره شمال غرب - جنوب شرق می باشد (چرچی و صفری، ۱۳۸۵).

#### شکستگی های موجود در گستره مورد مطالعه

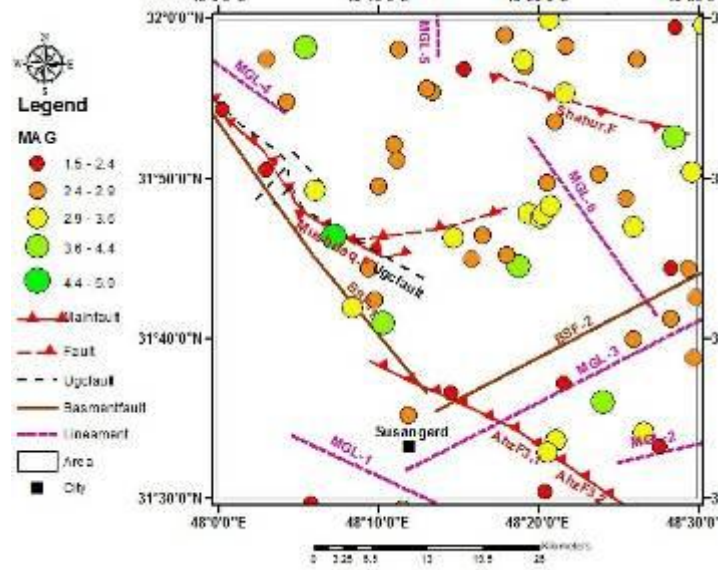
شکستگی های موجود در منطقه الله اکبر دارای روندهای شمال غرب - جنوب شرق، شمال شرق - جنوب غرب و شمالی - جنوبی می باشد (شکل ۷ الف)، همچنین شکستگی های منطقه میشداغ روند شمالی - جنوبی و شرقی - غربی دارد (شکل ۷ ب)، در کل شکستگی های موجود در منطقه دارای سه روند شرقی - غربی، شمال غرب - جنوب شرق و شمال شرق - جنوب غرب می باشند (شکل ۷ ج).



شکل ۷. الف: رزداگرام شکستگی های الله اکبر، ب: رزداگرام شکستگی میشداغ، ج: رزداگرام شکستگی های موجود در منطقه

#### نتیجه گیری:

در منطقه مورد مطالعه ساختارهای زمین شناسی متعددی وجود دارد که گسل های سطحی و زیر سطحی (پی سنگی) به عنوان چشمه های لرزه زا از اهمیت فراوانی برخوردار می باشند. یکی از آثار گسل های سطحی و زیر سطحی همخوانی با کانون های سطحی (زلزله) می باشد (شکل ۸). همچنین روند شکستگی ها تحت تاثیر روند گسل های زیر سطحی قرار گرفته اند. از نظر لرزه خیزی گسل های سطحی منطقه بدلیل داشتن سازوکار معکوس، نسبت به گسل های زیرسطحی از خطر بیشتری برخوردار هستند.



شکل ۸. تطابق کانون های سطحی با گسل های منطقه

#### منابع:

- سراب یاسی، آ، ۱۳۹۶. بررسی هیدرولوژیکی منابع آب زیرزمینی دشت آزادگان (حمیدیه - بستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش هیدرولوژیکی، گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز.
- صفری، ح، آ، چرچی، ع، ۱۳۸۵. بررسی لرزه زمین ساختی و خطر زمین لرزه - گسلش در چهار گوشه اهواز، سازمان زمین شناسی کشور، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- عبیوی، م، ۱۳۹۹. مطالعه زمین شناسی ساختاری و لرزه زمین ساخت منطقه دشت آزادگان، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش تکتونیک، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کاتالوگ لرزه ای ۲۰۲۰-۱۹۸۰ از سایت مرکز لرزه نگاری بین المللی (ISC).
- مقصودی، م، مقیمی، آ، یمان، م، چرخایی، آ، ایرانمنش، ف، ۱۳۹۲. تحلیل وقایع محیطی هولوسن دشت آزادگان بر اساس توالی و خصوصیات رسوب شناسی، نشریه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱، ص ۴۹-۶۶.
- نقشه زمین شناسی چهار گوشه اهواز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه سوسنگرد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

## برآورد پارامترهای لرزه خیزی گسل‌های فعال کوهزاد زاگرس در استان کردستان به

### روش گوتنبرگ - ریشتر و کیجکو - سلوول

سید ماجد عطاپور<sup>۱</sup> مریم ده بزرگی<sup>۲\*</sup> رضا نوزعیم<sup>۳</sup> عبدالله سهرابی بیدار<sup>۴</sup> هیوا اللهیاری<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته زمین‌ساخت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران

۲- استادیار، رشته زمین‌ساخت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران (M\_dehbozorgi@khu.ac.ir)

۳- استادیار، رشته زمین‌ساخت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تهران، ایران

۴- دانشیار، رشته زمین‌فیزیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تهران، ایران

۵- کارشناس ارشد، رشته زمین‌ساخت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران

#### چکیده:

زمین ساخت منطقه استان کردستان و گسل‌هایی با فعالیت چشمگیر در نهشته‌های کواترن، بیانگر لرزه‌خیزی بالای پهنه مورد مطالعه می باشد. لرزه‌خیزی بالای آن را می‌توان به نوع آزادسازی انرژی گسل‌ها و دوره‌های بازگشت کوتاه مدت این پهنه دانست. با توجه به موارد ذکر شده، در مطالعه‌ی حاضر وضعیت لرزه‌خیزی ناحیه را با بررسی دوره بازگشت احتمالی و آهنگ میانگین رویداد با استفاده از کاتالوگ زمین لرزه‌های تاریخی و زمین لرزه‌های دستگاهی ثبت شده بعد از ۱۹۰۰ میلادی به روش گوتنبرگ-ریشتر در شعاع ۱۵۰ کیلومتری استان کردستان به مرکزیت شهرستان سنندج مورد بررسی قرار داده شد. سپس با استفاده از نرم افزار Zmap نمودار میله‌ای فراوانی بزرگای زمین‌لرزه‌ها برحسب بزرگای گشتاوری، سال و عمق داده های لرزه‌ای ترسیم گردید. با توجه به یکنواخت نبودن عدم قطعیت در بزرگای زمان- مکان زمین لرزه‌های رخ داده و کامل نبودن داده‌های لرزه‌ای تاریخی جهت برآورد پارامترهای  $M_{max}$ ،  $b$ ، دوره بازگشت، احتمال وقوع زمین لرزه در بازه‌های زمانی ۱- ۵۰- ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال و آهنگ میانگین رویداد زلزله‌ها از روش کیجکو- سلوول (Kijko and Sellevoll) نیز استفاده شده است.

کلیدواژه: لرزه زمین‌ساخت، پارامترهای لرزه خیزی، آهنگ میانگین رویداد، گوتنبرگ-ریشتر، کیجکو-سلوول، کردستان.

## Estimation of seismic parameters of active Zagros faults in Kurdistan province by Gutenberg-Richter and Kijko-Sellevoll method

Seyed Majed Atapour \*<sup>1</sup> Maryam Deh Bozorgi<sup>2</sup> Reza Nozaem<sup>3</sup> Abdollah Sohrabi Bidar<sup>4</sup> Hiva Allahyari<sup>5</sup>

1-Master student, Department of Earth Science, Kharazmi University, Iran (Majed.ata23@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of Earth Science, Kharazmi University, Iran.

3- Assistant Professor, Tectonics, School of Geology, University of Tehran, Iran.

4- Associate Professor, Geophysics, School of Geology, University of Tehran, Iran.

5-Msc in Tectonics, Department of Earth Science, Kharazmi University, Iran

#### Abstract

Tectonics of Kurdistan province and faults with significant activity in Quaternary sediments indicate high seismicity of the study area. High seismicity of study area can be considered as the type of energy release of faults and short return periods. According to the mentioned, in this study, the seismicity of the area by examining the probability return period and the average rate of the event using the catalog of historical and instrumental earthquakes recorded after 1900 using Gutenberg-Richter method within a radius of 150 km in Kurdistan province. Then, using Zmap, bar graphs of the magnitude of large earthquakes were drawn in terms of moment magnitude, year and depth of seismic data. Due to the non-uniform of uncertainty in

the magnitude of the time-place of earthquakes and the insufficient historical seismic data to estimate the parameters  $\lambda$ ,  $b$ ,  $M_{max}$ , return period, the probability of earth quake occurrence in the 1, 50, 100 and 1000 years', time period and the average earthquake rate, the Kijko and Sellevoll methodology was also used.

**Keywords:** Tectonic earthquake, Seismicity parameters, Average event rate, Gutenberg-Richter, Kijko-Sellevoll, Kurdistan.

#### مقدمه:

بررسی لرزه‌خیزی تاریخی در برطرف نمودن برخی از کاستی‌های دانش بشری از پیشینه لرزه‌خیزی پوسته زمین بسیار مفید و سودمند است و می‌توان برای روشن ساختن وضعیت و الگوی لرزه‌خیزی در مناطقی که تاریخچه وقوع زمین‌لرزه در آن کافی نیست مورد استفاده واقع شود. پهنه زاگرس به عنوان یکی از لرزه‌خیزترین مناطق جهان به شمار می‌آید. به کمک زمین‌لرزه‌های ثبت شده توسط ایستگاه‌های لرزه‌نگاری می‌توان فهمید که زمین‌لرزه‌های رخ داده در این پهنه از شدت بزرگای مختلفی برخوردار است که معمولاً شدت این بزرگا بین ۴ تا ۷/۵ ریشتر می‌باشد. به غیر از زمین‌لرزه سال ۱۹۰۹ سیلاخور با بزرگای سطحی (Ms=7.4) و زمین‌لرزه ۱۲ نوامبر سال ۲۰۱۷ سرپل ذهاب با بزرگی سطحی (Ms=7.3) ریشتر هیچ مدرکی برای زمین‌لرزه رخ داده در کمربند چین‌خورده زاگرس که بزرگتر از اتفاق ۱۰ آوریل ۱۹۷۲ با بزرگای سطحی (Ms=6.9) و رویداد قیر-کارزین با بزرگای سطحی (Ms=7.1) وجود ندارد. این موضوع با بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی انفاق افتاده در ایران مورد تایید قرار گرفته است (Amberseys And Melville, 1982). جهت بررسی زمین‌لرزه‌های مهم رخ داده در گستره ایران می‌توان دو دسته مهم زیر را معرفی کرد (Ansari et al., 2009):

۱) زمین‌لرزه‌های تاریخی پیش از سده بیستم (قبل از ۱۹۰۰ میلادی): که متأسفانه به دلیل نبود دستگاه‌های ثبت و ارزیابی بزرگای زلزله‌های اتفاق افتاده در ایران داده‌های منظمی مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی موجود نیست. از جمله پژوهشگرانی که در مورد زمین‌لرزه‌های تاریخی تحقیقات کاملی به عمل آورده‌اند می‌توان به (Ambraseys and Melville, 1982) و (Berberian, 1994) اشاره کرد. که در این مطالعه از مرجع (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲، ترجمه ابوالحسن رده، ۱۳۷۰) استفاده فراوانی شده است.

۲) زمین‌لرزه‌های دستگاهی (بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی):

در این دوره زمانی جهت ثبت و ارزیابی بزرگای زمین‌لرزه‌های رخ داده از دستگاه‌های لرزه‌نگاری استفاده شده است. داده‌های این دوره زمانی به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- دسته اول مربوط به داده‌های سال ۱۹۰۰ تا سال ۱۹۶۳ می‌باشد که به دلیل تعداد کم پایگاه‌های ثبت لرزه‌ای میزان خطا در بزرگا و موقعیت رومرکز زلزله‌ها زیاد است، ۲- دسته دوم از سال ۱۹۶۳ تا به امروز که در این دوره بعد از استقرار شبکه لرزه‌نگاری جهانی دقت از نظر مکان‌یابی و بزرگا بیشتر شده است. استان کردستان از دیدگاه زمین‌شناسی در سه زون ایران مرکزی، سنندج-سیرجان و زون رانده شده زاگرس قرار دارد. پهنه سنندج-سیرجان به صورت یک نوار طویل در جنوب باختری پهنه ایران مرکزی با طول ۱۵۰۰ کیلومتر و پهنای ۲۰۰ کیلومتر قرار دارد که از سوی جنوب باختری به راندگی اصلی زاگرس محدود می‌شود (آقاباتی، ۱۳۸۳).

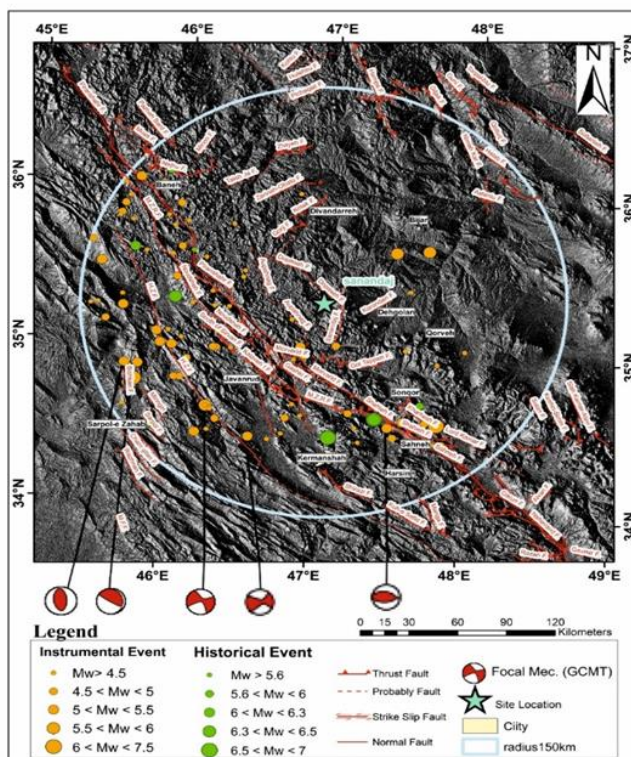
#### روش مطالعه:

به منظور برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه روش‌های آماری قابل قبول برپایه اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. از جمله این پارامترها پیشینه بزرگای زمین‌لرزه قابل انتظار بر اساس درصد گسیختگی برای چشمه‌های لرزه‌زا (Mmax) است. تعداد ۱۰ مورد از زلزله‌های تاریخی موجود تا سال ۱۹۰۰ میلادی از کتاب تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران نوشته (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲، ترجمه ابوالحسن رده، ۱۳۷۰) و کاتالوگ داده‌های بربریان ۱۹۹۴ برای منطقه مورد مطالعه ثبت

شده است. بیشتر زمین‌لرزه‌هایی که پس از سال ۱۹۰۰ میلادی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری سنندج رخ داده‌اند، دارای بزرگای ۴ تا ۵ ریشتر می‌باشند. با توجه به اینکه اغلب زمین‌لرزه‌های با بزرگای کمتر از ۴ ریشتر خسارت جدی به سازه وارد نمی‌کنند، در این مطالعه حذف شده و زمین‌لرزه‌هایی که بزرگای آن‌ها بیشتر از ۴ ریشتر و بیشترین تاثیر را در لرزه‌خیزی منطقه دارند، استفاده شده است. در مراحل بعدی پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه بر اساس رابطه خطی گوتنبرگ- ریشتر (۱۹۹۴) و رابطه تخمین بیشینه محتمل کیچکو- سلوول (۱۹۹۲) محاسبه گردیدند.

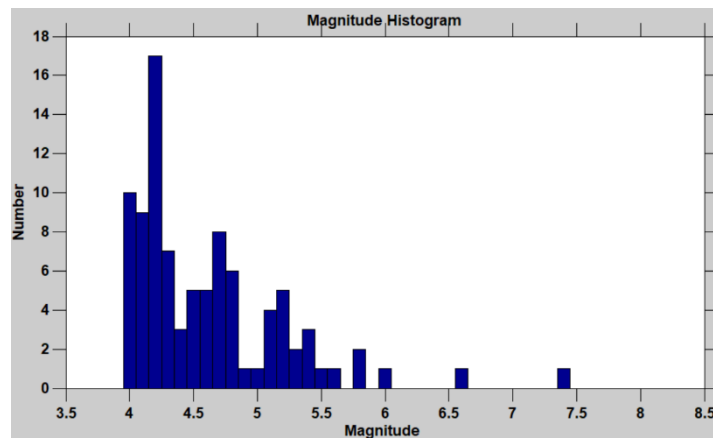
**بحث:**

با نگاه به شکل (۱) و مشاهده پراکندگی زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه می‌توان فهمید که تمرکز لرزه‌خیزی در امتداد پاره‌های گسل اصلی جوان زاگرس زیاد است. به طور کلی عمده لرزه‌خیزی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری منطقه در ارتباط با قسمت‌های مختلف گسل اصلی جوان زاگرس، گسل اصلی معکوس زاگرس و زاگرس مرتفع می‌باشد.

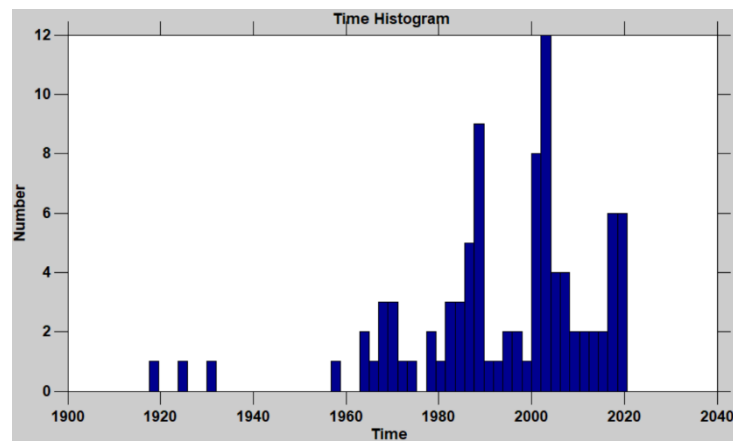


شکل ۱. زمین‌لرزه‌های تاریخی، دستگاهی و گسل‌های فعال بیشتر از ۱۰ کیلومتر منطقه مورد مطالعه. همراه با سازوکارهای کانونی شماری از زمین‌لرزه‌های مخرب (برگرفته کاتالوگ هاروارد (Harvard CMT Catalogue))

مهمترین و کلیدی‌ترین عامل در تعیین میزان خسارات وارد شده به یک محدوده بزرگای زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ بیشترین تعداد رخداد زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه بین ۴ تا ۵ ریشتر است. نمودار شکل (۳) بیانگر رخداد زمین‌لرزه‌های منطقه در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی است، با توجه به نمودار از سال ۱۹۶۷ تعداد رخ داد زمین‌لرزه‌ها یکباره افزایش پیدا کرده و بیش از ۵۰ درصد زمین‌لرزه‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ اتفاق افتاده است. دیگر پارامتر مهم در تعیین میزان خسارات وارد شده به یک محدوده عمق زمین‌لرزه‌ها می‌باشد، همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود عمق بیشتر زمین‌لرزه‌های رخ داده در گستره مورد مطالعه کمتر از ۳۵ کیلومتر می‌باشد. می‌توان گفت بیش از ۵۰ درصد زلزله‌های رخ داده در منطقه کم عمق و در ژرفای کمتر از ۲۰ کیلومتر اتفاق افتاده‌اند.

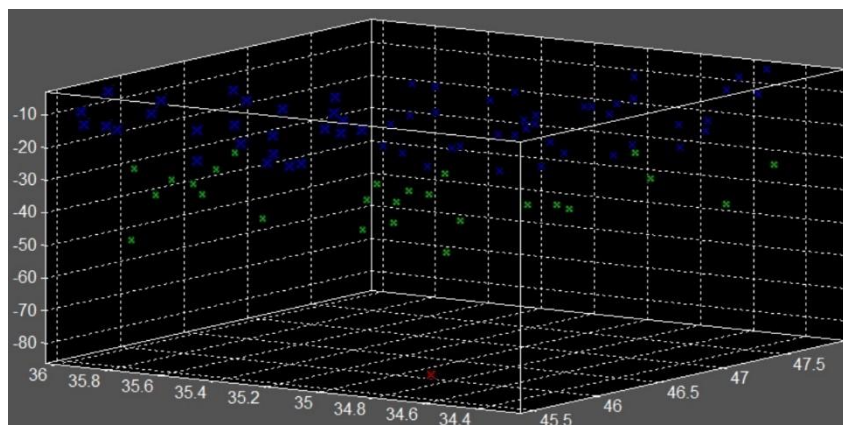


شکل ۲. نمودار فراوانی زمین‌لرزه‌های منطقه مورد مطالعه بر حسب بزرگای گشتاوری ( $M_w$ ) در مقیاس ریشتر.



شکل ۳. فراوانی زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه بر حسب زمان از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی.

مطابق شکل (۴) نقاط سبز رنگ زمین‌لرزه‌های با عمق ۴۰ تا ۷۰ کیلومتر، نقاط آبی رنگ زمین‌لرزه‌های سطحی که عمقی کمتر از ۴۰ کیلومتر و نقاط قرمز رنگ زمین‌لرزه‌های عمیق و بالای ۸۰ کیلومتر را نشان می‌دهند.

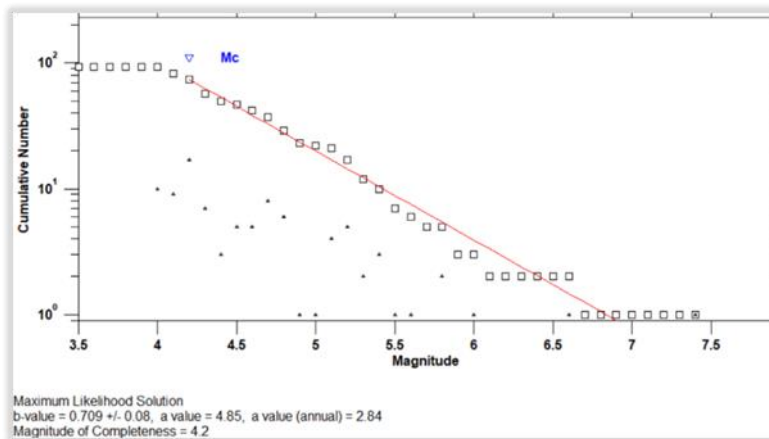


شکل ۴. تصویر سه بعدی فراوانی زمین‌لرزه‌های منطقه بر حسب عمق

یکی از قدیمی ترین و در عین حال ساده ترین روش ها در برآورد پارامترهای لرزه خیزی تابع توزیع خطی گوتنبرگ- ریشتر است که در سال ۱۹۵۴ معرفی شده است. رابطه (۱)، رابطه فراوانی- بزرگی (گوتنبرگ، ۱۹۹۴) تعداد زمین لرزه های روی داده در یک منطقه را به عنوان تابعی از بزرگی به صورت زیر نشان می دهد (زارع، ۱۳۸۸).

$$\log(Nc) = a - b(m) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه  $Nc$  فراوانی تجمعی زمین لرزه های رخ داده در طول زمان بررسی برای زلزله های با بزرگای خاص،  $a$  تعداد سالیانه میانگین زمین لرزه ها با بزرگای بیشتر یا مساوی صفر و  $b$  ضریب لرزه خیزی که احتمال وقوع زلزله های کوچک و بزرگ را به صورت نسبی نشان می دهد. برای محاسبه مقادیر  $a$ ،  $b$  در محدوده ی مورد مطالعه با در نظر گرفتن کامل بودن و همگن بودن داده های کاتالوگ تحلیل گوتنبرگ- ریشتر انجام شد. در این مرحله برای پردازش داده های لرزه ای و محاسبه مقادیر  $a$ -value و  $b$ -value از روش اتوماتیک *likelihood method maximum* با استفاده از نرم افزار *Zmap* تحت متلب استفاده شد و ضرایب مورد نظر محاسبه گردید (نمودار ۵). بررسی پارامترهای لرزه خیزی  $a$  و  $b$  بیانگر این مطلب است که ضریب لرزه خیزی  $a$ -value برابر  $0.709$  و ضریب لرزه خیزی  $b$ -value برابر  $2/84$  با انحراف معیار  $\pm 0.08$  در منطقه مورد مطالعه می باشد. با توجه به رابطه عکس که بین میزان بزرگای زمین لرزه و مقدار  $b$ -value وجود دارد می توان نتیجه گرفت که در این پهنه لرزه خیز احتمال وقوع زمین لرزه هایی با بزرگای نسبتا بالا وجود دارد.



شکل ۵. نمودار لگاریتمی فراوانی تجمعی بزرگای زمین لرزه ها در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی و مقادیر ضرایب لرزه خیزی ( $a$ -value,  $b$ -value) کل پهنه.

در پهنه ی لرزه زمین ساختی که اطلاعات زمین لرزه های تاریخی در آن ها ناقص و یا دقت پایینی دارند کامل ترین روش کیجکو- سلوول می باشد. نتایج حاصل از اعمال روش کیجکو (Kijko and Sellevoll, 1992) شامل تعیین پارامترهای لرزه خیزی یعنی ضریب  $\lambda$  و  $\beta$  که به ترتیب آهنگ لرزه خیزی و میزان فعالیت را نشان می دهند، تعیین حداکثر بزرگای پذیرفتنی ( $M_{max}$ )، تعیین دوره بازگشت و احتمال رویداد و یا عدم رویداد بزرگای زمین لرزه در دوره زمانی های متفاوت می باشد. در گستره ۱۵۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه مقادیر ضرایب لرزه خیزی به روش کیجکو- سلوول در جدول (۱) و جدول (۲) که در واقع حاوی مقادیر آهنگ رویداد سالیانه، احتمال رویداد در بازه زمانی (۱، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰) سال و دوره بازگشت زلزله بر حسب بزرگای گشتاوری ( $M_w$ ) است. ارائه داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای لرزه خیزی و بیشینه بزرگی بدست آمده از روش کیجکو- سلوول در گستره شعاعی ۱۵۰ کیلومتری

Seismicity parameters			$M_{max}$
$\lambda$	$\beta$	Observed	Calculated
$0.270 \pm 0.033$	$1.77 \pm 0.18$	7.4	$7.40 \pm 0.10$



جدول ۲. آهنگ رویداد سالیانه، دوره بازگشت زلزله و احتمال رویداد زمین لرزه‌ها بر حسب بزرگای گشتاوری (Mw)

Kijko Method (Results) For R=150 km						
Mw	(λ)	RP	probability (year)			
			(T = 1	50	100	1000)
4.0	0.27	3.7	0.23	0.99	1.00	1.00
4.1	0.22	4.4	0.20	0.99	1.00	1.00
4.2	0.18	5.2	0.17	0.99	1.00	1.00
4.3	0.15	6.2	0.14	0.99	0.99	1.00
4.4	0.13	7.4	0.12	0.99	0.99	1.00
4.5	0.11	8.8	0.10	0.99	0.99	1.00
4.6	0.09	10	0.09	0.98	0.99	1.00
4.7	0.08	12	0.07	0.97	0.99	1.00
4.8	0.06	14	0.06	0.95	0.99	1.00
4.9	0.05	17	0.05	0.93	0.99	1.00
5.0	0.04	20	0.04	0.89	0.98	1.00
5.1	0.04	24	0.04	0.85	0.97	1.00
5.2	0.03	28	0.03	0.81	0.95	1.00
5.3	0.030	33	0.029	0.76	0.93	1.00
5.4	0.025	39	0.025	0.70	0.90	1.00
5.5	0.021	46	0.021	0.64	0.86	1.00
5.6	0.018	54	0.018	0.59	0.82	1.00
5.7	0.015	64	0.015	0.53	0.77	0.99
5.8	0.013	75	0.013	0.47	0.71	0.99
5.9	0.011	89	0.011	0.42	0.66	0.99
6.0	0.009	100	0.009	0.37	0.60	0.99
6.1	0.007	102	0.007	0.32	0.54	0.99
6.2	0.006	104	0.006	0.28	0.48	0.99
6.3	0.005	107	0.005	0.24	0.42	0.99
6.4	0.004	201	0.004	0.20	0.36	0.98
6.5	0.003	206	0.003	0.17	0.31	0.96
6.6	0.003	302	0.003	0.14	0.26	0.94
6.7	0.002	309	0.002	0.11	0.22	0.90
6.8	0.001	500	0.001	0.09	0.17	0.84
6.9	0.001	605	0.001	0.07	0.14	0.76
7.0	0.001	808	0.001	0.05	0.10	0.66
7.1	0.0007	1002	0.0007	0.03	0.07	0.53
7.2	0.0004	2000	0.0004	0.02	0.04	0.38
7.3	0.0002	4004	0.0002	0.01	0.02	0.20

با توجه به جدول (۲) دوره بازگشت برای زلزله‌هایی با بزرگی ۶ ریشتر ۱۰۰ سال است، همچنین میزان آهنگ رویداد سالیانه ۰/۰۰۹۴ و احتمال وقوع آن در بازه زمانی ۱، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ سال به ترتیب ۰/۰۰۹۴، ۰/۳۷، ۰/۶ و ۰/۹۹ درصد می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری:

نتایج حاصل از رابطه خطی گوتنبرگ ریشتر: بر اساس داده‌های دستگاهی منطقه مورد مطالعه و مقادیر بالای ضرایب لرزه‌خیزی (a-value, b-value) که بیانگر نرخ لرزه‌خیزی بالای منطقه و فراوانی زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای کم می‌باشد.

بنابراین دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها (RP) و آهنگ میانگین رویداد زمین‌لرزه‌ها ( $\lambda$ ) در شعاع ۱۵۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه به مرکزیت شهرستان سنندج به شرح زیر می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۱. دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها و آهنگ میانگین رویداد زمین‌لرزه‌ها در شعاع ۱۵۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه.

M	$\lambda$	RP
4	0.575	2
4.5	0.237	4
5	0.097	10
5.5	0.040	24
6	0.016	60
6.5	0.006	146
7	0.002	355
7.5	0.001	862
8	0.0004	2092

نتایج ضرایب حاصل از کد کیجکو-سلوول: دوره بازگشت زمین‌لرزه حاصل از رابطه کیجکو-سلوول برای زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۴ تا ۷/۳ ریشتر به صورت زیر می‌باشد: برای زمین‌لرزه با بزرگی ۴ ریشتر ۳/۷ سال، برای ۴/۵ ریشتر ۸/۸ سال، برای ۵ ریشتر ۲۰ سال، برای ۵/۵ ریشتر ۴۶ سال، برای ۶ ریشتر ۱۰۰ سال، برای ۶/۵ ریشتر ۲۰۶ سال، برای ۷ ریشتر ۸۰۸ سال و برای ۷/۳ ریشتر ۴۰۰۴ است. احتمال وقوع زمین‌لرزه براساس ضرایب لرزه‌خیزی حاصل از رابطه کیجکو-سلوول در ۵۰ سال آینده برای زمین‌لرزه ۴/۵ ریشتر ۹۹ درصد، برای ۵ ریشتر ۸۹ درصد، برای ۵/۵ ریشتر ۶۴ درصد، برای ۶ ریشتر ۳۷ درصد، برای ۶/۵ ریشتر ۱۷ درصد، همچنین احتمال وقوع زمین‌لرزه ۷/۵ در ۱۰۰ سال آینده بسیار کم است.

#### منابع:

- آمبرسیز، ن.، ملویل، ج. پ.، ۱۹۸۲. تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران، ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، پائیز ۱۳۷۰.
- آقانبانی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- زارع، م.، ۱۳۸۸. مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، صفحات ۸۲.
- ملکی، ا.، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و اولویت‌بندی بهسازی مسکن در استان کردستان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، صفحات ۱۱۵-۱۲۴.
- Ambraseys, N. N., and Melville, C. P., 1982. A History of Persian Earthquakes, Cambridge University Press.
- Ansari, A., Noorzad, A., and Zafarani, H., 2009. Clustering analysis of the seismic catalog of Iran. Journal of Computers & Geosciences., N, 35, 475- 486.
- Berberian, M., 1994. Natural Hazard and the First Earthquake Catalogue in Iran, vol. 1, 603.
- Kijko, A. and Sellevoll, M. A., 1992. Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity, Bulletin of the seismological Society of America, 82(1), 120-134.
- Gutenberg, B., Richter, C. F., (1994). Frequency of earthquake in California. Bulletin of the Seismological society of America, 34, 4, 185-188. Shallow earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am. 34, p. 2-12.

## بررسی جنبشی گسل پیغمبران به عنوان شاهدهی بر شدت گیری تغییر شکل در

### جنوب خاور البرز مرکزی در میوسن پایانی - پلیوسن

امیر نعیمی<sup>۱\*</sup>، سید احمد علوی<sup>۲</sup>، سعید معدنی پور<sup>۳</sup>

۱ دانشجوی دکتری تکتونیک، گروه حوضه های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۲ استاد گروه حوضه های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۳ استادیار گروه تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

\* نویسنده مسئول am\_naeimi@sbu.ac.ir

#### چکیده:

گسل پیغمبران در جنوب خاور البرز مرکزی شکل گرفته است. بررسی های ما نشان می دهد که این گسل دارای شیب زیادی به سمت جنوب خاور است ولی شیب گسل به طرف خاور و باختر کاهش می یابد. چین خوردن و سپس بریده شدن نهشته های میوسن در فرودپواره گسل نشان می دهد که آغاز جنبش راندگی گسل پیغمبران به میوسن پسین- پلیوسن و زمان شتابگیری تغییر شکل در البرز مرکزی بر می گردد. همچنین به نظر می رسد این گسل به صورت پس رانده نسبت به گسل شمال سمنان شکل گرفته است. بررسی جنبشی گسل حاکی از وجود خطوط لغزشی با سازوکار مختلف می باشد که این خود نشانه تغییر احتمالی جنبش های گسل از زمان تشکیل آن می باشد. با این حال اغلب این خطوط لغزشی با یک راستای فشارش شمال باختری- جنوب خاوری همخوانی دارند که در دیگر قسمت های البرز مرکزی نیز گزارش شده است.

**کلمات کلیدی:** جنوب خاور البرز مرکزی، گسل پیغمبران، ساختار پس رانده.

## **Kinematic investigations along the Peyghambaran Fault as evidence for the accelerated deformation in the SE Central Alborz during the late Miocene-Pliocene**

Amir Naeimi, Seyed Ahmad Alavi, Saeed Madanipour

#### **Abstract**

The Peyghambaran Fault occurs in the SE Central Alborz. Our data shows that the Peyghambaran Fault steeply dips to the southeast, however, the dip angle decreases both eastwards and westwards. Folding and truncation of the Miocene formations in the footwall indicate that reverse kinematics probably began shortly after deformation began to accelerate in the late Miocene-Pliocene. It is also interpreted that the Peyghambaran Fault serves as a back thrust to the North Semnan Fault. Our fault-kinematic analysis revealed existence of numerous slickenlines with a varied range of mechanisms which in turn indicate kinematic changes since the fault first formed. The slickenlines are also mostly compatible with a NW-oriented compression which has been reported in other parts of the Central Alborz at this time .

**Keywords:** SE Central Alborz, Peyghambaran Fault, back thrust structure.

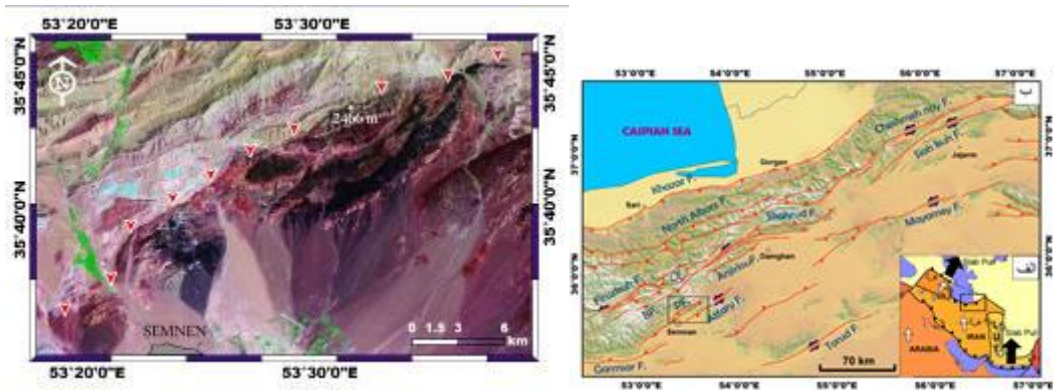
#### مقدمه

رشته کوه البرز در شمال ایران در زون برخورد ورقه های عربی - اوراسیا قرار داشته و فرگشت ساختاری آن در سنوزوئیک پسین متأثر از این برخورد و نیز حرکت حوضه خزر جنوبی به سمت ایران و ارواسیا می باشد (Allen et al., 2003; Jackson et al., 2002). در جنوب خاور البرز مرکزی، گسل پیغمبران با روند تقریباً شمال خاوری- جنوب باختری در پهلوی شمالی

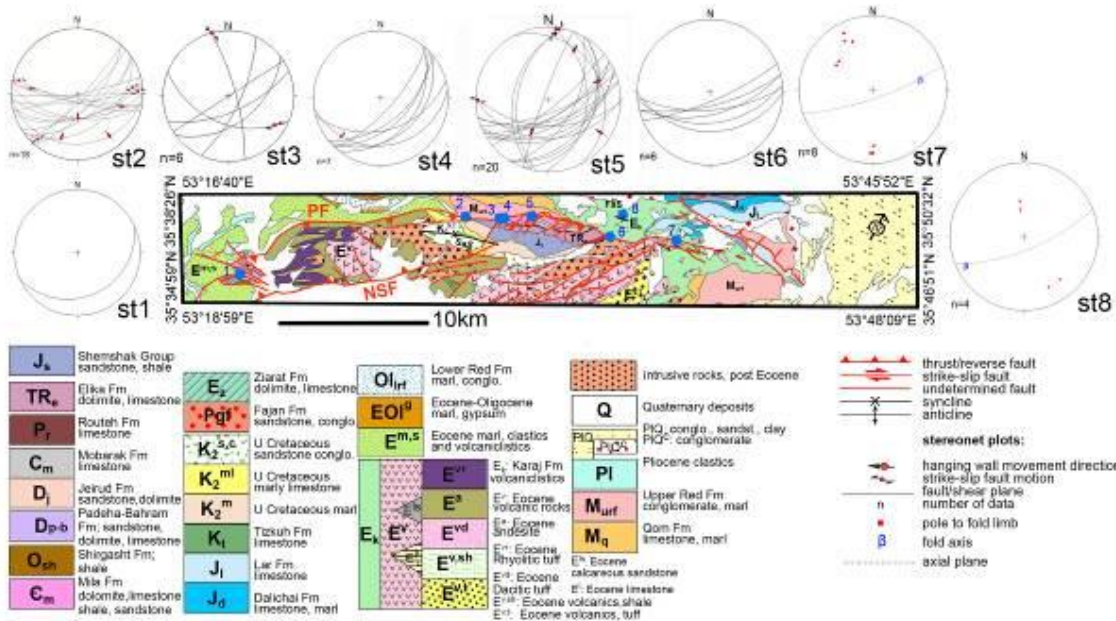
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شمال کوه پیغمبران (به ارتفاع ۲۴۹۳م) جای گرفته است (علوی نائینی، ۱۳۷۶). نبود سازندهای دلیچای و لار، وجود سنگهای تخریبی به عنوان رخساره غالب نهشته های کرتاسه بالایی، نبود سازندهای زیارت و فجن و حضور حجم زیاد سنگهای آتشفشانی که مختص این گستره هستند باعث شده تا نبوی (۱۳۶۶) این ناحیه را یک زیرزون تدریجی بین البرز و حوضه مرکزی (Central Basin) بداند که مرز آن بر گسل پیغمبران منطبق می شده است. در این مقاله سعی بر آن داریم تا با بررسی دقیق هندسه و جنبش شناسی (kinematics) گسل پیغمبران نقش آن را در زمین ساخت جنوب خاور البرز مرکزی بررسی کرده و به فرگشت ساختاری این ناحیه بپردازیم.



(الف) (ب)



شکل (۱): (الف) نقشه شماتیک ناحیه ای نشان دهنده موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه برخوردی عربی- اوراسیا (Reilinger et al. 2006). (ب) نقشه گسل های اصلی البرز خاوری (با تغییرات از قاسمی و همکاران، ۱۳۸۲؛ و Hollingsworth et al. 2010). گستره مورد بررسی با مستطیل مشکی نشان داده شده است. BF: گسل بشم؛ CF: گسل چشم؛ PF: گسل پیغمبران. (ج) تصویر ماهواره ای از گستره مورد مطالعه. اثر گسل پیغمبران بوسیله مثلثهای قرمز مشخص شده است. (د) نقشه زمین شناسی محدوده گسل پیغمبران (بر اساس علوی نائینی، ۱۳۷۶؛ نبوی، ۱۳۶۶؛ آقنابتی و حامدی، ۱۳۷۳) به همراه اسریونت پلات و ایستگاه های اندازه گیری..

### هندسه و جنبش شناسی گسل پیغمبران

گسل پیغمبران با طول حدود ۴۱ کیلومتر واحدهای مختلفی را در کنار هم قرار داده است (شکل ۱). به طرف باختر این گسل تا کوه چندران ادامه داشته و به نظر می رسد که به گسل شمال سمنان می پیوندد. ولی به طرف خاور درون نهشته های سازند کرج پایان می یابد. در بخش خاوری، ابتدا ولکانیکهای ائوسن و بعد سازندهای پالئوزوئیک و مزوزوئیک را بر روی سازند کرج ( $E_k$ ) رانده است. در قسمتهای میانی سازندهای پالئوزوئیک و مزوزوئیک را عمدتاً بر روی کنگلومرا و مارنهای سازند قرمز بالایی قرار داده است. در این بخش، گسل پیغمبران سازند میلا ( $C_m$ ) به سن کامبرین میانی - بالایی را بر روی سازند قرمز بالایی رانده و بر اساس نبوی (۱۳۶۶) بیشینه جابجایی بر روی آن تا حدود ۴۰۰۰ متر می باشد. در بخش باختری گسل پیغمبران سبب شده است تا آندزیت و آهکهای توفی نومولیت دار به سن ائوسن بر روی طبقات مارن و آهک ائوسن رانده شود. در پایانه باختری در کوه چندران گسل پیغمبران سبب بالا آمدن نهشته های اردوئوسین و دونین ایران مرکزی و قرار گیری آنها بر روی گروه شمشک شده است. بنا بر علوی نائینی (۱۳۷۶) گسل پیغمبران دارای شیبی حدود  $70^\circ$  به جنوب می باشد. بررسی های ما در ایستگاه های متعدد (شکل ۱ د و جدول ۱) نشان می دهد که امتداد گسل بین  $N51E$  تا  $N79E$  و شیب آن  $30-72^\circ$  به طرف جنوب خاور می باشد. حرکت معکوس بر روی گسل سبب پرشیب لایه ها در فرادپواره گردیده است. در ایستگاه شماره ۱ نهشته های دونین حوضه مرکزی در راستای سطح گسل به موقعیت  $N65E, 30^\circ SE$  بر روی گروه شمشک رانده شده اند. در ایستگاه ۲ در اثر رانده شدن گروه شمشک بر روی سازند سرخ بالایی یک زون گسلی با پهنای ۱۰ متر پدید آمده است (شکل ۲ الف) میانگین سطوح اندازه گیری شده موقعیت گسل را به صورت  $N75E, 69^\circ SE$  نشان می دهد. در این ایستگاه ۱۲ سطح دارای خطوط لغزی برداشت شده است. در این ایستگاه اغلب سطوح با روند  $NNW, NW$  و تقریباً  $W-E$  دارای سازوکار راستگرد هستند ولی سطوح دارای روند  $NNE$  و  $NE$  چپگرد می باشند. در ایستگاه ۳، سازندهای الیکا و روته بر روی سازند قم رانده شده اند (شکل ۲ ب). میانگین سطوح برداشت شده به صورت  $N51E, 72^\circ SE$  می باشد. در ایستگاه ۴، سازند میلا در راستای سطوح با موقعیت میانگین  $N52E, 50^\circ SE$  بر روی سازند سرخ بالایی رانده شده است. به نظر می رسد در ایستگاه شماره ۲، ۳ و ۴ سطوح با روند  $NW$  و  $NNW$  دارای سازوکار راستگرد هستند (شکل ۲ ج) ولی سطوح دارای روند  $NNE$  چپگرد می باشند. در ایستگاه ۴ یک سطح برشی با راستای تقریباً خاوری - باختری و سازوکار چپگرد نرمال دیده می شود (شکل ۲ د). در ایستگاه ۵، سازند میلا بر روی سازند قم رانده شده است. سطوح برشی متعددی مشاهده می شود که میانگین آنها به صورت  $N61E, 55^\circ SE$  می باشد (شکل ۲ ه). در این ایستگاه ۶ سطوح دارای خطوط لغزی برداشت شده است که بر روی یک سطح با روند  $NW$  برداشت شده دو خط خش با ریک  $84^\circ S$  و  $34^\circ S$  به ترتیب دارای سازوکار معکوس و معکوس با مؤلفه چپگرد دیده می شود (شکل ۲ و). در ایستگاه ۶، گسل پیغمبران سبب شده است تا باریکه ای از نهشته های پرمین ( $P_r$ ) به همراه ولکانیکهای ائوسن ( $E^v$ ) در راستای سطوح با میانگین  $N79E, 65^\circ SE$  بر روی سازند کرج ( $E_k$ ) رانده شود. همچنین می توان شکل گیری چین خوردگی هایی نظیر تاقدیس بهرو (ایستگاه ۷) و تاقدیس و ناودیس "فرح بخش" (ایستگاه ۸) را از لحاظ جنبش شناسی با عملکرد گسل پیغمبران مرتبط دانست.



شکل (۲): (الف) گسل پیغمبران در ایستگاه شماره ۲ ضمن ایجاد یک پهنه گسلی ۱۰ متری سبب رانده شدن گروه شمشک بر روی سازند سرخ زیرین شده است. (ب) گسل پیغمبران در ایستگاه شماره ۳. (ج) قرارگیری سازند میلا بر روی نهشته های میوسن در ایستگاه های ۴ و ۵. مثلثهای کوچک محل عبور گسل را در دامنه شمالی کوه پیغمبران نشان می دهند. (د) سطح گسلی در ایستگاه شماره ۴ با موقعیت  $N82E, 30^{\circ}SE$  که دارای خطوط لغزشی با ریک  $30^{\circ}W$  می باشد. (د) سطوح برشی برداشت شده در ایستگاه شماره ۵. (ه) حضور دو دسته خط خش بر روی سطح برشی  $N27W, 25^{\circ}SE$  نشان دهنده تغییر جنبش شناسی گسل می باشد. پیکانها سوی حرکت بلوک غایب را نشان می دهند.

جدول ۱: ایستگاه های اندازه گیری گسل پیغمبران و جنبش شناسی سطوح برشی برداشت شده.

Mechanism	Rake	Averaged Measured Fault Planes	Station No	Mechanism	Rake	Averaged Measured Fault Planes	Station No
راستگرد	$20^{\circ}E$	$N68W, 55^{\circ}SW$	3	راستگرد	$19^{\circ}E$	$N57E, 70^{\circ}SE$	2
راستگرد	$00^{\circ}N$	$N15W, 88^{\circ}NE$	3	راستگرد	$20^{\circ}E$	$N73E, 60^{\circ}SE$	2
رانده گی راستگرد	$50^{\circ}NW$	$N03W, 60^{\circ}NE$	4	معکوس راستگرد	$59^{\circ}E$	$N88E, 25^{\circ}SE$	2
چپگرد نرمال	$30^{\circ}W$	$N82E, 30^{\circ}SE$	4	معکوس چپگرد	$60^{\circ}E$	$N82W, 60^{\circ}SW$	2
چپگرد	$35^{\circ}N$	$N02E, 45^{\circ}SE$	5	راستگرد	$15^{\circ}NW$	$N75W, 75^{\circ}NE$	2

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



معکوس و معکوس با مؤلفه چپگرد	34°S و 84°S	N27W, 25°SE	5	راستگرد	10°W	N75W, 80°SW	2
چپگرد	5°W	N88W, 60°NW	5	راستگرد	31°E	N80W, 80°SW	2
چپگرد	12°N	N13E, 50°NW	5	معکوس	90°	N88E, 60°SE	2
چپگرد	00°N	N10E, 55°NW	5	چپگرد	30°W	N80W, 85°SW	2
چپگرد نرمال	51°S	N20E, 85°NW	5	چپگرد	10°SW	N42E, 85°SE	2
				چپگرد معکوس	45°SW	N55E, 45°SE	2
				چپگرد معکوس	10°NE	N23E, 85°NW	2

### بحث

بررسی هندسه گسل پیغمبران در ایستگاه های مختلف نشان می دهد که هندسه گسل از یک گسل کم شیب (راندگی) در قسمت های باختری و خاوری به یک گسل پرشیب (معکوس) تغییر می نماید. این گسل در فرادیواره گسل شمال سمنان شکل گرفته و هندسه آن الگوی یک گسل پس رانده را نمایش می دهد. مطالعه سطوح برشی برداشت شده در ایستگاه های مختلف در راستای گسل پیغمبران حاکی یک تنش فشاری با روند NW-SE می باشد. بررسی های تنش دیرین در البرز مرکزی توسط Zanchi et al., (2006) نیز یک تنش فشاری با روند NW-SE برای میوسن پایانی پیشنهاد می نماید. چنین روندی با راستای تنش فعلی استنباط شده از بردارهای GPS در خاور البرز مرکزی (Nemati et al., 2011; Khorrami et al., 2019) متفاوت می باشد. در نتیجه یا ساختارهای فعلی چرخیده اند یا یک تغییر مهم در راستای فشارش روی داده است. داده های پالئومغناطیس در مطالعات (Mattei et al., 2017) بیانگر آن است که کوهزاد البرز به عنوان یک اوروکلاین در ابتدا یک روند مستقیم داشته است لیکن بعد از میوسن میانی - پایانی بازوهای رشته کوه شروع به چرخش حول محورهای قائم نموده اند که این چرخش در بازوی خاوری می توانسته تا همین اواخر هم ادامه داشته باشد. بر این اساس روندهای ساختاری فعلی احتمالاً چرخیده باشند.

مطالعات ترموکرونومتری (Axen et al., 2001) نشان داد که یک رویداد فرایش سریع و برخاستگی (uplift) به میزان حدود ۱۰ km در حد فاصل زمانی ۴-۶ میلیون سال پیش در البرز مرکزی-باختری روی داده است. (Guest et al., 2006) این مقادیر را بازنگری کرده و به وقوع رویداد (denudation) گسترده به میزان حدود ۵km از حدود ۱۲ میلیون سال پیش اشاره کرده اند. سن های بدست آمده توسط (Rezaeian et al., 2012) نیز شتاب گرفتن فرایش در میوسن پایانی - پلیوسن آغازی را نشان می دهند. در جنوب باختر البرز، (Ballato et al., 2013) نیز به پالسهای فرایش در ۱۴-۱۸ میلیون سال پیش، ۹/۵-۷/۵ میلیون سال پیش و ۶-۷ میلیون سال پیش اشاره کرده اند. در کوه های تالش سه فاز اصلی دگرشکلی ناحیه ای که در الیگوسن آغازی، میوسن میانی و پلیوسن آغازی روی داده اند توسط (Madanipour et al., 2018) گزارش شده است. به ترتیب به نظر می رسد که در میوسن میانی و میوسن پایانی-پلیوسن آغازی تغییر شکل در البرز شدت گرفته است. رویدادهای الیگوسن آغازی، میوسن میانی و میوسن پایانی در ارتباط با برخورد ورقه های عربی-اوراسیا توجیه می شوند. (Ballato et al., 2012; Rezaeian et al., 2012) ولی رویداد میوسن پایانی-پلیوسن می تواند به بازآرایش زمین ساختی (regional tectonic re-organization) در زون برخوردی عربی-اوراسیا (Allen et al., 2004) و یا تحولات ژئودینامیکی حوضه خزر جنوبی (Rezaeian et al., 2015; Ballato et al., 2012; et al., 2012) مربوط باشد. گسل پیغمبران در فرادیواره به صورت یک پس رانده گسل شمال سمنان شکل گرفته است (شکل ۵d). گسل شمال سمنان سبب رانده شدن نهشته های سنوزوئیک بر روی نهشته های کواترنری

در راستای جنوب خاور البرز مرکزی شده است. از آنجا که نهشته های میوسن آغازی (سازند قم) و میوسن میانی-پایانی (سازند سرخ بالایی) در فرودیواره گسل پیغمبران چین خورده و بریده شده اند آغاز حرکت راندگی بر روی گسل پیغمبران احتمالاً به بعد از این زمان یعنی میوسن پایانی-پلیوسن و در نتیجه شتاب گرفتن تغییر شکل در البرز می گردد. به این صورت که رویداد فرایشی میوسن میانی سبب تأمین مواد آواری برای سازند سرخ بالایی شده است و این نهشته ها طی رویداد فرایشی میوسن پایانی-پلیوسن چین خورده و توسط گسل بریده شده اند. مطالعات جنبش شناسی همچنین نشان می دهد که در برخی ایستگاه ها نظیر ایستگاه های شماره ۲ و ۵ دو دسته خطوط لغزشی بر روی سطوح گسلی دیده می شود. در این موارد دسته های با ریک کمتر جوانتر هستند و حاکی از تغییر جنبش شناسی گسل می باشند. به این ترتیب گسل پیغمبران بعد از تشکیل در بعد از میوسن دچار تغییر جنبش شناسی شده است. که این می تواند شاهدی از چرخش این ساختارها آن گونه که Mattei et al., (2017) عنوان می کنند باشد.

### نتیجه گیری

گسل شمال سمنان سبب گسلش راندگی در راستای جبهه کوهستان در جنوب خاور البرز مرکزی شده و گسل پیغمبران با شیب رو جنوب خاور به صورت یک پس رانده در فرودیواره این گسل پدید آمده است. بررسی های هندسی پهنه گسلی بیانگر آن است که گسل پیغمبران دارای شیب زیادی به سمت جنوب خاور است ولی شیب گسل به طرف خاور و باختر کاهش می یابد. چین خوردن و سپس بریده شدن نهشته های میوسن در فرودیواره گسل نشان می دهد که آغاز جنبش راندگی گسل میوسن پسین-پلیوسن و در زمان شتابگیری تغییر شکل ناحیه ای در البرز مرکزی بر می گردد. بررسی جنبش شناسی گسل حاکی از وجود خطوط لغزشی با سازوکار مختلف و که این خود نشانه تغییر احتمالی جنبش شناسی گسل در طی دوران تکوین خود می باشد. با این حال اغلب خطوط لغزشی یا یک راستای فشارش شمال باختری- جنوب خاوری همخوانی دارند که در دیگر قسمتهای البرز مرکزی نیز گزارش شده است و می توانند نشان دهنده از چرخش پادساعتگرد بازوی خاوری البرز حول محورهای قائم آن گونه که Mattei et al., (2017) پیشنهاد کرده اند باشد.

### سپاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری امیر نعیمی در دانشگاه شهید بهشتی می باشد. بدین وسیله از مسئولین این دانشگاه قدردانی می نمایم.

### منابع:

- آقائباتی، س.ع. و حامدی، ع.ر.، ۱۳۷۳. نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- علوی نائینی، م.، ۱۳۷۶. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- قاسمی، م. ر.، قرشی، م. و سعیدی، ع.، ۱۳۸۲. گسله های لرزه زای بنیادی البرز. گزارش طرح پژوهشی شورای پژوهشهای علمی کشور، ۸۲ صفحه.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۶۶. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سمنان. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

### References:

- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., & Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology*, 25, 659-672.



- Allen, M., Jackson, J., Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia– Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics* 23, TC2008. Doi: 10.1029/2003TC001530.
- Axen, G. J., Lam, P. S., Grove, M., Stockli, D. F., Hassanzadeh, J., 2001. Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics. *Geology* 29, 559-562.
- Ballato, P., Nowaczyk, N. R., Landgraf, A., Strecker, M. R., Friedrich, A., Tabatabaei, S. H., 2008. Tectonic control on sedimentary facies pattern and sediment accumulation rates in the Miocene foreland basin of the southern Alborz Mountains, northern Iran: *Tectonics* 27, TC6001, 1–20. Doi: 10.1029/2008TC002278.
- Ballato, P., Uba, C. E., Landgraf, A., Strecker, M. R., Sudo, M., Stockli, D. F., Friedrich, A., Tabatabaei, S. H., 2011. Arabia-Eurasia continental collision: Insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran. *GSA Bulletin* 123, 106-131. Doi: 10.1130/B30091.1.
- Ballato, P., Landgraf, A., Schildgen, T. F., Stockli, D. F., Fox, M., Ghassemi, M. R., Kirby, E., Strecker, M. R., 2015. The growth of a mountain belt forced by base-level fall: Tectonics and surface processes during the evolution of the Alborz Mountains, N Iran: *Earth and Planetary Science Letters* 425, 204–218.
- Ballato, P., Stockli, D.F., Ghassemi, M.R., Landgraf, A., Strecker, M.R., Hassanzadeh, J., Friedrich, A., & Tabatabaei, S. H., 2013. Accommodation of transpressional strain in the Arabia–Eurasia collision zone: new constraints from (U–Th)/He thermochronology in the Alborz mountains, N Iran. *Tectonics* 32, 1-18, doi:10.1029/2012TC003159.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S., & Hassanzadeh, J., 2006. Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. *Geosphere*, 2, 1 35-52.
- Hollingsworth, J., Nazari, H., Ritz, J.-F., Salamati, R., Talebian, M., Bahroudi, A., Walker, R. T., Rizza, M., Jackson, J., 2010. Active tectonics of the east Alborz mountains, NE Iran: Rupture of the left-lateral Astaneh fault system during the great 856 A.D. Qumis earthquake. *Journal of Geophysical Research* 115, B12313. Doi:10.1029/2009JB007185
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M.B., & Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophysical Journal International*, 148, 214-245.
- Khorrani, F., Vernant, P., Masson, F., Nilfouroushan, F., Mousavi, Z., Nankali, H., Saadat, S. A., Walpersdorf, A., Hosseini, S., Tavakoli, P., Aghamohammadi, A., Alijanzade, M., 2019. An up-to-date crustal deformation map of Iran using integrated campaign-mode and permanent GPS velocities. *Geophysical Journal International* 217, 832–843.
- Madanipour S, Yassaghi A, Ehlers, T. A. and Enkelmann, E., 2018. Tectonostratigraphy, structural geometry and kinematics of the NW Iranian Plateau margin: insights from the Talesh Mountains, Iran. *American Journal of Science* 318, 208–45.
- Mattei, M., Cifelli, F., Alimohammadian, A., Rashid, H., Winkler, A., Sagnotti, L., 2017. Oroclinal bending in the Alborz Mountains (Northern Iran): New constraints on the age of South Caspian subduction and extrusion tectonics. *Gondwana Research* 42, 13 –28.
- Nemati, M., Hatzfeld, D., Gheitanchi, M. R., Sadidkhouy, A., & Mirzaei, N., 2011. Microseismicity and seismotectonics of the Firuzkuh and Astaneh faults (east Alborz, Iran). *Tectonophysics*, 506(1–4), 11–21.
- Reilinger, R., et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Rezaeian, M., Carter, A., Hovius, N., & Allen, M. B., 2012. Cenozoic exhumation history of the Alborz Mountains, Iran: New constraints from low temperature chronometry. *Tectonics*, 31, TC2004, doi:10.1029/2011TC002974.
- Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M. R., & Sabouri, J., 2006. Inversion tectonics in central Alborz, Iran. *Journal of Structural Geology*, 28, 11, 2023-2037.

## تحلیل لرزه خیزی در پهنه لوت با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و مغناطیس هوایی

محمد امیر علیمی

استادیار گروه مهندسی معدن دانشگاه صنعتی بیرجند

malimi@birjandut.ac.ir

### چکیده:

پهنه لوت با درازای ۹۰۰ و عرض حدود ۳۰۰ کیلومتر، خاوری‌ترین بخش در ایالت ساختاری ایران مرکزی است. این پهنه توسط دو سامانه فعال گسلی نه در خاور و نایبند در باختر محدود شده است. این گسل‌های حاشیه‌ای، نقش مؤثری در ایجاد زمین‌لرزه‌های مخرب در سده بیستم داشته‌اند. توزیع کانون خردلرزه‌ها در سراسر پهنه لوت گواه آن است که بلوک لوت پایدار نبوده و درون آن نیز در حال دگرشکلی شکننده است. تجمع خوشه‌ای و خطی کانون سطحی خردلرزه‌ها در بخش مرکزی لوت بیانگر فعالیت گسل‌های راستالغز قلعه‌زری، سه چنگی و دهسلم است که راستای شمال شمال باختری دارند. این گسل‌ها طولی حدود ۸۰ کیلومتر داشته و در تحلیل خطر لرزه‌ای در منطقه اهمیت دارند. با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی خطواره‌های مغناطیسی در مرکز لوت شناسایی شدند که به نظر می‌رسد ادامه سامانه گسلی قلعه‌زری باشند. اگرچه فعالیت یا عدم فعالیت این گسل‌های پی‌سنگی در کواترنری نیاز به یافتن شواهد زمین‌ریخت‌شناسی دارد اما کانون خردلرزه‌ها در پیرامون آنها پراکنده‌اند و می‌بایست مورد ارزیابی خطر لرزه‌ای قرار گیرند.

کلیدواژه: لرزه‌خیزی، مغناطیس هوایی، پهنه لوت.

## Analysis of seismicity in the Lut zone, using seismic and aerial magnetic data

Mohammad Amir Alimi

Assistant Professor, Department of Mining, Birjand University of Technology

malimi@birjandut.ac.ir

### Abstract

The Lut Zone, with a length of 900 and a width of about 300 km, is the easternmost part of the structural state of Central Iran. This zone is limited by two active fault systems, Neh in the east and Nayband in the west. These marginal faults have played an effective role in creating destructive earthquakes in 20th century. The distribution of microseismic of epicenter throughout the Lut zone indicates that the Lut block is not stable and is also within brittle deformation. Clustered and linear accumulation of microseismic epicenters in the central part of Lut indicates the activity of the strike slip faults of Qaleh Zari, Seh Changi and Dehsalm, which have a NNW direction. These faults are about 80 km long and are important in seismic hazard analysis in the region. Using aerial magnetic data, magnetic lineations were identified in the center of Lut, which seems to be a continuation of Qaleh Zari fault system. Although the activity or inactivity of these basement faults in the Quaternary requires geological evidence, but the epicenter of the microseismic is scattered around them and should be seismically evaluated.

Keywords: *Seismicity, aerial magnetic, Lut zone.*

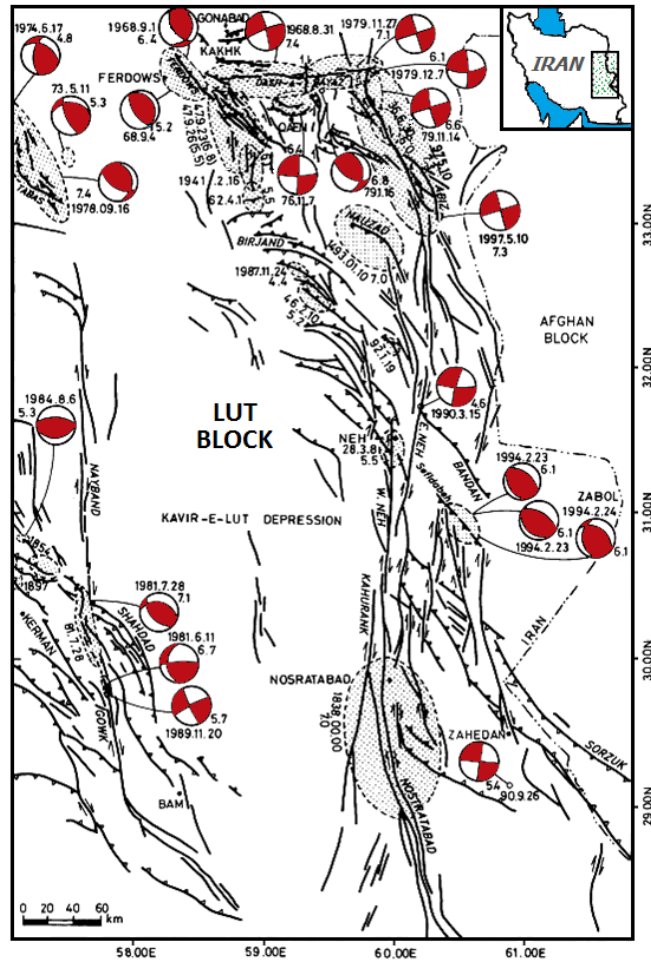
مقدمه:

بلوک لوت با راستای شمالی - جنوبی و به طول ۹۰۰ کیلومتر در شمال به فرونشست جنوب کاشمر و در جنوب به فرونشست جازموریان ختم می شود. مرز خاوری آن توسط گسل های نه خاوری و باختری از پهنه زمیندرز سیستان و مرز باختری آن توسط گسل نایبند از بلوک طیس جدا می شود. نخستین بار اشتوکلین (۱۹۶۸) این گستره را به عنوان بلوک سخت لوت نامید. اما چندی بعد موضوع صلبیت و پایداری لوت توسط بربریان (۱۹۷۳)، بر اساس شواهد زمین شناسی و لرزه ای، رد شد. مطالعه لرزه خیزی بلوک لوت گواه آن است که زمین لرزه های ویرانگری در سده بیستم در این گستره رخ داده است که مرتبط با گسل های فعال حاشیه ای لوت بوده اند. با وجود قرارگیری کانون سطحی زمین لرزه های دستگاهی در گستره درونی بلوک لوت، لرزه خیزی و گسلش فعال بخش مرکزی لوت کمتر مورد توجه قرار گرفته است که شاید عدم وجود مناطق پرجمعیت شهری در این مناطق یکی از علل این موضوع باشد. در این تحقیق، از توزیع کانون زمین لرزه های ۱۶ سال اخیر به ارزیابی خطر لرزه ای پهنه های گسلی لوت مرکزی پرداخته ایم.

گسلش فعال و لرزه خیزی گستره مورد مطالعه:

در مناطق فعال قاره ای که تحت تأثیر تنش های فشاری قرار دارند، گسل های امتدادلغز بزرگ نقش مهمی در تجمع کرنش ایفا می کنند (Molnar *et al.*, 1973; Talebian and Jackson, 2002). گسل های امتدادلغز راست بر با راستای شمالی - جنوبی (مانند گسل های نه خاوری، نه باختری و نایبند) در عرض های پایین تر از ۳۴ درجه (Walker and Jackson, 2004) و گسل های امتدادلغز چپ بر با راستای خاوری - باختری (مانند گسل دشت بیاض و درونه) در عرض های بالاتر از ۳۴ درجه شمالی دیده می شوند. فعالیت این دو روند اصلی سبب افزایش برش راست بری با روند شمالی - جنوبی بین افغانستان و بخش مرکزی ایران می شود (Allen *et al.*, 2004) (شکل ۱).

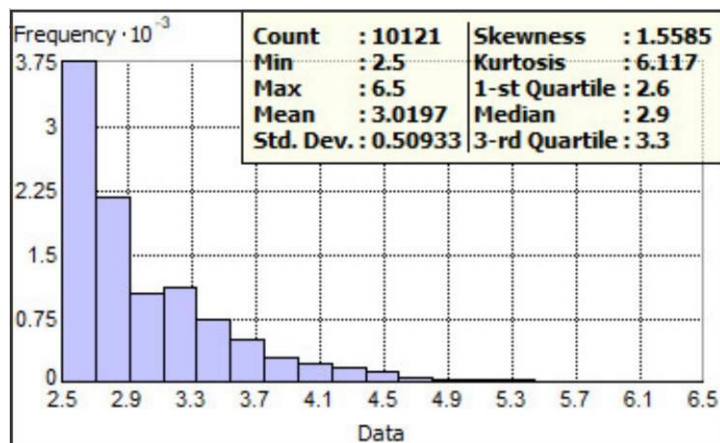
پهنه های گسلی شمالی - جنوبی با سازوکار امتدادلغز راست بر و پهنه های گسلی شمال باختری - جنوب خاوری با سازوکار فشاری - برشی راست بر، عامل اصلی شکل گیری ساختارهای زمین شناسی در پهنه لوت است (خطیب ۱۳۷۷، غلامی ۱۳۸۸). زمین لرزه های بجزستان (۱۹۱۸ و ۱۹۲۵)، نهبندان (۱۹۲۸)، سریشه (۱۹۳۶ و ۱۹۴۶)، چاهک (۱۹۴۱)، گیو (۱۹۴۶)، دوست آباد (۱۹۴۷)، موسویه (۱۹۶۲)، دشت بیاض (۱۹۶۸ و ۱۹۷۹) و آبیز (۱۹۷۹ و ۱۹۹۷) در راستای گسل های فعال در منطقه رخ داده اند که سازوکار کانونی آنها در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: نقشه گسل‌های اصلی لرزه‌زای فعال در خاور فلات ایران (Berberian *et al.*, 1999).

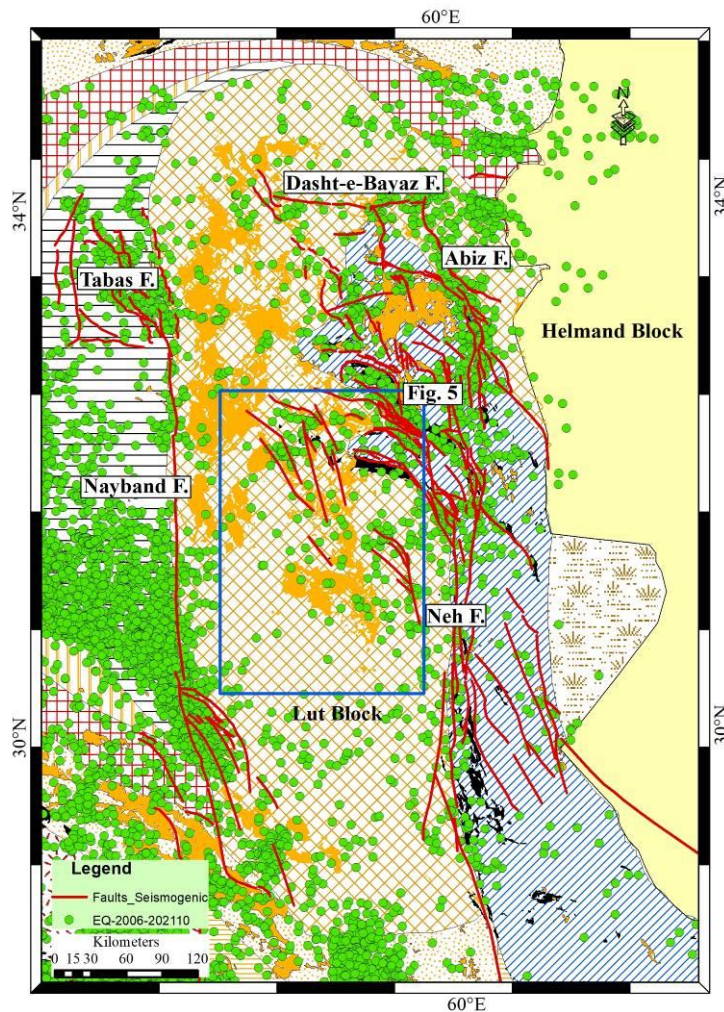
### فهرست اطلاعاتی رخداد های لرزه‌ای:

در این تحقیق، در گستره‌ای به عرض جغرافیایی ۳۵-۳۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۶۲-۵۶ درجه خاوری، زمین‌لرزه‌های دستگامی بزرگتر از ۲/۵، در دوره زمانی ۲۰۰۶ تا اکتبر ۲۰۲۱، از فهرست اطلاعاتی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGUT) اخذ شده است که نمودار فراوانی آن در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲- نمودار فراوانی زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۲/۵ در گستره لوت و پیرامون آن در دوره زمانی ۲۰۰۶-۲۰۲۱ (مأخذ: IGUT)

بیشترین فراوانی مربوط به زمین‌لرزه‌های بین ۲/۵-۳/۵ می‌باشد. لازم به ذکر است زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۶ در جنوب-باختری استان (حوالی زرد کرمان) رخ داده و تعداد قابل توجهی از خردلرزه‌ها مرتبط با این زمین‌لرزه‌هاست (شکل ۳).



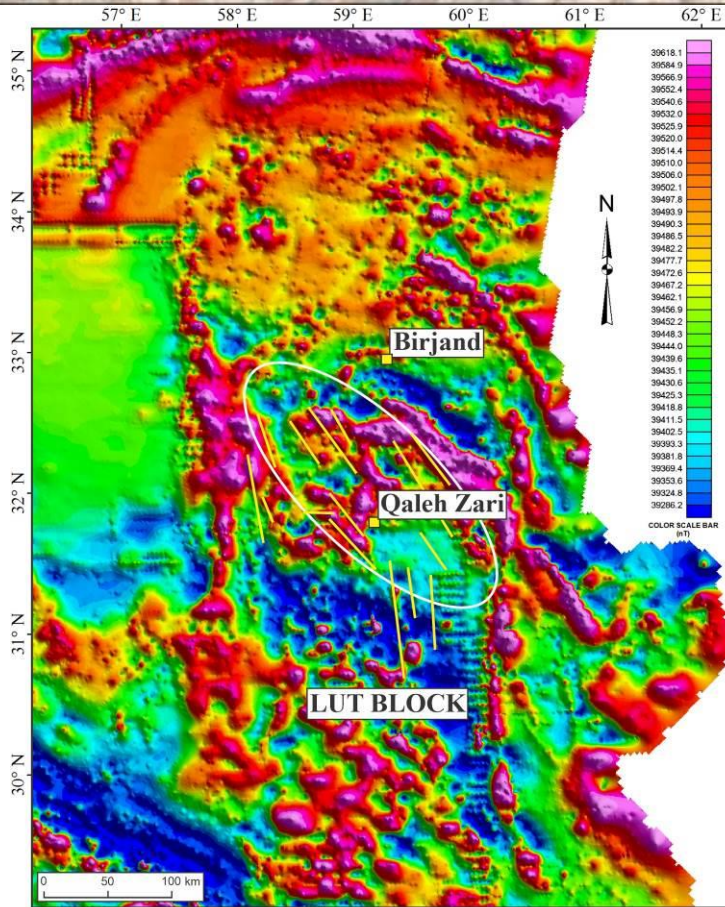
شکل ۳- توزیع کانونی خردلرزه‌ها در بلوک لوت و پیرامون آن به همراه گسل‌های لرزه‌زا.

#### خطواره‌های مغناطیسی:

در مطالعه گسل‌های پی‌سنگی منطقه از داده‌های مغناطیس هوایی سازمان زمین‌شناسی کشور با فاصله بین خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر و فاصله بین خطوط کنترل عمود بر پرواز ۴۰ کیلومتر استفاده شده است که پس از تصحیح منطقه‌ای و اعمال فیلترهای لازم در نرم افزار اوسیسی مونتاژ<sup>۱۵</sup> شرکت ژئوسافت<sup>۱۶</sup> مورد تفسیر قرار گرفته‌اند. بر این اساس در لوت مرکزی دو دسته خطواره مغناطیسی شناسایی شدند که روند غالب آنها شمال باختری - جنوب خاوری و تعدادی روند شمالی - جنوبی دارند (شکل ۴). این خطواره‌ها در شمال باختری و جنوب قلعه‌زری واقع هستند.

<sup>15</sup> Oasis montaj

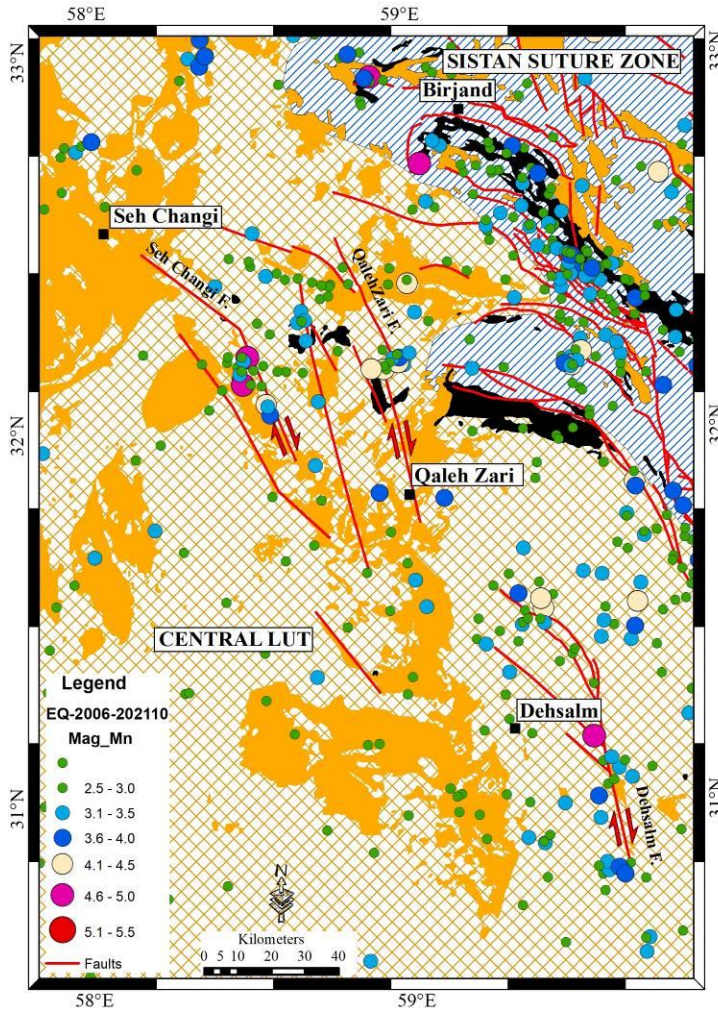
<sup>16</sup> Geosoft



شکل ۴- خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده در لوت مرکزی. تصویر پس‌زمینه نقشه حاصل از اعمال فیلتر ادامه فراسو در عمق ۵۰۰ متری است.

### بحث

تحلیل توزیع مکانی کانون سطحی خردلرزه‌ها بیان می‌کند که تجمع خردلرزه‌ها بیشتر در امتداد گسل‌های راستالغز کناره‌های بلوک لوت نظیر گسل نه در خاور و گسل‌های نایبند و طبس در باختر و نیز گسل دشت بیاض با راستای خاوری-باختری در شمال می‌باشد. شکل ۳ نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۶ ساله، خردلرزه‌ها در امتداد و پیرامون تمامی گسل‌های فعال شناخته شده منطقه توزیع شده‌اند. پاره‌ای از کانون زمین‌لرزه‌ها منطبق بر پهنه‌های تلاقی حوضه فلیشی خاور ایران و بلوک لوت می‌باشند اما تعدادی از کانون زمین‌لرزه‌ها نیز در درون گستره لوت پراکنده‌اند و جز در مواردی از روند خاصی پیروی نمی‌کنند (شکل ۵). کانون زمین‌لرزه‌ها در خاور دهسلم و شمال شمال باختری قلعه‌زری روند شمال باختری \_ جنوب خاوری دارند که منطبق بر گسلش در این مناطق می‌باشد. گسل‌های قلعه‌زری، سه چنگی و دهسلم، گسل‌های امتدادلغز راستگرد با طول‌های به ترتیب ۸۸، ۸۰ و ۹۰ کیلومتر (با احتساب سرشاخه‌ها) هستند که از روند ساختارهای قدیمی منطقه پیروی می‌کنند. مطالعه خطواره‌های مغناطیسی نشان می‌دهد که تعدادی بر گسل‌های فوق‌الذکر منطبق می‌باشند و خطواره‌های با امتداد شمالی \_ جنوبی در جنوب قلعه‌زری و غرب دهسلم فاقد اثر سطحی هستند. کانون سطحی تعدادی از زمین‌لرزه‌ها نیز منطبق با این خطواره‌های مغناطیسی می‌باشد.



شکل ۵- گسلش فعال و توزیع کانونی خرد لرزه‌ها در لوت مرکزی.

### نتیجه گیری:

در لوت مرکزی ایران، گسل‌های فعالی وجود دارند که واحدهای سنگی را برش داده‌اند و کانون سطحی خردلرزه‌های دو دهه گذشته بر روی این گسل‌ها قرار می‌گیرند. سامانه گسلی اصلی شامل گسل‌های قلعه‌زری و سه‌چنگی با راستای شمال باختری - جنوب خاوری و گسل دهسلم با راستای تقریبی شمالی - جنوبی می‌باشد که رژیم راستالغز راستگرد را در بعد منطقه‌ای حاکم می‌کنند. با استفاده از داده‌های مغناطیس‌هوابی گسل‌های پی‌سنگی در جنوب قلعه‌زری شناسایی شده‌اند که راستای شمالی - جنوبی دارند و به نظر می‌رسد ادامه سامانه گسلی قلعه‌زری در توده‌های آذرین ترشیری باشند. فعالیت یا عدم فعالیت این گسل‌های پی‌سنگی در کوتاه‌ترنی نیاز به یافتن شواهد زمین‌ریخت‌شناسی و یا بهره‌گیری از فن‌آوری‌های نوین (GPS- In SAR) دارد چرا که فاقد دگرریختی سطحی‌اند با این وجود کانون سطحی خردلرزه‌ها در پیرامون آن پراکنده‌اند و می‌بایست در تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه مورد ارزیابی قرار گیرند.

#### منابع فارسی :

- خطیب، م.م، ۱۳۷۷. هندسه پایانه گسل های امتدادلغز، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۴ صفحه.
- غلامی، ا.، ۱۳۸۷. تحلیل دگرشکلی در راستای روندهای اصلی شمال شمال خاور دشت لوت، رساله دکتری، گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۳ صفحه.
- وبگاه مرکز لرزه نگاری کشوری وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGUT) قابل دسترس در: <http://irsc.ut.ac.ir>

#### References:

- Allen, M., Jackson, J., & Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates, *Tectonics*, 23, TC2008.
- Berberian, M., 1977. Against the rigidity of the Lut Block; a seismotectonic discussion. *Geol. Surv. Iran* 40, 203-227.
- Berberian, M., Yeats, R.S., 1999. Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian plateau. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, 120-139.
- Molnar, P., Fitch, T.J., & Wu, F.T., 1973. Fault plane solutions of shallow earthquakes and contemporary tectonic in Asia. *Earth Plan. Sect.* 19, 101-112.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 52 (7). P. 1229-1258.
- Talebian, M. & Jackson, J.A., 2002, Offset on the Main Recent Fault of the NW Iran and implications on the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone: *Geophys. J. Int.*, v. 150, p. 422-439.
- Walker, R., Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, 23, TC5010, doi:10.1029/2003TC001529.



## ارزیابی نقش گسل‌های فعال البرز مرکزی بر مورفولوژی رودخانه

- شیمابابائی<sup>۱\*</sup>، مریم ده بزرگی<sup>۲</sup>، سعید حکیمی آسیابار<sup>۳</sup>، امین حسینی اصل<sup>۴</sup>
۱. گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران.
  ۲. گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران.
  ۳. گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد لاهیجان، گیلان.
  ۴. مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
Shbabaei.kh1990@gmail.com \*

### چکیده:

پهنه البرز که به‌عنوان بخشی از منطقه برخورد صفحه عربی و اوراسیا شناخته شده است، از مناطق فعال به لحاظ زمین ساختی است. با توجه به وجود گسل‌های فعال متعدد در این کمربند کوهزایی، مطالعه و بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژی که نشان‌دهنده فعالیت اخیر قطعات گسلی فعال است، بسیار سودمند می‌باشد. این پژوهش، نقش گسل‌های فعال البرز مرکزی را بر مورفولوژی رودخانه بررسی کرده است. شاخص‌های ژئومورفولوژی مرتبط با رودخانه به‌منظور بررسی بالآمدگی ناشی از فعالیت اخیر گسل‌های فعال در ۲۷ حوضه زهکشی گستره مورد مطالعه بررسی گردید. دو شاخص شیب نرمال (ksn) و گرادیان طولی رودخانه (SL) که در ارتباط با نیمرخ طولی رودخانه می‌باشند، از شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش است. نتایج حاصل نشان‌دهنده تغییرات بارز مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در محل تلاقی با قطعات گسلی فعال در البرز مرکزی است. بررسی نیمرخ طولی رودخانه‌ها در محل این قطعات گسلی، انحراف از حالت پایدار و غلبه فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. این غلبه فعالیت زمین ساختی به‌ویژه در شمال باختر، بخش مرکزی و جنوب خاوری گستره مورد مطالعه چشمگیر است. بخش باختری گسل‌های خزر و البرز شمالی همراه با گسل‌های گلندرود شمالی و جنوبی در شمال باختر، بخش خاوری گسل بلده در بخش مرکزی و گسل‌های جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه باعث تغییرات قابل توجهی در مورفولوژی رودخانه شده است. مطالعات صحرائی نیز تأییدکننده نتایج حاصل از بررسی‌های کمی است و دقت بالای روش مورد بررسی را در تحلیل و بررسی ریخت‌زمین‌ساخت نشان می‌دهد.

کلیدواژه: زمین‌ساخت، گسل، شاخص ژئومورفولوژی، نیمرخ طولی، البرز مرکزی

## Assessment of the role of active faults of Central Alborz on river morphology

Shima Babaei<sup>1\*</sup>, Maryam Dehbozorgi<sup>2</sup>, Saeid Hakimi Asiabar<sup>3</sup>, Amin Hosseiniasl<sup>4</sup>

1. Department of Earth Science, Kharazmi University, Tehran.

2. Department of Earth Science, Kharazmi University, Tehran

3. Department of geology, Lahijan branch, Islamic Azad University, Guilan

4. Research Center of Remote Sensing and GIS, Department of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran

\*Shbabaei.kh1990@gmail.com

### Abstract

The Alborz range, which is known as part of Arabian and Eurasian plate collision zone, is one of the most tectonically active areas. Due to the existence of several active faults in this orogenic belt, it is very useful to study the geomorphological indices that indicate the recent activity of the active

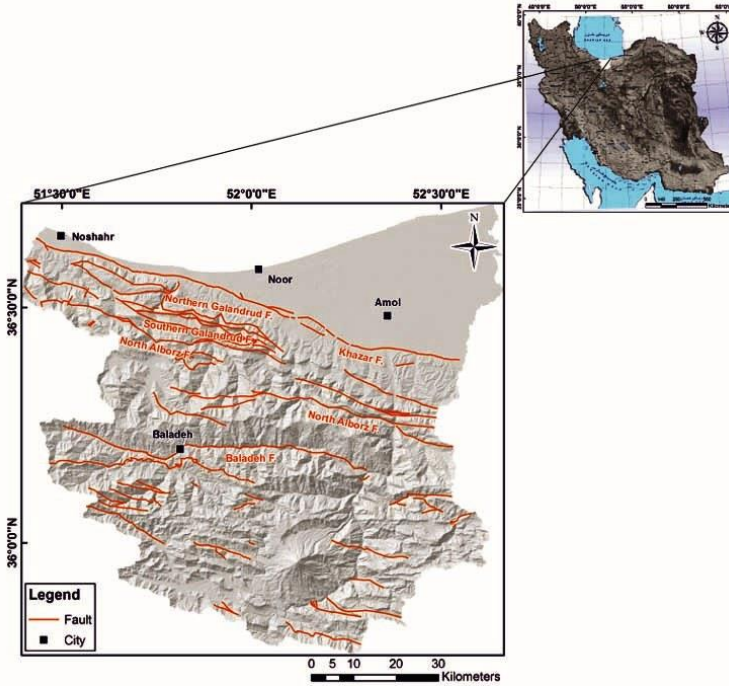
segments of faults. This study evaluates the role of the active faults of Central Alborz on river morphology. River-related geomorphological indices were evaluated to investigate the uplift caused by the recent activity of active faults in 27 drainage basins of the study area. Both the normalized steepness index (ksn) and the stream-gradient index (SL), which is related to the longitudinal profile of the river, are among the indices studied in this study. The results show significant changes in the values of the measured indices at the intersection with the active segments of faults in the Central Alborz. The assessment of the longitudinal profile of rivers at the location of these faults shows deviation from the steady state and dominance of tectonic activity. This dominance of tectonic activity is particularly significant in the northwest, central and southeastern parts of the study area. The western part of the Khazar and North Alborz faults along with the northern and southern Glendrood faults in the northwest, the eastern part of the Baladeh fault in the central part and the southeastern faults of the study area have caused significant changes in river morphology. Field studies also confirm the results of quantitative studies and show the high accuracy of the studied method in analyzing the morphotectonics.

Key words: Tectonic, Fault, Geomorphological indices, the longitudinal profile, Central Alborz

#### مقدمه:

پهنه البرز با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۱۰۰ کیلومتر بخشی از منطقه برخورد صفحات عربی و اوراسیا در شمال ایران است (Allen et al., 2003). فعالیت زمین‌ساختی در کمربند کوهزایی البرز به دلیل همگرایی به سمت شمال صفحه ایران مرکزی به سمت صفحه اوراسیا و حرکت به سمت شمال باختر حوضه خزر جنوبی در پاسخ به صفحه اوراسیا است. حرکت به سمت شمال باختر حوضه خزر جنوبی در طول پلیستوسن نه تنها رژیم فشاری شمالی- جنوبی در البرز را به رژیم ترفشاری شمال، شمال شرق- جنوب، جنوب غرب تغییر داد، بلکه باعث ایجاد یک رژیم تراکششی در محدوده البرز شد (Ritz et al., 2006). همچنین نتایج حرکت مایل در پهنه البرز در گسل‌های متعددی تقسیم‌شده است (Allen et al., 2003; Ritz et al., 2006); بنابراین تعیین و بررسی این گسل‌های فعال، می‌تواند بسیار مهم باشد. اگرچه پژوهش‌های متعددی در مورد بررسی و مطالعه گسل‌های فعال در البرز مرکزی وجود دارد (Ghassemi, 2005; Nazari and Ritz, 2008; Asadi and Zare, 2014)، اما تعیین قطعات گسلی فعال در البرز مرکزی دارای اهمیت فراوانی است. بنابراین مطالعات زمین‌ساخت فعال و نوزمین‌ساخت می‌تواند از روش‌های بسیار مؤثر در تعیین این قطعات گسلی فعال باشد.

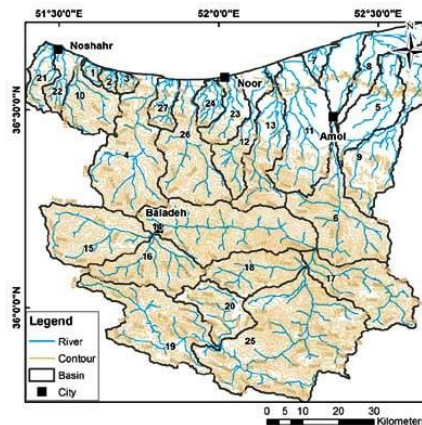
مطالعه ارتباط شبکه زهکشی یک منطقه با زمین‌ساخت فعال به وسیله اندازه‌گیری‌های کمی همراه با مطالعات صحرایی نقش مهمی در تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی اخیر یک منطقه دارد. یکی از روش‌های ژئومورفولوژی کمی در بررسی ریخت‌زمین‌ساخت، شاخص‌های ژئومورفولوژی مرتبط با مشخصات نیم‌رخ طولی رودخانه در مطالعات تکامل چشم‌اندازهای یک منطقه است. این شاخص‌ها که به‌طور عمده در ارتباط با تغییرات شیب بستر رودخانه بر اثر فعالیت اخیر ساختارهای فعال است، در مطالعات متعددی به‌منظور بررسی زمین‌ساخت فعال (Troiani and Della Seta, 2008; Kirby and Whipple, 2012; Martins et al., 2017). نتایج حاصل از این مطالعات بیان‌گر اهمیت شاخص‌های مرتبط با تغییرات شیب بستر رودخانه در بررسی ریخت‌زمین‌ساخت یک منطقه است؛ بنابراین در این مطالعه زمین‌ساخت فعال البرز مرکزی با استفاده از دو شاخص شیب نرمال (ksn) و گرادیان طولی رودخانه (SL) که از شاخص‌های مهم و مرتبط با تغییرات شیب بستر رودخانه می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که فعالیت اخیر در قطعات گسلی مختلف در البرز مرکزی یکسان نیست (Saber et al., 2017, Babaei et al., 2020)، هدف اصلی این پژوهش آشکار ساختن قطعات گسلی فعال در البرز مرکزی (شکل ۱) با استفاده از مطالعه و بررسی شیب بستر رودخانه است.



شکل ۱- موقعیت گستره مورد مطالعه به همراه گسل های اصلی.

### روش مطالعه:

ابتدا آبراهه و حوضه های منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر به روش استراهرل استخراج گردید و در نهایت گستره مورد مطالعه به ۲۷ حوضه تقسیم گردید (شکل ۲). سپس شاخص های شیب نرمال (ksn) و گرادیان طولی رود (SL) و همچنین نیمرخ طولی رودخانه به منظور بررسی بستر رودخانه محاسبه و استخراج گردید.



شکل ۲- موقعیت آبراهه ها و حوضه های گستره مورد مطالعه.

### شاخص شیب نرمال (ksn) و نیمرخ طولی رودخانه

اولین مطالعات در بررسی نیمرخ طولی رودخانه نشان می دهد که شیب و مساحت حوضه زهکشی رودخانه به طور منظم در طی زمان تغییر می کند رابطه بین طول و مساحت یک رودخانه برای اولین بار توسط هک (1957) بیان شد. همچنین بین شیب کانال و مساحت بالادست حوضه در نیمرخ طولی رودخانه در حالت پایدار رابطه قانونمندی وجود دارد (Flint, 1974):

$$S = ksA^\theta \quad (1)$$

در رابطه فوق، (S) شیب کانال، (ks) شاخص شیب، (A) مساحت حوضه زهکشی و ( $\theta$ ) شاخص تقعر است. مقادیر  $\theta$  می تواند ks را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. به منظور مقایسه دقیق مقایسه شیب رودهای مختلف با یکدیگر، مقدار ks با توجه به

شاخص تقعر مرجع ( $\theta_{ref} = 0.45$ ) نرمال شده است (Kirby and Whipple, 2001). استفاده از شاخص شیب نرمال (ksn) با استفاده از  $\theta_{ref}$  در مطالعات بسیاری در بررسی زمین ساخت فعال مورداستفاده قرار گرفته است (Kirby and Whipple, 2012; Haghypour and Burg, 2014; Babaei et al., 2020). به منظور محاسبه شاخص ksn در بخش‌های مختلف رود و همچنین استخراج نیمرخ طولی رودخانه به همراه  $\theta$  در هر حوضه از روشی که توسط ویپل و همکاران (2007) ارائه شده است و معادله (۱)، استفاده گردید.

#### شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)

شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) که می‌تواند اطلاعات مهمی از فعالیت زمین‌ساختی یک منطقه نشان دهد، تعادل پویا بین عوامل مختلفی از قبیل قدرت جریان، سنگ‌شناسی، شیب توپوگرافی و فعالیت زمین‌ساختی را در یک یا چند قسمت از یک جریان مشخص می‌کند (Hack, 1973; Keller and Pinter, 2002). این شاخص با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (Hack, 1973; Keller and Pinter, 2002):

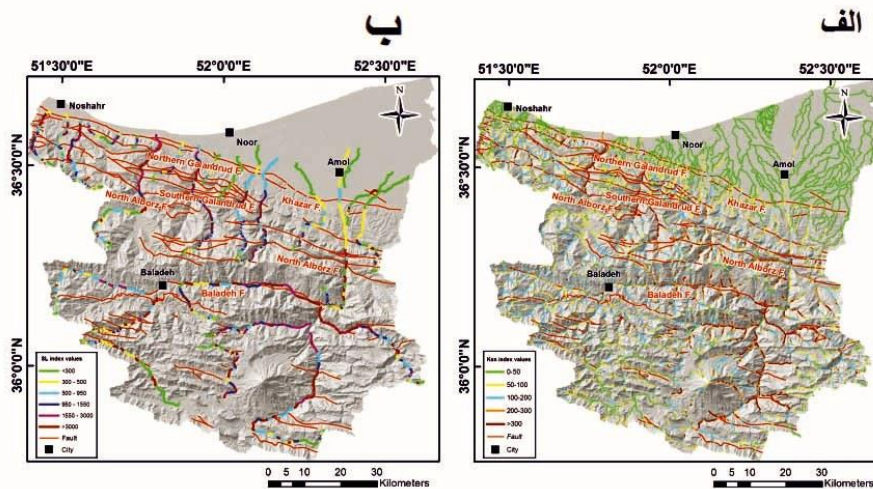
$$SL = (\Delta H / \Delta L) \times L \quad (2)$$

در این رابطه، ( $\Delta H$ ) تغییرات ارتفاع، ( $\Delta L$ ) فاصله کنتره‌های توپوگرافی و ( $L$ ) طول کلی کانال از نقطه سرچشمه تا نقطه مشخص شده و جایی که شاخص اندازه‌گیری شده است؛ که شاخص SL هرگونه بی‌نظمی در نیمرخ طولی رودخانه را نشان می‌دهد و از آنجا که به تغییرات در شیب رودخانه بسیار حساس است، به تعیین تأثیر کنترل ساختاری و سنگ‌شناسی در توسعه مورفولوژی منطقه کمک می‌کند (Keller and Pinter, 2002; Troiani and Della Seta, 2008)؛ بنابراین، مقادیر بالای SL نشان‌دهنده افزایش سریع فعالیت زمین‌ساختی یا تغییرات ناگهانی سنگ‌شناسی است (Keller and Pinter, 2002). این شاخص در امتداد جریان اصلی در هر حوضه محاسبه گردید. شاخص SL با استفاده از لایه توپوگرافی تهیه شده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر و معادله (۲) محاسبه شد و قطعات آبراهه با مقادیر شاخص SL مشخص گردید.

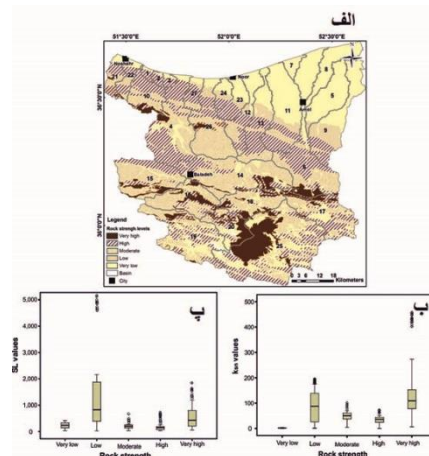
#### بحث:

در این پژوهش نتایج حاصل از بررسی دو شاخص ksn و SL در بخش‌های مختلف رود، الگوی قابل توجهی از تغییرات ناگهانی شیب بستر رودخانه در محل تلاقی با گسل‌های فعال در البرز مرکزی نشان می‌دهد. همچنین نیمرخ طولی رودها در محل تلاقی با این گسل‌ها تغییر شکل مشخصی دارد. بررسی نتایج حاصل، فعالیت بالای گسل‌های خزر، شمال البرز، گلندورد شمالی و جنوبی در شمال باختر، بلده در مرکز و گسل‌های جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد (شکل ۳). همچنین سطح مقاومت واحدهای سنگ‌شناسی بر اساس انواع سنگ و مشاهدات میدانی به ۵ گروه طبقه‌بندی شد. این ۵ گروه شامل واحدهای سنگ‌شناسی با مقاومت بسیار بالا (دیاباز و واحدهای مرتبط با آن)، بالا (سنگ‌آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و کنگلومرای سخت)، متوسط (شیل، مارن، گچ و توف)، کم (کنگلومرای با سیمان ضعیف) و بسیار کم (رسوبات آبرفتی) است (شکل ۴ الف). بررسی مقادیر این دو شاخص بر روی سنگ‌هایی با مقاومت مختلف نیز نشان‌دهنده تأثیر فعالیت زمین‌ساختی بر شیب رودخانه‌های منطقه مورد بررسی است (شکل ۴ ب و ۴ پ) که با گسل‌های فعال اشاره شده همخوانی دارد. شاخص‌های ksn و SL در شمال باختر گستره مورد مطالعه که منطبق با گسل‌های گلندورد شمالی و جنوبی و بخش باختری گسل‌های خزر و شمال البرز است، دارای مقادیر قابل توجهی است (شکل ۳). گسل خزر دارای راستای خم‌دار خاوری-باختری به صورت معکوس با مؤلفه فرعی راستالغز چپ‌بر با شیب به سمت جنوب (Berberian, 1983) در جنوب دشت ساحلی

مازندران و شمال رشته‌کوه البرز قرار دارد. اندازه‌گیری GPS بر روی گسل خزر نرخ لغزش ۰/۸ میلی‌متر در سال را برای آن نشان می‌دهد (Vernant et al., 2004; Hollingsworth et al., 2008).



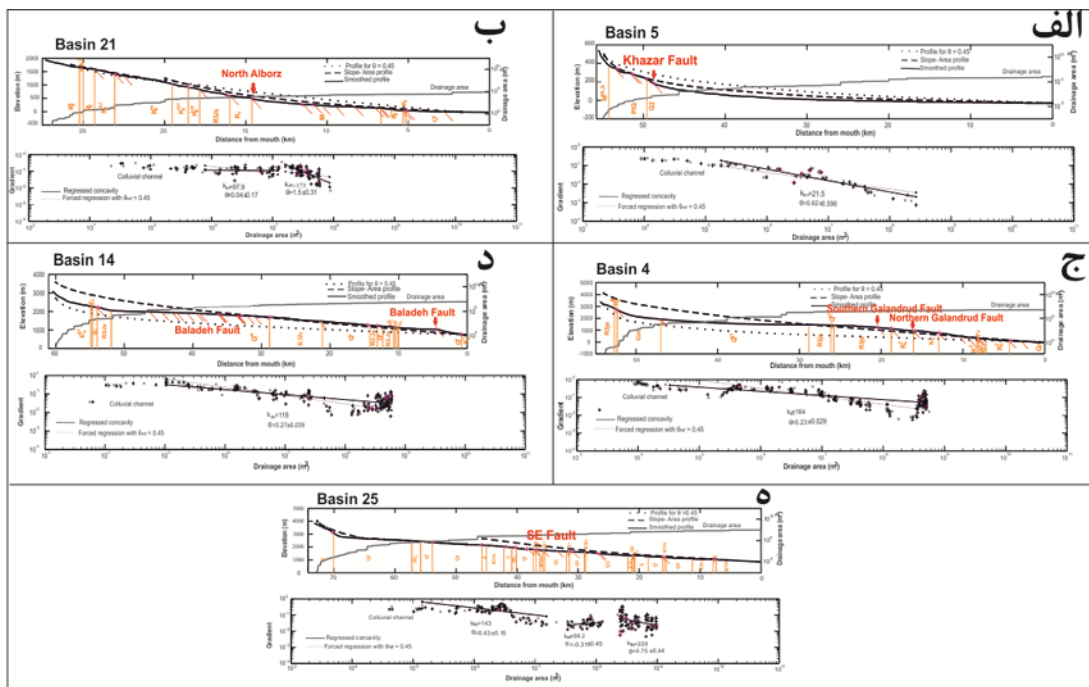
شکل ۳- نقشه توزیع (الف) شاخص knsn و (ب) شاخص SL حوزه‌های زهکشی استخراجی در گستره مورد مطالعه به همراه گسل‌های گستره مورد مطالعه بر روی مدل رقومی ارتفاعی.



شکل ۴- (الف) نقشه توزیع واحدهای سنگی با مقاومت مختلف، (ب) نمودار جعبه‌ای مقادیر شاخص knsn در واحدهای سنگی با مقاومت مختلف، (پ) نمودار جعبه‌ای مقادیر شاخص SL در واحدهای سنگی با مقاومت مختلف.

در بخش باختری گسل خزر، شاخص‌های اندازه‌گیری شده (شکل ۳) و همچنین نیم‌رخ طولی رودخانه (شکل ۵ الف) تغییرات شیب بستر رودخانه را نشان می‌دهند. با توجه به وجود واحدهای سنگ‌شناسی با مقاومت خیلی کم در این بخش، می‌توان این تغییر شیب را بر اثر فعالیت اخیر گسل خزر دانست. اگرچه در محل تلاقی بخش باختری گسل خزر با رود مقادیر دو شاخص knsn و SL بالا است، اما مقدار این دو شاخص در محل گسل خزر در مقایسه با سایر گسل‌های فعال شمال باختری منطقه مورد مطالعه کم‌تر است. در گسل خزر نبود افزایش گسلی آشکار ممکن است به دلیل کوتاه‌شدگی در پوسته بالایی باشد که توسط دگرشکلی شکل‌پذیر رسوبات اشباع از آب نهشته شده در حوضه جنوبی ایجاد می‌شود (Vernant et al., 2004; Hollingsworth et al., 2008). این تفسیر می‌تواند مقادیر کم‌تر این دو شاخص در محل گسل خزر را در مقایسه با سایر گسل‌های فعال شمال باختری منطقه مورد مطالعه تأیید کند. گسل معکوس شمال البرز با شیب به سمت جنوب با راستای خاوری- باختری در جنوب گسل خزر گسترش دارد که به دلیل خمش به سمت جنوب، بخش میانی آن سیمایی کم‌انی دارد (Zanchetta et al., 2013). این گسل از اواخر پرکامبرین تاکنون فعال بوده است. در بخش خاوری گسل شمال البرز با توجه به وجود واحدهای سنگ‌شناسی با مقاومت بالا، تغییر شیب بستر رودخانه قابل انتظار است؛ اما در

بخش باختری این گسل که واحدهای سنگ‌شناسی از استحکام متوسط برخوردار هستند، بالآمدگی بستر رودخانه می‌تواند به دلیل فعالیت اخیر گسل شمال البرز باشد. همچنین، نیمرخ طولی رودخانه در محل تلاقی با گسل شمال البرز به شکل محدب است و این تغییر ناگهانی در شیب رودخانه به صورت رودشکن در نیمرخ طولی قابل مشاهده است (شکل ۵ ب). گسل‌های گلندرود شمالی و گلندرود جنوبی از جمله گسل‌های مهم و فعال شمال باختری منطقه مورد مطالعه است که به صورت راندگی با شیب به سمت شمال بین گسل‌های خزر و شمال البرز قرار دارند (شکل ۱). بررسی مقادیر بسیار بالای شاخص‌های  $k_{sn}$  و  $SL$  نشان‌دهنده فعالیت بالای این دو گسل است (شکل ۳). شکل محدب نیمرخ طولی با تغییر شیب آشکار در نمودار لگاریتم شیب-مساحت (شکل ۵ ج) در امتداد این دو گسل، انحراف از نیمرخ متعادل و پایدار را نشان می‌دهد.

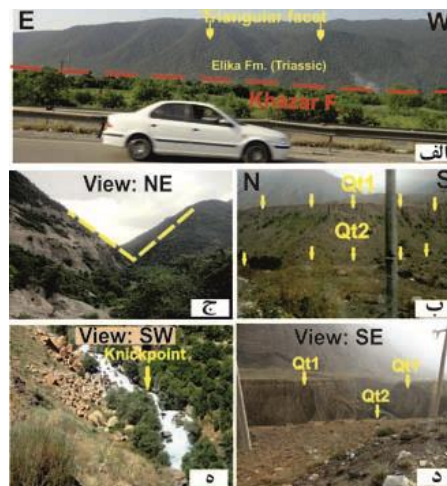


شکل ۵- موقعیت مرز تغییر واحدهای سنگ‌شناسی و گسل‌ها در نیمرخ طولی رودخانه: (الف) گسل خزر، (ب) گسل شمال البرز، (ج) گسل‌های گلندرود شمالی و جنوبی، (د) گسل بلده، (ه) گسل‌های جنوب خاوری گستره مورد مطالعه. یکی از گسل‌های مهم بخش مرکزی گستره مورد مطالعه، گسل بلده است. گسل بلده با راستای خم‌دار به تقریب خاوری-باختری با شیب به سوی شمال به صورت راندگی در مرکز رشته‌کوه‌های البرز قرار دارد (سعیدی و قاسمی، ۱۳۷۹). این گسل همراه با گسل‌های راندگی زیادی که به موازات آن و در طرفینش وجود دارند، پهنه فشرده‌ای از راندگی‌ها را در بخش‌های مرکزی البرز ایجاد نموده‌اند. با توجه به یکنواخت بودن مقاومت واحدهای سنگ‌شناسی در امتداد این گسل، فعالیت اخیر این گسل دلیل اصلی تغییر شیب و بالآمدگی بستر رودخانه است. شکل محدب نیمرخ طولی رودخانه (شکل ۵ د) و همچنین مقادیر بالای شاخص‌های اندازه‌گیری شده در قطعه خاوری گسل بلده (شکل ۳) تأثیر این بخش از گسل را در مورفولوژی رودخانه تأیید می‌کند. مطالعات پیشین نیز بخش خاوری گسل بلده را در وقوع زمین‌لرزه‌هایی که باعث تشکیل زمین‌لغزش‌های بزرگ در این بخش شده است، معرفی کرده است (Asadi and Zare, 2014). نتایج حاصل از این پژوهش نیز با مطالعات پیشین منطبق است. همچنین گسل‌های راندگی در جنوب گسل بلده نیز باعث بالآمدگی بستر رودخانه شده است و تغییرات ناگهانی در شیب بستر رودخانه ناشی از فعالیت اخیر این گسل‌ها است. با توجه به نتایج بررسی شیب بستر رودخانه و نیمرخ

طولی رودخانه، فعالیت زمین‌ساختی اخیر بخش مرکزی البرز مرکزی می‌تواند به دلیل فعالیت قطعه خاوری گسل بلده و گسل‌های راندگی در جنوب گسل بلده باشد.

در محل تلاقی رود با گسل‌های جنوب خاوری گستره مورد مطالعه، بررسی دو شاخص  $k_{sn}$  و  $SL$  (شکل ۳) و همچنین نیم‌رخ طولی رودخانه (شکل ۵ ه) بیان‌گر فعالیت اخیر گسل‌های این بخش از منطقه است. اگرچه در جنوب خاوری گستره مورد مطالعه سنگ‌هایی با مقاومت بسیار بالا بیشترین گسترش را دارد، اما در بخش‌هایی که نتایج حاصل فعالیت اخیر گسل‌ها را نشان می‌دهد؛ دارای واحدهای سنگ‌شناسی با مقاومت خیلی کم و کم است؛ بنابراین تغییرات ناگهانی بستر رود را می‌توان در ارتباط با گسل‌های جنوب خاوری منطقه دانست.

مطالعات صحرائی تأییدکننده نتایج کمی این پژوهش است. چشم‌اندازهای حاصل از مشاهدات صحرائی نظیر سطوح مثلثی (Triangular face)، پادگانه آبرفتی، دره V شکل و رودشکن در گستره مورد مطالعه فعالیت اخیر قطعات گسلی که در این پژوهش اشاره گردید را تأیید می‌کنند (شکل ۶).



شکل ۶- چشم‌اندازهای مشاهده شده در گستره مورد مطالعه: (الف) تشکیل سطوح مثلثی (Triangular facet) بر اثر فعالیت گسل خزر، (ب) دونسل پادگانه آبرفتی ایجاد شده در اثر فعالیت گسل شمال البرز، (ج) تشکیل دره V شکل بر اثر فعالیت گسل گلندورد جنوبی، (د) دونسل پادگانه آبرفتی ایجاد شده در اثر فعالیت گسل بلده، (ه) رودشکن ایجاد شده در اثر فعالیت گسل‌های جنوب خاوری گستره مورد مطالعه.

### نتیجه‌گیری:

بررسی نوزمین‌ساخت با استفاده از شاخص‌های شیب نرمال ( $k_{sn}$ ) و گرادیان طولی رودخانه ( $SL$ ) و همچنین بررسی نیم‌رخ طولی رودخانه نشان‌دهنده تأثیر گسل‌های فعال البرز مرکزی بر ژئومورفولوژی رودخانه است. نتایج حاصل از این پژوهش در گستره مورد مطالعه نشان می‌دهد که تأثیر فعالیت زمین‌ساختی بر تغییرات بستر رودخانه بیشتر از تأثیر سنگ‌شناسی است. این فعالیت زمین‌ساختی اخیر در گسل‌های خزر، شمال البرز، گلندورد شمالی و جنوبی، بلده و گسل‌های جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه قابل‌مشاهده است. تحلیل و بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژی در محل تلاقی گسل‌های فعال با رودخانه‌های گستره مطالعاتی نشان‌دهنده قطعات فعال این گسل‌ها است. همچنین نیم‌رخ طولی رودها در محل این قطعات بیان‌گر انحراف از حالت تعادل و پایدار و بالآمدگی بستر رودخانه است. در شمال باختر منطقه مورد مطالعه بخش باختری گسل‌های خزر و البرز شمالی همراه با گسل‌های گلندورد شمالی و جنوبی، در بخش مرکزی بخش خاوری گسل بلده و در جنوب گسل‌های جنوب خاوری باعث تغییرات قابل‌توجهی در شیب بستر رودخانه شده است. مطالعات صحرائی نیز تأییدکننده دقت بالای نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های کمی است. بررسی و مطالعه حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص‌های

مرتبط با شیب بستر رودخانه همراه با نیمرخ طولی رودخانه روشی مفید برای شناسایی قطعات گسلی فعال در منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطق مشابه است.

#### منابع:

- سعیدی، م.، قاسمی، م.، ر.، ۱۳۷۹. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بلده، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology* 25, 659–672.
- Asadi, A., Zare, M. 2014. Estimating magnitudes of prehistoric earthquakes and seismic capability of fault from landslide data in Noor valley (central Alborz, Iran). *Natural Hazards*, 74 (2), 445–461.
- Babaei, S., Dehbozorgi, M., Hosseiniasl, A., Hakimi Asiabar, S., 2020. New insights into the effect of the quaternary fault activity on river knickpoints in the Central Alborz (Iran). *Quaternary International* 562, 104–120
- Berberian, M., 1983. The southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth Sciences* 20, 163–183.
- Flint, J.J., 1974, Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge: *Water Resources Research* 10, 969–973.
- Ghassemi, M.R., 2005. Drainage evolution in response to fold growth in the hanging-wall of the Khazar fault, north-eastern Alborz, Iran. *Basin research* 17, 425–436.
- Haghipour, N., Burg, J.P., 2014. Geomorphological analysis of the drainage system on the growing Makran accretionary wedge. *Geomorphology* 209, 111–132.
- Hack, J.T., 1957. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. U.S. Geological Survey Professional Paper 294-B, 45–97.
- Hack, J.T., 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1, 421–429.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Nazari, H., 2008. Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. *Geology* 36 (10), 763–766.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape* (2nd Ed.). Prentice Hall, New Jersey.
- Kirby, E., Whipple, K.X., 2001. Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology* 29 (5), 415–418.
- Kirby, E., Whipple, K.X., 2012. Expression of active tectonics in erosional landscapes *Journal of Structural Geology* 44, 54–75.
- Martins, A.A., Cabral, J., Cunha, P.P., Stokes, M., Borges, J., Caldeira, B., Martins, A.C., 2017. Tectonic and lithological controls on fluvial landscape development in centraleastern Portugal: insights from long profile tributary stream analyses. *Geomorphology* 276, 144–163.
- Nazari, H., Ritz, J. F., 2008. Neotectonic in Central Alborz. *Geosciences scientific quarterl* 17, 74–93.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamaty, R., Shafei, A., Solaymani, S., Vernant, P., 2006. Active transtension inside central Alborz: a new insight into northern Iran– southern Caspian geodynamics. *Geology* 34, 477–480.
- Saberi, E., Yassaghi, A., Djamour, Y., 2017. Application of geodetic leveling data on recent fault activity in Central Alborz, Iran. *Geophysical Journal International* 2011, 751–765.
- Vernant, P., Nilfroushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J.F., Sedighi, M., Tavakoli, F., 2004b. Deciphering oblique shortening of Central Alborz in Iran using geodetic data. *Earth and Planetary Science Letters* 223, 177–185.
- Troiani, F., Della Seta, M., 2008. The Use of the Stream Length-Gradient Index in Morphotectonic Analysis of Small Catchments: A Case Study from Central Italy. *Geomorphology* 102, 159-168.
- Whipple, K.X., Wobus, C., Crosby, B., Kirby, E., Sheehan, D., 2007. New tools for quantitative geomorphology: extraction and interpretation of stream profiles from digital topographic data. *Geological Society of America Annual Meeting, Colorado, USA, 28 October 2007.*
- Zanchetta, S., Berra, F., Zanchi, A., Bergomi, M., Caridroit, M., Nicorab, A., Heidarzadeh, G., 2013. The record of the late palaeozoic active margin of the palaeotethys in NE Iran: constraints on the cimmerician orogeny. *Gondwana Research* 24 (3–4), 1237–1266.



## بررسی فعالیت تکتونیکی جوان پهنه گسل ترکمانی - اردیب از طریق ارزیابی

### مورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها

سید معین هاتفی<sup>۱</sup>، علیرضا ندیمی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان

۲- دانشیار تکتونیک، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان

\* [a.nadimi@sci.ui.ac.ir](mailto:a.nadimi@sci.ui.ac.ir)

چکیده:

مخروط افکنه‌ها از اشکال مهم رسوبی است که در مطالعات حرکت‌های تکتونیکی جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های بررسی مخروط افکنه‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های دورسنجی به منظور بارسازی و تفسیر اشکال و مورفولوژی مخروط افکنه‌هاست. در این پژوهش، از پردازش ترکیب رنگی کاذب (RGBi: (R):4/2, (G):6/5, (B):6/7) استفاده گردید. این ترکیب رنگی کاذب متشکل از نسبت‌های باندی مختلف بر روی هر یک از باندهای تصویر رنگی (RGB) می‌باشد که قدرت تفکیک، تفسیر و مطالعه مخروط افکنه‌ها را در مطالعات تکتونیک جوان به ویژه در دشت‌های پهنه ایران مرکزی (به دلیل پوشش گیاهی ناچیز و واحدهای زمین شناسی مختلف) بالا می‌برد. پهنه گسل ترکمانی-اردیب در ایران مرکزی با استفاده از این ترکیب رنگی پردازش شد. این مطالعه نشان داد که گسل ترکمانی-اردیب در بخش مرکزی نسبت به دو سوی آن فعالیت تکتونیکی بیشتری دارد. شاخه‌های موازی گسل ترکمانی-اردیب (D)، ریدل (R)، ایکس (X) و گسل‌های معکوس منشعب شده از گسل ترکمانی-اردیب، در نرخ فعالیت تکتونیکی جوان پهنه گسلی ترکمانی-اردیب نقش بسزائی دارند.

کلیدواژه: دورسنجی - نئوتکتونیک - مخروط افکنه - گسل ترکمانی-اردیب - ایران مرکزی.

## Investigation of young tectonics activity of Turkamani-Ordib fault zone through morphological evaluation of alluvial fans

SeyedMoein Hatefi, Alireza Nadimi\*

### Abstract

Alluvial fans are an important sedimentary form used in the study of new tectonics movements. One method of examining alluvial fans is to use satellite imagery and remote sensing techniques to identify and interpret the shapes and morphology of alluvial fans. In this study, false color combination processing (RGBi: (R): 4.2, (G): 6.5, (B): 6.7) was used. This false color combination consists of different band ratios on each of the color image bands (RGB), which increase the resolution, interpretation and study of alluvial fans in young tectonics studies, especially in the plateau of central Iran (due to low vegetation and different geological units). The Turkamani-Ordib fault zone in central Iran was processed using this color combination. This study showed that Turkamani-Ordib fault in the central part has more tectonics activity than both sides. Parallel tributaries of the Turkamani-Ordib fault (D), Riddle (R), X (X) and reverse faults branching from the Turkamani-Ordib fault play an important role in the young tectonic activity rate of the Turkamani-Ordib fault zone.

Keywords: Remote sensing - Neotectonics - Alluvial fan - Turkamani-Ordib Fault - Central Iran.

#### مقدمه:

امروزه مطالعات تکتونیک جوان به سبب اهمیت آن در تشخیص میزان فعالیت‌های تکتونیک در طی کواترنری، تعیین نحوه شکل‌گیری چشم‌اندازها و عوارض سطحی زمین بسیار گسترش یافته است (Keller & Pinter, 2002). در اینگونه مطالعات، داده‌های لازم، از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات صحرایی به دست می‌آید (Stewart & Hancock, 1994). پیشانی کوهستان در مناطق خشک و نیمه خشک همواره با توسعه و گسترش مخروط افکنه‌ها مشخص می‌شود (Bull, 1978). مخروط افکنه‌ها معمولاً در حدفاصل ارتفاعات و دشت کم شیب تشکیل می‌شوند. شکل و گسترش مخروط افکنه‌ها تحت تأثیر متغیرهای مختلفی تغییر می‌کنند. بدون وجود فعالیت تکتونیک دائم، مخروط افکنه‌ها به اشکال کوچک و با عمر کوتاه تبدیل می‌شوند (سلیمانی، ۱۳۷۸). عوامل تکتونیک، بافت و موقعیت مخروط افکنه‌ها را متأثر می‌سازند (Bull, 1978). حرکت امتدادلغز یک گسل در محل تشکیل مخروط افکنه‌ها، موجب جابجایی مخروط و جریان‌های سطحی آن‌ها می‌شود. شیب سطح مخروط افکنه‌ها نیز تا حد زیادی به وسیله تکتونیک کنترل می‌شود. ویژگی مورفولوژیکی سطوح مخروط افکنه‌ها می‌تواند به عنوان شاهد فعالیت تکتونیک به شمار روند (سلیمانی، ۱۳۷۸).

منطقه مورد نظر در این پژوهش در بلوک یزد از خرد قاره ایران مرکزی قرار دارد که این بخش، از شمال به گسل درونه و از غرب به نوار افیولیتی نائین- بافت محدود است (شکل ۱ الف). گسل ترکمانی- اردیب یکی از مهمترین گسل‌های این بخش از ایران مرکزی و بلوک یزد محسوب می‌شود. گسل‌های فرعی متعددی نیز در این منطقه وجود دارند که به عنوان شاخه‌های فرعی این گسل اصلی در نظر گرفته می‌شوند.

#### روش مطالعه:

اولین گام به منظور انجام مطالعات نئوتکتونیک در منطقه مورد مطالعه، تهیه اطلاعات لازم و موجود از قبیل نقشه‌هاست. با توجه به هدف پژوهش، ابتدا سین (Scene) تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس با پیش پردازش‌های مختلف نظیر تصحیحات رادیومتریک نویزهای تصویر ماهواره‌ای به حداقل کاهش یافت. پس از آن با اعمال فیلتر- های مختلف، تهیه نسبت‌های بانندی و ترکیب رنگی‌های کاذب مورد نیاز، تصاویر آنها تهیه و تفسیر شد. در نهایت داده‌ها در نرم افزار Arc GIS 10.4.1 وارد و نقشه‌های لازم تهیه گردید.

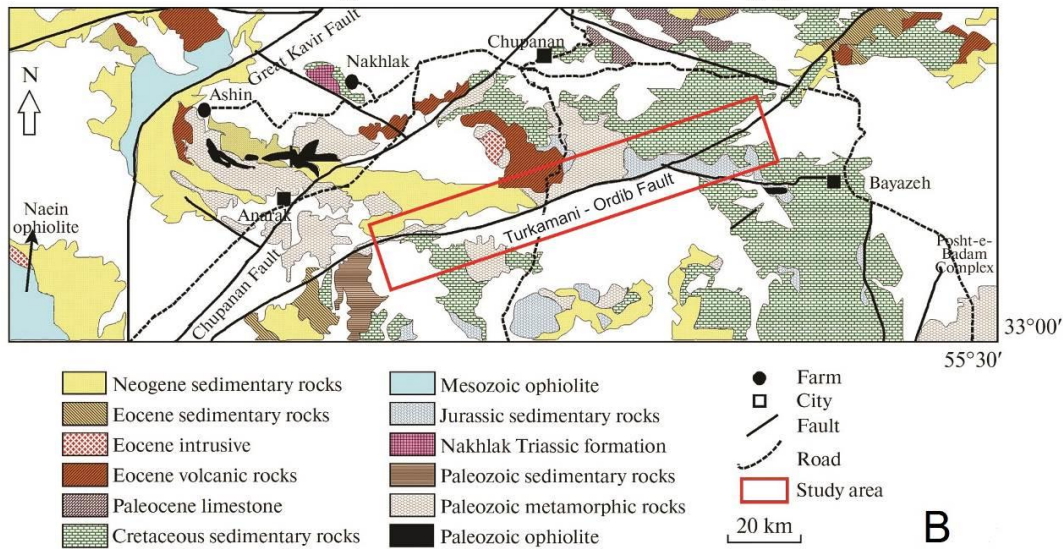
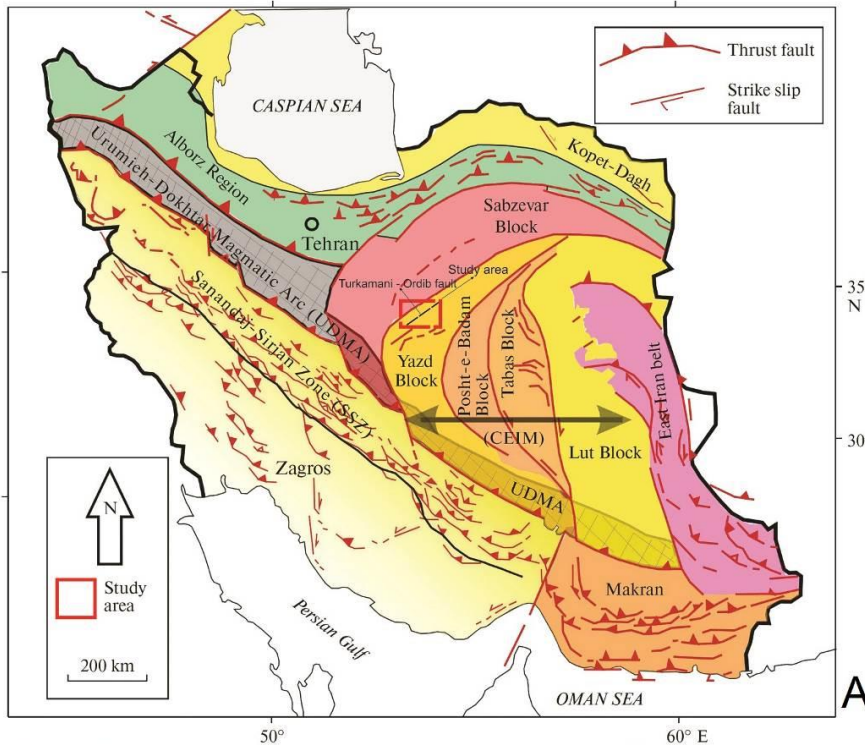
#### بحث:

گسل ترکمانی- اردیب در منطقه انارک- خور (شکل ۱ ب) به موازات گسل درونه امتداد یافته است و دارای طولی در حدود ۱۶۰ کیلومتر می‌باشد. این گسل مرز جنوبی و شرقی بلوک انارک- خور به شمار می‌رود و این بلوک را از منطقه چاه پلنگ- بیاضه جدا می‌نماید (Sohrabi et al, 2019). گسل ترکمانی- اردیب یکی از بزرگترین ساختارهای تکتونیک منطقه است که با نفوذ در بازالت‌های قلیایی و عبور از آن‌ها نقش مهمی در تکتونیک ناحیه‌ای ایفا می‌کند (Torabi & Hemmati, 2011). گسل ترکمانی- اردیب را می‌توان به عنوان یک گسل پی سنگی و ژرف در نظر گرفت. پهنه خردشدگی این گسل از چند صد متر تا ۲ کیلومتر در برخی مناطق متغیر است (Sohrabi et al, 2019). از گسل ترکمانی- اردیب، گسل‌های فرعی زیادی منشعب می‌شوند که از میان همه کمپلکس‌های سنگی، از پروتروزوئیک بالایی تا نئوژن و حتی از میان بخشی از رسوبات کواترنری دیرین نیز عبور می‌نمایند (Aistov et al, 1984). بسیاری از گسل‌ها در این پهنه با خردشدگی شدید و آلتراسیون هیدروترمال در

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



سنگ‌ها همراه هستند (نصوحیان، ۱۳۹۱). توده‌های کوچک سرپانتینیت‌های برش خورده نیز در بخش‌های مرکزی و غربی این گسل رخنمون دارند (Aistov et al, 1984).



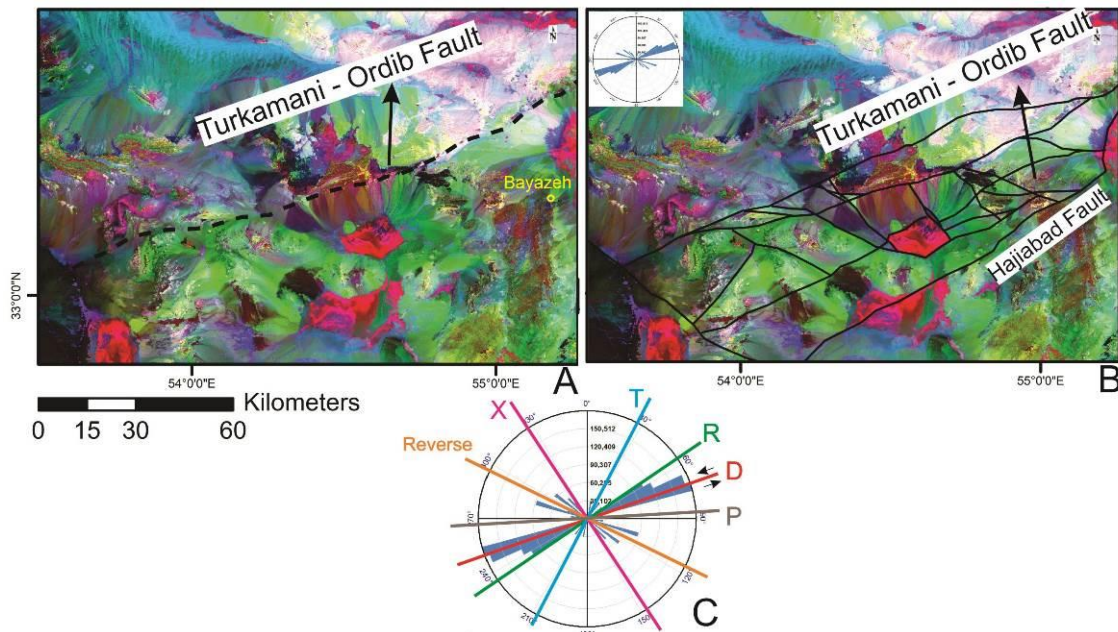
شکل ۱: الف: واحدهای ساختاری اصلی ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه (Goli et al, 2021). ب: نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه انارک-چوپانان-بیاضه در شمال شرق استان اصفهان به همراه منطقه مورد مطالعه در پهنه گسلی ترکمانی-اردیب (برگرفته از (Goli et al, 2021) با تغییرات جزئی).

به منظور بررسی مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸ از ترکیب رنگی کاذب (RGBi: (R):4/2, (G):6/5, (B):6/7) استفاده گردید. این ترکیب رنگی کاذب از نسبت‌های باندی مختلفی تهیه می‌گردد. این ترکیب رنگی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای مناطق خشک و دارای واحدهای زمین شناسی مختلف با حضور دشت-

های متعدد و وسیع (مناطق نظیر پهله ایران مرکزی)، می‌تواند مخروط افکنه‌های با نسل‌های مختلف را به خوبی تفکیک کند. طیف رنگی بازتابی از این واحدها به ویژه آن‌هایی که در پهله ایران مرکزی واقع شده‌اند، به تغییرات سنی و سنگ شناسی، واکنش‌های بسیار دقیق نشان داده و می‌توان با اطمینان، از این ترکیب رنگی کاذب در مطالعات مورفوتکتونیک و همچنین مطالعات مخروط افکنه‌های یک ناحیه استفاده کرد. با استفاده از این روش، در مدت زمان بسیار کوتاه و با دقت بالا می‌توان مخروط افکنه‌های یک ناحیه را مورد ارزیابی قرار داد. در این ترکیب رنگی کاذب، رس‌ها به رنگ آبی، کانی‌های آهن‌دار به رنگ قرمز بارزسازی می‌شوند. گیاهان نیز در این روش به رنگ آبی و سبز نمایان می‌شوند که مزیت استفاده از این روش در ایران مرکزی عدم وجود یا ناچیز بودن پوشش گیاهی است. واحدهای رسوبی کواترنری بسته به سن رسوبات و ترکیب سنگ شناسی موجود در طیف‌های رنگی متفاوت (اما معمولاً سبز رنگ) بارزسازی می‌شوند که مخروط‌های سفید تا سبز رنگ اولین نسل‌ها و مخروط‌های با طیف رنگ‌های رو به قرمز تا سیاه رنگ، نسل‌های بعدی مخروط افکنه‌ها را تشکیل می‌دهند. از این‌رو استفاده از این ترکیب باندی، با ظرافت بسیار، مورفولوژی مخروط افکنه‌ها و نسل‌های مختلف آنها را مشخص می‌کند که در بررسی فعالیت تکتونیک جوان یک ناحیه مورد نیاز است.

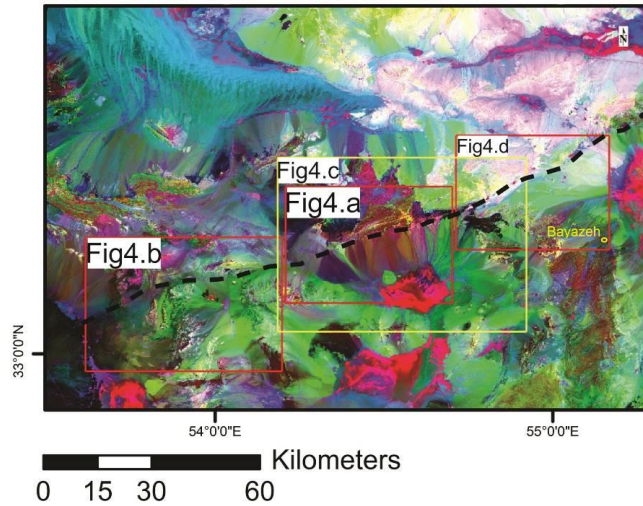
بخش جنوب شرقی گسل ترکمانی-اردیب، دارای دشت‌های فراوانی است که ممکن است به واسطه فعالیت‌های تکتونیک باشد. از عملکرد این گسل پی‌سنجی، در زمان‌های اخیر، مخروط افکنه‌های فراوان در نسل‌های مختلف تشکیل شده است (شکل ۲الف). از بخش شمال شرقی در امتداد راستای گسل ترکمانی-اردیب در ناحیه خور، تا بخش جنوب غربی در راستای گسل در نزدیکی گسل چوپانان، آنالیز مخروط افکنه‌ها انجام شد، و به نظر می‌رسد که، گسل ترکمانی-اردیب با طول زیاد خود، در همه نقاط فعالیت یکسان ندارد. علاوه بر آن، با توجه به گسترش ساختارهای رسوبی، احتمال دارد که گسل ترکمانی-اردیب به تنهایی مسئول کنترل فعالیت نئوتکتونیک بخش جنوب شرقی در طول امتداد خود نباشد و شاخه‌های فرعی منشعب شده از آن نیز، در کنترل فعالیت تکتونیک جوان ناحیه و تغییر شکل مخروط افکنه‌ها مؤثر باشند. تغییرات حاصله در مورفولوژی مخروط افکنه‌ها به واسطه حرکت‌های متعدد گسل ترکمانی-اردیب نشان می‌دهد که فعالیت جدید این گسل در بخش جنوب شرقی، بیشتر مربوط به گسل اصلی است، در حالی که در بخش شمال غربی گسل، این فعالیت‌ها بیشتر متأثر از سیستم‌های گسلی مجاور آن می‌باشد. همچنین تغییر شکل‌های به وجود آمده در مورفولوژی مخروط افکنه‌ها و تعدد نسل‌های مختلف آنها نشان می‌دهد که، فعالیت تکتونیک جوان گسل در بخش میانی طول گسل در ناحیه غرب بیاضه و ناحیه چاه پلنگ، بسیار بیشتر از بقیه نواحی است و آثار عملکرد آن تا گسل حاجی آباد که یک گسل در فاصله ۴۰ کیلومتری بخش جنوب شرقی گسل ترکمانی-اردیب (جنوب غربی بیاضه) است به چشم می‌خورد. این بدین معناست که گسل حاجی آباد در بخش جنوب شرقی منطقه، به همراه گسل ترکمانی-اردیب به عنوان گسل اصلی، مورفولوژی بخش مرکزی منطقه مورد بررسی را کنترل می‌کنند.

با تفکیک مناسب مخروط افکنه‌ها به وسیله ترکیب رنگی کاذب ذکر شده، گسل‌های تأثیرگذار بر روی مورفولوژی مخروط افکنه‌ها، مشخص شدند (شکل ۲ب) و پراکندگی گسل‌های منطقه مورد مطالعه در نمودار گل سرخی (شکل ۲ج) نشان داده شد. کل طول گسل ترکمانی-اردیب از شمال شرقی آن تا جنوب غربی آن، به لحاظ دسته بندی فعالیت نئوتکتونیک، به سه بخش تقسیم می‌شود (شکل ۳الف).

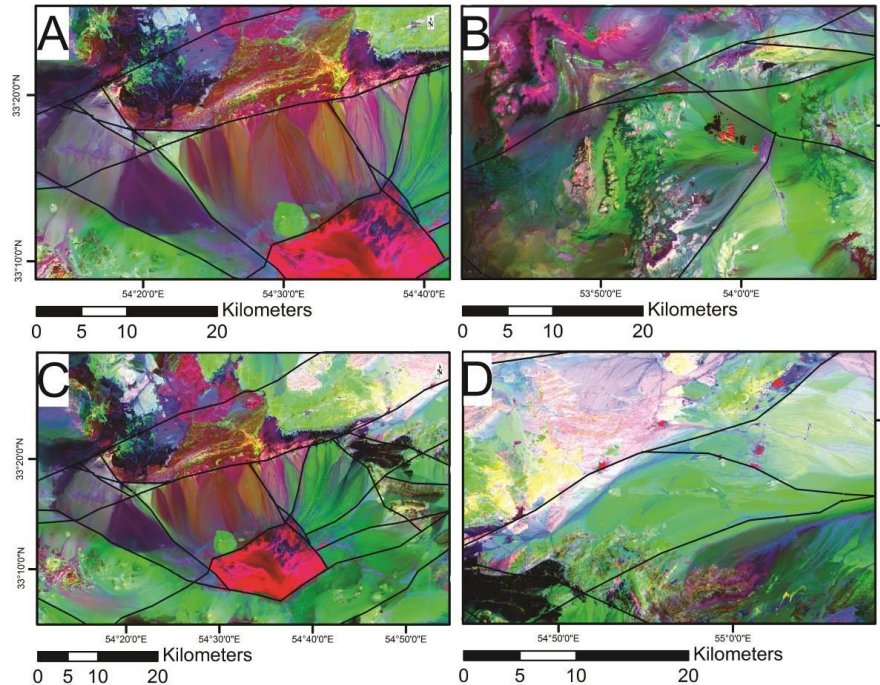


شکل ۲: الف: گسل ترکمانی-اردیب بر روی تصویر ماهواره‌ای. ب: گسل‌های مؤثر در فعالیت تکتونیک جوان بخش جنوب شرقی گسل ترکمانی-اردیب (غرب منطقه بیاضه). ج: دیاگرام گل سرخی و شاخه‌های مختلف مشخص شده از طریق تحلیل شکستگی‌ها به روش ریدل.

بررسی پراکنندگی گسل‌های منطقه مورد مطالعه در نمودار گل سرخی (شکل ۲ج) نشان می‌دهد که بخش جنوب غربی گسل ترکمانی-اردیب به سمت افیولیت نائین و تا نزدیکی گسل چوپانان، از فعالیت تکتونیکی نسبتاً ضعیف تا متوسط بهره می‌برد (شکل ۲ب). علاوه بر گسل اصلی و دسته‌های گسلی موازی آن (D)، شاخه‌های فرعی ریدل (R) گسل ترکمانی-اردیب عمده فعالیت نئوتکتونیکی این محدوده را کنترل می‌کنند. بخش مرکزی گسل ترکمانی-اردیب (شکل ۲ج)، بیشترین فعالیت نئوتکتونیکی را نشان می‌دهد؛ به طوری که حرکت مخروط افکنه‌ها، قطع شدگی آن‌ها، تغییر مسیر مخروط افکنه‌ها و وجود نسل‌های مختلف مخروط افکنه به طور کاملاً واضح در این بخش از منطقه مورد پژوهش مشخص است. بر این اساس بخش مرکزی گسل ترکمانی-اردیب، حرکت و بالآمدگی تکتونیکی نسبتاً زیادی داشته است. از طرفی، علاوه بر گسل ترکمانی-اردیب و شاخه‌های به موازات آن (D)، دسته‌های گسلی (X) و گسل‌های معکوس به همراه گسل اصلی فعالیت شدیدی در منطقه نشان می‌دهند. این شاخه‌ها در نمودار گل سرخی تهیه شده فراوانی کمی را نشان می‌دهند که احتمالاً به دلیل نو ظهور بودن این شاخه‌های فرعی و منشعب شده از گسل اصلی است. بخش مرکزی گسل ترکمانی-اردیب، به واسطه وجود طیف‌های مختلف رنگی در مخروط افکنه‌ها (شکل ۲د)، نشان می‌دهد که نسل‌های جدید مخروط افکنه‌ها در این ناحیه تشکیل شده‌اند. عملکرد گسل ترکمانی-اردیب مسئول به وجود آمدن مخروط افکنه‌ها است و شاخه‌های (X) و گسل‌های معکوس در سیستم شکستگی‌های ریدل در برخی نقاط مرکزی در امتداد روند گسل ترکمانی-اردیب به ویژه در بخش غربی منطقه بیاضه و نواحی اطراف چاه پلنگ، حرکت‌های بزرگ، اما پراکنده‌ای را کنترل می‌کنند. عملکرد این گسل‌های معکوس در برخی نقاط، بریدگی‌های مخروط افکنه‌ها و تغییرات مسیر حرکتی آن‌ها را کنترل می‌کند. بخش شمال شرقی گسل ترکمانی-اردیب (شکل ۲ی) با توجه به طیف رنگی مخروط افکنه‌ها و همچنین مورفولوژی آن‌ها نشان می‌دهد که نرخ فعالیت تکتونیکی در این بخش نسبت به بقیه نواحی در طول گسل اصلی، کمترین است. فقط خود گسل ترکمانی-اردیب مخروط افکنه‌های حاصل از فعالیت تکتونیکی دیگر سیستم‌های گسلی در مجاورت خود را قطع نموده و تأثیر زیادی در نرخ فعالیت نئوتکتونیکی این بخش از ناحیه مطالعاتی را ندارد.



شکل ۳: گسل ترکمانی- اردیب و نواحی مختلف تقسیم شده در آن بر اساس میزان حرکان تکتونیک.



شکل ۴: الف: بخش مرکزی در امتداد گسل ترکمانی- اردیب با فعالیت تکتونیکي بالا. ب: بخش جنوب غربی در امتداد گسل ترکمانی - اردیب با فعالیت متوسط. ج: مخروط افکنه‌های مشخص شده در بخش مرکزی منطقه مورد پژوهش به وسیله پردازش تصویر ماهواره‌ای که نشان از نسل‌های مختلف مخروط افکنه با تأثیرات تکتونیک بر روی آن‌ها دارد. د: بخش شمال شرقی در امتداد گسل ترکمانی- اردیب که از فعالیت تکتونیکي پایین تری برخوردار است.

### نتیجه‌گیری:

منطقه مورد مطالعه در طول گسل ترکمانی- اردیب، در پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع است. به منظور بررسی مورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها برای تعیین نرخ فعالیت رخدادهای تکتونیکي جوان آنها، ترکیب رنگی کاذب (R):4/2, (G):6/5, (B):6/7 (بر روی تصویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸، تهیه شد که توانایی دید بسیار وسیع و دقیق از تکامل مورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها را ارائه داد. نتایج حاصل از این پردازش و پژوهش حاضر به صورت زیر بدست آمد:

- ۱- مخروط افکنه‌ها با استفاده از ترکیب رنگی کاذب (RGBi: (R):4/2, (G):6/5, (B):6/7)، از رنگ سفید تا سیاه بارزسازی شدند. در این بین رنگ‌های سفید تا سبز نشان از نسل‌های اولیه مخروط افکنه‌ها دارد و رنگ‌های به ترتیب آبی، قرمز و متمایل به قهوه‌ای نشان دهنده نسل‌های بعدی مخروط افکنه‌ها هستند.
- ۲- بارزسازی مخروط افکنه‌ها از طریق ترکیب رنگی کاذب ذکر شده به طور واضح فعالیت جوان گسل‌ها را نشان می‌دهند و کوچکترین تغییرات به وجود آمده در مخروط افکنه‌ها را طی تکامل تکتونیکی منطقه نمایان می‌سازند.
- ۳- گسل ترکمانی-اردیب به عنوان یکی از گسل‌های مهم، پی سنگی و فعال ایران مرکزی، در تمامی نقاط طول مسیر خود دارای فعالیت یکسان نیست. در این بین، فعالیت گسل در بخش میانی در فاصله بین منطقه چاه پلنگ و بیاضه در بیشترین حد قرار دارد. فعالیت‌های نئوتکتونیکی ناحیه، توسط گسل ترکمانی-اردیب و شاخه‌های به موازات آن، همراه با گسل حاجی آباد در فاصله حدود ۴۰ کیلومتری خود در بخش جنوب غربی بیاضه کنترل می‌شود. همچنین در بخش مرکزی گسل ترکمانی-اردیب، گسل اصلی به همراه شاخه (X) و گسل‌های معکوس منشعب شده از گسل اصلی، در تغییرات مورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها و در نتیجه نرخ فعالیت تکتونیکی جوان در این بخش از ناحیه مطالعاتی تأثیر بسزایی دارند.
- ۴- در بخش جنوب غربی گسل و در امتداد راستای گسل، نرخ فعالیت تکتونیکی جوان متأثر از عملکرد گسل اصلی کاهش می‌یابد و تنها نسل‌های اولیه مخروط افکنه‌ها تشکیل شده‌اند. فعالیت نئوتکتونیکی و تغییرات مورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها در این بخش از منطقه بیشتر تحت تأثیر فعالیت شاخه (R) گسل اصلی و از نوع امتدادلغز است.
- ۵- بخش شمال شرقی در امتداد گسل ترکمانی-اردیب کمترین میزان نرخ فعالیت‌های نئوتکتونیکی را از خود نشان می‌دهد و اکثر مخروط افکنه‌ها در این ناحیه تحت تأثیر عملکرد دیگر سیستم‌های گسلی در مجاورت سیستم گسلی ترکمانی-اردیب تغییر شکل داده‌اند. تنها گسل ترکمانی-اردیب در برخی نقاط به صورت امتدادلغز سطوح مخروط افکنه‌ها که عمدتاً جزو نسل-های اولیه هستند را قطع نموده و فعالیت‌های بسیار کمی از نظر نئوتکتونیکی از خود نشان داده است.

#### منابع:

- ۱- سلیمانی، ش، ۱۳۷۸. رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۲۵ صفحه.
- ۲- نصوحیان، ن، ۱۳۹۱، پترولوژی افیولیت بیاضه (جنوب خور-استان اصفهان)، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی دانشگاه اصفهان، ۲۱۵ صفحه.
- 3- Aistov L., Melnikov B., Krivyakin B., Morozov L., 1984. Geology of the Khur Area (Central Iran), Geol. Surv. Iran Report TE/No. 20.
- 4- Bull, W.B., 1978, Geomorphic tectonic classes of the south front San Gabriel Mountains, California. V.S.Geol. Survey contract Report 14-08-001-G-394.
- 5- Goli, Z., Torabi, G. and Arai, S., 2021. High-K Calc-Alkaline Eocene Volcanic Rocks from the Anarak Area (Central Iran): A Key Structure for the Early Stages of Oceanic Basin Closure and the Beginning of Collision. *Geotectonics*, 1-18.
- 6- Keller, E. A., Pinter, N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Ed.) Prentice Hall, New Jersey, 319 pages.
- 7- Sohrabi A., Nadimi A., Talovina I.V., Safaei H., 2019., Structural Model and Tectonic Evolution of the Fault System in the Southern Part of the Khur Area, Central Iran. *Journal of Mining Institute*, Vol. 236, 142-152.
- 8- Stewart, I.S. & Hancock, P.L., 1994. Neotectonic in Continental Deformation, Edited by P.L. Hancock, Pergamum Press.
- 9- Torabi, G., Hemmati, O., 2011, Alkaline basalt from the Central Iran, a mark of previously subducted Paleo-Tethys oceanic crust, *Petrology* 19, NO. 7, 690-704.

## تحلیل ساختاری کانی سازی های کرومیت محدوده گسل میناب- زندان (منطقه اسلام

(آباد)

نسبیه صالحی زاده<sup>۱\*</sup>، مهدی مسعودی<sup>۲</sup>، شهرام شفیعی بافتی و رضا درخشانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندعباس

۳. دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

salehi.nasibeh@yahoo.com

### چکیده:

منطقه مورد مطالعه در مجاورت گسل میناب- زندان و در لبه غربی زون مکران واقع شده است. آنالیز دقیق و نقشه برداری ساختارها، چهار مرحله دگرشکلی را در تکامل ساختاری منطقه مشخص می کند: دگرشکلی مرحله اول: تشکیل گسل های نرمال با راستای عمومی شرقی- غربی تا شمال شرقی- جنوب غربی، دگرشکلی مرحله دوم: توسعه گسترده پهنه برشی راستا لغز راست بر با امتداد شمال غرب- جنوب شرق که سنگ های میلیونیتی منطقه را ایجاد کرده است، دگرشکلی مرحله سوم: تشکیل گسل های امتداد لغز عرضی راست بر، با راستای عمومی شمال شرق- جنوب غرب، دگرشکلی مرحله چهارم: توسعه گسل های امتداد لغز راست بر با راستای شمال غربی- جنوب شرقی. کانی سازی اصلی کرومیت در منطقه مورد مطالعه در حاشیه برخی از بودین های برشی و نا متقارن تمرکز یافته است، اما تنها بودین هایی که در امتداد برخی از گسل های امتداد لغز مرحله چهارم قرار داشته اند، موقعیت مناسب جهت نفوذ محلول های کانی ساز و یا تمرکز کانی سازی در فضای حاشیه بودین های برشی فراهم شده است. بطوری که بودین هایی که در خارج از امتداد گسلها قرار گرفته اند بارور نشده اند. این فرایند به خوبی ناپدید شدن جانبی کانی سازی کرومیت در منطقه را توجیه می کند.

کلیدواژه: گسل میناب- زندان، کانی سازی کرومیت، دگرشکلی

## Structural analysis of chromite mineralizations in Minab-Zendan fault zone (Islamabad region- west Rudan)

Salehi zadeh; Nasibeh Masoodi; Mehdi Shafieibafti; Shahram Derakhshani; Reza

### Abstract

The study area is located near the Minab-Zendan fault and at the western edge of the Makran zone. Detailed structural analysis and mapping indicate four deformation stages during the structural evolution of the area: The D<sub>1</sub> event correspond to formation of normal faults with general trend of EW to NE-SW. The D<sub>2</sub> event, is characterized with widespread dextral shear zone with NW-SE trending, which has developed extensive mylonitic rocks in the area. During the D<sub>3</sub> event, transverse right-lateral strike-slip faults with NE-SW trending cross-cut the pre-existing shear zones and faults. The D<sub>4</sub> event includes the development of NW-SE right-lateral strike-slip faults parallel with present position of the Minab-Zendan fault. The main chromite mineralization in the area is concentrated at the

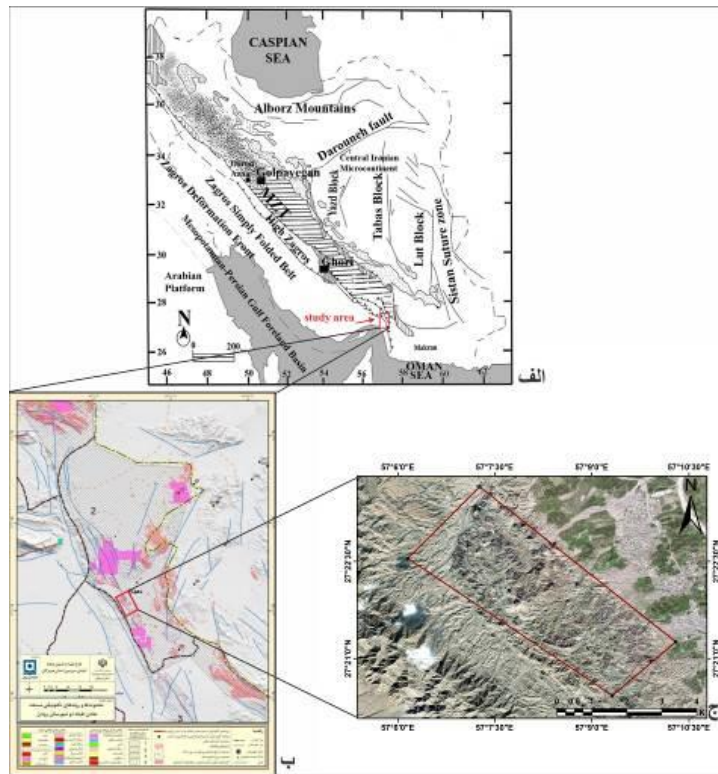


margins of some sheared and asymmetric boudins which formed during D<sub>2</sub> event, but only the boudins that are located along some of the D<sub>4</sub> strike-slip faults, had good opportunity for infiltration or concentration of mineralizing in their margins. The D<sub>4</sub> event justifies the lateral disappearance of chromite mineralization in the area.

Keywords: Minab- Zendan fault, chromite mineralization, deformation.

**مقدمه:**

منطقه مورد مطالعه در ۸ کیلومتری غرب شهرستان رودان (هرمزگان) در مجاورت دهستان‌های اسلام آباد و سکل قرار گرفته است. و بر اساس نقشه پهنه بندی ساختاری ایران این منطقه در حاشیه شرقی گسل میناب- زندان و لبه غربی پهنه ساختاری مکران واقع شده است (Stocklin, 1974). لذا خصوصیات زمین شناسی این منطقه مشابه پهنه مکران می‌باشد. تمامی معادن کرومیت ( و منگنز) در مجاورت مرز شرقی استان ، در پهنه ساختاری با روند شمال غربی- جنوب شرقی واقع شده اند. که میتوان آنها را هم راستا با گسل میناب- زندان دانست . قدیمی ترین واحدهای سنگی این پهنه را ملانژهای رنگی کرتاسه فوقانی – پالئوسن تشکیل می‌دهند (سبقتی، ۱۳۷۸، (شکل ۱).



شکل ۱: الف) پهنه های ساختار ایران و موقعیت محدوده مورد مطالعه. ب) نقشه محدوده‌ها و روندهای تکتونیکی مستعد معادن طبقه دوم شهرستان رودان. ج) تصویر ماهواره ای محدوده مورد مطالعه (بر گرفته از SASplanet).

**روش مطالعه:**

در این پژوهش برای کنترل عوامل ساختاری در جایگیری کرومیت‌های منطقه، اول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میناب گسل‌های اصلی منطقه استخراج شد و موقعیت گسل‌های پی سنگی با نقشه‌های ژئوفیزیک مقایسه شد. در مطالعات صحرائی، از طریق آنالیز دقیق و نقشه برداری ساختارها انواع ساختارهای موجود در منطقه از جمله

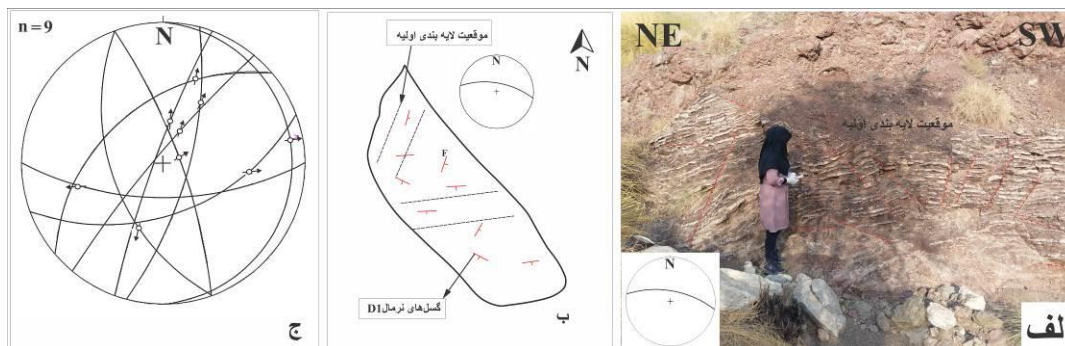
فولیاسیون ها، بودین ها، فابریک های C/S، گسل ها و موقعیت رگه های ماده معدنی برداشت شد. ارتباط احتمالی کانی سازی موجود با ساختارهای مختلف تحلیل شد.

بحث:

آنالیز دقیق و نقشه برداری انواع ساختارها در منطقه عملکرد ۴ مرحله دگرشکلی در منطقه را تایید می کند. در ادامه هر یک از مراحل دگرشکلی به اختصار توصیف می شوند:

دگرشکلی مرحله اول (D<sub>1</sub>):

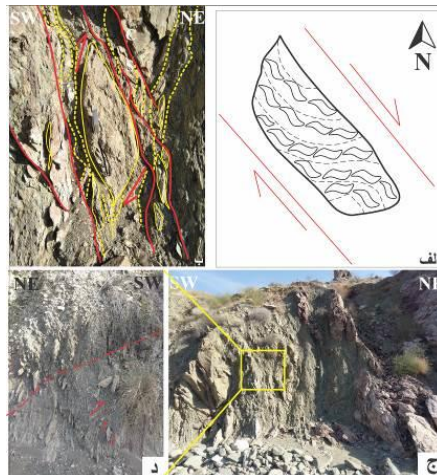
شواهدی از لایه بندی اولیه در منطقه توسط گسل های نرمال بریده شده اند. گسل های نرمال در جهات مختلفی مشاهده می شوند، اما روند شرقی- غربی و شمال شرقی- جنوب غرب فراوانتر است. با توجه به بریده شدن گسل های نرمال توسط سایر ساختارهای منطقه، احتمالاً گسل های نرمال در زمان شکل گیری اولیه حوضه مکران ایجاد شده اند. و قدیمی ترین دگرشکلی محسوب می شوند شکل (۲).



شکل ۲: الف) لایه بندی اولیه که توسط گسل های نرمال در جهت های مختلف بریده شده. ب) نمایش شماتیک موقعیت گسل های نرمال و لایه بندی اولیه. ج) موقعیت گسل های نرمال D<sub>1</sub>. دگرشکلی مرحله دوم (D<sub>2</sub>):

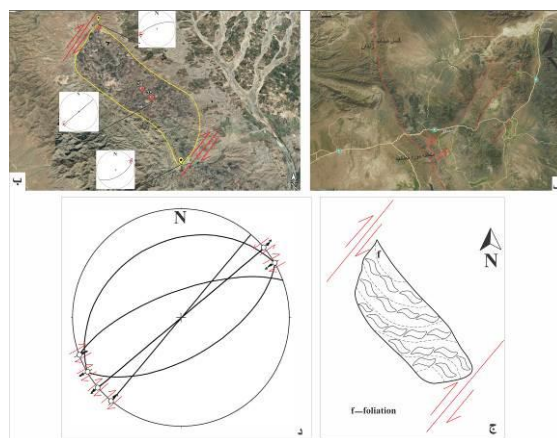
در این مرحله پهنه های برشی راستا لغز راست بر با امتداد شمال غرب- جنوب شرق بصورت گسترده توسعه یافته است و در نتیجه آن بودین های برشی نامتقارن و فابریک های C/S (Passchier & Trouw, 2005; Ramsay, 1967) که درون سنگ های میلونیتی منطقه شکل گرفته است ایجاد کرده است. راستای عمومی برگوارگی میلونیتی NW-SE و موازی با راستای فعلی گسل میناب- زندان است. جهت برشی در بودین های نامتقارن (شکل ساختارهای ایجاد شده در منطقه راست بر می باشند و تقریباً راستای شمال غرب- جنوب شرق را دارند یعنی همین راستای امروزی گسل میناب- زندان که شاهد آن هستیم پس نتیجه میگیریم که گسل میناب زندان نیز یک گسل پی سنگی است که از دوران مزوزوئیک فعالیت داشته است و باعث ایجاد یه شیرزون شمال غربی- جنوب شرقی شده است و سنگ های منطقه را به صورت بودین های برشی و لنزهای نامتقارن در آورده و فابریک های C/S را ایجاد کرده است. نوارهای برشی (فابریک C-S)، الگوی هندسی نوارهای برشی نسبت به برگوارگی شیستی خم شده، نوع حرکت در کل منطقه برشی میزبان و بزرگتر را ارائه می کند (Simpson, 1986). نوار های برشی نسبت به مرزهای منطقه برشی به صورت موازی و برگواره شیستی (صفحات S) نسبت به آن مایل هستند، صفحات S در جهت برش شیب پیدا می کنند و به صورت نوارهای برشی خمیده در می آیند که سبب ایجاد الگوی زیگموتیدال از برگواره می شوند و مستقیماً نوع برش را ارائه می کنند (Bell, 1981). اگر قرار بود که در این مرحله کانی سازی اتفاق بیافتد از آنجایی که کنار تمامی لنزها فضای خالی وجود دارد قاعدتاً باید در کنار تمامی لنزها ما شاهد کانی سازی باشیم. ولی این طور نیست و ما در کنار بعضی از لنزها کانی سازی را داریم شکل (۳). برگوارگی یکی دیگر از ساختارهایی است که در

شیرزون ها قابل مشاهده است. در بازدید صحرایی برگوارگی هایی برداشت شده است که قدرت برگوارگی به حدی بود که سنگ های محدوده میلونیتی شده اند. برگوارگی یک اصطلاح عمومی برای توصیف هر سیمای صفحه ای که به طور نافذ در متن سنگ بوجود می آید به کار برده می شود. در سنگ های تغییر شکل یافته تکتونیکی فراوان ترین ساخت صفحه ای رخ و برگوارگی می باشد. این ساخت ها به صورت عمود بر کوتاه ترین محور بیضوی واتنش تشکیل می شوند (Siddans, 1972). به طور عمده تمام انواع برگوارگی ها و خطوارگی ها بر اثر نوعی جهت یافتگی ترجیحی اجزاء تشکیل دهنده سنگ بوجود می آیند (Williams, 1977) شکل (۳).



شکل ۳: الف) نمایش شماتیک دگرشکلی مرحله دوم. ب) توسعه فابریک های C/S درون پهنه های برشی. ج و د) نمایی از برگوارگی میلونیتی درون پهنه برشی D<sub>2</sub> دگرشکلی مرحله سوم (D<sub>3</sub>):

در مرحله سوم دگرشکلی، گسل های امتداد لغز راست بر با امتداد NE-SW بصورت عرضی پهنه های برشی حاصل از دگرشکلی مرحله D<sub>2</sub> را قطع و جابجا کرده است. این جابجایی فرم هندسی لنزی شکل منطقه را ایجاد کرده است و باعث انحراف و خمش برگوارگی میلونیتی D<sub>2</sub> در حاشیه گسل های امتداد لغز شده است. توسعه این گسلها در درون ساختار لنزی شکل منطقه نیز مشاهده می شود و در برخی مناطق بودین های برشی D<sub>2</sub> را جابجا کرده است. شکل (۴).



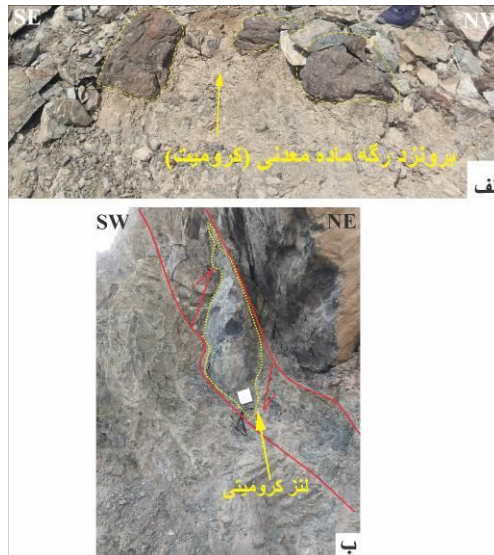
شکل ۴: شواهد دگرشکلی مرحله سوم الف) تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه که موقعیت گسل های امتداد لغز عرضی D<sub>3</sub> و موقعیت گسل میناب زندان را نمایش می دهد. ب) نمای نزدیکی از موقعیت منطقه مورد مطالعه و گسل های عرضی

D3 ج) نمایش شماتیک دگرشکلی مرحله سوم. د) تصویر استریوگرافی نیمکره زیرین که جهت یابی گسل‌های امتداد لغز عرضی را نمایش می‌دهد.

مرحله چهارم (D4):

همزمان با دگرشکلی مرحله چهارم گسل‌های امتداد لغز راست بر با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی یعنی هم راستا با گسل فعلی میناب - زندان در منطقه توسعه یافته است. این گسلها تمامی ساختارهای قبلی را بریده است. شواهد کانی سازی کرومیت و توزیع آن در منطقه:

در برخی نقاط محدود در راستای گسلهای امتداد لغز راست بر حاصل از دگرشکلی مرحله چهارم (D4) شواهدی از تزریق رگه های کرومیتی مشاهده می‌شود. اما بطور کلی با توجه به شواهد صحرایی، بخش اعظم کانی سازی کرومیتی در منطقه به حاشیه بودین‌های برشی و نامتقارن محدود می‌شوند (شکل ۵). مشکل اساسی در استخراج و حتی اکتشاف کرومیت‌های شرق هرمزگان (منطقه رودان) پراکنده بودن و عدم پیوستگی کانی سازی های کشف شده است. بطوری که در حاشیه برخی بودین های برشی و نامتقارن که توسط تیم های استخراجی منطقه لنزهای کرومیتی به آنها اطلاق می‌شود، مقادیر قابل توجهی ماده معدنی کرومیت مشاهده می‌شود اما در فاصله کوتاهی از لنز، کرومیت ناپدید می‌شود. حتی در بیشتر مورد در لنزهای کناری آن نیز اثرات کانی سازی نمی‌توان پیدا کرد. شناسایی و ثبت گسلهای های مرحله چهارم و تعقیب انواع بودین های برشی (بارور و غیر بارور) در منطقه مخصوصا در نیمه شمالی آن، نشان داد تنها بودین هایی که در امتداد برخی از گسلهای امتداد لغز حاصل از دگرشکلی مرحله چهارم واقع شده اند بدلیل فراهم کردن فضای مناسب تزریق یا تمرکز توانسته اند از ماده معدنی غنی و بارور شوند. بنابراین در صورت یافتن یک بودین برشی حاوی کانی سازی، و تعقیب گسل امتداد لغز مرحله چهارم می‌توان به بقیه بودین های بارور دسترسی پیدا کرد و این مساله می‌بایست بعنوان کلید مهمی در اکتشاف و استخراج کرومیت در منطقه مورد توجه قرار گیرد



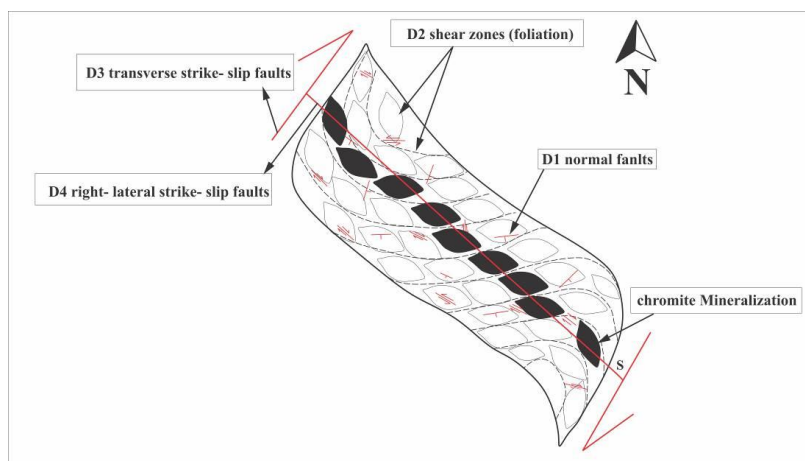
شکل ۵: شواهد کانی سازی کرومیت در منطقه.

#### نتیجه گیری:

آنالیز دقیق و نقشه برداری ساختارها در منطقه (شکل ۶)، چهار مرحله دگرشکلی را طی تکامل ساختاری تایید می‌کند:

- 1 - تشکیل گسل‌های نرمال با راستای عمومی شرقی- غربی تا شمال شرقی- جنوب غربی
- 2 - توسعه پهنه‌های برشی راستا لغز راست بر با امتداد شمال غرب- جنوب شرق
- 3 - تشکیل گسل‌های امتداد لغز عرضی راست بر، با راستای عمومی شمال شرق- جنوب غرب،
- 4 - توسعه گسل‌های امتداد لغز راست بر با راستای شمال غربی- جنوب شرقی.

کانی سازی کرومیت در منطقه تنها به حاشیه بودین‌های برشی محدود شده است. بودین‌هایی که در امتداد برخی از گسل‌های امتداد لغز مرحله چهارم قرار گرفته‌اند، موقعیت مناسب جهت نفوذ محلول‌های کانی ساز و یا تمرکز کانی سازی را فراهم کرده‌اند. در صورت یافتن یک بودین برشی حاوی کانی سازی، و دنبال کردن گسل امتداد لغز حاصل از دگرشکلی مرحله چهارم می‌توان به بقیه بودین‌های بارور در سمت شمال غرب یا جنوب شرق آن بودین دسترسی پیدا کرد و این مساله کلید مهمی جهت اکتشاف کرومیت در منطقه است. نتایج تحقیق علت ناپدید شدن جانبی کانی سازی کرومیت در منطقه را توجیه می‌کند.



شکل ۶: مدل شماتیک ساختاری منطقه مورد مطالعه

منابع فارسی:

- ۱- سبقتی، ع، ۱۳۷۸، تاثیر دگرسانی و هوازدگی بر پایداری شیب‌های سنگی براساس شرایط موجود در معدن فاریاب، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، مهندسی معدن گرایش مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- 1- Ramsay, J.G., 1967, Folding and fracturing of rocks, McGraw-Hill Book Co, New York, 568 p.
- 2- Stocklin, J., 1974, a- Northern Iran: Alborz mountains. Mesozoic – Cenozoic orogenic Belt, data for orogenic studies, Geol. Soc, London, Sp. Pub 4, p. 213-234 (Collection Ed. A.M. Spencer, Scottish Academic press).
- 3- Siddans, A. W. B., 1972, Slaty cleavage, a review of research since 1815, Earth Sci. Rev., V. 8, pp. 205-232.
- 4- Simpson, C., 1986, Determination of movement sense in mylonites, J. Geol. Ed, V. 34, PP. 241-261
- 5- Trouw, R.A.J., Passchier, C.W., & Wiersma, D. J., 2005, atlas of Mylonites and related microstructures, Springer. 322 p
- 7- Williams, P. F., 1977, Foliation: A review and discussion. Tectonophysics, V. 39, pp. 305-328.

## بررسی کنترل ساختاری بر هیدروژئولوژی دشت کامیاران، کوه شاهو در غرب ایران

۱. فرزانه ایمانیان\* ۲. ابوالفضل رضایی ۳. اسماعیل شبانیان

کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه دانشگاه زنجان  
استادیار گروه زمین شناسی دانشکده علوم، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه دانشگاه زنجان  
دانشیار گروه زمین شناسی دانشکده علوم، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه دانشگاه زنجان  
f.imaanian62@gmail.com

### چکیده:

شکل گیری ذخایر آب زیرزمینی ارتباط مستقیم با ساختارهای زمین شناسی و تکتونیک هر ناحیه دارد. عوامل زمین شناسی مانند سنگ شناسی، چینه شناسی و عناصر ساختاری (شکستگی ها، چین و گسله ها) می توانند، جریان منابع آب های زیرزمینی کارستی را کنترل کنند. هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر ساختارهای زمین شناسی بر الگوی جریان عمومی آب زیرزمینی منطقه است. با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژی، هیدرو شیمی و ایزوتوپ های پایدار جهت جریان عمومی آب درون آبرفت و همچنین حوضه آبرگیر چشمه های کارستی بزرگ منطقه مشخص شد. تلفیق نتایج هیدروژئولوژیکی با برداشت های ساختاری، عمق آهک ها و راستای درزه ها نشان می دهد که درزه های منطقه، کنترل کننده توسعه کارست و عامل اصلی انتقال آب به چشمه های کارستی ظاهر شده در بخش جنوبی آهک بیستون هستند.

کلیدواژه: هیدروژئولوژی، کنترل ساختاری بر آب زیرزمینی، راندگی اصلی زاگرس، دشت کامیاران

## Structural controls on the hydrology of the Kamyaran Plain, Shahu mountain in western Iran

1. Farzaneh Imanian \* 2. Abolfazl Rezaei 3. Ismail Shabanian

1 Master of Tectonics, Faculty of Earth Sciences, Graduate University of Zanjan  
Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Graduate School of Basic Sciences, Zanjan University  
Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Graduate School of Basic Sciences, Zanjan University  
f.imaanian62@gmail.com

### Abstract

The formation of groundwater reserves is directly related to the geological and tectonic structures of each region. Geological factors such as lithology, stratigraphy and structural elements (fractures, folds and faults) can control the flow of karst groundwater resources. The main purpose of this study is to investigate the effect of geological structures on the pattern of general groundwater flow in the region. Using hydrogeological, hydrochemical and stable isotope studies for the general flow of water in the alluvium and also the catchment area of large karst springs in the area were identified. Combining hydrogeological results with structural surveys, lime depth, and direction of joints shows that the fractures in the area control karst development and are the main cause of water transfer to karst springs appearing in the southern part of Biston limestone.

### مقدمه:

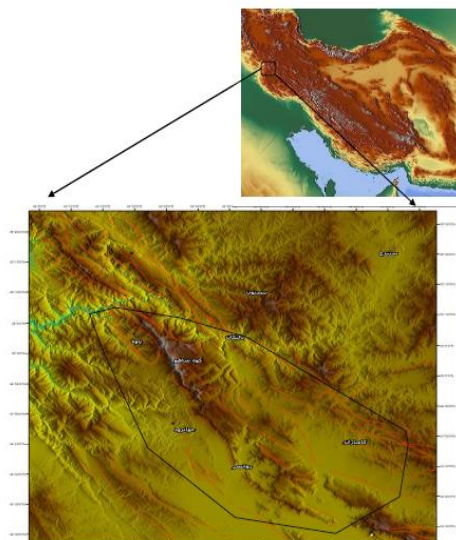
رشد جمعیت، افزایش تقاضا و محدود بودن منابع آب سطحی باعث می گردد تا نیاز به منابع آب های زیرزمینی اهمیت ویژه ای یابد. کارست های کربناته حدود ۱۱ درصد از مساحت ایران را تشکیل می دهند و تامین کننده

بخش زیادی از آب شیرین کشور هستند (Kavousi and Raeisi, 2015)، بنابراین مطالعه ی دقیق مناطق کارستی (آبخوان ها و چشمه های کارستی) امری ضروری به نظر می رسد. مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی نیاز به شناخت و بررسی دقیق وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان ها دارد. شکل گیری ذخایر آب زیرزمینی ارتباط مستقیم با زمین شناسی هر منطقه دارد و از طرفی ارتباط ویژه ای با ساختارهای زمین شناسی و ماهیت تکتونیکی هر ناحیه دارد تا جایی که امروزه مطالعه ی کارست و منابع کارستی به عنوان بخش مهمی از زمین شناسی ساختمانی شناخته می شود. مطالعه ی ساختارهای زمین شناسی و ارتباط آن با منابع آب زیرزمینی باعث شده است تا در بسیاری از مناطق کم آب دنیا منابع جدید آبی مورد اکتشاف قرار گیرد. عوامل زمین شناختی مانند سنگ شناسی، چینه شناسی و عناصر ساختاری (شکستگی ها، چین و گسله ها) می توانند، سیستم جریان منابع آب های زیرزمینی را به ویژه در مناطق کارستی کنترل نمایند. تاکنون مطالعات بسیاری به بررسی نقش ساختارهای زمین شناسی بر سامانه ی آب زیرزمینی پرداخته اند اما به طور مستقیم هیچ مطالعه ای روی منطقه ی مورد مطالعه به بررسی نقش ساختارهای گسله ها و شکستگی ها بر منابع آب زیرزمینی دشت کامیاران گزارش نشده است. رضایی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی هیدروشیمی و هیدروژئولوژیکی چشمه ها و الگوی گسلش در حوضه آبگیر سد کنگیر ایلام نشان دادند که بخش زیادی از آب زیرزمینی، پیش از ورود به دریاچه سد، از زیرسد در راستای گسله های اصلی به پایین دست حوضه زهکش می شود. نوری و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی نقش هیدرولیکی پهنه ی گسلی تبرته در آبخوان دشت اراک به این نتیجه رسیدند که گسله های موجود در آبخوان مرزهای نفوذ ناپذیر بوده، مانند یک سد در برابر جریان آب زیرزمینی کارساز شده اند. بنز و همکاران در سال ۲۰۱۳ با بررسی هیدروژئولوژیکی پهنه ی گسله نشان دادند که پهنه ی گسله معمولاً دارای یک ساختار نفوذپذیر هستند که به عنوان سیستم های کانال و یا مجموعه ای از کانال - مانع عمل می کنند و گسله ها می توانند هم بصورت کانال عمل کنند و هم می توانند بصورت مانع و سد رفتار کنند. بارانی (۱۳۹۷) با استفاده از مطالعات ساختاری و هیدروژئولوژیکی (هیدروگراف چشمه ها، هیدروشیمی و بیلان آب) چشمه های کارستی کوه قیدار واقع در جنوب استان زنجان، توانست تاثیر هندسه چین بر پراکندگی چشمه های کارستی را نمایان سازد. ایشان نشان داد که حوزه آبگیر چشمه های کارستی علاوه بر جنس آهکها به شدت بوسیله چینه شناسی و هندسه تاقیدیس قیدار کنترل می شوند. حمیدی (۱۳۹۸) با استفاده از مطالعات ساختاری و هیدروژئولوژیکی (بیلان آب، هیدروگراف چشمه ها و ایزوتوپهای پایدار) چشمه های منطقه ی سروآباد کردستان، به بررسی تاثیر ساختارهای زمین شناسی (گسله ها، درزه و شکستگی ها) بر هیدروژئولوژیکی منطقه پرداخته است و به این نتیجه رسیدند که گسله نیز عامل بسیار مهم در کنترل کارست و جریان های هیدروژئولوژیک هستند. در این تحقیق با استفاده از مطالعات ساختاری (بررسی سازوکار گسله ی اصلی زاگرس، درزه و شکستگیها) و مطالعات هیدروژئولوژیکی (بررسی هیدروشیمی آب های زیرزمینی، نقشه ی هم پتانسیل تراز آب زیرزمینی و جهت جریان) به تاثیر ساختارها بر هیدروژئولوژیکی منطقه ی مورد مطالعه پرداخته شده است.

روش مطالعه:

موقعیت جغرافیایی

منطقه ی مورد مطالعه مابین عرض جغرافیایی ۳۴ الی ۳۵ درجه و طول جغرافیایی ۴۶ الی ۴۷ درجه در دشت کامیاران و کوه های شاهو و چال آباد واقع در جنوب استان کردستان و شمال استان کرمانشاه است. کوهستان شاهو به عنوان یکی از مجموعه های رشته کوه زاگرس رورانده است. این کوه در مرز بین استان کردستان و کرمانشاه و نزدیک به رودخانه ی سیروان قرار دارد. از ویژگیهای بارز این کوه ها وجود رخنمون آهک کارستی و مهمتر از همه وجود غارهای آهکی - انحلالی مانند قوری قلعه می باشد. علاوه بر وجود گسل های متعدد و جابه جایی رگه ها، به علاوه وجود غارها و ساختارهای انحلالی کارستی، حاکی از پویایی تکتونیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

در سیمایهای امروزی دشت کامیاران، تغییر، تحول و تخریب اشکال موجود در منطقه مورد مطالعه و نیز نقش سنگ شناسی، ساختمان زمین و اقلیم حاکم بر منطقه و وضعیت هیدروژئولوژی چشمه های بزرگ نشان دهنده تکامل یافتگی اشکال کارستی در منطقه است (ثروتی و ابراهیمی ۱۳۹۵). این پژوهش شامل دو بخش مجزای هیدروژئولوژی و زمین شناسی ساختاری است. در بخش نخست، با محاسبه ی بیلان چشمه های بزرگ، تهیه نقشه همپتانسیل تراز آب زیرزمینی، عمق و پراکندگی چاه های بهره برداری و بررسی هیدروشیمی آنها یک مدل مفهومی برای سامانه ی هیدروژئولوژی کوه های شاهو و چال آباد تعیین شده است. در بخش دوم، پس از تهیه ی نقشه ی ساختاری در مقیاس مناسب و برداشت میدانی داده های ساختاری در پهنه های گسلی و در عرض ساختار چین خورده، به ارائه الگوی ساده ی زمین شناسی ساختاری پرداخته شده است؛ در این مرحله، هندسه ساختاری، سازوکار امروزی گسله ها و ویژگی های مهم تاثیرگذار بر سامانه ی هیدروژئولوژیک در پهنه های خردشده شناسایی شد. سپس، یک مدل مفهومی پایانی با تلفیق نتایج هیدروژئولوژیکی و دادههای ساختاری (الگوی ساختاری، سازوکار گسله های اصلی، همچنین ویژگی فیزیکی پهنه های خرد شده) ارائه شده، نقش بازدارنده یا تراوایی گسله های اصلی و شکستگی ها در کنترل سامانه ی هیدروژئولوژیکی چشمه های بزرگ بررسی شد. همچنین، با بررسی تراز آب پیژومترها و پراکندگی چاه های برداشت در تلفیق با داده های هیدروشیمی تلاش شده است که تاثیر گسله اصلی زاگرس در دشت آبرفتی و بر آب زیرزمینی دشت کامیاران بررسی شود. برای تاثیر عناصر ساختاری بر هیدرولوژیک منطقه، برداشت ها و بازدیدهای میدانی و انجام مطالعات دفتری و روش بصری انجام گرفته شد. عامل ساختاری از عوامل تاثیر گذار در شناسایی مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی است (جهانی بهبهانی، ۱۳۷۲). این عامل به طور قابل ملاحظه ای بر روی هیدروژئولوژی سنگهای

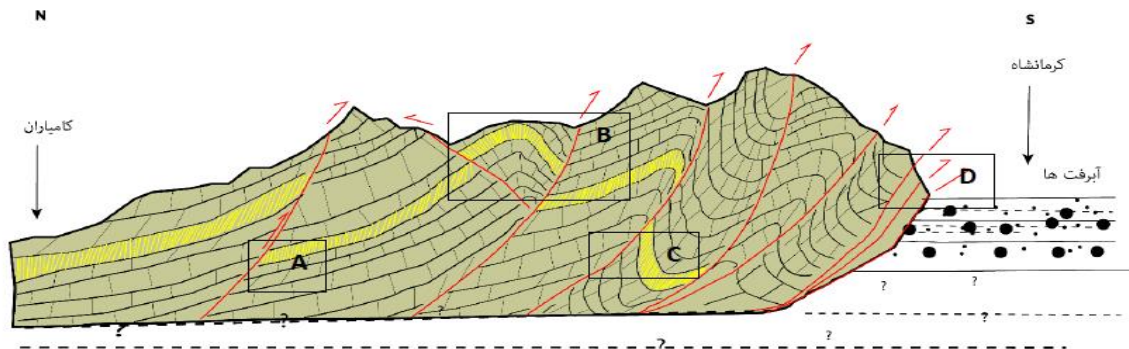


کربناته و آهکی تأثیر می گذارد. گسله ها، درزه ها و شکستگی ها باعث انتقال آب به درون آبخوان آهکی می شوند. همچنین، باعث افزایش نرخ انحلال و توسعه ی کارست می گردد. بر این اساس، عموماً چاه هاو چشمه هایی که در مناطق خرد شده حفر می شوند دارای قابلیت آبدهی خوبی می باشند (محمدی، ۱۳۸۵). برای بررسی های ساختاری منطقه در ابتدا با استفاده از تصاویری ماهواره‌ای، تصاویر لندست، گوگل ارث و تصاویر دم منطقه نقشه ی زمین شناسی ساده وابتدایی منطقه در محیط جی ای اس ترسیم شد. برای جبران کمبود اطلاعات پایه و بهبود دقت نقشه های زمین شناسی منطقه، در مرحله اول باید با استفاده از روش های سنجش از دور یک نقشه ی زمین شناسی پایه و همچنین تصاویر ماهواره ای و گوگل ارث، با نگرش ویژه بر ساختارهای منطقه تهیه شده است. پس از آن درستی اطلاعات نقشه تهیه شده با نقاط کنترل زمینی تایید گردید. برای شناسایی این خطواره ها از نشانه هایی همچون جابجایی لایه ها، رودخانه ها و مخروطه افکنه ها، دره های خطی، پرتگاه های گسلی، تغییرات مربوط به لیتولوژی (رنگ و جنس)، تغییر ناگهانی شیب و قطع شدگی امتداد رخنمون ها، درزه ها و شکستگی ها استفاده شد.

در این مطالعه، در آذر ماه ۱۳۹۷، مهمترین چشمه‌ها و چاه‌ها (۹ دهنه چشمه و ۳۸ حلقه چاه) منطقه‌ی مورد مطالعه، مورد بازدید قرار گرفت. نمونه‌ها بر حسب موقعیت نسبت به گسله موقعیت کارست‌ها، دبی زیاد، دمای زیاد، مقدار EC انتخاب شد. دبی، هدایت الکتریکی، دما و pH آنها در محل اندازه گیری شد. نمونه‌های آب برداشت شده مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند تا تیپ آنها مشخص شوند.

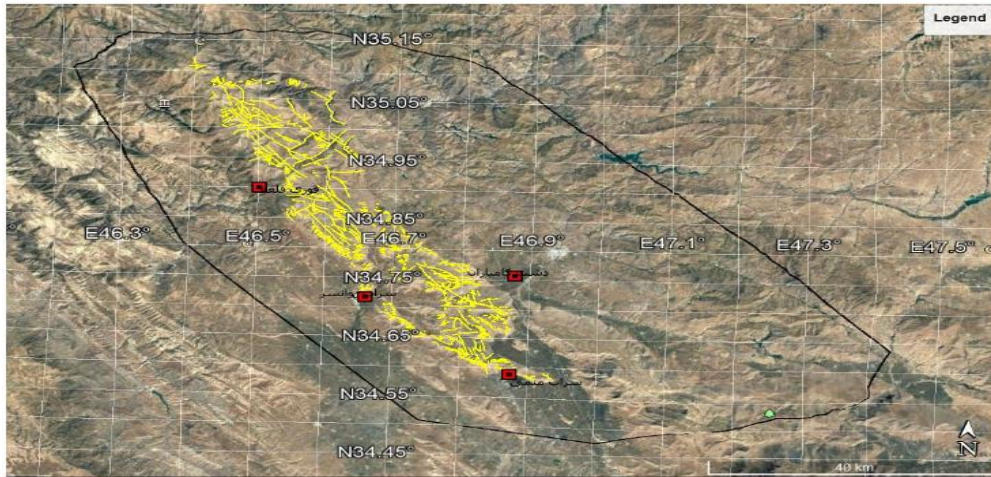
#### بحث:

برای انجام این تحقیق مطالعات هیدروژئولوژی و ساختاری منطقه مورد بررسی قرار گرفت؛ که هر کدام شیوه و روش انجام کار متفاوتی را، هم در بررسی های دفتری و هم میدانی دارند. در تاریخ ۲ مهر ۱۳۹۹ به منظور برداشت داده و تعیین تاثیر عناصر ساختاری بر هیدرولوژیک گستره، از منطقه بازدید به عمل آمد. به دلیل مساعد نبودن شرایط، بستن راهها توسط راهداری و زیاد بودن مساحت منطقه، مدت برداشت یک روز طول کشید و یکسری داده هایی برداشت شد. برای تکمیل کردن مطالعات از روش سنجش از راه دور، استفاده گردید. با توجه به ساختار خطوط درزه ها و شکستگی های منطقه و همچنین بدست آوردن تراکم شکستگی ها، تاثیر عناصر ساختاری بر هدایت و انتقال یا تغذیه آهک و کارستی شدگی تعیین گردیده است. نتایج بررسی های میدانی و سنجش از دوری مطالعه ساختاری منطقه در زیر آورده شده است. برش مفهومی از الگوی ساختاری در راستای پیمایش کامیاران - کرمانشاه در شکل ۱- آورده شده است. این برش و جایگاه نسبی گسله ها و لایه بندی بر اساس مشاهدات واقعی در گستره تهیه شده و تنها بخش های فرعی آن ساده سازی شده است. توپوگرافی برش واقعی است.



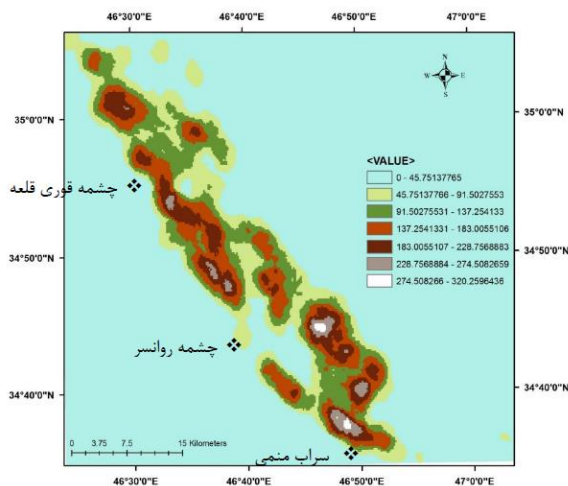
شکل ۲. برش مفهومی از الگوی ساختاری منطقه

با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۸، باند ۸ و تصاویر ماهواره‌های موجود در نرم افزار گوگل ارث با روش بصری تعداد ۱۱۰۶ شکستگی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه، که بر روی آهک‌های کوه بیستون قرار گرفته‌اند استخراج شده و در محیط نرم افزار آرک جی آی اس ساختار خطواره‌های استخراج شده به روش بصری ترسیم شد.

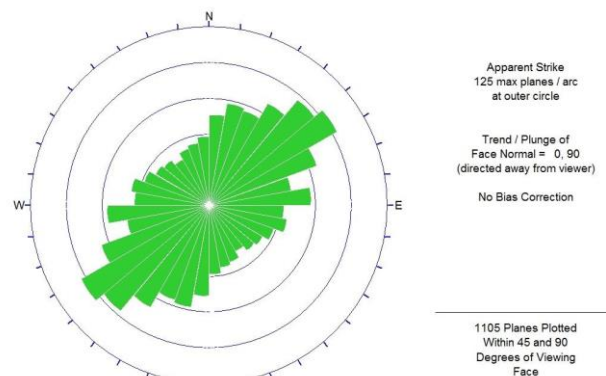


شکل ۳ خطواره‌های آهک بیستون که بر روی گوگل ارث ترسیم شده است، خطوط زرد شکستگیها و نقاط قرمز محل چشمه‌های اصلی را نشان می‌دهد.

نمودار گل سرخی که روند کلی شکستگی‌ها را نشان می‌دهد توسط نرم افزار دیپس تهیه گردید شکل های ۴ و ۵. روند کلی و غالب شکستگی‌ها شمال شرق جنوب غرب،  $N50 - N60$  است که برخلاف روند کلی گسله‌های منطقه است. نقشه تراکم شکستگی‌ها نیز در شکل ۴ دیده می‌شود سه چشمه اصلی و پرآب در منتهی‌الیه مناطق با فراوانی تراکم قرار گرفته‌اند. مطالعات هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی حوضه چشمه‌ها، چاه‌ها و پیژومترها جهت تشخیص نوع جریان آب



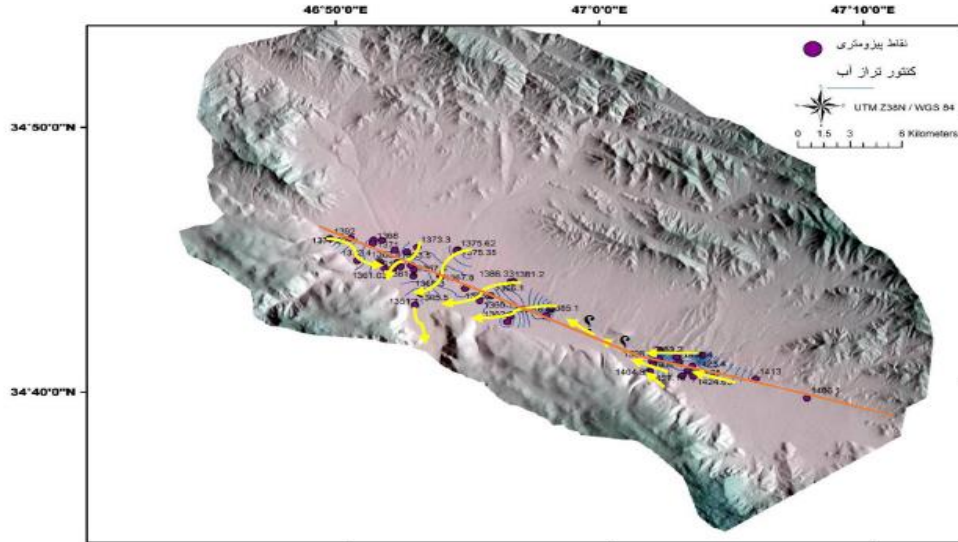
شکل ۵ نقشه تراکم شکستگی منطقه



شکل ۴ نمودار گل سرخی مربوط به روند کلی شکستگی‌ها

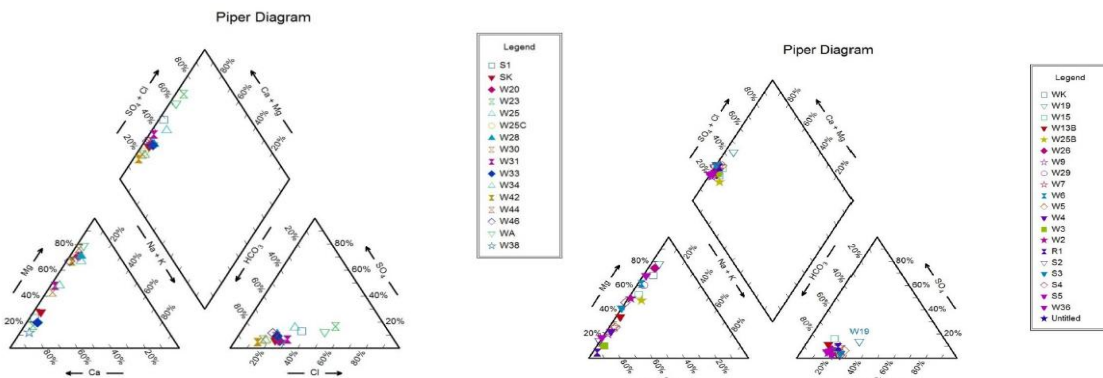
زیرزمینی در آنها صورت گرفت. برخی از این مطالعات در صحرا و محل چشمه و چاه‌ها و بخشی دیگر در آزمایشگاه انجام شده است. برای درک و شناسایی بهتر تاثیر سیستم گسله تراست اصلی زاگرس بر آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت کامیاران، سعی شد که نقشه تراز آب زیرزمینی با دقت بیشتر و به کمک برداشت داده‌های اضافی تراز آب از چاه‌های دستی منطقه در تلفیق با تراز هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در پیژومترها، در اطراف زون گسله تهیه گردد. جهت جریان آب در راستای گسله از نواحی

مرتفع به سمت دشت کامیاران است و نشان می دهد که گسله نقش موثر و مفیدی در انتقال آب در جنوب گسله از ارتفاعات به دشت را دارد، همانگونه که در شکل ۵ دیده می شود در نواحی شرقی گسله، تراز آب نسبت به قسمت غربی گسله بالاتر است. علت آن می تواند وجود تغذیه قابل توجه آب زیرزمینی به آبخوان از طریق گسله باشد که آب زیرزمینی ارتفاعات آهکی غربی را به درون دشت زهکش می نماید.



شکل ۵ نقشه ی ایزو پتانسیل دشت کامیاران، فلشها نشاندهنده ی جهت جریان هستند.

به منظور تشخیص تیپ آب چشمه ها و چاه ها، کیفیت آب از نظر مصرف کشاورزی، شرب و صنعت و در نهایت تأثیر عملکرد عوامل زمین شناسی مانند لیتولوژی و گسله های موجود در منطقه بر کیفیت هیدروشیمیایی آب های زیرزمینی منطقه و همچنین برای تعیین تاثیر مستقیم گسله ی اصلی زاگرس بر روی ویژگی های هیدروژئولوژیکی منطقه، مطالعات هیدروژئولوژی و آزمایش های هیدروشیمی، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج آنالیز کیفی محدوده ی مطالعاتی در زیر آورده شده اند. برای اینکه نتیجه دقیق تری از داده ها بدست بیاوریم، نمونه های شمال و جنوب گسله بطور جداگانه آنالیز شده است و با استفاده از نرم افزار AqQA دیاگرام پایپر رسم گردید. معیارهای کیفیت آب آشامیدنی طبق نظر شولر نیز در زیر آورده شده اند.



شکل ۶ دیاگرام پایپر برای نمونه های شمال (الف) و جنوب (ب) گسله ی اصلی زاگرس.

### نتیجه گیری:

در نهایت می توان نتیجه گرفت که گسله ی اصلی جوان که از دشت کامیاران عبور می کند، در قسمت غربی (شمالی) نقش کانالی ولی در قسمت شرقی (جنوبی) نقش سدی برای عبور آب زیرزمینی داشته است. همچنین در قسمت شرقی، عملکرد گسل سبب ضخیم شدگی آبرفت در فرودپواره و تشکیل مخزن عمیق تر آب زیرزمینی شده است. گسله، در فرادپواره نواحی شرقی دشت، سبب بالآمدگی سطح ایستایی شده است. در واقع این گسله به عنوان یک سد و مانع عمل کرده و مانع از عبور آب می شود، به همین دلیل است که تراز آب زیرزمینی در قسمت جنوب گسله پایین بوده و آبدهی چشمه و چاه ها نیز در قسمت جنوب گسله نسبت به شمال گسله، بیشتر باشد و همچنین کیفیت آب از نظر هیدروشیمی، در جنوب گسله با کیفیت تر است. چشمه های قوری قلعه، روانسر و سراب منمی که در مسیر طولی گسله ی اصلی زاگرس قرار گرفته اند، گسله موجب جمع آوری آب از ارتفاعات و انتقال آن به تراز توپوگرافی پایین دست و سرانجام تراوش آب و تشکیل یک خط چشمه در طول گسله می شود و چشمه هایی با آبدهی متفاوت بوجود آورده است. در واقع عامل اصلی کنترل کننده و تغذیه در حوضه آبرگیر این سه چشمه، سیستم درزه و شکاف های منطقه است.

### منابع:

- بارانی، ص. (۱۳۹۷). بررسی تاثیر ساختارهای زمین شناسی بر چشمه های آهکی کوه قیدار جنوب زنجان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران.
- ثروتی، محمدرضا و عطربین ابراهیمی، ۱۳۹۵، شناسایی اشکال کارستی و تحول آن ها از دیدگاه ژئومورفولوژی در منطقه کامیاران با تاکید بر منابع آب، دومین کنگره بین المللی علوم زمین و توسعه شهری، تبریز، شرکت کیان طرح دانش، پژوهشکده جهاد دانشگاهی واحد استان آذربایجان شرقی.
- جهانی بهبهانی، ح. ر.، ۱۳۷۲، نقش خطواره در کنترل جریان آب زیرزمینی در مناطق چین خورده ی کارستی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۵۹ صفحه
- حمیدی، ر. (۱۳۹۸)، بررسی تاثیر تکتونیک بر هیدروژئولوژی آبهای زیرزمینی چشمه های منطقه سروآباد، کردستان ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه ی زنجان، ایران
- محمدی، ز.، ۱۳۸۵، کاربرد تکنیک های سنجش از دور و GIS در شناخت و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی، مطالعه ی موردی تاقدیس گوری - استان خوزستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۰۸ صفحه
- نوری، م. اشجاری، ج و عظیمی، ر. (۱۳۹۱)، بررسی نقش هیدرولیکی زون گسلی تهرته در آبخوان دشت اراک. بیستمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۱۶ تا ۱۸ شهریور ماه ۱۳۹۵ دانشگاه تهران، تهران، ایران.

- Bense, V. F, Gleeson, T, Loveless, S. E, Bour, O., & Scibek, J. (2013). Fault zone hydrogeology. *Earth-Science Reviews*, 127, 171-192.
- Kavousi, A., & Raeisi, E. (2015). "ESTIMATION OF GROUNDWATER MEAN RESIDENC TIME IN UNCONFINED KARST AQUIFERS USING RECESSON CURVES. *Journal of Cave and Karst Studies*", 77(2): 108-119
- Rezaei, A, H. Karimi, and H. Zhan (2017), The importance of understanding the hydrogeology and geochemistry of karst terrains for safely sitting dams, *Journal of Cave and Karst Studies*, 79(1), 48-58, DOI: 10.4311/2016ES0121

## ارتباط بین ساختارهای زمین ساختی و کانه زایی در کانسار مس چاه فیروزه،

### شهربابک، ایران

حکیمه قاسمیان<sup>۱\*</sup>، محمد یزدی<sup>۲</sup>، محسن احتشامی<sup>۳</sup> و محمدرضا صفارحیدری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی منابع کانساری و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- استاد، گروه زمین شناسی منابع کانساری و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار، گروه زمین شناسی حوضه های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۴- امور معدن، بخش زمین شناسی، معدن مس چاه فیروزه

ghasemian.hakimeh@yahoo.com

#### چکیده

کانسار مس چاه فیروزه در شمال شهربابک در استان کرمان واقع شده است. این کانسار در اثر نفوذ توده های نفوذی آذرین با سن میوسن با ترکیب کوارتز دیوریت و کوارتز مونزودیوریت پورفیری در سنگ های آتش فشانی ائوسن با ترکیب آندزیت، آندزیت بازالت، داسیت و توف های داسیتی تشکیل شده است. از نظر ساختاری، منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند آتش فشانی سهند- بزمان در زون زمین شناسی ارومیه- دختر بوده که روند آن NW-SE می باشد. در چاه فیروزه روندهای ساختاری NW-SE و N-S در معرض تغییر شکل برشی راستگرد و روند NE-SW در معرض تغییر شکل برشی چپگرد قرار گرفته است. بنابراین محدوده چاه فیروزه در یک منطقه برشی واقع شده است که همین امر باعث شده است تا گسل ها و شکستگی های R, T, P, R' در آن توسعه یابد. گسل های موجود به طور عمده در سه راستا به صورت تقریباً متقاطع عمل کرده و می توان آن ها را به گسل های اصلی و فرعی تقسیم کرد. این گسل ها نقش عمده ای در جایگیری توده نفوذی، دگرسانی و کانی زایی مس ایفا کرده اند.

کلید واژه ها: ساختارهای زمین ساختی، کانی زایی مس، چاه فیروزه، شهربابک، ایران

### The relationship between tectonic structures and mineralization in the Chah Firouzeh copper mine, Shahr-e-Babak, Iran

Hakimeh Ghasemian<sup>1</sup>, Mohammad Yazdi<sup>2</sup>, Mohsen Ehteshami<sup>3</sup> and Mohammad Reza Saffar Heidari<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University

<sup>2</sup>Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Beheshti University

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Beheshti University

<sup>4</sup>Geology Office, Chah Firouzeh copper mine, Kerman, Iran

#### Abstract

The Chah Firouzeh copper mine is located in North of Shahr-e Babak, Kerman, Iran. The area is a part of Sahand- Bazman volcanic belt with NW-SE trend in the Uromieh-Dokhtar geotectonic zone. This deposit has been formed during the intrusion of Miocene intrusive bodies (quartz diorite and quartz-monzodiorite porphyry) into the Eocene volcanic rocks (andesite, andesite basaltic, dacite and dacitic tuff). The structural data show that NW-SE and N-S trend have subjected the right lateral shear deformation and NE-SW trend has subjected the left lateral shear deformation. Therefore, the Chah Firouzeh area has located in a lateral shear zone. This characteristic has caused that R, T, P, R' type faults and fractures to form. Faults in three strike as intersecting and can divide them as main and minor faults. This fault has the main role in the intrusion of plutonic bodies, alteration and copper mineralization in the area.

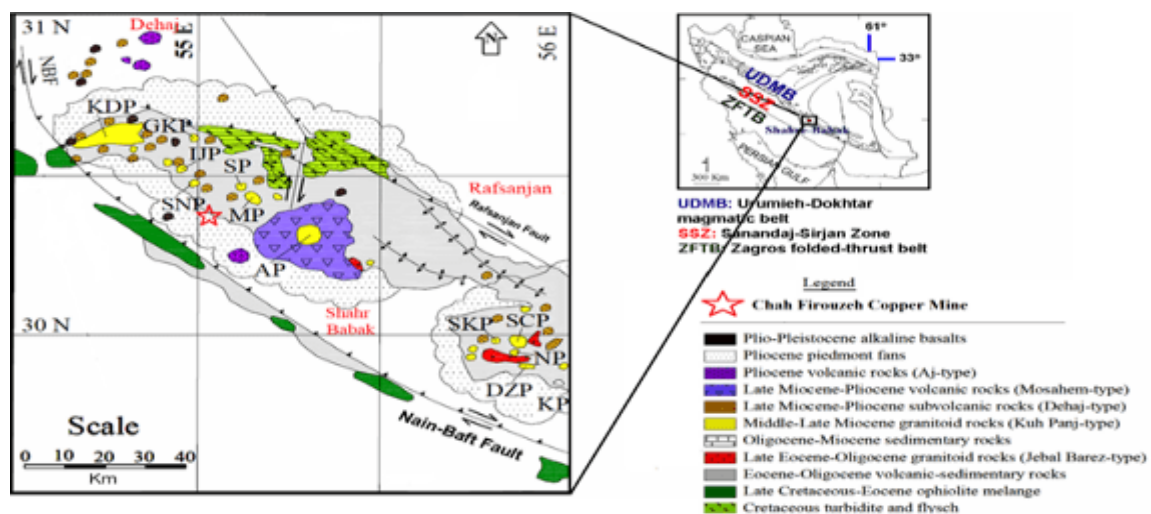
**Keywords:** Tectonic structure, Cu-mineralization, Chah Firouzeh, Shahr-e-Babak, Iran

### مقدمه

اغلب ذخایر مس پورفیری در ایالت‌های متالوژنیک که با عنوان کمرندهای مس پورفیری شناخته می‌شوند، گسترده شده‌اند. کمرند مس پورفیری ایران که خود بخشی از یک کمرند بزرگ جهانی مس محسوب می‌شود، با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی منطبق با کمان ماگمایی سهند - بزمان (ارومیه - دختر) قرار گرفته است (Dimitrijevic, 1973). بسیاری از زمین‌شناسان و پژوهشگران عقیده دارند که کانسارهای مهم مس پورفیری در تقاطع سیستم‌های گسلی واقع شده‌اند و به همین دلیل سال‌های زیادی است که نظریه کنترل ساختاری کانسارهای مس پورفیری مطرح شده است (صفری و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین به منظور بررسی جایگاه مناسب جایگیری نفوذی‌های پورفیری و کانسارهای مس همراه آن‌ها، شناسایی محل‌های دارای شکستگی‌های عمیق و تمرکز سیالات ماگمایی درون پوسته بسیار با اهمیت می‌باشد (Carranza and Hale, 2002). با تحلیل ساختاری گسل‌ها و تفسیر میدان‌های تنش در گستره معادن مس پورفیری مشخص شده است که عناصر ساختاری و زمین‌ساخت منطقه نقش بسیار تاثیرگذاری در نفوذ و جایگیری ماگما و همچنین شکل‌گیری ذخایر با ارزش اقتصادی دارند. کانسار مس چاه فیروزه تا کنون توسط پژوهشگران مختلف از دیدگاه‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است (Afzal et al., 2011, Alirezaei et al., 2009, Hezarkhani A., 2009, Ghanizadeh et al., 2020). در این پژوهش سعی گردیده است با توجه به قرارگیری کانسار مس چاه فیروزه در شمال گسل شهربابک، ساختارهای زمین‌ساختی در این محدوده کانساری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ارتباط و نقش آن‌ها در کانه‌زایی مس مورد بررسی قرار گیرد.

### بحث و روش مطالعه

کانسار مس چاه‌فیروزه در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شهربابک در استان کرمان قرار دارد. این ناحیه عمدتاً از سنگ‌های نفوذی و خروجی با ترکیب متنوع تشکیل شده است (Shahabpour, 2007). از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری، کانسار مس چاه فیروزه در پهنه ایران مرکزی و بخش جنوب‌زون ماگمایی ارومیه-دختر و شمال‌نوار دهج ساردوئیه واقع شده است (شکل ۱). بسیاری از پژوهشگران فعالیت آتشفشانی در این‌زون را نتیجه فرورانش پوسته اقیانوسی-نئوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی و ذوب آن‌ها در عمق و در نتیجه صعود ماگما می‌دانند (قربانی، ۱۳۸۷). در اثر این فرآیند مواد مذاب درونی تحت فشار از طریق شکاف‌ها به سطح زمین راه یافته و در حاشیه پوسته ایران مرکزی کوه‌های مرتفعی که هم‌اکنون میزبان بسیاری از ذخایر مس ایران هستند را شکل داده‌اند.



شکل ۱) نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه و موقعیت شماتیک کانسارهای مس ناحیه شمالی شهربابک

براساس مطالعات لیتولوژی و مغزه های گمانه های اکتشافی، واحدهای سنگی در اطراف و محدوده کانسار چاه فیروزه از قدیم به جدید به شرح زیر می باشند:

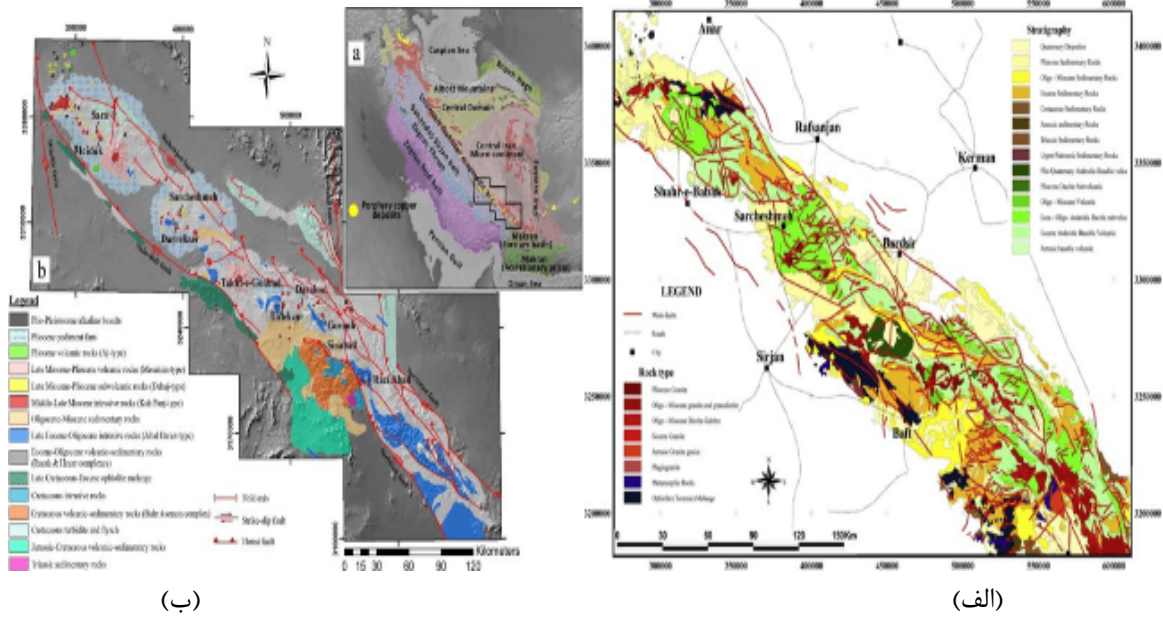
- ۱- آندزیت، داسیت و مواد آذرآواری متعلق به ائوسن
- ۲- توده های نفوذی چاه فیروزه
- ۳- توده دیوریتی در جنوب منطقه و دایک های ناشی از آن
- ۴- واحد داسیتی جوان

کانی سازی مس در چاه فیروزه در ارتباط نزدیک با یک توده نفوذی کوارتزموزنودیوریت با بافت پورفیری است که به صورت یک توده کشیده و ناپیوسته با راستای شمالی- جنوبی در راستای گسل اصلی چاه فیروزه جایگیر شده است. بخش شمالی و مرکزی این توده، به دلیل دگرسانی های شدید و همین طور پوشش خاک در سطح زمین به راحتی قابل تشخیص نیست. بخش جنوبی نیز اغلب توسط لاهار پوشیده شده است (گزارشات داخلی، ۱۳۸۸).



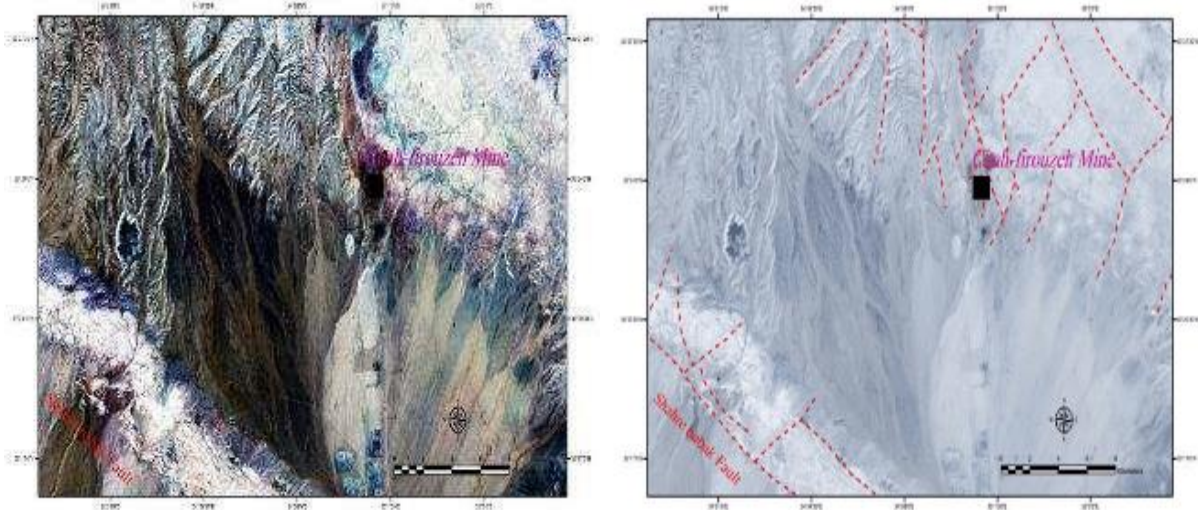
شکل ۲) نمایی از فعالیت های کانساری در چاه فیروزه

از دیدگاه ساختاری، کانسار چاه فیروزه در شمال توسط گسل راستگرد رفسنجان و در جنوب توسط قسمتی از راندگی امتداد لغز نایین- بافت (گسل شهرباک) احاطه شده است. کارکرد دو گسل مذکور سبب ایجاد یک زون برشی بین این دو گسل گردیده که نتیجه آن ایجاد انواع گسل ها و شکستگی های ریدل، آنتی ریدل و دیگر ساختارهای زمین ساختی در منطقه است (شکل شماره ۳). با توجه به پدیده های ولکانوپلوتونیسیم از یک سو و پیوند آن ها با رخدادهای تکتونوماگمایی از سوی دیگر بر پیچیدگی های زمین ساختی منطقه افزوده و به طور کامل منطقه را به هم ریخته، بطوری که نمی توان در برخی سکانس ها روند عناصر زمین ساختی را کامل مدل سازی نمود. مطالعات سن سنجی در بخش کمر بند میدوک نشان می دهد کانسار چاه فیروزه قدیمی ترین کانسار و متعلق به میوسن پایینی می باشد (محمدزاده و همکاران، ۱۳۸۶). از این رو و براساس جایگاه سنی به نظر می رسد زمین ساخت کانسار چاه فیروزه پیچیدگی های بیشتری نسبت به کانسارهایی همچون میدوک داشته باشد (Mohammad Doost et al, 2017). اما از دیدگاه زمین ساختی، عناصر ساختاری ناحیه را گسل هایی تشکیل می دهند که هندسه پیچیده دارند. از آن جا که سنگ های تشکیل دهنده منطقه اغلب سنگ های آتش فشانی هستند و این سنگ ها ویژگی شکنندگی بالایی دارند، گسلش در آن ها به فراوانی دیده می شود که بر اثر تنش اعمال شده به منطقه ایجاد شده است. به طور کلی دگرشکلی و گسیختگی در نقاط مختلف کانسار و تحت تاثیر عوامل زمین شناسی و به ویژه رفتار مکانیکی سنگ میزبان، متفاوت است. لذا میزان گسلش و عملکرد گسل ها نسبت به مکان متغیر می باشد (رمضانی، ۱۳۹۸).



شکل ۳ (الف) نقشه ساختاری کلی نوار دهج- ساردوئیه و موقعیت گسل ها. (ب) نقشه توالی سنگی به همراه گسل ها و زون برشی ایجاد شده نوار دهج ساردوئیه

گسل‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق که هم راستا با گسل شهرابک محسوب می‌شوند و در بخش‌های جنوب غرب محدوده و همچنین در بخش‌های شمال شرق دیده می‌شوند. از دیدگاه مورفوزمین ساختی این گسل‌ها مانند گسل شهرابک، فعال محسوب می‌شوند. گسل‌های شمال شرق- جنوب غرب که اغلب در میان گسل‌های شمال غرب- جنوب شرق قرار دارند و به طور کلی طول زیادی نداشته و به نظر می‌رسد با توجه به برداشت‌های صحرائی کارکرد امتدادلغز داشته باشند. گسل‌های شمالی- جنوبی از دیگر ساختارهای مهم شناسایی شده در این محدوده هستند. برخی از این ساختارها که طول اندکی نیز دارند اغلب با تغییر روند گسل‌های شمال شرق- جنوب غرب شکل گرفته‌اند و یا این سیستم گسلی توسط گسل‌های شمال شرق- جنوب غرب بریده شده‌اند (شکل شماره ۴).



شکل ۴) خطواره‌های زمین ساختی شناسایی شده براساس پردازش تصویر ماهواره ای در اطراف محدوده کانساری

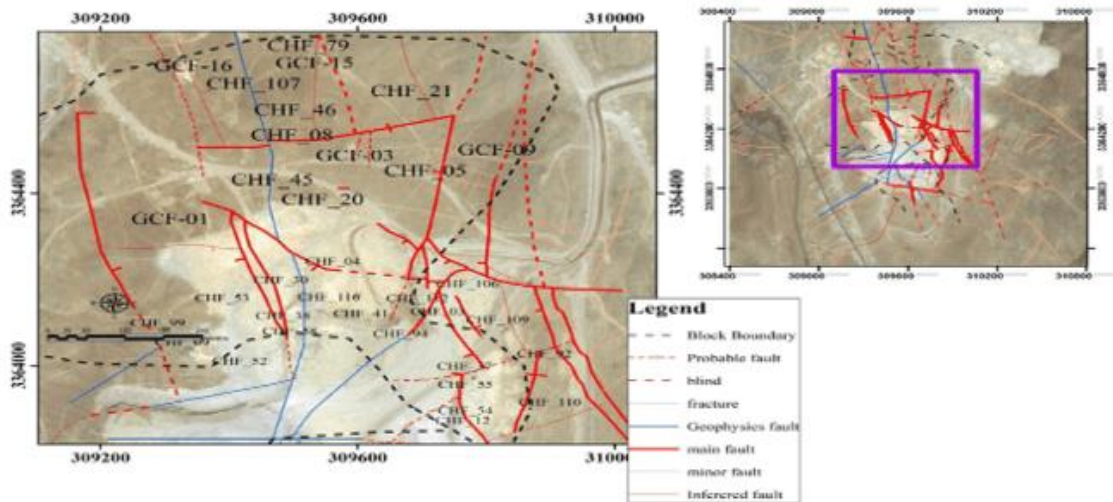


انجام مطالعات ساختارهای زمین ساختی در محدوده مورد مطالعه با پیمایش مستقیم زمینی بر روی پله های فعال و قابل دسترس کانسار و همچنین نواحی بدون انجام فعالیت های کانی سازی انجام پذیرفته است. گسل های اصلی در محدوده بوسیله دستگاه GPS نشانه گذاری و برداشت شده و مشخصات هندسی آن ها با استفاده از نرم افزار Midland Valley بر روی نقشه پیاده شده اند. لازم به ذکر است که در برخی گسل ها به دلیل پیچیدگی ساختار و دگرسانی شدید، امکان تشخیص کارکرد گسل ها به طور دقیق امکان پذیر نبوده است. همچنین با توجه به پوشیده بودن نواحی دور از پیت جنوبی که در آن واحدهای سنگی زیرسطحی برنزد یافته اند، تشخیص گسل ها در پیمایش های صحرائی بسیار مشکل می باشد چرا که بخش اعظم آن توسط رسوبات کواترنری و لاهار پوشیده شده است (شکل شماره ۵).

با توجه به مرز ناگهانی داشتن کانی زائی و دگرسانی در این سیستم، به طور بارزی می توان اذعان نمود که کانی زائی و دگرسانی مسبب آن، بشدت در کنترل گسل های منطقه ای که حتی قبل از تزریق توده نفوذی نیز وجود داشته اند، قرار دارد. مجموعه گسل ها که احتمالاً بعد از تزریق و ایجاد فشارهای بالا به سنگ های در برگیرنده نیز گسترش بیشتر یافته اند، به عنوان سدهائی فیزیکی عمل کرده اند که باعث جهت یابی هایی مشخص و محدود که حاصل آن کانه زائی در افق ها و روندهای خاصی بوده است را ایجاد نموده اند (هزارخانی و حاجی زاده، ۱۳۸۳). از این رو برای شناسایی گسل های این بخش از داده های ژئوفیزیکی، تصاویر ماهواره ای و همچنین مغزه های گمانه های حفر شده به خصوص گمانه های ساختاری و ژئوتکنیکی استفاده شده است. با توجه به نقشه تهیه شده مهم ترین سیستم شکستگی زمین ساختی در محدوده کانساری گسل های به روند شمالی- جنوبی و شمال شرق- جنوب غرب هستند که علاوه بر پیمایش های میدانی، در داده های ژئوفیزیکی نیز قابل ردیابی می باشند (شکل شماره ۶).



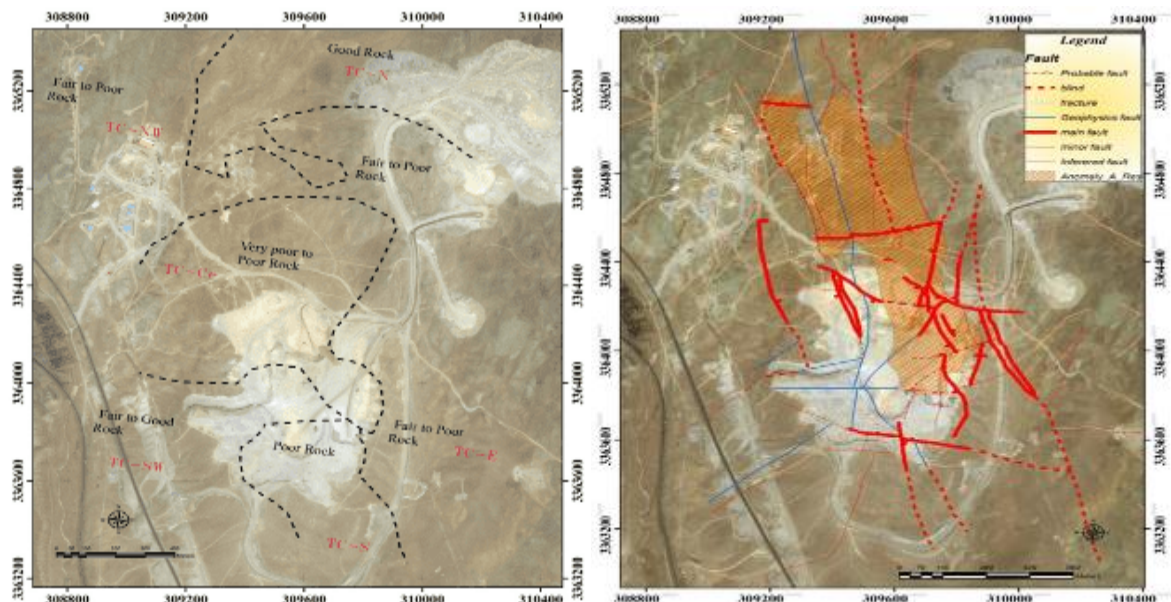
شکل ۵) نمونه هایی از شکستگی ها و گسل های موجود و کانه زایی در توالی سنگی در محدوده کانساری چاه فیروزه.



شکل ۶) نقشه تراکم گسل ها و شکستگی های محدوده مرکزی کانسار مس چاه فیروزه به همراه موقعیت گمانه های اکتشافی بر اساس برداشت های صحرایی و داده های ژئوفیزیکی

### بلوک بندی محدوده کانساری از دیدگاه زمین ساختی

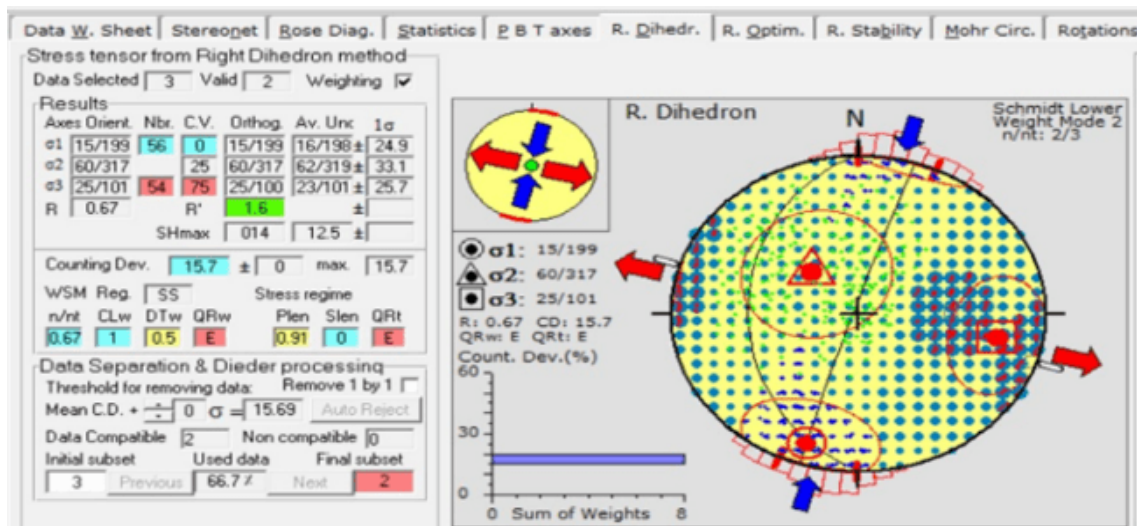
با توجه به عوامل زمین شناسی ساختمانی، ویژگی مهندسی سنگ ها و براساس شواهد سطحی، محدوده کانسار چاه فیروزه به ۶ بلوک اصلی زمین ساختی تفکیک گردید (شکل شماره ۷). در این میان گسل های بزرگ معرفی شده در قبل توانسته اند محدوده کانساری را به چند بلوک تقسیم کنند. تقسیم بندی به گونه ای صورت گرفته است که هر بلوک از لحاظ ویژگی مهندسی سنگ ها و عوارض ساختاری دارای ویژگی های تقریباً یکسان باشد.



شکل ۷) تصویر ماهواره ای و بلوک بندی کانسار چاه فیروزه و موقعیت گسل های شناسایی شده حاصل از داده های ژئوفیزیکی

در شکل شماره ۸ نمودار تنش در محدوده کانساری چاه فیروزه نشان داده شده است که بیانگر جهات نیروی وارد در منطقه می باشد. به نظر می رسد، گسل ها و شکستگی ها با در نظر گرفتن نوع آن ها بدلیل داشتن خاصیت

انقطاع در مکان های مختلف توانایی ایجاد محیط های مناسب برای نفوذ توده های ماگمایی پورفیری را داشته باشند. این توده ها در کمان های ماگمایی عمدتاً همراه با کانه زایی های مس، به خصوص سیستم های مس پورفیری می باشند. بر این اساس تعیین و مشخص نمودن روابط مکانی و زمانی گوناگون بین این توده ها و گسل ها همواره مد نظر بوده است. این مشاهدات نشان می دهد که مناطق بین گسل های امتداد لغز، زون های مناسبی برای کانه زایی مس پورفیری می باشد (Hassanzadeh, 1993). مطالعات اخیر در چاه فیروزه نشان می دهد که تشکیل و جایگیری کانسار مس پورفیری نه تنها تحت تأثیر فرآیندهای ماگمایی و گرمایی می باشد بلکه زمین ساخت ناحیه ای، محلی و رژیم های زمین ساختی در زمان تشکیل این کانسار نیز اهمیت بسیار زیادی داشته اند. شایان ذکر است روند رگه های کانی سازی شده که بیشتر محتوی مس کربناتی و اکسیدی نظیر ملاکیت و آزوریت هستند در راستای شمالی - جنوبی و منطبق بر گسل اصلی در چاه فیروزه هستند. فضای برشی زون گسلی محل مناسبی برای راهیابی سیالات به سمت بالا و ته نشست کانی ها را فراهم کرده است. در واقع گسل ها و زون های گسلی و سنگ های تکتونیزه شده در فرآیند کانسار سازی اثر برنولی را تقویت کرده است، یعنی کاهش فشار در نتیجه افزایش سرعت حرکت سیالات که بوسیله تراولینگ (کاهش فشار و انبساط سیالات که در اثر ورود سیال به یک سیستم گسلی که به سطح زمین راه دارد ایجاد می شود) حادث می شود، خود موجب کاهش حلالیت و در نتیجه ته نشینی می گردد. لذا می توان عنوان کرد که تغییر فشار لیتواستاتیک حاصل از حرکات گسل نیز همانند کاهش درجه حرارت و افزایش pH در ته نشینی مواد موثر بوده است، کانه زایی و دگرسانی های مسبب کانه زایی، تحت کنترل گسل های منطقه که حتی قبل از تزریق توده کانساری وجود داشته اند قرار دارد. این گسل ها باعث جهت یابی مشخص و روندهای خاص کانه زایی گردیده است (صفرحیدری، ۱۳۹۷).



شکل ۶) نمودار تحلیل تنش در نرم افزار Win-Tensor با استفاده از داده های گسل های سطحی و داده های زیرسطحی در محدوده چاه فیروزه

### نتیجه گیری

ساختارهای زمین ساختی که در یک منطقه وجود دارند، به نوعی ابزارهای مورد نیاز بررسی دگربرختی ها و دستیابی به الگوی دگرشکلی در آن ناحیه محسوب می گردند. لذا از جمله ساختارهای موجود در محدوده مورد مطالعه که می توان به استناد آن ها الگوی دگربرختی منطقه را تعیین کرد، گسل ها و شکستگی ها می باشند. قابل ذکر است تحلیل تنش در زمین شناسی همواره کاری پیچیده و دشوار بوده است. مطالعه پارامترهای ناهمسانگردی می توانند ارتباط میان ساختارهای سطحی قابل

مشاهده و فرآیندهای دینامیکی در ساختارهایی با عمق بیشتر را مشخص نمایند. در محدوده کانسار مس چاه فیروزه به طور کلی سه سیستم شکستگی بزرگ شمال شرق - جنوب غرب، شمال - جنوب و شمال غرب - جنوب شرق قابل شناسایی است. براساس شواهد موجود به نظر می‌رسد ابتدا یک روند تنش فشارش - برشی با روند تقریبی شمال - جنوب در محدوده اعمال شده است که نتیجه آن شکل‌گیری سیستم گسل N-S با مولفه برشی است در فاز بعدی روند تنش با حرکت ساعتگرد به شرق رفته و مولفه فشارش غالبی به منطقه حاکم کرده است. این روند تنش سبب شکل‌گیری گسل‌هایی با همین روند شده که ساختارهای شمالی - جنوبی را بریده و منقطع کرده‌اند. ادعای این امر فراوانی زیاد و طول کم این گسل‌ها است. تفسیر روند تنش نشان داد به طور کلی پیچیدگی زمین ساختی موجود در منطقه بسیار زیاد است و ساخت یک مدل ساده نیاز به داده های فراوانی دارد آنچه مشخص است روند تنش فشارشی شمال شرق - جنوب غرب سبب ایجاد مکانیسم برشی در منطقه شده است که شاهد بزرگ آن گسل‌های رفسنجان و شهربابک است و در حال حاضر نیز در منطقه فعال می‌باشد. تغییر سازوکار تنش فشاری با مولفه چپ بر به تنش فشاری با مولفه راستبر در تشکیل شکستگی‌ها و فضاهای مناسب برای جایگیری توده نفوذی عامل کانسار سازی موثر بوده است به طوریکه دوبلکس‌هایی را شکل می‌دهند و حاشیه دوبلکس‌ها که از ارتباط شکستگی‌ها R و P سیستم برشی ایجاد شده‌اند حداقل تنش فشاری و حداکثری واتنش را شامل می‌شوند. افزایش تنش فشاری در طول زمان و رهایی تنش در ادوار پیشین زمین شناسی سبب ایجاد شرایط مناسب برای نفوذ و نهشت سیالات حاوی مس و کانه زائی شده است.

#### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مدیران محترم مجتمع مس شهربابک بویژه آقای مهندس ابراهیمی نسب مدیر محترم مجتمع و مدیر محترم امور تحقیق و توسعه جناب آقای مهندس مهدوی انجام شده است. از حمایت های بزرگواران تشکر و قدردانی می شود.

#### منابع

- شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۸. گزارش داخلی، عملیات اکتشاف کانسار چاه فیروزه. صفحات ۴۳-۴۹.
- رضانی، م، صفارحیدری، م، ۱۳۹۸. مدل تشکیل و عوامل موثر بر کانه زایی مس در کانسار مس چاه فیروزه، مجله رویکردهای پژوهشی در علوم زمین. شماره ۱۱.
- صفار حیدری، م، رضانی، م، ۱۳۹۷. بررسی رخداد کانه زائی و کانه نگاری در کانسار مس چاه فیروزه، دهمین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی.
- صفری، ح، شفیع بافتی، ب، محمدرضایی، ح، ۱۳۹۵. بررسی تاثیر گسلها بر الگوی تجمع رخدادهای مس در منطقه سرچشمه با استفاده از روش های سنجش از دور و GIS، زمین شناسی اقتصادی، شماره ۸، صفحات ۷۹-۹۲.
- قربانی، م، ۱۳۸۷. زمین شناسی اقتصادی و ذخایر کانساری و طبیعی ایران، چاپ شماره دوم، انتشارات آرین زمین، تهران.
- محمد زاده، ز، علیرضایی، س، تقی زاده، ح، ویسی، ر. ۱۳۸۶. ویژگی های کانی سازی، دگرسانی و پتروولوژی ذخیره مس پورفیری چاه فیروزه، کرمان، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، تهران
- هزارخانی، ا، حاجی زاده. ف ۱۳۹۰. مطالعه زمین شیمیائی سیال های کانه دار در کانسار مس پورفیری چاه فیروزه شمال شهر بابک (استان کرمان) و ارزیابی اقتصادی آن. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲. صفحات ۴۳-۵۳

-Afzal Peyman, Younes Fadakar Alghalandis, Ahmad Khakzad, Parviz Moarefv and Nematolah Rashidnejad Omran, 2011, Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration-volume modeling, Journal of Geochemical Exploration, Volume 108, Issue 3, March 2011, Pages 220-232.

-Alirezaei, S., and Mohammadzadeh, Z., 2009, Hydrothermal alteration-mineralization at Chah Firoozeh porphyry

- copper deposit, Kerman Province, southern Iran [abs.]: Geological Association of Canada 2009 Joint Assembly, Toronto, 2009 [Proceedings], abstract GA71A-15.
- Carranza, E.J. M., & Hale, M., 2002, Where are porphyry copper deposits spatially localized, A case study in Banquet province, Philippines, *Natural Resource Research*, 11, 45-59.
- Dimitrijevic, M.D., 1973. *Geology of Kerman region*. Geological Survey of Iran, 334, 52.
- Ghanizadeh Zarghami A., K. Shahriar, K. Goshtasbi and A. Akbari Dehkharghani, 2020, A New Technical and Economic Model to Calculate Specific Charge and Specific Drilling Using Hole Diameter, Bench Height, Uniaxial Compressive Strength, and Joint Set Orientation, *Journal of Mining and environment*, Vol.11- 4, pp.991-1005.
- Hassanzadeh, J., 1993. *Metallogenic and tectono-magmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahr e Babak area, Kerman province)*, (Ph.D. Thesis). University of California, Los Angeles, USA.
- Hezarkhani, Ardeshir, 2009, Hydrothermal fluid geochemistry at the Chah-Firuzeh porphyry copper deposit, Iran, Evidence from fluid inclusions: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 101, p. 254-264.
- Mohammad Doost, H., Ghaderi, M., Kumar Teeda, V., Hassanzadeh, J., Stein, H., 2017. Zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology, with S isotopic composition of sulfides from the Chah-Firouzeh porphyry Cu deposit, Kerman Cenozoic arc, SE Iran, *Ore Geology Reviews*, 88, 384- 399.
- Shahabpour. J., 2007, Island-arc affinity of the central Iranian volcanic belt, *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 652-665.

## بررسی مورفوتکتونیک منطقه ی سد خرسان ۳ واقع در استان چهار محال و بختیاری

### به کمک GIS

سهام کریمی، خدیجه خلیلی\*

کارشناس آب منطقه ای استان چهار محال و بختیاری

استادیار دانشگاه پیام نور، ایران، تهران

Khalilikhadijeh@yahoo.com

### چکیده:

دریاچه سد خرسان در طول کمربند چین خورده ی زاگرس واقع شده است و حاصل تغییرات تکتونیک در جهت جنوب باختری-شمال خاوری است و پیدایش آن در کرتاسه ی بالایی بوده است که در اثر برخورد صفحه عربی به صفحه ی اوراسیا تقویت شده است. برای تشخیص فعالیت های تکتونیک در منطقه، شاخص های ژئومورفیک از جمله: شاخص شیب جریان (SL)، عدم تقارن حوضه ی زهکشی (Af)، نسبت ارتفاع دره به پهنای آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs)، انتگرال ارتفاع سنجی (Hi) با استفاده از نقشه های مدل های ارتفاع رقومی (DEM) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه و مورد بررسی قرار گرفتند. و ترکیب این شاخص ها، شاخص دیگری به نام فعالیت تکتونیک (Iat) را بوجود آورده اند. بر اساس این طبقه بندی منطقه مورد مطالعه به ۴ بخش تقسیم می شود. در حدود ۱۰/۷۱ درصد از منطقه ی مورد مطالعه متعلق به طبقه یک ۳۵/۷۱ درصد متعلق به طبقه ی دو، حدود ۱۷/۸۶ درصد متعلق به طبقه ی سه و در حدود ۳۵/۷۱ درصد متعلق به طبقه ی چهار می باشد. در این ناحیه تأثیر آب و هوای محلی که باعث عدم تقارن در منطقه می شود، وجود ندارد. پس اینطور به نظر می آید که عامل مهم کنترل مهاجرت جریان، می تواند تکتونیک محسوب شود.

کلیدواژه: مورفوتکتونیک، سد خرسان، زاگرس چین خورده، GIS

### Morphotectonic Analysis of khersan3dam Area in Chahar Mahal and Bakhtiari Province by GIS

Saham Karimi; Khadijeh Khalili

#### Abstract

The study records evidences of neotectonics activities in the south east of the Zagros mountain range that found to be responsible for the present-day geomorphic set-up of the area in the late Cretaceous and strengthened during the early Miocene due to the collision of the Arabian and Eurasian plates. The area is located along the simply folded belt of the Zagros. To assess tectonic activities in the area we analyzed geomorphic indices: The stream length-gradient index (SL), Drainage basin asymmetry (Af), Hypsometric Integral (Hi), Valley floor width-valley height ratio (Vf), Drainage basin shape (Bs). These indices were combined to yield the relative active tectonics index (Iat) using geographic information systems (GIS). Based on Iat values, the study area was divided into four parts: Class 1 (very high relative tectonic activity 10.71%, in the area); Class 2 (high, 35.71%); Class 3 (moderate, 17.86%); Class 4 (low, 35.71%). There are neither lithological controls nor localized climate that causes the asymmetry, So it seems reasonable for the stream migration that tectonics can account. The results are consistent with field observations on landforms and geology.

Key word: Morphotectonic, Chahar Mahal and Bakhtiari, Khersan3dam

#### مقدمه:

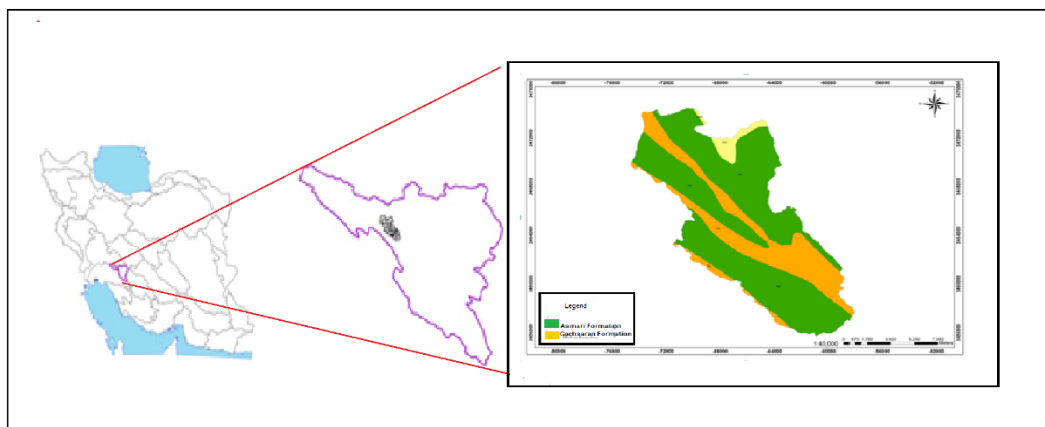
واژه مورفوتکتونیک مترادف با ژئومورفولوژی تکتونیک می باشد و به مطالعه رابطه بین تکتونیک و ژئومورفولوژی می پردازد. مطالعات مورفوتکتونیک به ویژه بر روی تحول رودها، ناهمواری های محلی و یا لندفرم های خاص نظیر شکستگی های شیب می پردازد (Goudi 2013; virdie et al 2006). مطالعات ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال برای ارزیابی مخاطرات زلزله در ناحیه هایی که تکتونیک فعال دارند مانند زاگرس نقش مهمی داشته است. نئوتکتونیک، یک عامل مهم در کنترل پیشرفت تغییرات سطح زمین در اثر عوامل طبیعی، در مناطق فعال تکتونیک می باشد و این عامل عمده تحت تأثیر سیستم های رودخانه-ای و مناطق کوهستانی می باشد. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده های رقومی ارتفاعی (DEM) ابزاری مفیدی برای تحلیل شاخص های ژئومورفیک می باشند. استفاده از داده های سنجش از دور برای بررسی تکتونیک و اثرات آن در سیمای توپوگرافی مناطق مختلفی از جهان توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته و توانایی آن ثابت شده است (Delcailau, 2001; Ruczkiczay et al; 2009). این پژوهش در نظر دارد به بررسی و تحلیل تغییرات مورفوتکتونیک زمین های پشت سدخرسان ۳ در واقع دریاچه سد واقع در جنوب غربی استان چهارمحال بختیاری بپردازد که این سد بر روی رودخانه خرسان که یکی از سرشاخه های رودخانه کارون می باشد در حال احداث می باشد.

#### روش مطالعه:

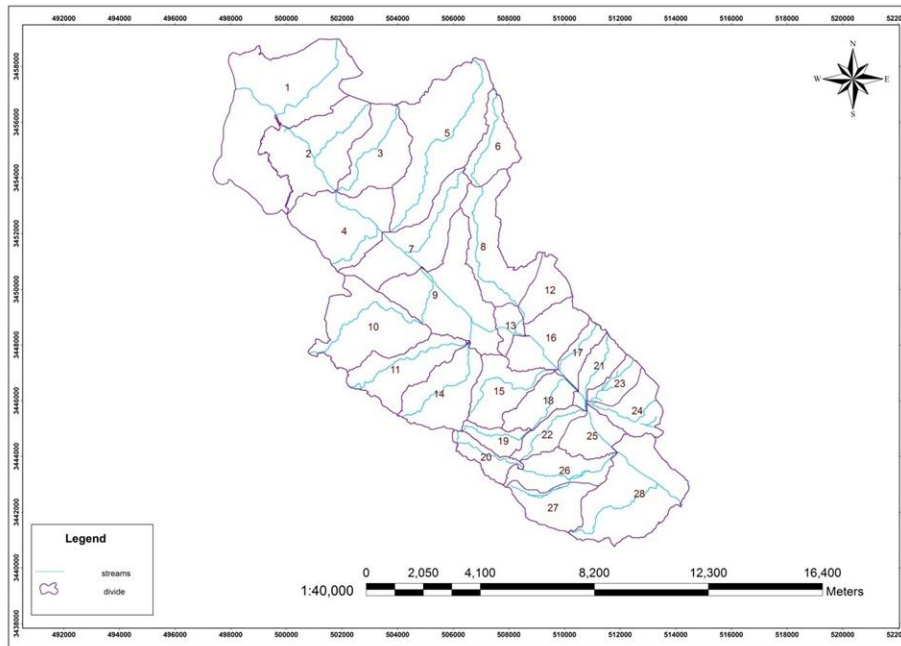
مدل رقومی ارتفاعی (DEM) مورد استفاده در این پژوهش با دقت تقریبی ۱۰ متر می باشد. فعالیت های تکتونیک منطقه ی مورد مطالعه توسط مقدار زیادی از شاخصهای ژئومورفیک ناشی از نقشه های مدل های ارتفاع رقومی (DEM) و خطوط حوضه های زهکشی و آبیاری با استفاده از سامانه ی اطلاعات جغرافیایی بررسی شده است و نتایج بدست آمده بامشاهدات میدانی و صحرایی سازگار می باشد.

#### بحث:

منطقه ی مورد مطالعه در طول کمربند چین خورده ی زاگرس که در چشم انداز جهانی محل برخورد قاره ایران مرکزی و صفحه عربی و محل فروانش صفحه عربی به زیر خرد قاره ایران محسوب می شود می باشد و حاصل تغییرات تکتونیک در جهت جنوب باختری-شمال خاوری است و پیدایش آن در کرتاسه ی بالایی بوده است که در اثر برخورد صفحه عربی به صفحه ی اوراسیا تقویت شده است (شکل ۱). منطقه ی مورد مطالعه (دریاچه سد خرسان ۳) به ۲۸ زیرحوضه تقسیم شده است که هر کدام مقادیر خاص خود را دارا می باشند و این مقادیر برای هر زیر حوضه، در هر پارامتر متفاوت است (شکل ۲).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه ی تقسیم بندی زیر حوضه ها به ۲۸ زیر حوضه در محدوده ی دریاچه سد خرسان ۳

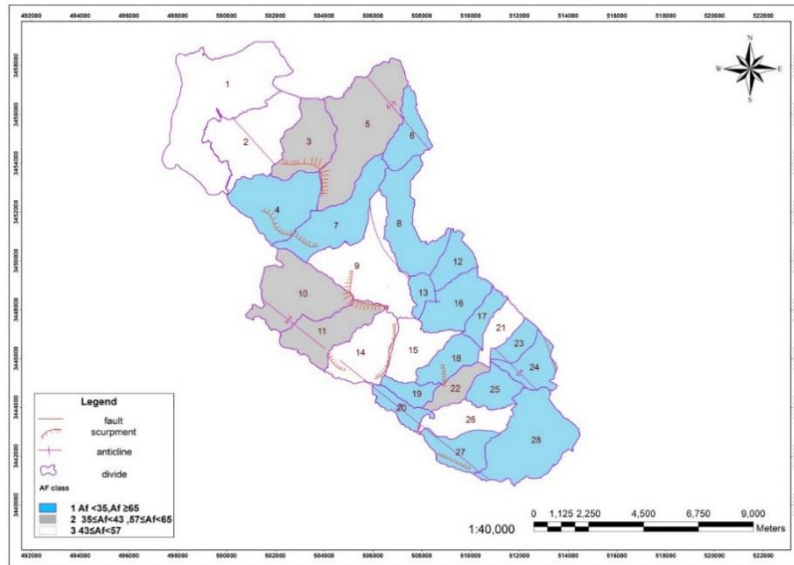
برای تشخیص فعالیت های تکتونیکی در منطقه، شاخص های ژئومورفیکی به شرح زیر بررسی شده اند:

#### شاخص عدم تقارن AF:

شاخص ژئومورفیک (AF) می تواند برای ارزیابی کج شدگی یا شیب تکتونیکی در مقیاسی از یک حوضه ی زهکشی استفاده می شود (Keller & Pinter 1977) و به این صورت تعریف شده است:  $Af = 100(Ar/At)$  به طوری که Ar ناحیه ای از حوضه واقع در طرف راست شدت جریان می باشد و At مساحت کل زیر حوضه می باشد. معمولاً Af در حدود ۵۰ می باشد که اگر نزدیک به، یا خود ۵۰ باشد حوضه ی زهکشی متقارن می باشد یعنی مسیر جریان شیب عمودی ندارد و کاملاً افقی می باشد ولی اگر دارای شیب با درجات مختلف یا شیب عمودی باشد، این مقدار می تواند کمتر یا بیشتر از ۵۰ شود که عدم تقارن حوضه را نشان خواهد داد که خود بیانگر فعالیت تکتونیکی منطقه خواهد بود (Verdi 2008, Kaller & pinter 1997).

مقادیر شاخص Af از نظر تکتونیکی به سه گروه دسته بندی شده اند: ۱- بسیار فعال ( $Af < 35$ ) و یا  $Af \geq 65$ ، ۲- فعال (۴۳)  $35 \leq Af < 65$  و یا  $65 \leq Af < 87$  متعادل ۳-  $87 \leq Af < 115$  در زیر حوضه ی ۱۲ تا ۸۶/۱۵ در زیر حوضه ی ۲۷ تغییر کرده است (شکل ۳). بنابراین اساس منطقه مورد مطالعه در محدوده یک قرار گرفته و نشان دهنده عدم تقارن حوضه می باشد و بیانگر این می باشد که منطقه از نظر تکتونیکی فعال می باشد.





شکل ۳. نحوه ی توزیع شاخص Af

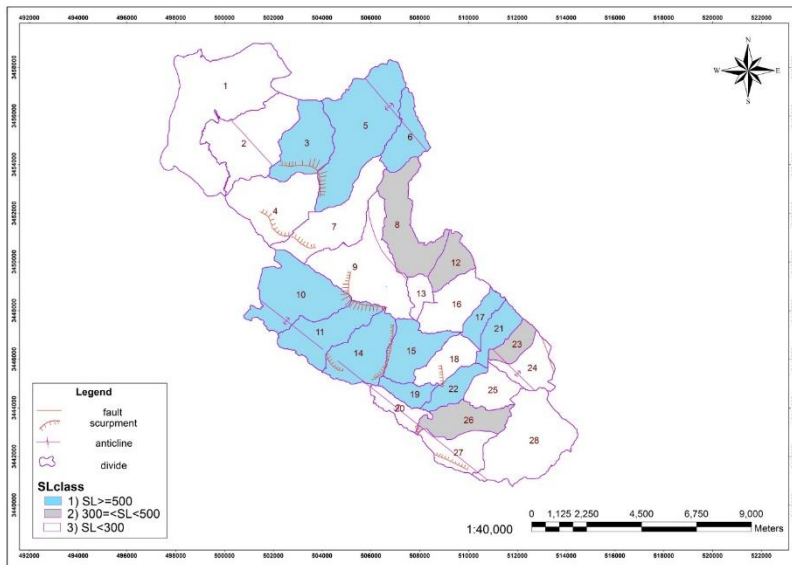
شاخص گرادیان طول رود (SL):

Hack در ۱۹۷۳ شاخص گرادیان طول رود (SL) را برای تأثیرات متغیر های محیطی بر روی نیمرخ طولی جریان تعریف کرد که به این صورت می باشد:

$$SL = (\Delta H / \Delta L_r) L_{sc}$$

به طوری که  $\Delta H$  اختلاف ارتفاع است،  $\Delta L_r$  طول رودخانه می باشد و  $L_{sc}$  طول افقی از منطقه ی پخش شدن آب به وسط رودخانه است. SL به شدت جریان بستگی دارد و یک متغیر هیدرولوژیکی مهم است. این شاخص می تواند برای ارزیابی نسبی فعالیت تکتونیکی استفاده شود. مقادیر بالای SL در سنگ های دارای مقاومت کم و یادر سنگ هایی با مقاومت یکسان می تواند بیانگر حرکات تکتونیکی فعال یا جوان باشد (LEL Hemdouni et al 2007). مقدار SL در سه طبقه رده بندی شده است: ۱- ( $SL \geq 500$ )، ۲- ( $300 \leq SL < 500$ )، ۳- ( $SL < 300$ ).

بر اساس محاسبات انجام شده در منطقه ی مورد مطالعه مقدار SL بسیار متغیر است، به طوری که از ۱۹/۸ در زیر حوضه ی ۲۵ تا ۱۰۳۹/۲۹۲ در زیر حوضه ی ۳ تغییر کرده است به طور میانگین درصد زیادی از منطقه در زیر رده ۱ قرار می گیرند که بیانگر فعال بودن منطقه در این شاخص می باشد (شکل ۴).



شکل ۴. نحوه ی توزیع شاخص SL، نحوه ی پراکندگی شاخص SL در منطقه ی مورد مطالعه.

#### شاخص شکل حوضه (BS):

حوضه های زهکشی نسبتاً جوان در مناطق فعال تکتونیکی، شکل عمده ی آن ها تمایل به طویل شدگی در جهت شیب توپوگرافی کوه دارند، با ادامه ی تکامل آن ها و یا فعالیت تکتونیکی کمتر، شکل طویل شده ی آن ها بیشتر به گشودگی و گردشدگی سیر می کند. تصویر افقی از یک زیرحوضه ممکن است توسط نسبت طویل شدگی یا همان شاخص شکل حوضه توصیف شود:

$$Bs = B_l / B_w$$

به طوری که  $B_l$  طول یک حوضه از بالاترین نقطه است و  $B_w$  عرض یک حوضه در پهن ترین قسمت است. این شاخص بازتابی است از طویل شدگی در حوضه هایی با فعالیت تکتونیکی زیاد و گردشدگی در حوضه هایی با فعالیت تکتونیکی کمتر. این شاخص نیز با استفاده از نقشه های DEM قابل اندازه گیری می باشد و به سه دسته رده بندی می شود: ۱-  $(Bs \geq 4)$ ، ۲-  $(3 \leq Bs < 4)$ ، ۳-  $(Bs < 3)$ . در منطقه مورد مطالعه میزان این شاخص از رودخانه اصلی هر حوضه با استفاده از نقشه های رقومی و GIS محاسبه شده است. میزان این شاخص از ۰/۱۶ در زیرحوضه ی ۱ تا ۵/۲۲۷ در زیر حوضه ی ۱۷ متغیر است.

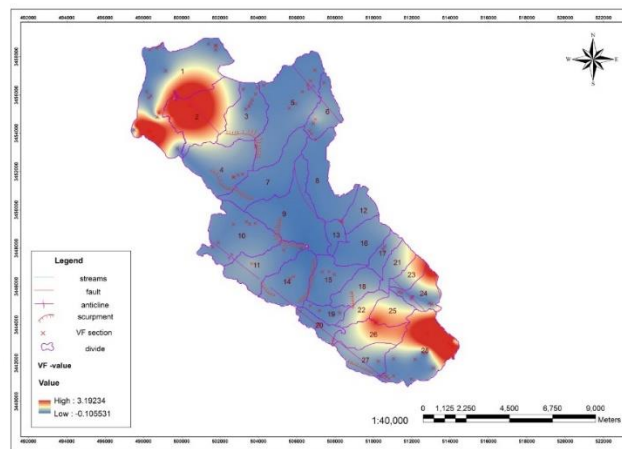
#### نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن ( $V_f$ ):

این شاخص نسبت پهنای کف دره را با میانگین ارتفاع آن توصیف می کند و به صورت زیر تعریف می شود:

$$V_f = 2V_{fw} / (A_{ld} + A_{rd} - 2A_{sc})$$

که در اینجا  $V_{fw}$  پهنای کف دره است و  $A_{ld}$  ارتفاع قسمت سمت چپ کانال و  $A_{rd}$  ارتفاع قسمت سمت راست کانال و  $A_{sc}$  ارتفاع میانگین از کف کانال می باشد. نسبت عریضی کف دره به ارتفاع دیواره های آن در این شاخص، در دره های مختلف متفاوت است. در دره های U شکل عمدتاً مقادیر بالایی از  $V_f$  را می توان مشاهده کرد در حالی که دره های V شکل مقادیر کمتری از  $V_f$  را شامل می شود. این شاخص سنجشی از شکاف خوردگی و بالآمدگی است که در یک حالت سکون، این دو با هم برابر و منطبق می شوند. شاخص  $V_f$  به سه دسته تقسیم بندی می شود (LEL Hemdouni et al 2007): ۱-  $V_f < 0.5$ ، ۲-  $0.5 < V_f < 1$ ، ۳-  $V_f > 1$ . در منطقه مورد مطالعه مقدار  $V_f$  از ۰/۱۲- در زیرحوضه ی ۱، تا ۳/۲ در زیرحوضه ی ۲ متفاوت

است. اکثر حوضه های منطقه مورد مطالعه دارای VF نسبتاً پایین می باشند و دره های V شکل در آن ها دیده می شود (شکل ۵).



شکل ۵. نحوه ی توزیع شاخص VF، در این شکل خطوط قرمز رنگ بیان کننده ی مقاطع Vf موجود در منطقه می باشد.

#### انتگرال و منحنی ارتفاع سنجی (HI):

تحلیل های ارتفاع سنجی یک ابزار قدرتمند برای تشخیص مناطق فعال تکتونیکی از مناطق غیر فعال می باشد. این فاکتور توزیع نسبی بلندی (ارتفاع) در یک ناحیه ی معین از یک زیرحوضه را توصیف می کند. این شاخص به طور نسبی در زیر منحنی ارتفاع سنجی بیان شده است بنابراین حجم فرسایش نیافته ی یک حوضه را نشان می دهد که این مناطق می توانند بیانگر تکتونیک فعال نیز باشند. معادله ی این شاخص به این صورت می باشد:

$$Hi = \frac{\text{حد اقل بلندی} - \text{حد اقل بلندی}}{\text{بلندی میانگین}}$$

از این فرمول برای محاسبه ی Hi در هر زیرحوضه استفاده می شود. مقادیر بالای Hi مشخص می کند که بیشتر توپوگرافی نسبت بالایی با میانگین دارد، به علاوه یک سطح صاف در بلندی، توسط جریان های بریده شده عمیق قطع شده است. مقادیر متوسط تا پایین با حوضه های زهکشی به طور آرام گسله شده به هم مرتبط اند. Hi بالا، یک توپوگرافی جوان فرسایش نیافته را مشخص می کند. مقادیر متوسط، یک پهنه ی کم شیب را توصیف می کند. گسترش بیشتر پهنه ی کهن سال مقادیر Hi را تغییر نخواهد داد، مگر این که باقیمانده های فرسایشی با مقاومت بالا حفظ شده باشند. مقادیر Hi را در سه دسته قرار می دهیم: ۱-  $(Hi \geq 0.5)$ ، ۲-  $(0.4 \leq Hi < 0.5)$ ، ۳-  $(Hi < 0.4)$ . تغییرات این شاخص از ۰/۳۳۸ تا ۰/۶۶۶ در زیر حوضه ی ۲۰ دیده می شود. به طور خلاصه، تحلیل های ارتفاع سنجی یک ابزار قدرتمند برای تشخیص مناطق فعال تکتونیکی از مناطق غیر فعال می باشد.

#### توزیع فضایی از مقادیر شاخص ها:

برخی از آبراهه ها روی تاقیدیس شورم مقادیر بالای غیر مشابه ای از SL را نشان می دهند، بعضی مقادیر غیرمعمول بالای SL در طول حوضه های ۳، ۵ هستند که در واقع آبراهه هایی می باشند که روی تاقیدیس ریک جریان دارند و همچنین مقادیر غیرمعمول پایین SL در حوضه های ۱۶، ۲۵، ۲۸ می باشد مقدار SL در حوضه های ۱۱، ۱۴، ۱۰، نیز که در امتداد کوه شورم واقع شده اند نیز بالا می باشند برطبق اطلاعات بدست آمده از نقشه های زمین شناسی، تقریباً همه ی مقادیر غیرمعمول SL در طول گسل های فعال مکانیابی شده اند. هرچند کنترل ساختاری نقش مهمی را در توسعه ی نامتقارن حوضه ها بازی می کند

ولی مقادیر بالای Af موجود در حوضه ی مورد مطالعه عدم تقارن بارزی را نشان می دهد که خود بیانگر فعالیت هایی در منطقه می باشد. نحوه ی توزیع Vf نشان می دهد که رودخانه ها زمین را در جایی که در بالای یک چین یا گسل فعال جریان دارند را عمیقاً شکافته اند. بیشترین طولیل شدگی زیرحوضه ها با مقادیر بالای Bs در دامنه ی جنوبی کوه شورم و قسمت باختری کوه نرمة وجود دارد یعنی این مقادیر نشان می دهند که حوضه فعالیت تکتونیکی زیادی را دارد و شکل آن تمایل به طولیل شدگی دارد. شایان ذکر است که مقادیر بالای Hi ناشی از شکاف در درون سطوح رسوبی نمی باشد بلکه نمایانگر حجم فرسایش نیافته ی آن زیرحوضه می باشد که خود حاکی از تکتونیک فعال منطقه نیز میباشد.

#### نتیجه گیری و تحلیل مورفوتکتونیکی منطقه:

در منطقه ی مورد مطالعه ۲۸ زیرحوضه وجود دارد که حاصل نقشه ی DEM منطقه ی مورد مطالعه می باشد. در روش استفاده شده در این تحقیق، هر چند شاخه از خطوط زهکشی در یک زیرحوضه جای داده شده اند. در مطالعات جدید با استفاده از چندین شاخص ژئومورفیک (شاخص های فوق الذکر) سعی شده است که توزیعی از نسبت فعالیت تکتونیکی را در منطقه بدست آورد که در این تحقیق هم از همین روش استفاده شده است. بعد از محاسبه ی هر پنج شاخص ژئومورفیک فوق الذکر، برای بدست آوردن یک نتیجه ی واحد، از ترکیب این پنج شاخص و گرفتن میانگینی از آن ها شاخص منفردی به نام شاخص نسبت فعالیت تکتونیکی (Iat) بدست آمد. این شاخص نیز مانند شاخص های فوق الذکر به چهار دسته برای توصیف فعالیت تکتونیکی طبقه بندی می شود: ۱- خیلی زیاد ( $1 \leq Iat < 1/5$ )، ۲- زیاد ( $1/5 \leq Iat < 2$ )، ۳- متعادل ( $2 \leq Iat < 2/5$ )، ۴- پایین ( $2/5 \leq Iat$ ). در جدول ۱ نتایج این طبقه بندی در هر زیرحوضه قابل مشاهده می باشد. در حدود ۱۰/۷۱ درصد از منطقه ی مورد مطالعه متعلق به طبقه یک ۳۵/۷۱ درصد متعلق به طبقه ی دو، حدود ۱۷/۸۶ درصد متعلق به طبقه ی سه و در حدود ۳۵/۷۱ درصد متعلق به طبقه ی چهار می باشد (شکل). مقادیری از این شاخص متناظر با زون های گسلی تغییر می کند. در بعضی از اشکال چین ها می توان تغییر شکل را مشاهده کرد مانند تاقدیس شورم و ریگ. بیشتر ارتفاعات موجود در منطقه از سنگ آهک به همراه آهک مارنی می باشد، مقادیر Iat در منطقه در امتداد شکستگی موجود در منطقه زیاد است که خود حاکی از فعالیت شدید تکتونیکی می باشد.

#### منابع:

- کریمی، س.، ۱۳۹۲. واکاوی کمی نسبی مورفوتکتونیکی منطقه ی سدخرسان ۳ واقع در استان چهار محال و بختیاری به کمک GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۲، دانشگاه آزاد شیراز، ۹۶ص.
- Delcaillau, B., 2001. Geomorphic response to growing fault-related folds: example from the foothills of central Taiwan. *Geodinamica Acta*, 14(5), 265-287.
- El Hamdouni. R, Irigaray, C, Fernandez, T, Chacon, J, Keller, E.A, 2008. Assessment of relative tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology* 96, pp. 150-173.
- Goudie, A., 2013. *Encyclopedia of Geomorphology*. Taylor & Francis, 1200 pp.
- Hack, J. T., 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the US Geological Survey*, 1(4), 421-429.
- Keller, E. A., Pinter, N., & Green, D. J., 1997. Active Tectonics, Earthquakes, Uplift, and Landscape. *Environmental and Engineering Geoscience*, 3(3), 463-463.
- Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Horváth, E., & Telbisz, T., 2009. Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based orphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary. *Geomorphology*, 104(3), 203-217.
- Viridi, N. S., Philip, G., & Bhattacharya, S., 2006. Neotectonic activity in the Markanda and Bata river basins, Himachal Pradesh, NWHimalaya.

## مدلسازی چین خوردگی گسترش گسلی، نگرش هایی از نقش ضریب اصطکاک

انیس السادات خلیفه سلطانی<sup>۱\*</sup>، سید احمد علوی<sup>۲</sup>، محمد رضا قاسمی<sup>۳</sup>، مهدی گنجیانی<sup>۴</sup>  
۱. دکتري زمين ساخت، گروه حوضه های رسوبي و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
۲. استاد، گروه حوضه های رسوبي و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
۳. استاد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
۴. استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
aniskhs21@gmail.com

### چکیده:

چین خوردگی های مرتبط با گسل به سه دلیل گستردگی جایگاه زمین ساختی، و اهمیت لرزه ای و اقتصادی همواره مورد توجه زمین شناسان ساختاری قرار داشته اند. آنها در اکثر رژیم های کششی و فشارشی قابل مشاهده اند. اهمیت اقتصادی آنها به دلیل حضور منابع هیدروکربنی در اکثر این ساختارهاست، و اهمیت لرزه ای آنها به خاطر حضور گسل های نهان در این چین خوردگی ها است، که برخی از این گسل های نهان توانایی تولید زمین لرزه های بزرگی را دارند. بنابراین مدلسازی عددی این چین خوردگی ها می تواند اطلاعات ارزشمندی در اختیار زمین شناسان قرار دهد. این پژوهش با استفاده از دو سری مدل اجزاء محدود کشسان-خمیرسان دو بعدی و سه بعدی تاثیر ضریب اصطکاک گسل و لایه بندی را در هندسه چین خوردگی گسترش گسلی مورد بررسی قرار می دهد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که برای ایجاد یک چین گسترش گسلی دو شرط لازم است، ابتدا باید ضریب اصطکاک گسل از لایه بندی کمتر باشد، و دوم آنکه باید ضریب اصطکاک لایه بندی از یک حد آستانه کمتر باشد. در واقع زمانی که ضریب اصطکاک لایه بندی از یک حد آستانه بیشتر می شود، سبک چین خوردگی به چین خوردگی خم-گسلی تغییر می یابد. بنابراین ضریب اصطکاک یک عامل موثر در سبک چین خوردگی گسترش گسلی است.

کلیدواژه: مدلسازی عددی، چین خوردگی گسترش گسلی، ضریب اصطکاک

## Modelling of fault-propagation fold: insights from the role of friction coefficient

Anis Khalife- Soltani<sup>a\*</sup>, Seyed Ahmad Alavi<sup>b</sup>, Mohammad Reza Ghassemi<sup>c</sup>, Mehdi Ganjiani<sup>d</sup>

<sup>a\*</sup> PhD in Tectonics, Department of sedimentary and oil basins, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

<sup>a</sup> Professor, Department of sedimentary and oil basins, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

<sup>c</sup> Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>d</sup> Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

### Abstract

Fault-related folds have always been of interest to structural geologists for three reasons: tectonic setting, seismicity, and economic importance. There are in most tension and compression regimes. Their economic importance is due to the presence of hydrocarbon resources in most of these structures, and their seismic importance is due to the presence of blind faults in these folds, some of which have

high seismic potential. Therefore, numerical modeling of these folds can provide valuable information to geologists. This study uses two series of 2D and 3D elastic-plastic finite element models to investigate the effect of fault and layer friction on the geometry of the fault propagation fold. The results of this study show that for create a fault propagation fold, two conditions are necessary. First, the fault friction must be less than the friction of layers, and second, the friction of the layers must be less than a threshold. In fact, when the layer friction exceeds a threshold, the folding style changes to a bend-fault fold. Therefore, the friction coefficient is an effective factor in the folding style of the fault.

Keywords: *Numerical modeling, Fault propagation folding, Friction coefficient*

#### مقدمه:

چین های مرتبط با گسل در کمربندهای چین و راندگی (Boyer, 1986; Ford et al., 1997; Corredor et al., 2005; Morley et al., 2011), منشورهای برافزایشی (Biju-Duval et al., 1982), و در طی وارونگی حوضه (Mitra, 1993; Okamura et al., 2007) در هر دو رژیم کششی و فشارشی تشکیل می‌شوند (Howard and John, 1997; Ferrill et al., 2012). علاوه بر اهمیت آنها در فرایندهای همزمان لرزه ای و تکامل لرزه ای چین های مرتبط با گسل در اغلب تله های هیدورکربنی متداول هستند (Allmendinger and Shaw, 2000; Lin et al., 2007; Yang et al., 2014). از این رو چین های مرتبط با گسل به طور گسترده ای توسط روش های میدانی و داده های بازتاب لرزه ای (Mitra, 1990; Suppe and Medwedeff, 1990; Erslev, 1991), آزمایشات آنالوگ جعبه ماسه (McClay, 1995; Storti and Poblet, 1997), و مدل های عددی (e.g., Allmendinger, 1998; Cardozo et al., 2011; Albertz and Sanz, 2012; Yang et al., 2017; Hughes and Shaw, 2015; Yang et al., 2014), مورد مطالعه قرار گرفته اند.

اولین مفهوم چین خوردگی مرتبط با گسل توسط Suppe (1983) ارائه شد، که بعداً به صورت چندین مدل جنبش شناسی و هندسی توسعه یافت. چین های مرتبط با گسل شامل سه عضو نهایی؛ چین های خم گسلی (Berger and Johnson, 1980; Suppe, 1983), چین های گسترش گسلی (Mitra, 1990; Suppe and Medwedeff, 1990), و چین های جدایشی (Epard and Groshong, 1995; Homza and Wallace, 1995, 1997; Poblet and McClay, 1996); چین های گسترش گسلی بالای یک گسل راندگی جایی که جابه جایی گسل به سمت نوک گسل کاهش می یابد، و به صفر می رسد ایجاد می شوند. این چین ها توسط یال جلویی پرسیب یا برگشته شناخته می شوند (Suppe and Medwedeff, 1990; Hughes and Shaw, 2015).

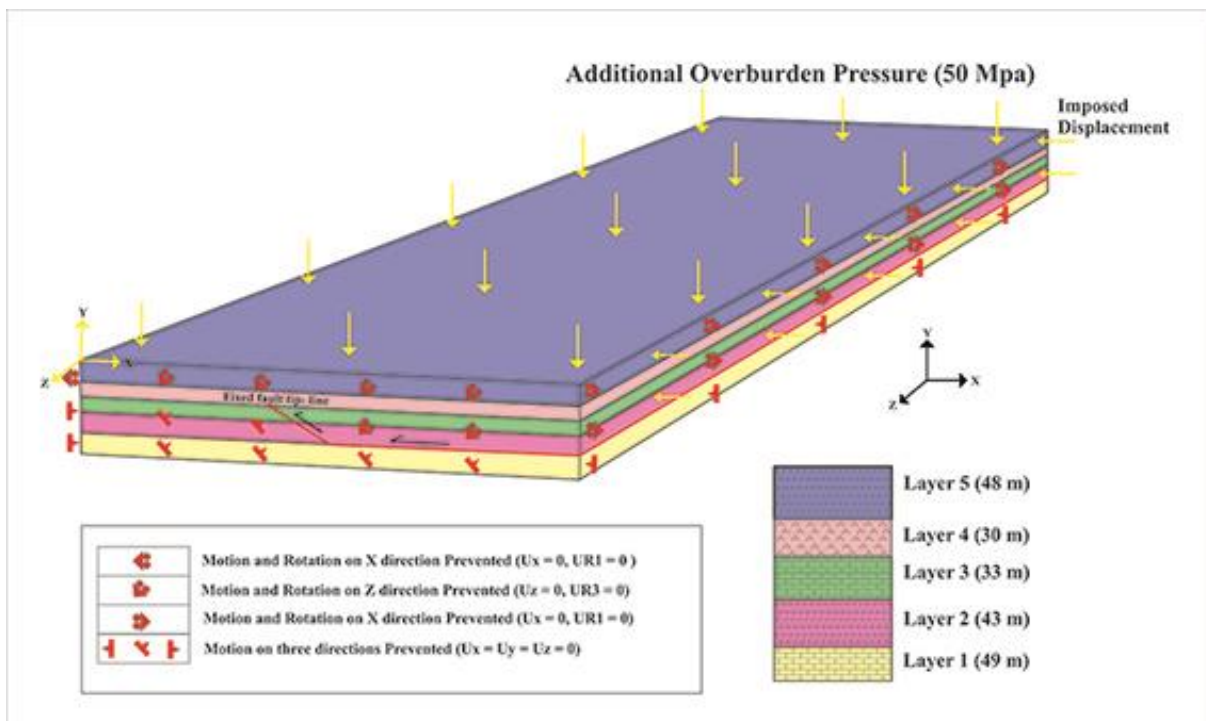
این پژوهش توسط ارائه دو سری مدل اجزاء محدود کشسان-خمیرسان نقش ضریب اصطکاک ( $\mu$ ) را در هندسه چین گسترش گسلی مورد بررسی قرار می دهد..

#### مدلسازی:

این پژوهش دو سری مدل اجزاء محدود کشسان-خمیرسان جهت بررسی نقش ضریب اصطکاک بر هندسه چین گسترشی ارائه می دهد (سری های A و B). مدلسازی اجزاء محدود در این پژوهش توسط نرم افزار آباکوس (۲۰۱۷) صورت می گیرد. این پژوهش ابتدا یک مدل مرجع سه بعدی ارائه می کند ( $A_0$ ), که این مدل شامل پنج لایه با سنگ شناسی متفاوت است، ویژگی های مکانیکی این مدل، و توالی سنگ شناسی آن از یکی از سازندهای زاگرس بر اساس گزارشات شرکت نفت خیز جنوب تعیین شده است (شکل-۱ و جدول-۱). در این مدل شیب گسل ۳۰ درجه، و ابعاد آن  $1100 \times 203 \text{ (m}^3\text{)}$  است. برای اندرکنش لایه ها و گسل ها در این مدل به ترتیب ضریب اصطکاک های ۰/۲۵ و ۰/۰۱ تعریف شده است.

سپس با تعریف ضریب اصطکاک های متفاوت برای این مدل مرجع، چهار مدل سه بعدی سری A ( $A_1, A_2, A_3$  و  $A_4$ ) ساخته شده اند، که هندسه اولیه و ویژگی های مکانیکی در این مدل ها همانند مدل مرجع است. در مدل  $A_1$ ، ضریب اصطکاک گسل از  $0/01$  به  $0/1$  افزایش یافته است، در مدل  $A_2$ ، ضریب اصطکاک لایه بندی از  $0/25$  به  $0/2$  کاهش یافته است. ضریب اصطکاک لایه بندی در مدل های  $A_3, A_4$  به ترتیب از  $0/25$  به  $0/4$  و  $0/45$  افزایش یافته است. هندسه نهایی دگرشکلی مدل های سری A با مدل مرجع  $A_0$  مقایسه می شود. برای بازآزمایی نتایج این پژوهش مدل های دو بعدی سری B و مدل مرجع این سری ( $B_0$ ) ارائه شده است. مدل  $B_0$  شامل شش لایه با سنگ شناسی متفاوت است، ویژگی های مکانیکی آن نیز همانند مدل  $A_0$  بر اساس گزارش شرکت نفت مناطق نفت خیز جنوب تهیه شده است (شکل-۲، و جدول-۲). شیب گسل در این مدل  $45^\circ$  درجه، و ابعاد آن  $1300 \times 325$  ( $m^2$ ) است. در این مدل همانند مدل  $A_0$  برای اندرکنش لایه ها و گسل ها به ترتیب ضریب اصطکاک های  $0/25$  و  $0/01$  تعریف شده است، و با تغییر ضریب اصطکاک این مدل، چهار مدل سری B ساخته شده اند. در مدل های  $B_1$  و  $B_2$  به ترتیب ضریب اصطکاک گسل از  $0/01$  به  $0/1$  و  $0/25$  افزایش یافته است. در مدل  $B_3$  ضریب اصطکاک لایه بندی از  $0/25$  به  $0/2$  کاهش یافته است، و در مدل  $B_4$  ضریب اصطکاک لایه بندی از  $0/25$  به  $0/35$  افزایش یافته است.

تمامی ده مدل این پژوهش شامل سه گام هستند، در گام اول نیروی گرانش به کل مدل اعمال می شود. در گام دوم برای شبیه سازی عمق تدفین فشار روباره ای معادل  $50$  مگاپاسکال بر سطح مدل اعمال می شود، که عمق تدفینی در حدود  $2$  کیلومتر را بازسازی می کند. در گام سوم جابه جایی بر مدل برای شبیه سازی گسلش اعمال می شود (شکل های ۱ و ۲). میزان جابه جایی در مدل های سری A،  $77$  متر و برای مدل های سری B  $110$  متر است، هندسه و مقدار جابه جایی در این سری مدل ها متفاوت در نظر گرفته شده است، که صحت نتایج مدل های سه بعدی را مورد بازآزمایی قرار دهد.



شکل-۱. شرایط مرزی و بارگذاری مدل های سه بعدی (سری A).

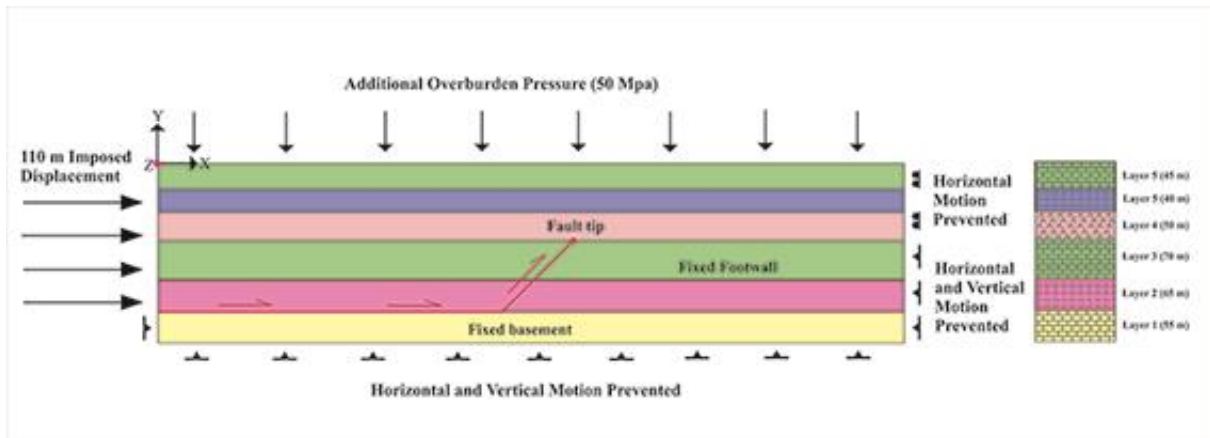
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۱- ویژگی های مکانیکی مواد استفاده شده برای مدلسازی چین گسترش گسلی سه بعدی (بر اساس آزمایش های مکانیک سنگ ارائه شده توسط شرکت مناطق نفت خیز جنوب ایران).

لایه	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (GPa)	$\nu$	$\phi$ (°)	$\psi$ (°)	$C_0$ (MPa)
۵	۲۷۰۰	۱۱٫۵	۰٫۳۵	۲۲٫۵	۱۱٫۲۵	۹٫۵
۴	۳۰۰۰	۳۷٫۵	۰٫۳	۳۲٫۵	۱۶٫۲۵	۳۵
۳	۲۵۵۰	۴۵	۰٫۳	۲۵	۱۲٫۵	۳۰
۲	۲۴۰۰	۲۷	۰٫۳۸	۲۶٫۸	۱۳٫۴	۱۳
۱	۲۶۴۰	۳۰	۰٫۳۵	۳۱٫۵	۱۵٫۷۵	۱۵

$\rho$ : چگالی، E: پیمایه یانگ،  $\nu$ : نسبت پواسون،  $\phi$ : زاویه اصطکاک داخلی،  $\psi$ : زاویه اتساع، و  $C_0$ : چسبندگی.



شکل ۲- شرایط مرزی و بارگذاری مدل های دو بعدی (سری B).

جدول ۲- ویژگی های مکانیکی مواد استفاده شده برای مدلسازی چین گسترش گسلی ساده (بر اساس آزمایش های مکانیک سنگ ارائه شده توسط شرکت مناطق نفت خیز جنوب ایران).

لایه	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (GPa)	$\nu$	$\phi$ (°)	$\psi$ (°)	$C_0$ (MPa)
۶	۲۵۵۰	۴۵	۰٫۳	۲۵	۱۲٫۵	۳۰
۵	۲۷۰۰	۱۱٫۵	۰٫۳۵	۱۲٫۵	۱۱٫۲۵	۹٫۵
۴	۳۰۰۰	۳۷٫۵	۰٫۳	۳۲٫۵	۱۶٫۲۵	۳۵
۳	۲۵۵۰	۴۵	۰٫۳	۲۵	۱۲٫۵	۳۰
۲	۲۴۰۰	۲۷	۰٫۳۸	۲۶٫۸	۱۳٫۴	۱۳
۱	۲۶۴۰	۳۰	۰٫۳۵	۳۱٫۵	۱۵٫۷۵	۱۵

$\rho$ : چگالی، E: پیمایه یانگ،  $\nu$ : نسبت پواسون،  $\phi$ : زاویه اصطکاک داخلی،  $\psi$ : زاویه اتساع، و  $C_0$ : چسبندگی.

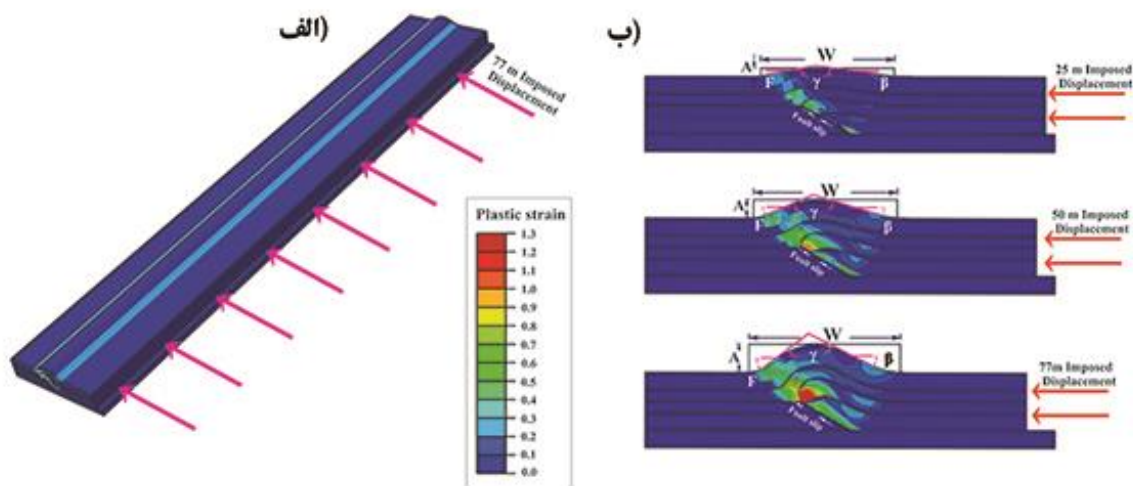
بحث:

در هر دو مدل مرجع سه بعدی و دو بعدی ( $A_0$  و  $B_0$ ) کرنش پلاستیک در یال جلویی، سطح گسل، و نوک گسل متمرکز شده است (شکل های ۳ و ۴)، و با افزایش کوتاه شدگی نیم- طول موج، دامنه، شیب یال ها افزایش می یابد، در حالی که زاویه بین یالی کاهش می یابد (شکل های ۳، ۴ و جدول های ۳ و ۴). در مدل های سه بعدی سری A، ضریب اصطکاک گسل و لایه ها جهت بررسی نقش ضریب اصطکاک در هندسه چین گسترش گسلی تغییر می یابد. در مدل  $A_1$ ، ضریب اصطکاک گسل از ۰٫۱ به ۰٫۱۱ افزایش یافته است، در این مدل نیم- طول



موج و زاویه بین یالی نسبت به مدل مرجع افزایش یافته، در حالی که دامنه و شیب یال ها کاهش یافته است (شکل-۵ و جدول-۳). در مدل  $A_3$ ، ضریب اصطکاک لایه ها از  $0/25$  به  $0/2$  کاهش یافته است، در این مدل نیم-طول موج و زاویه بین یالی کاهش یافته است، در حالی که دامنه و شیب یال ها افزایش یافته است (شکل-۵ و جدول-۳). در مدل های  $A_3$  و  $A_4$ ، ضریب اصطکاک لایه ها از  $0/25$  به  $0/4$  و  $0/45$  افزایش یافته است. در این مدل ها نیم-طول موج و زاویه بین یالی افزایش یافته است، و دامنه چین کاهش یافته است، این تغییرات به حدی است که سبک چین خوردگی در این دو مدل از چین گسترش گسلی به سمت چین خوردگی خم-گسلی تغییر کرده است (شکل-۵ و جدول-۳).

برای بازآمایی نتایج بدست آمده، مدل مرجع  $B_0$  ارائه شده است، و با تغییر ضریب اصطکاک آن مدل های سری B ساخته شده اند. نتایج این مدل ها با نتایج مدل های سری A مطابقت خوبی نشان می دهد. در مدل  $B_1$  ضریب اصطکاک گسل از  $0/01$  به  $0/1$  افزایش می یابد، در این مدل نیز همانند مدل  $A_1$ ، نیم-طول موج و زاویه بین یالی افزایش، و دامنه و شیب یال ها کاهش می یابد (شکل-۶-الف و جدول-۴). در مدل  $B_2$  نیز ضریب اصطکاک گسل از  $0/01$  به  $0/25$  افزایش می یابد، در این مدل ضریب اصطکاک گسل با لایه بندی برابر است، همان گونه که مشاهده می شود، در این مدل چین گسترش گسلی ایجاد نمی شود (شکل-۶-ب و جدول-۴). در مدل  $B_3$  ضریب اصطکاک لایه بندی کاهش می یابد، و نتایجی همانند مدل  $A_3$  بدست می آید (شکل-۶-ج و جدول-۴). در مدل  $B_4$  نیز ضریب اصطکاک لایه بندی افزایش می یابد، و همانند مدل  $A_4$  سبک چین خوردگی از گسترش گسلی به خم-گسلی تغییر می یابد. بنابراین نتایج این دو سری از مدلها نشان می دهد که برای ایجاد یک چین گسترش گسلی دو شرط لازم است، اول باید ضریب اصطکاک گسل از لایه بندی کمتر باشد، و دوم اینکه باید ضریب اصطکاک لایه بندی از یک حد آستانه کمتر باشد، که برای مدل های این پژوهش این حد آستانه  $0/25$  است. پیش از این پژوهش نیز (Hughes et al (2014) با مدلسازی اجزاء گسسته دو بعدی چین خوردگی های مرتبط با گسل نشان دادند که ضریب اصطکاک گسل یک عامل موثر در سبک چین خوردگی مرتبط با گسل است. زمانی که آنها ضریب اصطکاک را بر روی تخت بالایی یک هندسه تخت-کژ-تخت افزایش دادند، به جای چین خم-گسلی، چین گسترش گسلی تشکیل شد (Hughes et al., 2014).

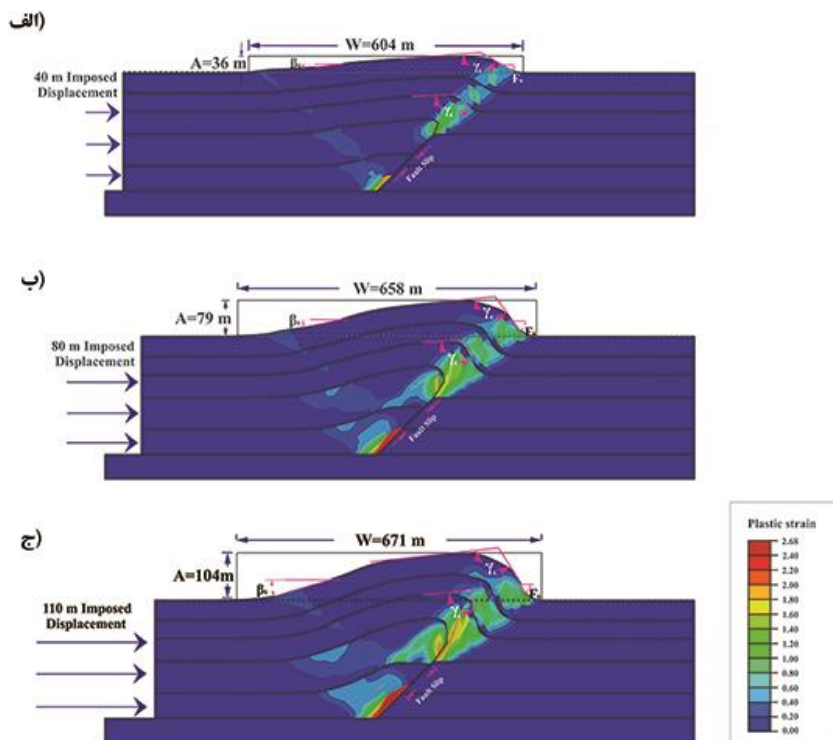


شکل-۳. تکامل هندسی و کرنش پلاستیک مدل  $A_0$ .

جدول ۳- تاثیر ضریب اصطکاک بر فراسنج های هندسی چین گسترش گسلی.

ردیف	بعد از ۲۵ متر جابه جایی					بعد از ۵۰ متر جابه جایی					بعد از ۷۷ متر جابه جایی				
	W	A	$\gamma$	$\beta$	F	W	A	$\gamma$	$\beta$	F	W	A	$\gamma$	$\beta$	F
A <sub>0</sub>	۳۶۳	۲۳	۱۶۳	۶	۱۱	۳۶۹	۵۰	۱۴۰	۱۷	۲۳	۳۸۲	۷۵	۱۱۶	۲۸	۳۶
A <sub>۱</sub>	۳۸۱	۲۳	۱۶۰	۹	۱۱	۳۸۸	۴۷	۱۴۱	۱۸	۲۱	۴۲۵	۷۴	۱۱۸	۲۷	۳۵
A <sub>۲</sub>	۳۶۵	۲۴	۱۶۰	۹	۱۱	۳۷۱	۵۲	۱۳۸	۱۹	۲۳	۳۸۰	۷۹	۱۱۵	۲۹	۳۶
A <sub>۳</sub>	۴۳۷	۱۹	۱۶۷	۵	۸	۴۴۱	۴۰	۱۵۴	۱۴	۲۶	۴۵۳	۶۴	۱۴۱	۲۶	۳۹
A <sub>۴</sub>	۴۴۸	۱۸	۱۶۸	۵	۷	۵۰۰	۳۹	۱۶۰	۱۲	۲۰	۵۳۰	۶۲	۱۴۹	۲۰	۳۱

اختصارات: W(m)؛ نیم- طول موج، A(m)؛ دامنه،  $\gamma$ (°)؛ زاویه بین یالی،  $\beta$ (°)؛ شیب یال پشتی، F(°)؛ شیب یال جلویی.

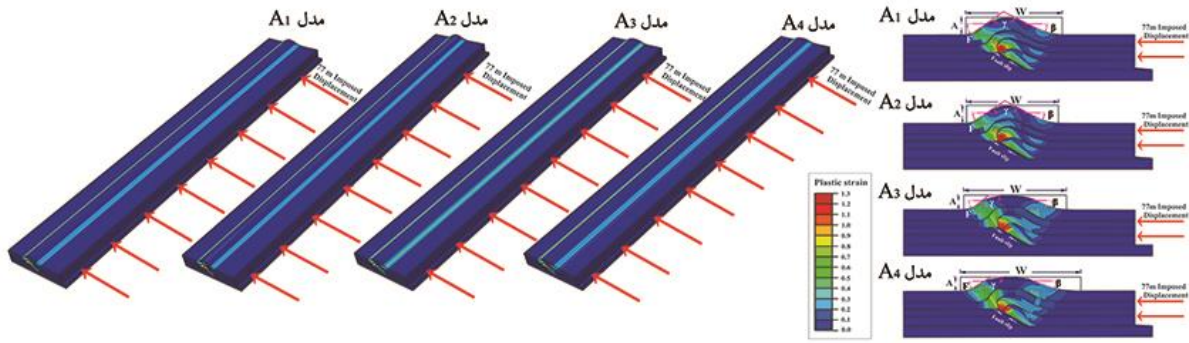


شکل ۴- تکامل هندسی و کرنش پلاستیک مدل B<sub>0</sub>.

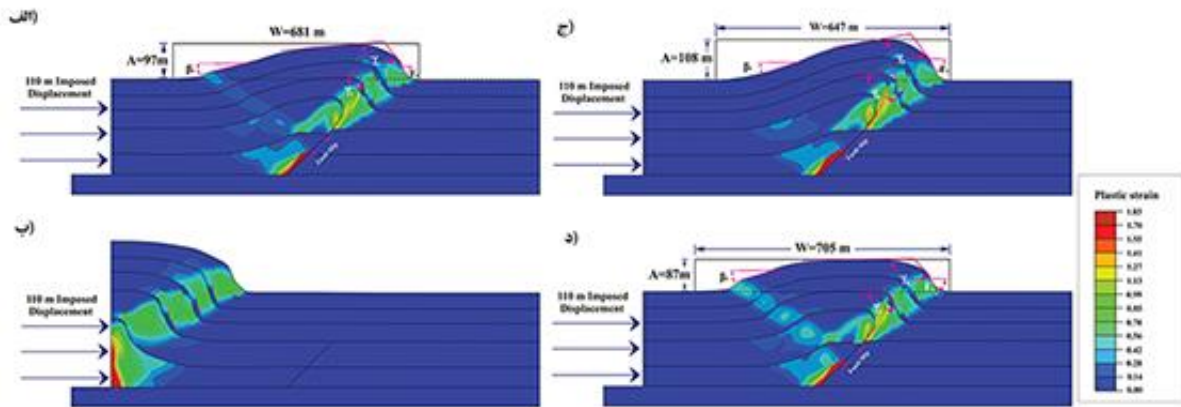
جدول ۴- تاثیر ضریب اصطکاک بر فراسنج های هندسی چین گسترش گسلی (نتایج مدل دو بعدی).

مدل	W	A	$\gamma_۴$	$\gamma_۶$	$\beta_۱$	F <sub>۱</sub>
B <sub>0</sub>	۶۷۱	۱۰۴	۹۲	۱۱۶	۱۷	۶۵
B <sub>۱</sub>	۶۸۱	۹۷	۹۴	۱۲۴	۱۴	۶۵
B <sub>۲</sub>	۶۴۷	۱۰۸	۹۰	۱۱۵	۱۸	۶۶
B <sub>۳</sub>	۷۰۵	۸۷	۱۱۹	۱۳۳	۱۶	۵۸

اختصارات: W(m)؛ نیم- طول موج، A(m)؛ دامنه،  $\gamma$ (°)؛ زاویه بین یالی،  $\beta$ (°)؛ شیب یال پشتی، F(°)؛ شیب یال جلویی.



شکل-۵. هندسه نهایی مدل های سری A.



شکل-۶. هندسه نهایی مدل های سری B. الف) مدل B<sub>1</sub>, ب) مدل B<sub>2</sub>, ج) مدل B<sub>3</sub>, د) مدل B<sub>4</sub>.

### نتیجه گیری:

این پژوهش با ارائه دو سری مدل اجزاء محدود دو بعدی و سه بعدی نقش ضریب اصطکاک در هندسه چین گسترش گسلی را مورد بررسی قرار می دهد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که هنگامی که ضریب اصطکاک گسل افزایش می یابد، نیم-طول موج و زاویه بین یالی افزایش در حالی که شیب یال ها و دامنه چین کاهش می یابد. با کاهش ضریب اصطکاک لایه ها نیم-طول موج و زاویه بین یالی کاهش می یابد در حالی که دامنه و شیب یال ها افزایش می یابد، و با افزایش ضریب اصطکاک لایه ها سبک چین خوردگی تغییر می یابد. به عبارت دیگر برای ایجاد یک چین گسترش گسلی دو شرط لازم است، اول باید ضریب اصطکاک گسل از لایه بندی کمتر باشد، و دوم آنکه ضریب اصطکاک لایه بندی از یک حد آستانه کمتر باشد. بنابراین ضریب اصطکاک یک عامل موثر در سبک چین خوردگی گسترش گسلی است.

### منابع:

- Albertz, M., Sanz, P.F., 2012. Critical state finite element models of contractional fault-related folding: part 2. Mechanical analysis. *Tectonophysics* 576–577, 150–170.
- Allmendinger, R.W., 1998. Inverse and forward numerical modeling of trishear fault propagation folds. *Tectonics*. 17, 640–656.
- Allmendinger, R.W., Shaw, J.H., 2000. Estimation of fault propagation distance from fold shape: implications for earthquake hazard assessment. *Geology*. 28, 1099–1102.
- Berger, P., Johnson, A.M., 1980. First-order analysis of deformation of a thrust sheet moving over a ramp. *Tectonophysics*. 70, 9–24.
- Biju-Duval, B., Le Quellec, P., Mascle, A., Renard, V., Valery, P., 1982. Multibeam bathymetric survey and high resolution seismic investigations on the Barbados Ridge complex (eastern

- Caribbean): a key to the knowledge and interpretation of an accretionary wedge. *Tectonophysics*. 86, 275–304.
- Boyer, S.E., 1986. Styles of folding within thrust sheets: examples from the Appalachian and Rocky Mountains of the USA and Canada. *J. Struct. Geol.* 8, 325–339.
- Cardozo, N., Jackson, C.A.-L., Whipp, P.S., 2011. Determining the uniqueness of best-fit trishear models. *J. Struct. Geol.* 33, 1063–1078.
- Corredor, F., Shaw, J.H., Bilotti, F., 2005. Structural styles in the deep-water fold and thrust belts of the Niger Delta. *AAPG Bull.* 89, 753–780.
- Epard, J.-L., Groshong, R.H., 1995. Kinematic model of detachment folding including limb rotation, fixed hinges and layer-parallel strain. *Tectonophysics* 247, 85–103.
- Erslev, E.A., 1991. Trishear fault-propagation folding. *Geology*. 19, 617–620.
- Ferrill, D.A., Morris, A.P., McGinnis, R.N., 2012. Extensional fault-propagation folding in mechanically layered rocks: the case against the frictional drag mechanism. *Tectonophysics* 576–577, 78–85.
- Ford, M., Williams, E.A., Artoni, A., Vergés, J., Hardy, S., 1997. Progressive evolution of a fault-related fold pair from growth strata geometries, Sant Llorenç de Morunys, SE Pyrenees. *J. Struct. Geol.* 19, 413–441.
- Homza, T.X., Wallace, W.K., 1995. Geometric and kinematic models for detachment folds with fixed and variable detachment depths. *J. Struct. Geol.* 17, 575–588.
- Howard, K.A., John, B.E., 1997. Fault-related folding during extension: plunging basement-cored folds in the Basin and Range. *Geology* 25, 223–226.
- Hughes, A.N., Benesh, N.P., Shaw, J.H., 2014. Factors that control the development of fault-bend versus fault-propagation folds: Insights from mechanical models based on the discrete element method (DEM). *J. Struct. Geol.* 68, 121–141.
- Hughes, A.N., Shaw, J.H., 2015. Insights into the mechanics of fault-propagation folding styles. *GSA Bull.* 127, 1752–1765.
- Lin, M.L., Wang, C.P., Chen, W.S., Yang, C.N., Jeng, F.S., 2007. Inference of trishear faulting processes formed pre-growth and growth strata. *J. Struct. Geol.* 29, 1267–1280.
- McClay, K.R., 1995. The geometries and kinematics of inverted fault systems: a review of analogue model studies. In: Buchanan, J.G., Buchanan, P.G. (Eds.), *Basin Inversion Geol. Soc. Spec. Publ.* 88, pp. 97–118. London. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.088.01.07>.
- Mitra, S., 1990. Fault-propagation folds: geometry, kinematic evolution, and hydrocarbon traps. *AAPG Bull.* 74, 921–945.
- Mitra, S., 1993. Geometry and kinematic evolution of inversion structures. *AAPG Bull.* 77, 1159–1191.
- Morley, C.K., King, R., Hillis, R., Tingay, M., Backe, G., 2011. Deepwater fold and thrust belt classification, tectonics, structure and hydrocarbon prospectivity: a review. *Earth Sci. Rev.* 104, 41–91.
- Okamura, Y., Ishiyama, T., Yanagisawa, Y., 2007. Fault-related folds above the source fault of the 2004 mid-Niigata Prefecture earthquake, in a fold-and-thrust belt caused by basin inversion along the eastern margin of the Japan Sea. *J. Geophys. Res.* 112, B03S08.
- Poblet, J., McClay, K., 1996. Geometry and kinematics of single-layer detachment folds. *AAPG Bull.* 80, 1085–1109.
- Storti, F., Poblet, J., 1997. Growth stratal architectures associated to decollement folds and fault-propagation folds. *Inferences fold Kinematics. Tectonophysics* 282, 353–373.
- Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. *Am. J. Sci.* 283, 684–721.
- Suppe, J., Medwedeff, D.A., 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geol. Helv.* 83, 409–454.
- Yang, X., Peel, F.J., Sanderson, D.J., McNeill, L.C., 2017. Episodic growth of fold thrust belts: Insights from Finite Element Modelling. *J. Struct. Geol.* <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2017.07.012>.
- Yang, Y.R., Hu, J.C., Lin, M.L., 2014. Evolution of coseismic fault-related folds induced by the Chi-Chi earthquake: a case study of the Wufeng site, Central Taiwan by using 2D distinct element modeling. *J. Asian Earth Sci.* 79, 130–143.

## سیستم تراستی پالتوژن در رشته کوه های شرق ایران

<sup>۱\*</sup> شمس الدین دامنی گل، آسان باقری

دانشگاه ولایت، ایرانشهر

دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

Shams.Damanigol@gmail.com

### چکیده:

رشته کوه های شرق ایران، کمربندی با طولی بالغ بر ۹۰۰ کیلومتر و عرض متوسط ۲۰۰ کیلومتر، با راستای شمالی جنوبی، عمدتاً شامل سنگ های سنوزوئیک در بین بلوک های قاره ای قدیمی تر مشتق شده از گندوانا، افغان در شرق و لوت در غرب گسترش یافته است. طبقه بندی جدید واحدهای رشته کوه های شرق ایران شامل واحدهای تکتونو-استراتیگرافی کمتر شناخته شده ای است که در قلمرو جنوبی این زون وجود دارند. این واحدها توسط مجموعه ای از گسل های تراستی که اغلب به موازات همدیگر قرار دارند از هم دیگر تفکیک می شود. در این تحقیق از آن ها با عنوان سیستم تراستی پالتوژن نام برده می شوند. این تراست ها مجموعه ای از ورقه های تراستی را تفکیک می نمایند که قبل از چرخش بلوک لوت در فرورانش رو به شمال نئوتتیس به زیر بلوک لوت و افغان اضافه شده اند و سپس با باز و بسته شدن اقیانوس سیستان در حین چرخش بلوک لوت، گوه های افزاینده و اعضای دیگر که راستای شرقی- غربی داشته اند شروع به خم شدن در بین فضای دو بلوک و تشکیل اروکلین نموده اند. حین این خمش واحدها در کنار همدیگر لغزیده و تراست های مرزی که گوه های افزاینده را از هم جدا می نمودند حرکت به سمت مرکز هسته اروکلین را تجربه نموده اند. کلمات کلیدی: سیستم تراستی، رشته کوه های شرق ایران، اروکلین

## Paleogene Thrust system in the Eastern Iranian Ranges

Shamsoddin Damani Gol; Sasan Bagheri

The Eastern Iranian range is a NS elongated belt with a 900 km length and 200 km width, mainly composed of the Cenozoic rocks extended between Gondwana derived continental blocks of Lut in west and Afghan blocks in east. The revised investigation of the tectonic units in southern domain led to introduction of new tectono-stratigraphic units. The units are distinguished by a series of parallel thrust we call "The Paleogene Thrust System." These series define a series of thrust sheets with north dipping subduction at an east-west strike before Lut block rotation. They start buckling during the opening and closure of the Sistan Ocean and Orocline formation. The traces of the thrust faults illustrate a northward bending which moved towards the inner-side of the Baluch inner.

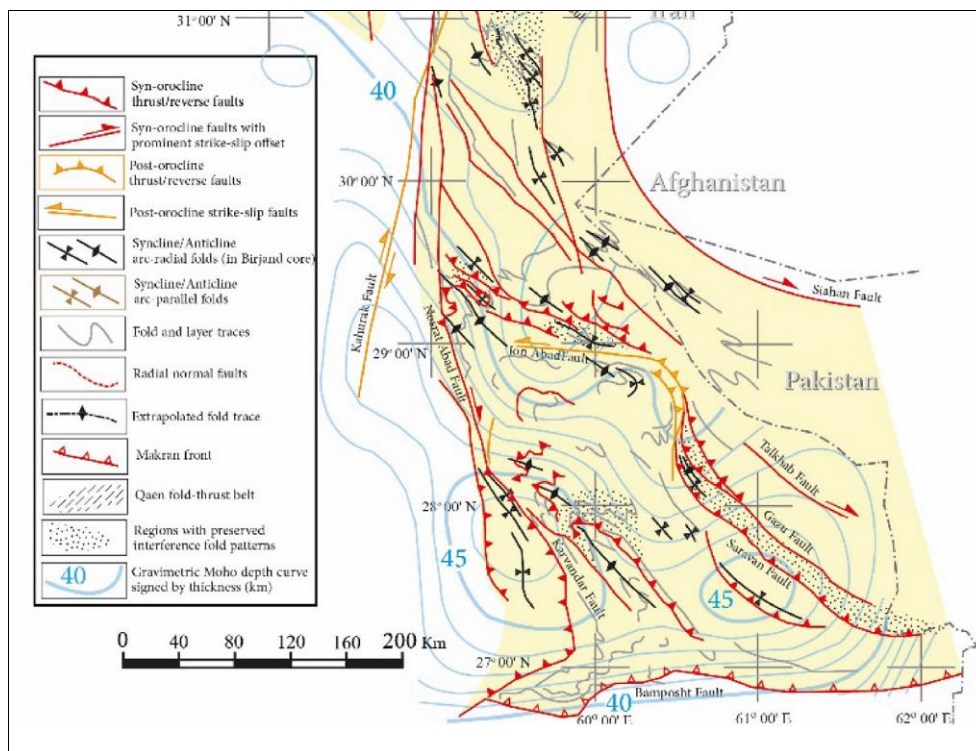
**Keywords:** Thrust system, The Eastern Iranian Ranges, Orocline

### مقدمه:

محدوده ی بین بلوک لوت و بلوک افغان با نام رشته کوه های شرق ایران شناخته می شود که عمدتاً شامل رسوبات توریدایتی با سن پالتوژن می باشد. تکامل این زون ساختاری- چینه ای مستقیماً تحت تاثیر شکل گیری اقیانوس سیستان در بین این دو بلوک، فرورانش و در نهایت بسته شدن این اقیانوس می باشد. رشته کوه

های شرق ایران به شکل یک سیگموئید عظیم "Z" شکل روند کلی NNW-SSE را نشان می دهد. منتهی الیه شمالی آن در بیرجند با خمشی به سمت شمال غرب تا غرب به شکل شاخه شاخه وارد بلوک لوت می گردد. در حالیکه منتهی الیه جنوبی این پهنه در منطقه سراوان چرخشی به سمت شرق داشته و در طول مکران قرار گرفته وارد خاک پاکستان می شود.

بدنه اصلی این زون یا کوهزاد بین پهنه باریک و طویل برشی-گسله امتداد لغز راستبرعظیم نصرت آباد – کارواندر در غرب و گسل هریرود-سیاهان در شرق محدود گشته است (تصویر شماره ۱). بخش قابل ملاحظه ای از دیواره شرقی کوهزاد شرق در زیر نهشته های آبرفتی جوان پوشیده شده است. در جنوب زون، گسل های تراسی از جمله گسل جنوب زابلی مرز این پهنه را از مکران جدا می سازد. رشته کوه های شرق ایران اغلب در بخش میانی خود مطالعه شده و به عنوان یک گوه افزایش ضخیم در نظر گرفته شده که به سه بخش تقسیم شده است (Tirrul et al., 1983)؛ دو کمپلکس افیولیتی نه و رتوک با روند شمال غربی و شیب عمومی به سمت شمال شرق که توسط یک حوضه جلوی کمان سفیدابه پوشیده می شوند. اما تقسیم بندی زیر پهنه های تکتونیکی صورت گرفته بر اساس کارهای تیروول و همکاران (۱۹۸۳) که تا به امروز همچنان به کار می رود تنها برای بخش میانی کوهزاد شرق ایران پیشنهاد شده و بخش گسترده ای از جنوب کوهزاد را پوشش نمی دهد. مطالعات قبلی، کارهای صحرایی گسترده، نقشه های زمین شناسی، آنالیز ژئوشیمی و تعیین سن سبب معرفی واحدهای تکتونو-استراتیگرافی کمتر مطالعه شده ای است که در قلمرو جنوبی وجود دارند (باقری و دامنی گل ۲۰۲۰). این واحدها توسط مجموعه ای از گسل های تراسی که اغلب به موازات همدیگر قرار دارند از هم دیگر تفکیک می شود که در این تحقیق از آن ها با عنوان سیستم تراسی شرق (The Eastern Iranian Thrust System) نام برده می شود (شکل ۱). در این پژوهش سعی می گردد به مهم ترین تراس های این سیستم تراسی و واحدهایی که از هم تفکیک می نمایند پرداخته شود و در نهایت در چهارچوب تکامل تکتونیک منطقه شرح داده شوند.



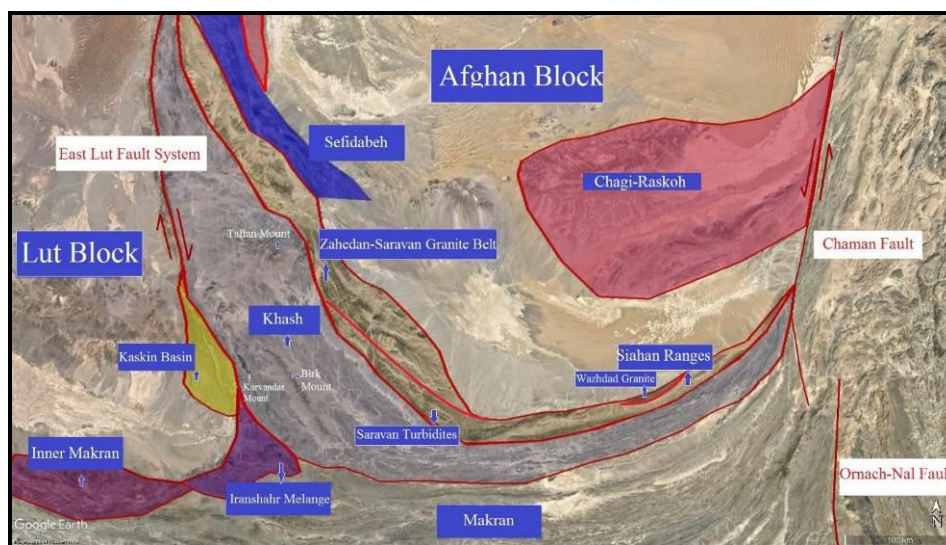
شکل ۱. نقشه ساختاری قلمرو جنوبی کوهزاد شرق ایران و برخی از تراس های اصلی سیستم تراسی شرق.

### روش مطالعه:

شناسایی تراسه های اصلی شرق ایران ابتدا نیازمند شناخت درست واحدهای ساختاری - چینه ای جنوب و شرق محدوده ی رشته کوه های شرق ایران می باشد. با توجه به ماهیت و سن واحدها و بررسی دقیق ساختاری مرز این واحدها به خوبی می توان ارتباط این واحدها و ماهیت مرزهای ان ها را شناسایی کرد. قرارگیری واحدهایی با محیط های تشکیل تکتونیکی دور از هم در طبیعت می تواند نشانگر خوبی از وجود مرزهای گسلی باشد. مناطق مظنون در جنوب رشته کوه های شرق همچون بیرک می توانند مثال خوبی از این مورد باشند. وجود واحدهای کربناته ضخیم لایه پلنفرمی بیرک به سن کرتاسه زیرین و قدیمی تر ( موسوی و همکاران، 2006 ) در میان رسوبات فلیش نواحی عمیق اقیانوسی به سن پالئوژن، در محلی دور از حاشیه های این زون (تشکیل حوضه اقیانوسی سیستان به کرتاسه فوقانی -سنوزویک نسبت داده شده است) و قرار گرفتن بر روی افیولیت ملانژهای جوان تر گویای مرز گسلی بین این زون و واحدهای اطراف می باشد.

### بحث:

قلمرو جنوبی رشته کوه های شرق ایران در واقع کلیه سرزمینهای جنوب گسل کهورک از بلوک افغان تا لوت را در شمال زون مکران در بر می گیرد. واحدهای اصلی و گسل های جدا کننده ان ها از شرق تا غرب زون در ادامه بررسی و بحث می شوند (شکل ۲).



شکل ۲. واحدهای اصلی زون رشته کوه های شرق ایران و واحدهای اطراف

رشته کوه های شرق ایران از شرق به بلوک افغان محدوده می شود. بلوک افغان شامل واحدهای سازندهای مثل وارس پنجاو و حوضه فرح هستند که با روندی تقریباً شرقی غربی در مرکز افغانستان گسترش یافته اند. این پهنه های کم شناخته شده بقایای یک حوضه اقیانوسی محدود درون قاره ای مزوزویک است که در اواخر ژوراسیک-نئوکومین بسته شده است.

**گسل هریرود:** مرز بلوک افغان و زیرزون حوضه سفیدابه که شرقی ترین عضو از رشته کوه های شرق ایران می باشد را تعیین می کنند. نکته ای که بایست در این جا در نظر گرفت این است که شاهد مستقیمی از رخنمون حتی بخش های کوچکی از گسل هریرود در دست نیست. نهشته های جوان نئوژن و کواترنری اغلب سرتاسر مسیر این گسل را پوشانده اند و تنها وجود

چنین ساختاری استنباط می‌گردد، چرا که ساختارهای تقریباً شرقی غربی در غرب افغانستان به طور ناگهانی به روندهای شمالی جنوبی در شرق ایران تبدیل می‌شوند. ساختارهای دوپلکس راستالغز راستبر غرب هرات افغانستان در منطقه تابید ایران به یکدیگر پیوند می‌خورند. به سمت جنوب و در شمال دریاچه سیستان می‌توان همچنان مسیر گسل هریرود را ردیابی کرد. اما از آن به بعد رد گسل به طور کلی در زیر نهشته‌های جوان دشت سیستان محو می‌گردد. به نظر می‌رسد که مسیر جنوبی گسل هریرود پس از گذر از غرب حوضه ماشکیل به گسل سیاهان و پس از عبور از گودال دالبندین در کمان چاقی-راستکوه در ادامه به گسل چمن متصل می‌گردد. این گسل اگر چه در نواحی مرزی بین شرق ایران و بلوک افغان راستا لغز فرض می‌گردد اما بخش‌های جنوبی آن در دالبندین به خوبی مولفه‌های تراستی نشان می‌دهد.

**حوضه سفیدابه:** نهشته‌های دریایی عمیق تا کم عمق سفیدابه سن سنونین تا ائوسن دارد (تیروول و همکاران، ۱۹۸۳). یک توالی چند صد متری از نهشته‌هایی که در یک حوضه جلوی کمان بنا نهاده شده‌اند. بخش زیرین توالی سفیدابه مرز گسله با سنگهای بستر خود داشته و با یک ضخامت زیاد از رسوبات توربیدیتی با سن اواخر کرتاسه بر روی کمر بند گرانیتی زاهدان قرار می‌گیرد. مرز این دو واحد تراست تلخاب است.

**گسل تلخاب:** دارای روند تقریبی شمال غربی جنوب شرقی می‌باشد و جهت شیب گسل به سمت شمال شرق می‌باشد. این تراست همراه با برگه‌های افیولیت تلخاب به سن ائوسن دیده می‌شود.

**کمر بند گرانیتی زاهدان:** یک کمر بند طویل در حدود ۴۰۰ کیلومتر با روند نسبتاً شمال غرب به موازات حاشیه بلوک افغان، رشته کوه‌های شرق را به طور مورب طی کرده است. این کمر بند شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های عمدتاً گرانیتوئیدی در یک میزبان دگرگونه مجاورتی هورنفلس-اسلیتی تا مجموعه‌های دگرگونی حرکتی ظاهر شده‌اند. در پاره‌ای نقاط آنجا که ریشه گرانیتها رخنمون دارند، سنگهای دگرگونی در حد رخساره آمفیبولیت نیز مشاهده می‌گردند.

محدود شدن سنگ‌های گرانیتی کمر بند زاهدان آنهم ساندویچ شده بین دو نوار نازک و طویل افیولیتی با تراست تلخاب در موقعیتی دقیقاً در زیر حوضه جلوی کمان سفیدابه و گسل تراستی گزو در بالای توربیدایت‌های سراوان به شکل یک برگه تراستی پوسته نازک می‌نماید.

**تراست گزو یا بادامو:** گسل اصلی جدا کننده ی کمر بند گرانیتی زاهدان و توربیدایت‌های سراوان می‌باشد. مشاهدات صحرائی شواهد دگرگونی در یک سمت و رخنمون‌های فلیش بدون کمترین دگرگونی در طرف دیگر گسل را بخوبی نشان می‌دهد. این تراست سنگ‌های دارای واتنش بالا و دارای دگرشکلی خمیری را در طول چهارصد کیلومتر از شمال مکران تا نهبندان بر روی سنگ‌های غیر دگرگونی توربیدایت قرار می‌دهد (شکل ۳).





شکل ۳. تراسه گزو ( بادامو)، مرز بین گرانیت زاهدان و رسوبات توریدایتی سراوان

### رسوبات توریدایتی سراوان:

حجم قابل ملاحظه‌ای از سنگهای سیلیسی-کلاستیکی با رخساره های توریدایتی تا فلیشی ائوسن و قدیمی تر و اولیستوسترومی شامل بلوک های عظیم ماسه سنگی به شکل گوه‌های افزایشی جوان تر و اغلب بدون دگرگونی بخش جنوبی محدوده کوهزاد شرق را اشغال می کنند. در حالی که بخش های شمالی این واحد حاوی اجزای سازنده افیولیتی بیشتری بوده و اغلب بیشتر دگرشکل شده و حتی دگرگون شده اند. در مقابل بخش های جنوبی تر آنها محفوظ تر مانده و غیر دگرگونی هستند. محصولات آتشفشانی کواترنری تفتان متعلق به کمان ولکانیکی مکران بر روی این مجموعه چین خورده ملانژی بنا نهاده شده است.

**تراسه سراوان:** توریدایت ها و ملانژهای افیولیتی سراوان به نظر تداوم جنوبی کمپلکس گوه افزایشی نه می باشد. تراسه سراوان با طول چند صد کیلومتری در جنوب غرب گوه های افزایشی گشت-سراوان مرز اصلی جدا کننده این کوه های مرتفع از رسوبات جوانتر و سرزمین خاش می باشد و به صورت شاخص در تصاویر ماهواره ای خودنمایی می کند. از دید ساختاری در سمت شرق این تراسه، واحدها سیلیسی کلاستیک دارای رخنمون های بسیار زیاد و پیوسته ای از الگوهای تداخلی چین خورده می باشند اما در طرف دیگر گسل این الگوهای چین خوردگی مجدد در رسوبات سیلیسی کلاستیک دیده نمی شوند یا در صورت وجود بسیار نادر هستند.

**سرزمین خاش:** در جنوب بخش محوری کوهزاد شرق گستره ای عظیمی از سنگهای سیلیسی-کلاستیکی در قالب چینهای عظیم بسته تا موازی با سطح محوری شمال غرب عمدتاً با میل به سمت شمال غرب اشغال شده است. مهمترین واحدهای سنگی سازنده این سرزمین عبارت است از سیلیسی-کلاستیک‌های ائوسن و قدیمی تر که اغلب به شکل توریدایت، اولیستوستروم و ملانژهای تکتونیک ظاهر شده اند و اغلب ماتریکس واحدهای تکتونیک قدیمی تر را شکل داده اند. بخش دیگر شامل اجزای سازنده افیولیتی است که عمدتاً در کنار گسلهای اصلی ظاهر شده اند. بخش مهم دیگر کربنات های لایه بندی دار تا توده ای است که گاهی رکیستالیزه شده اند و سن عموماً کرتاسه تا ائوسن نشان میدهند. مجموعه واحدهای نامبرده شده در اینجا به نام سرزمین خاش تعریف شده اند. این مجموعه رخساره فلیش همزمان با بسته شدن حوضه اقیانوسی سیستان را نمایش می‌گذارد. گدازه ها و نهشته های ولکانیکی کواترنری تفتان از یک سو، همراه با سنگ های آتشفشانی مافیک تا حد واسط با بیرون ریزی تیپ شکافی، اغلب بشکل بلوکهایی در محل گسل‌ها از سوی دیگر، رخنمون دارند

(Sahandi et al., 1996). زیر واحدهای کربنات های بیرک- گوهر کوه و آتش فشانی های کارواندر نیز جزئی از سرزمین خاش می باشند.

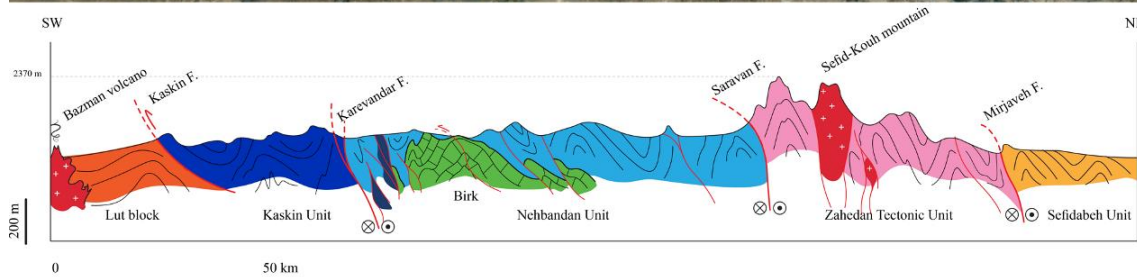
**کوه بیرک:** کوه بیرک بخشی از سرزمین خاش می باشد که شامل کربنات های مزوزوییک- ائوسن بوده و از آن به عنوان یک منطقه مظنون نام برده می شود. این رخنمون عظیم کربناته دارای حجم زیادی از آهک های تیپ پلتفرمی می باشد ( موسوی و همکاران، ۲۰۰۶ ) که ارتفاعات بسیار بلندی را ایجاد می نمایند. در حقیقت کوه بیرک یک چین عظیم برگشته با ورجنس به سمت غرب می باشد و قرار گیری واحدهای آن بر روی ملانژهای افیولیتی کرتاسه فوقانی- پالتوسن نشان از نابرجا بودن آن دارد.

**تراست های جداکننده کربنات بیرک:** این واحد گسترده کربناته توسط تراست های شمال غرب - جنوب شرق از رسوبات عمیق اطراف خود جدا می گردد، تراست بهدی- پالیزان مرز شرقی آن با رسوبات رخساره فلیش سرزمین خاش و تراست های پهنه بیرک مرز غربی آن را با این رسوبات ضخیم عمیق اقیانوسی می سازند.

**آتش فشانی های کارواندر:** در دیواره غربی سرزمین خاش پهنه برشی منطبق بر سیستم گسله شرق ایران وجود دارد که در بردارنده بلوک های عدسی شکل کشیده ای از سنگ های خروجی است. توده های آتشفشانی بازالتی- آندزیتی نسبتاً قلیایی کارواندر (دشت کوه) به شکل عدسی های طویل با مساحتی بالغ بر ۶۶ کیلو متر مربع دارای روندی شمال- شمال غربی (Sahandi et al., 1996) و به گسلهای مورب لغز محدود گشته است و همچون یک هورس تکتونیکی مجزا و دور از منشاء به شکل یک دوپلکس راستالغز بیگانه به این مکان جابجا شده باشد. بخش زیادی از توربیدایت های ائوسن و فیلپش هایی با ساختارهای ملانژهای رسوبی و تکتونیکی ولکانیک های کارواندر را همراهی می کنند.

**بلوک لوت:** رشته کوه های شرق ایران در غرب با بلوک لوت: محدود می شود بلوک لوت در بخش جنوبی به جز چند منطقه محدود با نهشته های جوان سنوزوییک پیشین پوشیده شده است. در منطقه بزمان بقایایی از پلاتفورم رسوبی پالتوزوییک و مزوزوییک آغازین شاخص بلوک سیمیرین پوشانیده شده است. این توالی در ادامه توسط یک باتولیت عظیم تیپ کمانی با سن کرتاسه فوقانی (قدسی و همکاران، ۲۰۱۶) قطع شده و یک هاله مجاورتی مشخصی را بر جای گذاشته است. این نفوذی بخشی از کمربند ولکانو-پلوتونیک مزوزوییک شرق لوت است که تا شاه کوه در شمال ادامه یافته است. بقایایی از پلاتفرم کربناته کرتاسه زیرین و فوقانی در سرتاسر لبه غربی لوت محفوظ مانده و حکایت از رسوب گذاری دریایی بر روی لبه لوت دارد. **سیستم گسله شرق لوت** شامل گسل های نه غربی در شمال زون و نصرت آباد- کارواندر در بخش جنوبی، مجموعه ای از گسل های با مولفه ی عمدتاً راستالغز راستبری هستند که مرز بلوک لوت و رشته کوه های شرق ایران را مشخص می کنند. این سیستم گسلهای مرزی در راستای خود ساختارهای متعدد مربوط به گسل های امتداد لغز همچون دوپلکس کورین را به وجود آورده است (باقری و دامنی گل، ۲۰۲۰). البته شایان ذکر است حوضه های جوان پول اپارتی همچون حوضه کاسکین در مرز رشته کوه های شرق ایران و بلوک لوت وجود دارند که توسط مجموعه ای از تراست های جوان تر محدود شده اند.

تراست های قلمرو جنوبی رشته کوه های شرق ایران در کنار ساختارهای چین خوردگی مهم ترین ساختارهای دگرشکلی منطقه را تشکیل می دهند. ارتباط بین این واحدها را در یک مقطع عرضی می توانید مشاهده نمایید (شکل ۴).



شکل ۴. ارتباط بین واحدهای اصلی قلمرو جنوبی رشته کوه های شرق ایران

ساختارهای تراستی در چهارچوب اروکلاین شرق ایران:

در آخرین مدل ارائه شده برای تکامل زمین شناسی رشته کوه های شرق ایران از آن به عنوان اروکلاین شرق ایران نام برده شده است. اروکلاین ها رشته کوه های خمیده ای هستند که به اشکال نعل اسبی یا ارنجی شکل در نقشه های زمین شناسی بزرگ مقیاس معرفی شده اند (Carey, 1955). قلمرو جنوبی این اروکلاین بعنوان قوس داخلی بلوچ شناخته می شود که با حرکت از بیرجند به سمت جنوب و در راستای محور کوهزاد شرق، پس از عبور از کمربند گرانیتوئیدی زاهدان پهنای کوهزاد شروع به افزایش کرده و در منتهی الیه جنوبی به پهنای دو برابر می رسد. در این مسیر از ساختارهای متعددی با تحدب به شمال عبور میکنیم. قوس شورو که از ملانژهای افیولیتی و فلیش ها ساخته شده، در حالی که قوس های گوهرکوه، هشیایی و زاریچک در سمت جنوب از کربنات ها و مارن های آهکی ترکیب شده اند. این قوس های پیاپی همپوشان به نظر ساختار لایه های لولای یک اروکلاین را تداعی می نماید (تصویر ۵ a) از طرفی کمربند گرانیتی زاهدان به عنوان بخشی از یال شرقی قوس داخلی بلوچ گسترش یافته است و بنظر قوس داخلی بلوچ را از قوس خارجی بیرجند جدا می سازد.

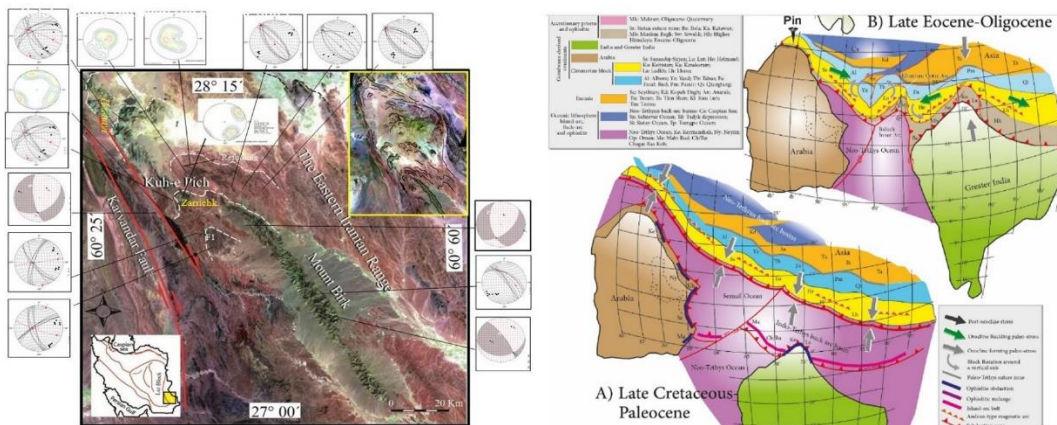
هینترلند (Hinterland): بلوک لوت و افغان

تکامل تکتونیک بلوک افغان نزدیکی زیادی با تاریخچه ی زمین شناسی بلوک لوت و دیگر سازنده های بلوک سیمیرین دارد و بجز در حوضه های پشت کمان محدود و افیولیت و آراس پنجاو، حوادث تکتونوچینه ای مشابه ای را در طول زمان تجربه کرده اند. یک سنگ پی گندوانا که به وسیله ی گرانیت های کامبرین مورد نفوذ گشته، یک سکانش نسبتا کامل از رسوبات پلتفرمی پالئوزوییک-موزووییک زیرین، یک نفوذ گرانیت های تیپ آند به سن ژوراسیک و کرتاسه، ماگمای نوع کمان کالک الکالین-برخوردی به سن انوسن و الیگوسن و در نهایت محدود شدن بین دو زون جوش خورده پالئوتتیس و نئوتتیس در شمال جنوب خود را می توان مهم ترین شباهت این دو دانست (Boulin, 1991; Montemat, 2009; Siehl, 2015; Ghodsi et al., 2016; Debon et al., 1987; Esmaily et al., 2005). اما یک جدایش مهم بین بلوک افغان و واحدهای بلوک سیمیرین ایران را زمان کرتاسه در جایی در لبه شرقی رشته کوه های شرق ایران اتفاق افتاده است و گسل هریرود به طور

شارپ بلوک افغان و همه ی زیر واحدهای غربی آن را می برد. این جدایش به چرخش خلاف جهت عقربه های ساعت بلوک لوت نسبت داده می شود (Bagheri and Stampfli, 2008)

**فورلند (Foreland):** اعضای سازنده رشته کوه های شرق ایران شامل، حوضه جلوی کمان سفیدابه، کمر بند گرانت زاهدان، توربیدایت های سراوان، رسوبات سیلیسی کلاستیک و افیولیت های سرزمین خاش و مناطق مظنون بیرک و کارواندر.

بازسازی گذشته: چین خوردگی عظیمی را با راستای سطوح محوری شمال-شمال غربی در بین بلوک های لوت و افغان گسترده شده است که به بسته شدن حوضه اقیانوسی سیستان در یک فضای گوه ای شکل نسبت داده شده است. با شناسایی اروکلین شرق ایران و ساختار نعل اسبی آن و بازگردانیدن ساختارها به قبل از حادثه چین خوردگی سبب میگردد تا پهنه جوش خورده سیستان کاملا باز گردد و واحدها در راستای تقریبی شرقی-غربی توسعه پیدا کند. در گذشته و قبل از چرخش بلوک لوت، این بلوک به افغان چسپیده بوده و اقیانوس نئوتتیس در جنوب بلوک سیمیرین شامل این دو بلوک فرورانش رو به شمال انجام می داده است. در این حالت اعضای فورلند توسط تراست هایی از همدیگر تفکیک شده اند. سپس با باز شدن اقیانوس سیستان در حین چرخش بلوک لوت، گوه های افزایشنده و اعضای دیگر که راستای شرقی- غربی داشته اند شروع به خم شدن در بین فضای دو بلوک نموده و تشکیل اروکلین نموده اند. حین این خمش واحدها در کنار همدیگر لغزیده و تراست های مرزی که گوه های افزایشنده را از هم جدا می نمودند حرکت به سمت مرکز هسته اروکلین را تجربه نموده اند (شکل ۵).



شکل ۵. ارک داخلی بلوچ، جزئی از خمش های اروکلین شرق ایران و مدل تکتونیکی فرورانش رو به شمال اقیانوس نئوتتیس و خم شدن واحدها و تراست های مرزی بین این واحدها

### نتیجه گیری:

همچنین حرکت عمومی تراستها به سمت مرکز قوس داخلی بلوچ در دو سوی محور اروکلین را میتوان دید، هر چند حرکت از شمال شرق به سمت جنوب غرب عمومی تر است.

### منابع:

- Bagheri, S. and Gol, S.D., 2020. The eastern Iranian orocline. *Earth-Science Reviews*, p.103322.
- Bagheri, S., Stampfli, G.M., 2008. The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in Central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications. *Tectonophysics* 451, 123 – 155. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.047>.
- Boulin, J., 1991. Structures in Southwest Asia and evolution of the eastern Tethys. *Tectonophysics* 196, 211 – 268. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90325-M](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90325-M).
- Carey, S., 1955. The orocline concept in geotectonics- part I. *Pap. Proc. R. Soc. Tasmania* 89, 255 – 288.

- Debon, F., Afzali, H., Le Fort, P., Sonet, J., 1987. Major intrusive stages in Afghanistan: Typology, age and geodynamic setting. *Geol. Rundsch.* 76, 245 - 264. <https://doi.org/10.1007/BF01820586>.
- Esmaily, D., Nedelec, A., Valizadeh, M.V., Moore, F., Cotten, J., 2005. Petrology of the Jurassic Shah-Kuh granite (eastern Iran), with reference to tin mineralization. *J. Asian Earth Sci.* 25, 961 - 980. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.09.003>.
- Ghods, M.R., Boomeri, M., Bagheri, S., Ishiyama, Corfu, F., 2016. Geochemistry, zircon U-Pb age, and tectonic constraints on the Bazman granitoid complex, Southeast Iran. *TURKISH J. EARTH Sci.* 25, 311 - 340. <https://doi.org/10.3906/yer-1509-3>.
- Montenat, C., 2009. The Mesozoic of Afghanistan. *GeoArabia* 14, 147 - 210.
- Mousavi, E., 2006. Geological Quadrangle map of Birk 1. Tehran, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, scale 1, 100,000.
- Sahandi, M.R., Nogol-e Sadat, A.A., Ghorashi, M., Vaezi-Pour, J., Huber, H., Arshadi, S., Mahdavi, M., 1996. Geological Quadrangle map of Iranshahr. Tehran, Geological Survey of Iran scale 1:250,000.
- Siehl, A., 2015. Structural setting and evolution of the Afghan orogenic segment - a review. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 427, 57 - 88. <https://doi.org/10.1144/SP427.8>.
- Stampfli, G.M., 2000. Tethyan oceans. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 173, 1 - 23. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.173.01.01>.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geol. Soc. Am. Bull.* 94, 134.

## زمین شناسی کوه بیرک و رخدادهای دگرشکلی منطقه، جنوب شرق ایران

<sup>۱\*</sup> شمس الدین دامنی گل، آسان باقری

<sup>۱</sup> دانشگاه ولایت، ایرانشهر

<sup>۲</sup> دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

Shams.Damanigol@gmail.com

### چکیده:

کوه بیرک به شکل یک کمربند طویل یکصد کیلومتری عمدتاً متشکل از سنگ‌های کربناته مزوزوییک همچون جزیره‌ای! توسط پهنه وسیعی از سنگ‌های سیلیسی- کلاستیک ائوسن موسوم به فلیش شرق ایران، سنگ‌های آمیزه افیولیتی کرتاسه فوقانی و مجموعه رسوبی عمیق همراه با آن به سن عمدتاً پالئوژن احاطه گشته است. فرضیات گوناگونی در مورد منشأ کوه بیرک وجود دارد. ما اعتقاد داریم یک منطقه مظنون می باشد. مطالعات ساختاری نشان می‌دهند که منطقه بیرک چندین حادثه دگرشکلی را تجربه نموده اند. ساختار بیرک به شکل یک ساختمان خمیده عظیم می باشد و در حقیقت اسکلت اصلی ساختار آرک داخلی بلوچ را تشکیل می‌دهد. ساختاری شبیه به نعل اسب که بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی قابل شناسایی هستند و ده‌ها و بلکه صدها کیلومتر طول و عرض دارد در اواخر ائوسن- الیگوسن بنا نهاده شده‌است. دگرشکلی‌های جوان‌تر مربوط به رخدادهای آلپ انتهایی، این ساختار را متأثر ساخته‌اند. چینه‌شناسی، ناپیوستگی‌ها و ارتباط جانبی ساختاری بین کربنات‌های بیرک و مناطق اطراف آن پیشنهاد می‌کند که بیرک در میان پهنه‌های محدودکننده‌اش بیشترین شباهت را به حاشیه شرقی بلوک لوت خصوصاً منطقه نهبندان و بخش شمالی زون جوش خورده سیستان دارد. در این پژوهش مدل‌های تکتونیکی ترسیم گردیده که مکانیزم احتمالی جدایش بیرک و انتقال آن به بخش جنوبی بلوچستان متصور شده‌است.

کلیدواژه: کوه بیرک، منطقه مظنون، رخدادهای دگرشکلی

## The Geology of Birk Mount and its deformation History, SE Iran

Shamsoddin Damani Gol; Sasan Bagheri

### Abstract

The Birk mount is a 100 km belt mainly consists of Mesozoic Carbonate rocks. It is located among a large volume of Silisic-clastic rocks known as Eastern Iranian Flysch, accompanied by upper Cretaceous ophiolite melange and Paleogene deep sedimentary rocks. There are different ideas about its origin. We believe it is a suspect terrane. Detailed structural studies Shows multiple deformation event. The Birk mount is a curved structure and forms the main skeleton of Baluch inner arc. A horseshoe like structure in the maps with age of late Eocene early Oligocene. Younger Alpien deformation affects this curved structure. Stratigraphy, Unconformities and structural similarities to adjust areas suggest meaningful similarities between birk and Lut block margins especially in Nehbandan area and northern parts. We have drawn a tectonic model suggesting the probable mechanism of birk separation and its transition to the southern part of Baluchistan.

**Keywords:** The birk mount, Suspect terrane, Deformation events

#### مقدمه:

یکی از مباحث جذاب و پیچیده در تکتونیک امروز و عنوانی نسبتاً جدید در زمین شناسی ایران بحث سرزمین‌های مظنون یا Suspect terranes می‌باشد. سرزمین‌های مظنون بخشی از پوسته با ویژگی‌های تکتونواستراتیگرافیکی مشخص و متفاوت از سرزمین‌های همجوار خود می‌باشند که از اطراف توسط گسل جدا می‌شوند (Howell, 1989). یکی از سرزمین‌هایی که ممکن است دارای چنین ویژگی‌هایی باشد کوه بیرک در بلوچستان (شرق ایران‌شهر)، جنوب شرق ایران می‌باشد. این رخنمون عظیم ۱۰۰ کیلومتری با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی از جنوب شرق خاش تا زابلی کشیده شده‌است. ارتباط و پیوستگی ساختاری-چینه‌ای این رشته کوه از مناطق اطرافش به دلیل پوشش رسوبات جوان به غیر از بخش شمالی به طور کامل نامشخص است. کوه بیرک به طور عمده شامل یک توالی رسوبی ضخیم تریاس و کرتاسه فوقانی است که ویژگی‌های پلاتفرمی داشته و در میان نهشته‌های تخریبی عمیق تا نسبتاً عمیق با رخساره توربیدایت‌های سیلیسی کلاستیک موسوم به فلیش شرق در بر گرفته شده‌است (نقشه‌های بیرک ۱ (موسوی و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعه‌ی ویژگی‌های این منطقه و مقایسه آن با سرزمین‌های مجاور اطلاعات مفیدی را در ارتباط با تحولات تکتونیک کلی منطقه جنوب شرق ایران در اختیار ما می‌گذارد.

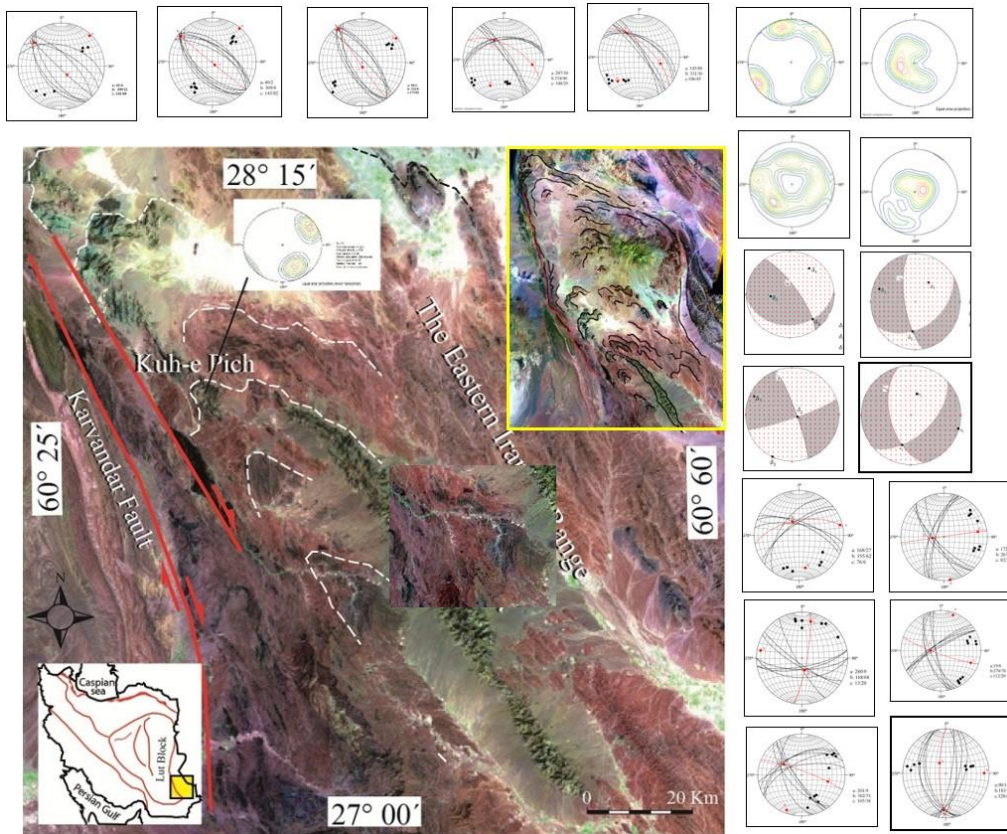
#### روش تحقیق:

شناسایی و طبقه‌بندی ساختارهای دگرشکلی در شمال کوه بیرک، تفکیک رخساره‌های دگرشکلی و تقدم و تاخر آن‌ها و ارتباط آن‌ها با وقایع تکتونیک ناحیه‌ای منطقه همراه با داده‌های جدید بدست آمده از سن تشکیل ملانژ و تحولات آن و در نهایت انطباق واحدها با واحدهای مشابه در منطقه می‌تواند منجر به شناسایی وقایع تکتونیک منطقه و نهایتاً کمک به تعیین خاستگاه تکتونیک کوه بیرک شود.

#### زمین شناسی و ساختار کوه بیرک

کوه بیرک در ۶۵ کیلومتری جنوب غرب خاش (بلوچستان)، جنوب شرق ایران واقع شده است. این رخنمون عظیم ۱۰۰ کیلومتری با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی از جنوب شرق خاش تا زابلی کشیده شده‌است و به طور عمده شامل یک توالی رسوبی ضخیم تریاس و کرتاسه فوقانی است که ویژگی‌های پلاتفرمی داشته و در میان نهشته‌های تخریبی عمیق تا نسبتاً عمیق با رخساره توربیدایت‌های سیلیسی کلاستیک موسوم به فلیش شرق در بر گرفته شده‌است. (موسوی و همکاران، ۲۰۰۶) این کوه عظیم یک ساختار چین خورده برگشته به سمت جنوب غرب می‌باشد. مطالعات ساختاری ما شامل کارهای صحرایی و بررسی‌های تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد تداوم شمال غربی کوه بیرک با یک ناپیوستگی در کوه‌های "زاریچک" و "پیچ" واقع در شمال غربی رشته کوه بیرک رخنمون می‌یابد (تصویر ۱). بررسی توالی چینه شناسی در زاریچک نشان می‌دهد که توالی چینه شناسی آن کاملاً مشابه با توالی مشاهده شده در کوه بیرک است. این شواهد ما را به سمتی سوق می‌دهند که زاریچک را ادامه شمال غربی کوه بیرک بدانیم. کوه زاریچک به شکل یک ساختار بزرگ چین خورده است که دارای سطح محوری  $N68^{\circ}W/82^{\circ}NE$  و پلانژ ۵۱ درجه به سمت NW است. از آن چه گفته شد نتیجه می‌گیریم توالی‌های رسوبی کوه بیرک در محل کوه زاریچک به سمت جنوب غرب تغییر مسیر داده و در حقیقت کوه زاریچک لولای چین خوردگی کوه بیرک به حساب می‌آید. مجموعه روند شمال غربی کوه بیرک و لولای پلانژدار آن در کوه زاریچک و تغییر مسیر مجدد آن به سمت جنوب، با توجه به ساختارهای مشابه سنگ‌های فلیشی در اطراف نشان می‌دهد این ساختار عظیم شبیه به یک چین بسته تا موازی است که یال جنوب غربی آن بدلیل تماس با سیستم گسله کارواندر حذف گردیده است. در جنوب شرق زاریچک در قدیمیترین واحدهای فلیشی منطقه به چین خوردگی  $F_1$  با ویژگی‌های سطح محوری مشابه چین خوردگی زاریچک به عنوان لولای چین خوردگی کوه بیرک برخورد می‌کنیم. می‌توان استنباط نمود  $F_1$  بخش درونی و هسته ساختار چین خورده بیرک

می‌باشد. در نگاهی به سمت شمال تا شمال شرق کوه بیرک مشاهده می‌گردد که فلیش‌های ائوسن از روند چین خوردگی بیرک تبعیت می‌کنند و می‌توانند چین‌های فرعی درون ساختمان ابرتاقدیس‌گون بلوچستان باشند. واحدهای ساختاری دیگری در شمال منطقه از همان الگوی ساختاری ذکر شده پیروی می‌کنند از آن جمله می‌توان به کوه هشایی در غرب خاش اشاره نمود. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث تداوم این ساختار چین‌خوردگی را تا جنوب غربی زاهدان نشان می‌دهد. با توجه به آن چه گفته شد ما در اینجا یک ابر ساختار چین خورده تاقدیس‌گون را معرفی می‌نمائیم که در این پژوهش از آن به عنوان ابرتاقدیس‌گون بلوچستان نام برده می‌شود و از جنوب زاریچک یعنی ساختار چین خورده  $F_1$  به عنوان درونی‌ترین بخش تاقدیس در این ابر چین خوردگی آغاز شده و به سمت شمال تا غرب زاهدان، ادامه می‌یابد.



شکل ۱. ابر ساختار چین خورده تاقدیس‌گون، شامل ساختار چین خورده

### تفکیک رخدادهای دگرشکلی در منطقه مورد مطالعه

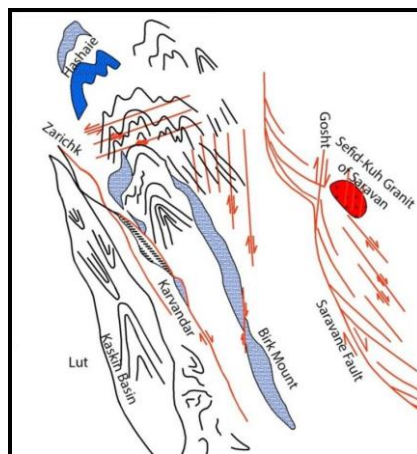
تنوع ساختارهای دگرشکلی در منطقه شمال کوه بیرک و تداخل آنها با یکدیگر حضور چندین رخداد دگرشکلی را تقویت می‌کند. از آنجایی که ساختار چین برگشته بیرک خود در یکی از یال‌های چین بزرگ‌تر ابرتاقدیس‌گون کوه بیرک واقع شده‌است بنابراین یک ساختار قدیمی محسوب می‌شود. ساختارهایی با چین خوردگی مجدد گنبد و حوضه (شکل ۱) حاصل همپوشانی دو رخداد دگرشکلی است. بخش قدیمی این دگرشکلی در نواحی شمال رخنمون کوه بیرک گسترش دارد و برای آن یک روند شمال شرقی- جنوب غربی ذکر گردید. این رخداد دگرشکلی بر جای مانده احتمالاً مربوط به این رخداد دگرشکلی است. تورق-های سطح محوری این چین‌ها اغلب توسط تورق شمال غربی بریده می‌شوند. احتمالاً بسیاری از ساختارهای دگرشکلی همزمان با رسوبگذاری مثل جریان‌های شامل قطعات سنگی شامل ماسه سنگ‌های کربناته و یا بلوک‌های آتشفشانی در یک خمیره شیلی یا رس‌های سیلیسی از پدیده‌های قدیمی رخ داده در این منطقه می‌باشد.



دومین رخداد دگرشکلی مهم در واقع یکی از مهم‌ترین ساختارهای منطقه بوده و در حقیقت تشکیل ابرساختار تاقدیس‌گون بیرک را کنترل کرده است. چین‌های عظیم با سطح محوری شمال‌غربی و میل با راستای همسو و تورق نافذ با ماهیت رخ اسلیتی در همین راستا که احتمالاً در طی توسعه چین‌خوردگی به عنوان تورق سطح محوری گسترش یافته از عوارض این فاز دگرشکلی است. تشکیل ملانژهای تکتونیکی با زمینه سرپانتینی و حاوی بلوک‌هایی از آهک‌های فسیل‌دار ائوسن زیرین احتمالاً در هنگام دوره زمانی ائوسن میانی تا الیگوسن ساخته شده‌اند ممکن است مربوط به این رخداد دگرشکلی باشند.

سومین حادثه دگرشکلی ظهور شکستگی‌های برشی مزدوج در منطقه است که ساختار ابرچین را در دو راستا بریده است (تصویر ۲). دسته اول گسل‌های امتدادلغز با روند تقریباً شمالی-جنوبی با مؤلفه جابجایی راست‌بر هستند. دسته دوم گسل‌های مربوطه، انواع امتدادلغز با روند شرقی-غربی تا شمال شرقی-جنوب غرب می‌باشند که جابجایی چپ‌بر نشان می‌دهند و سطح محوری چین‌های با روند شمال غرب-جنوب شرق را بریده‌اند. این رخداد ممکن است در ادامه بلا فصل و بدون انقطاع رخداد دوم در صورت تداوم فشارش و تنگ شدن چین‌خوردگی‌ها صورت گرفته باشد و از این رو ممکن است یک فاز مجزا به حساب نیاید؛ اما از آنجایی که تورق سطح محوری NW را بریده است، ما آن را جداگانه در نظر می‌گیریم.

رخداد دگرشکلی آخر فعالیت بارز سیستم گسله کارواندر است. فعالیت راستالغز راست‌بر این سیستم در یک پهنه چندین کیلومتری یال جنوب غربی ابرساختار تاقدیس‌گون بلوچستان را بریده و محو ساخته است. با گسترش تورق نافذ برشی به موازات این سیستم گسله که در یک پهنه چندین کیلومتری اثر کرده می‌توان از آن به عنوان پهنه برشی گسل کارواندر اشاره نمود. احتمالاً در طی فعالیت سیستم گسل کارواندر از زمان ائوسن فوقانی به این سو حوضه رسوبی عظیم کاسکین در دیواره غربی آن توسعه یافته است و با حدود نزدیک به ۵۰۰۰ متر رسوبات ملاس‌گون پر گشته است و در ادامه چین‌خورده است. رخدادهایی که احتمالاً نمی‌توانسته قبل از میوسن به وقوع بپیوندد.



شکل ۲. نقشه ساختاری کوه بیرک

#### نتیجه گیری :

توالی‌های ضخیم و ناپیوسته کربناته پلاتفرمی از محدوده سنی تریاس تا ائوسن در کوه بیرک رخنمون دارند. سنگ کف این توالی رخنمون ندارد و تنها در بخش‌های شمال غربی آن می‌توان سنگ‌های افیولیتی ملانژ با سن ائوسن میانی تا الیگوسن مشاهده نمود، بحالت رانده در زیر پیکره عظیم بیرک دیده می‌شود. دیده شدن بلوک‌هایی از آهک‌های ائوسن زیرین-میانی و قدیمی‌تر در خمیره سرپانتینی نشان‌گر سن مخلوط شدگی جوان‌تر از ائوسن زیرین است. از این رو تصور می‌کنیم که بیرک منشأ نابرجا دارد و ممکن است در ائوسن از موقعیت اولیه خود جابه‌جا شده باشد چرا که توالی آن تا ائوسن زیرین تقریباً با

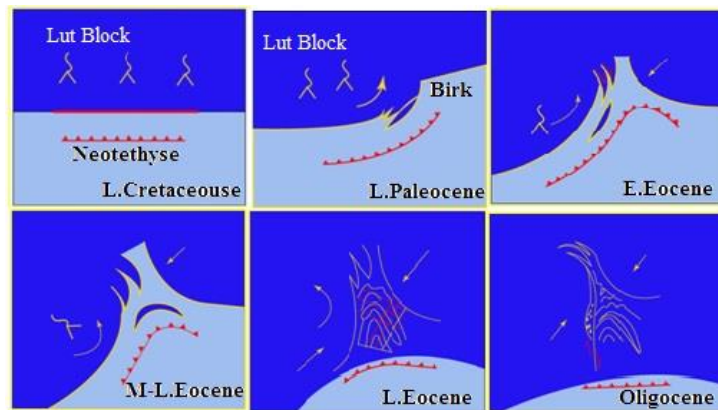
توجه به پیوستگی‌ها و ناپیوستگی‌های ذکر شده در درون آن (موسوی، ۲۰۰۶) تقریباً برجا بوده‌است. سپس این رخنمون عظیم در موقعیت پایدار سکویی خود خارج شده و در درون فلیش‌های جوانتر غرق شده‌است.

در هنگام این جابه‌جایی احتمالا راندگی‌های متعددی ظاهر شده و چین‌های برگشته و یا خوابیده‌ای با برگشتگی رو به سمت جنوب غرب نسبت به وضعیت کنونی کوه بیرک شکل گرفته‌اند. این رخداد احتمالا با توسعه چین‌هایی با روندهای شرقی-غربی و یا مشابه آن شبیه آن چه که در دامنه شمال شرقی کوه بیرک مشاهده می‌شود همراه بوده است از سوی دیگر توسعه‌ی ملانژهای احتمالا با منشا رسوبی در قالب فلیش‌های وحشی در دامنه‌ی غربی کوه بیرک و در واحد  $E_{wf}$  (در نقشه زمین‌شناسی بیرک ۱؛ موسوی و همکاران، ۲۰۰۶) نشان می‌دهد که ساختارهای همزمان با رسوبگذاری نیز نقش خود را ایفا می‌کرده‌اند و ممکن است لغزش‌های زیردریایی توأم با حرکت سفره‌های رورانده وجود داشته باشد. مجموعه رخدادهای دگرشکلی فوق‌الذکر در محدوده کرتاسه فوقانی تا آئوسن زیرین یا میانی در هنگام فرآیندهای فرورانش فعال بوده‌اند و به عنوان واقعه‌ی دگرشکلی نخست ( $D_1$ ) تعیین می‌گردد. به احتمال زیاد کوه بیرک در این زمان در حاشیه بلوک لوت قرار داشته است

اما مهمترین رخداد تکتونیکی به وقوع پیوسته در پهنه فلیش شرق ایران حادثه بسته شدن حوضه اقیانوسی سیستان است. نهشته‌های فسیل‌دار آئوسن شدیداً چین خورده و توسط حوضه‌های رسوبی الیگوسن میوسن دریاچه‌ای بطور دگرشیب پوشانیده شده‌اند. کل واحدهای تکتونیکی پهنه فلیش در بخش جنوبی زون جوش خورده سیستان درگیر یک نوع چین‌خوردگی وسیع شده‌اند. ساختار کوه بیرک که بنظر اسکلت این چین‌خوردگی را نشان می‌دهد در محل کوه زاریچک کاملاً منحرف شده، تا جاییکه زاریچک به عنوان لولای این چین عظیم بسته تا و موازی بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی ظاهر شده است. از آنجاییکه مجموعه‌های فلیش آئوسن با حجم زیادی از رسوبات با رفتار خمیری ساخته شده‌اند شدیداً دچار چین خوردگی مجدد شده و ساختارهای منحصر بفرد گنبد و حوضه را بوجود آورده‌اند. همچنین چروک خوردگی این دو لایه بین واحدهای سنگی سخت‌تر، چین‌های پارازیتی فراوانی با الگوهای  $M$  و  $W$  را ظاهر ساخته‌است که همگی روند کلی  $N40W$  را نشان داده و عمدتاً محورهایی با میل در حدود  $40^\circ$  تا  $60^\circ$  درجه بسمت شمال غرب نشان می‌دهند (رخداد  $D_2$ ). تداوم این ساختار به سمت شمال غرب-جنوب شرق در طول سطح محوری چین عظیم بیرک خصوصاً در محل لولا فورم یکسانی داشته و آثار آن به خوبی بر روی عکس‌های ماهواره‌های قابل ردیابی است. اما از این ساختار عظیم که تاکنون بر روی هیچ‌یک از نقشه‌های منطقه و یا گزارش‌ها و مقالات منتشر شده دیده نمی‌شود "اُبرساختار تاقدیس گون بلوچستان" یا "اوروکلین بلوچستان" نام برده‌ایم. نه تنها کوه بیرک و فلیش‌های طرفین آن که بخش پی سنگ کریستالینی زون شرق در محل کوه هشایی نیز از این ساختار متأثر شده‌اند. عظمت چند صد کیلومتری این ساختار بازگو کننده یک جنبش عمومی در مقیاس کلان قاره‌ای است و بنابراین پهنای حوضه نیز از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. چنین مکانیزم دگرشکلی را شاید بتوان به شکل ساده‌ای با چرخش خلاف جهت عقربه‌های ساعت بلوک لوت توضیح داد. با افزایش همگرایی مرتباً چین تنگ‌تر شده و دگرشکلی در محل لولا و برش‌های مزدوج راست‌بر و چپ‌بر در یال‌هایشان افزایش یافته است. گسل‌های امتداد لغزی با روند شمالی-جنوبی راست‌بر و روند شرقی-غربی تا شمال شرقی-جنوب غربی چپ‌بر به صورت مزدوج (موسوی، ۲۰۰۶) ساختار عظیم چین خورده را بریده‌اند. هرچند این رخداد ممکن است شکلی از دگرشکلی پیشرونده رخداد دوم دگرشکلی باشد اما از آنجایی که خط محوری ابرچین را بریده‌است به عنوان رخداد سوم تصور شده است ( $D_3$ ). باز هم تداوم دگرشکلی ممکن است با موازی قرار گرفتن دوبله سخت قاره‌های دو بلوک قاره‌های طرفین حوضه فلیش شرق ادامه یافته و در این وضعیت که با فشارش صفحه عربی همراه شده است سیستم‌های برش در لبه حوضه فعال شده باشد. مثلاً سیستم راست‌الغز راست‌بر گسل کارواندر (قریشی و واعظی پور، ۱۹۸۷) بگونه‌ای عمل کرده که یال جنوب غربی ابر ساختار تاقدیس

گون بریده شده و در مسافت طولانی پراکنده<sup>۱۷</sup> شده باشد. این رخداد تکتونیکی برشی و بقول موسوی ترافشارشی را می توان در واقعه چهارم (D4) دگرشکلی طبقه بندی نمود هر چند که در کل ما متصور هستیم که رخدادهای دوم تا چهارم ممکن است در یک سناریوی پیچیده دگرشکلی پیشرونده در طی همگرایی حوضه فیلیش شرق توسط چرخش خلاف جهت عقربه های ساعت بلوک لوت حاصل شده باشد. تا امروز تفکرات متفاوت و اختلاف نظرهای متعددی در مورد جهت فرورانش پوسته اقیانوسی سیستان به زیر بلوک لوت، به زیر بلوک افغان و یا هر دو سو به چشم می خورد (برای مثال: Tirrul et al, 1983; Bagheri and Stampfli, 2008, Arjmandzadeh, 2010).

اگر متصور شویم که یک مجموعه از گوه های افزایشی که همگی تمایل<sup>۱۸</sup> و شیبی به سمت شمال و به زیر بلوک لوت داشته باشند، (لوت را به میزان نود درجه هم جهت عقربه های ساعت بچرخانیم و موقعیت کرتاسه فوقانی را بازسازی کنیم) آنگاه با چرخش بلوک لوت در خلاف عقربه های ساعت، بخش عمده ای از این گوه های افزایشی (احتمالا شامل کوه بیرک) از حاشیه لوت به سمت غرب تراشیده شده و با تداوم چرخش و ایجاد یک حوضه خلیج مانند و گوه ای شکل که گوشه تیز آن از E-NE به سمت N-NW تغییر راستا داده، گوه های افزایشی درون خود و فیلیش های پرکننده میان آنها را چنان فشرده که شکل یک ساختار ابر تاقدیس گون را بخود گرفته اند. شکل ۳ یک Map View ساده از جدایش احتمالی کوه بیرک از بلوک لوت و جایگیری آن در محل کنونی را نشان می دهد.



شکل ۳. Map View جدایش احتمالی کوه بیرک از بلوک لوت و جایگیری آن در محل کنونی

- Arjmandzadeh, R., Santos, J.F., 2014. Sr-Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu-Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran. *Int. J. Earth Sci.* <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0959-4>.
- Bagheri, S., Stampfli, G.M., 2008. The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in Central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications. *Tectonophysics* 451, 123–155. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.047>.
- Ghorashi, M., Vaezi Pour, J., 1987. Geological Quadrangle Map of Karvandar. Geological Survey of Iran, Tehran (scale 1:100,000).
- Howell, D.G., 1989. Suspect terranes. In *Tectonics of Suspect Terranes* (pp. 80-120). Springer, Dordrecht.
- Mousavi, E., 2006. Geological Quadrangle map of Birk 1. Tehran, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, scale 1, 100,000.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geol. Soc. Am. Bull.* 94, 134.

## اندیسهای گچ، نمک و فسفات در استان لرستان

مهدی هاشمی

استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران

Economic.geology@yahoo.com

### چکیده:

در استان لرستان عمده سنگ ها در زون زاگرس از نوع رسوبی هستند که اندیسهای گچ، نمک و فسفات در آنها تشکیل شده اند. ذخایر گچ استان لرستان مربوط به سری تبخیری سازندهای گچساران (میوسن تحتانی) و آسماری (الیگوسن فوقانی) هستند. مهمترین ذخایر گچ استان لرستان شامل شوراب، شورابه، دولابچی، چشمه گوش و واشیان هستند. بیرون زدگی های نمک در استان لرستان مربوط به سازند گچساران به سن میوسن هستند. از اندیسهای نمک استان لرستان می توان به چالکل، بابا بهرام، رباط نمکی، نمکلان (سرنمک)، چغلوندی، چل قادی (سپیددشت) و چم چید (امیرآباد) اشاره کرد. فسفریت های استان لرستان در مناطق تله زنگ و تنگ پنج (جنوب غرب سپیددشت) واقع شده اند. این فسفریت ها عموماً در قاعده سازند گورپی قرار داشته و دارای سن کرتاسه فوقانی هستند.  
کلیدواژه: لرستان، گچ، فسفات، میوسن، الیگوسن

## Gypsum, Salt and Phosphate Occurrences in Lorestan Province

Mehdi Hashemi

### Abstract

In Lorestan province, the main rocks in the Zagros Zone are sedimentary which Occurrences of gypsum, salt and phosphate are formed in them. Gypsum deposits of Lorestan province belong to the evaporation series of Gachsaran (Lower Miocene) and Asmari (Upper Oligocene) formations. The most important gypsum deposits of Lorestan province include Shorab, Shorabeh, Dolabchi, Cheshmeh Gosh and Vashian. Salt outcrops in Lorestan province belong to the Gachsaran Formation to the Miocene age. Among the salt Occurrences of Lorestan province, we can mention Chalkel, Baba Bahram, Robot Namaki, Namaklan (Sarnamak), Chaghavandi, Chel Qadi (Sepid Dasht) and Cham Chid (Amir Abad). Phosphorites of Lorestan province are located in Tale Zang and Tang Panj (southwest of Sepid Dasht). These phosphorites are generally located at the base of the Gurpi Formation and have Upper Cretaceous age.

### مقدمه:

پهنه های موجود در استان لرستان شامل زاگرس و سنندج - سیرجان هستند. بخش های غربی، جنوب غربی و جنوبی استان در زاگرس چین خورده، حاشیه شرقی استان در سنندج - سیرجان و بقیه مساحت استان در زاگرس مرتفع (رورانده) قرار دارد. عمده سنگ ها در بخش زاگرس از نوع رسوبی و در بخش سنندج - سیرجان از نوع دگرگونی می باشد. سازندهای تشکیل دهنده منطقه رسوبی بیشتر مربوط به دوران های دوم و سوم هستند که سنگهای تشکیل دهنده آنها اغلب شامل سنگ آهک، دولومیت، ماسه سنگ، مارن، سیلتسون، شیل، رادیولاریت، گچ، کنگلومرا، نمک و لایه گوگرد می باشد. معادن موجود اکتشاف شده و قابل بهره برداری در این منطقه رسوبی شامل معادن آهک، گچ، نمک، بتیومن، زغال سنگ و فسفات هستند. بنابراین پهنه زاگرس پتانسیل تشکیل منابعی همچون گچ، نمک و فسفات را دارا می باشد. از سازند تبخیری گچساران در تولید مواد معدنی مثل گچ و نمک استفاده می شود: از گچ به عنوان مصالح ساختمانی و صنعتی و نیز در تولید سیمان و تهیه کودهای شیمیایی استفاده می شود. کاربرد این ماده معدنی عمدتاً در کارخانه سیمان دورود و کارخانه تولید پودر گچ لرستان می باشد.

در مورد نمک، پس از هدایت آب شور به حوضچه ها و تبخیر آب بلورهای نمک جمع آوری و به مصرف خوراک دام و انسان می رسد. از سنگ نمک هم بعد از آسیاب کردن در تهیه سالامبور، فرآوری (کارخانه چرم و پوست) و نیز در مصرف های خوراکی و دامی به کار می رود. فسفریت های استان لرستان در سازند گورپی قرار دارند و در جنوب غرب سپید دشت (در نواحی تله زنگ و تنگ پنج) مشاهده می شوند. سن سازند گورپی در لرستان از کامپانین تا پالئوسن تخمین زده می شود.

#### بحث:

#### گچ

استان لرستان با دارا بودن ۴۴ میلیون تن ذخیره سنگ گچ در ۹ معدن شهرهای خرم آباد، پلدختر و کوهدشت ۹ درصد سنگ گچ کشور را دارا است. این استان در گچ جزو استان های برتر کشور محسوب می شود. البته هیچ اکتشافی در خصوص گچ در استان لرستان صورت نگرفته است.

ذخایر گچ استان لرستان عمدتاً مربوط به سری تبخیری سازند گچساران بوده و سن آنها عمدتاً میوسن تحتانی است. البته تعدادی از ذخایر گچ استان (اطراف کوهنانی) در بخش تبخیری کلهر سازند آسماری به سن الیگوسن فوقانی قرار دارند. روند ذخایر گچ استان شمال غربی - جنوب شرقی می باشد. معادن گچ در پهنه زاگرس چین خورده تشکیل شده اند. معادن گچ شوراب (۲۰ کیلومتری جنوب خرم آباد)، شورابه (۳۳ کیلومتری پلدختر به سمت اسلام آباد غرب) و کوهدشت از مهمترین معادن استان لرستان هستند. ذخایر قابل توجهی از سنگ گچ در منطقه چم حیدر (شمال دورود) و مناطق رباط، سراب تلخ، بسطام (در شمال خرم آباد) و گری بلمک (۱۰ کیلومتری جنوب شرق پلدختر) دیده می شود.

مهمترین ذخایر گچ استان لرستان شامل شورابه، دولابچی، چشمه گوش، واشیان، شوراب، شوراب (۱)، شوراب (۴) و شوراب (۵) هستند. در جدول ۱ مشخصات معادن گچ استان لرستان ذکر شده است.

#### نمک

از جمله مطالعات و پی جویی هایی که سازمان زمین شناسی در گذشته جهت شناخت استعداد های طبیعی لرستان انجام داده است می توان به طرح استانی اکتشاف نمک در منطقه نوزیان و چغلوندی اشاره کرد. بیرون زدگی های نمک در استان لرستان زیاد بوده و مربوط به سازند گچساران به سن میوسن هستند. به علت مقاومت کم سازند گچساران در برابر فرسایش (در مقایسه با مقاومت زیاد سازند آسماری و کربنات کرتاسه و کنگلومرای بختیاری) لایه های نمک مورفولوژی پست را تشکیل می دهند. ذخایر نمک استان به دو صورت ذخایر نمک آبی و نمک سنگی می باشد: نمک سنگی بیشتر در مناطق جنوبی خرم آباد و اطراف دورود و پلدختر وجود دارد و به عنوان مثال می توان نمک سنگی چغلوندی، چالکل و بابا بهرام ملاوی را نام برد. در استان تعداد زیادی چشمه های شور در مناطق رسوبی جنوب استان است که معادن نمک آبی را ایجاد می کنند. از جمله اندیسهای نمک آبی اطراف خرم آباد می توان به اندیسهای رباط و نمکلان (سرنمک) اشاره کرد: روستای رباط نمکی در ۱۲ کیلومتر جاده خرم آباد - الشتر قرار دارد. نام روستای رباط نمکی از معدن نمک آبی واقع در آن

جدول ۱: لیست معادن گچ استان لرستان.

ردیف	نام معدن	نام ماده معدنی	وضعیت	شهرستان محل معدن	آدرس معدن	میزان ذخیره قطعی معدن (هزار تن)	میزان استخراج اسمی معدن (هزار تن)
۱	شورابه	گچ	فعال	پلدختر	کیلومتر ۳۳ جاده پلدختر به اسلام آباد غرب	۲۹۵۰۰	۸۰
۲	دولابچی	گچ	فعال	پلدختر	۲ کیلومتری شرق پلدختر	۲۶۰۰	۱۵۰
۳	شوراب (۱)	گچ	فعال	خرم آباد	خرم آباد بخش ویسیان روستای شوراب	۳۰۰	۱۵۰
۴	شوراب	گچ	غیرفعال	خرم آباد	۲۲ کیلومتری جنوب غربی خرم آباد	۷۹۶	۵۰
۵	شوراب (۴)	گچ	غیرفعال	خرم آباد	۱۶ کیلومتری جنوب غرب خرم آباد	۴۹۵	۶۰
۶	چشمه گوش	گچ	غیرفعال	پلدختر	پلدختر روستای چشمه گوش	۲۵۰۰	۶۰
۷	واشیان	گچ	غیرفعال	پلدختر	۷ کیلومتری شمال شرقی پلدختر	۳۱۳۰	۶۰
۸	شوراب (۵)	گچ	فعال	خرم آباد	۴۰ کیلومتری شمال غربی دورود	۷۵	۷۰

گرفته شده است. در این روستا قرن ها است که از چاهی در کنار این روستا آبی بیرون کشیده می شود که از آن نمکی به دست می آید که روزگاری سبب شهرت این روستا به نام رباط نمکی بوده است. در روستای سرنمک (نمکلان) در بیست کیلومتری جاده جدید خرم آباد - بروجرد سه چشمه آب شور وجود دارد که باعث ایجاد معدن سنگ نمک در ضلع جنوبی خود شده اند. مهم ترین اندیس های نمک استان لرستان عبارتند از (حلمی، ۱۳۸۳):

#### اندیس نمک چل قادی (سفید دشت)

اندیس چل قادی در جنوب دورود واقع شده و مربوط به سازند گچساران است. توده نمک عدسی شکل است و با کنتاکت کاملاً مشخص بر روی آهک های آسماری قرار دارد. این بخش از سازند گچساران شامل تناوب انواع مارن است.

#### اندیس معدن نمکی چالکل

اندیس چالکل در ۲۹ کیلومتری جنوب پلدختر و ۹ کیلومتری جنوب شرقی روستای چالکل قرار دارد. این اندیس بر روی ارتفاعات کوه چکوار از سازند گچساران قرار گرفته و در مجاور آن یک کار قدیمی نمک غار مانند هم وجود دارد. این حوضه بخشی از محیط های تبخیری دوره میوسن است که در ناحیه لرستان تشکیل داده است. در حوضه گچساران انواع مارن و لایه های گچ - انیدریت و طبقات نمکی وجود دارند. سنگ های میزبان اندیس چالکل جزئی از سازند گچساران است. رخنمون ماده معدنی در یک گودال (احتمالاً حاصل ته نشینی زمین ناشی از حل نمک) وجود دارد. ضخامت طبقه نمکی ۸ تا ۱۰ متر است. در زیر طبقه نمک (کمر پایین) لایه ای از گچ و انیدریت وجود دارد. کمر بالا هم طبقه ای از گچ و انیدریت است. طبقه نمکی دارای دو بخش است. بخش

تحتانی دارای درجه تبلور و خلوص کمتر و بافت دانه ای سفید مایل به شیری است و بخش فوقانی تبلور و خلوص بالاتری دارد و رنگ لایه ها کاملاً شفاف است. ابعاد نمک در محوطه غار مانند به طول ۶۰ متر، عرض ۱۲ متر و عمق ۱۰ متر است.

#### اندیس نمک چم چید (امیرآباد)

اندیس چم چید در ۱۵ کیلومتری جنوب دورود و در جنوب روستای امیرآباد در سازند گچساران قرار دارد. امتداد لایه های نمک شمال غرب است. نمک بیرون زدگی کمی در سطح دارد. ذخیره چم چید ظاهراً زیاد است.

#### اندیس نمک بابا بهرام

اندیس بابا بهرام در ۱۶ کیلومتری حوالی شرقی تنگه ملاوی در جنوب غرب خرم آباد و ۴ کیلومتری جنوب شرق روستای بابا بهرام قرار دارد. تنها اندیس نمک، چشمه نمکی بسیار کوچکی در کف دره است. نهشته های نمک در حدود ۳ متر طول و یک متر عرض در اطراف چشمه دارند. آب چشمه شدیداً شور است. طبقات میزبان نمک شامل مارن، گچ های سازند گچساران یا فارس تحتانی هستند. بلورهای سفید نمک در حاشیه چشمه به حالت گل کلمی و سوزنی به ابعاد چند میلی متر هستند. این اندیس اقتصادی نیست.

#### فسفات

فسفات های رسوبی را به دو دسته فسفریت ها و فسفاتی تقسیم می شوند که فسفریت ها گروهی از سنگهای رسوبی می باشند که حاوی بیش از ۱۰ درصد (۲۰-۱۵٪) کانی فسفات (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) هستند.

کانسارهای فسفات ایران عمدتاً از نوع رسوبی بوده از نظر سنی از جدید به قدیم به صورت زیر هستند:

- کانسارهای فسفات زون زاگرس (استانهای لرستان - خوزستان - فارس): به سن کرتاسه فوقانی - پالئوسن زیرین (سازند گورپی) و ائوسن - الیگوسن
- کانسارهای فسفات در البرز مرکزی و آذربایجان: به سن کامبرین زیرین (سازند سلطانیه)، دونین فوقانی (معدن جیروود در استان تهران)

فسفریت های یافت شده در منطقه لرستان در جنوب غرب سپید دشت در نواحی تله زنگ و تنگ پنج واقع شده اند. این فسفریت ها در ناحیه زاگرس قرار داشته و دارای سن کرتاسه فوقانی هستند و لایه های گلوکونیتی - مارنی همراه با کلوکان افق مشخصی را به وجود می آورند که عموماً در قاعده سازند گورپی واقع شده اند. این افق در حوضه لرستان دارای سن کامپانین تا پالئوسن می باشد. سازند گورپی با مرز ناگهانی بر روی آهک های ایلام قرار دارد. این افق فسفریت در دماغه شمال غربی تاقدیس خامی دارای ۲۵ متر ضخامت و ۸/۱۴ درصد P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> می باشد. بیشترین ضخامت افق فسفریتی کرتاسه فوقانی در زاگرس در منطقه لرستان در محدوده ای بین تله زنگ و تنگ پنج کشف شده است. در این محل رسوبات فسفات به صورت عدسی هایی با ابعاد مختلف تشکیل شده است. در شمال تله زنگ یک عدسی به طول ۸۰۰ متر و ۴ متر ضخامت وجود دارد. مقدار P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> در عدسی مذکور از ۲ تا ۲۰ درصد متغیر است. در تنگ کرتاج یک عدسی به طول ۶۰ متر با ضخامت ۱/۴ متر و عیار ۴ تا ۱۹ درصد P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> قرار دارد. در غرب تنگ پنج عدسی هر یک با ضخامت حدود ۲ متر و با طول ۲۰ تا ۵۰ متر قرار گرفته اند که مقدار P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> آن ها برابر ۵/۷ درصد است. فسفات از نظر پتروگرافی به صورت الیتی با قطر ۵ تا ۷ میلی متر و بسیار گرد شده می باشد. الیت ها دارای یک هسته کلسیت تخریبی است که اطراف آن را فسفات فرا گرفته است. در بعضی از مواقع هسته الیت از کوارتز یا گلوکونیت تشکیل شده است. رنگ الیت های فسفات متمایل به نخودی است. بعضی الیت ها با اکسید آهن (هماتیت) جانشین شده اند. مقادیر کمی از دندان ماهی به شکل نامنظمی در قطعات فسفات دیده می شوند. از دیگر کانی های سنگ دانه های گلوکونیت به رنگ سبز است. کلسیت هم رگه ها و رگچه ها را پر کرده و یا در هسته الیت ها

قرار دارد. دانه های کوارتز تخریبی در هسته الیت ها یافت شده است. سیمان با ترکیب آهن غالباً جانشین فسفات شده است (نمدالیان و همکاران، ۱۳۷۷).

#### نتیجه گیری:

در استان لرستان عمده سنگ ها در زون زاگرس از نوع رسوبی هستند که اندیسهای گچ، نمک و فسفات در آنها تشکیل شده اند. ذخایر گچ استان لرستان مربوط به سری تبخیری سازندهای گچساران (میوسن تحتانی) و آسماری ( الیگوسن فوقانی) هستند. مهمترین ذخایر گچ استان لرستان شامل شوراب، شورابه، دولابچی، چشمه گوش و واشیان هستند. بیرون زدگی های نمک در استان لرستان مربوط به سازند گچساران به سن میوسن هستند. از اندیسهای نمک استان لرستان می توان به چالکل، بابا بهرام، رباط نمکی، نمکلان (سرنمک)، چغلوندی، چل قادی (سپیددشت) و چم چید (امیرآباد) اشاره کرد. فسفریت های استان لرستان در مناطق تله زنگ و تنگ پنج (جنوب غرب سپیددشت) واقع شده اند. این فسفریت ها عموماً در قاعده سازند گورپی قرار داشته و دارای سن کرتاسه فوقانی هستند.

#### منابع:

- حلمی، ف، ۱۳۸۳. شرحی بر نمک طعام - پتاس و پراکندگی آن ها در ایران، سازمان زمین شناسی.
- مومن زاده، م، لطفی، م، ۱۳۶۴. گزارش مقدماتی نمک چل قادی - سفید دشت (جنوب دورود) سازمان زمین شناسی کشور.
- نمدالیان، ع، اخوت، ز، مومن زاده، م، ۱۳۷۷. فسفات در ایران، سازمان زمین شناسی.



## شواهد میکروسکوپی ارتوگنیس‌های مافیک درجه بالا در شیست‌های گرگان

سینا مرادحسینی\*<sup>۱</sup>، شهریار محمودی<sup>۲</sup>

\*<sup>۱</sup>. دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

<sup>۲</sup>. دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

sinamoradhosseini@gmail.com

### چکیده:

منطقه مورد پژوهش بخشی از پهنه زمین‌ساختی البرز میانی است. رخنمون‌های اصلی قابل مشاهده در منطقه جنوب بهشهر، گلوگاه و مهدیرجه شامل تناوبی از فیلیت و شیست‌های سرسیت-کلریت دار است. همچنین توده‌های نفوذی منطقه که طبق گزارش‌های قبلی انجام شده دیوریت، گابرو، گرانیت و مونزونیت گزارش شده بود، بر اساس مطالعات پتروگرافی انجام شده در این مطالعه، متاگابرو، متابازالت و ارتوگنیس معرفی می‌شوند. کانی‌شناسی ارتوگنیس‌های مورد مطالعه شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار آلکالین، گارنت، آمفیبول، بیوتیت، مگنتیت، آپاتیت، کلسیت و برخی عناصر دیگر مانند موناژیت، زئوزیت و زئوتیوم می‌باشد. بافت اصلی در ارتوگنیس‌های مورد مطالعه، بافت چشمی، دیابلاستیک و پورفیروکلاست است، همچنین بافت‌های فرعی شامل بافت سودومورف در گارنت‌های جانشین شده با کلریت، بافت میلونیتی، آمبوئید گرانوبلاستیک، قفسه‌کتابی و ماهیگون نیز مشاهده شده است.

کلیدواژه: ارتوگنیس، شیست‌های گرگان، پتروگرافی، توده‌های نفوذی، جنوب بهشهر

### Microscopic evidence of high-grade orthogneiss in Gorgan schists

Sina moradhosseini; shahriyar mahmoudi

### Abstract

The study area is part of the Middle Alborz tectonic zone. The main outcrops visible in the southern region of the Behshahr, Galogah and Mahdirajeh include alternating phyllite and sericite-chlorite schists. In this study, metagabbro, metabasalt and orthogneiss are reported. The mineralogy of the studied orthogneiss includes quartz, plagioclase, alkaline feldspar, garnet, amphibole, biotite, magnetite, apatite, calcite and some rare earth elements such as monazite, zircon and xenotime. The main texture in the studied orthogneiss are augen, diablastic and porphyroclastic. Also, sub-texture including pseudomorph have been observed in garnet replaced by chlorite, mylonitic, granoblastic amoeboid, book shelf sliding and fish.

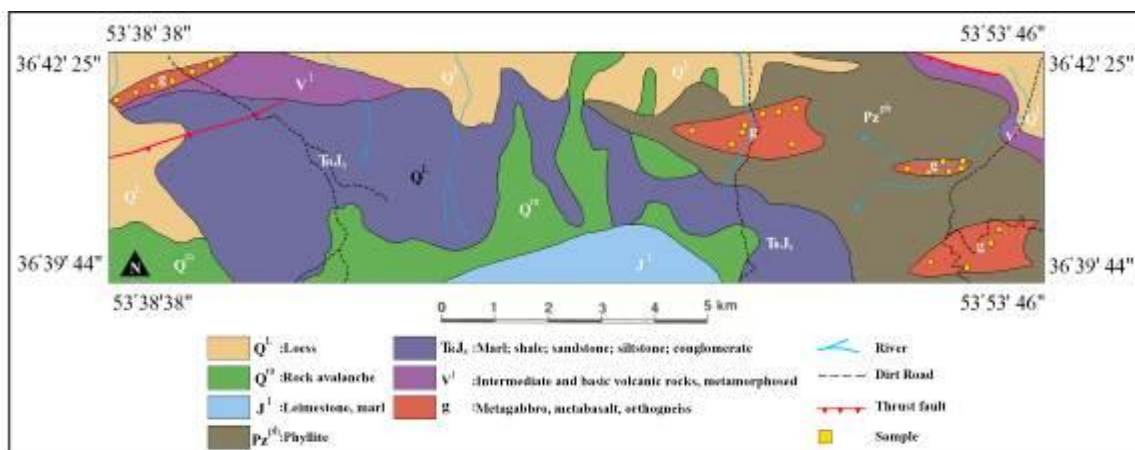
### مقدمه:

محدوده مورد مطالعه در پهنه زمین‌ساختی البرز میانی قرار دارد (درویش‌زاده، ۱۳۹۲). بخش شمالی این پهنه، زون گرگان-رشت است و شامل مناطق حاشیه‌ای دریای خزر و شمال گسل البرز می‌شود و همچنین بخش قابل توجهی از آن با رسوبات عهد حاضر پوشیده شده است (درویش‌زاده، ۱۳۹۲). مرز شرقی این زون با زون کپه داغ با لایه‌های ضخیم لسی پوشیده شده است (نبوی، ۱۳۵۵). سنگ‌های دگرگونی جنوب بهشهر شامل فیلیت و شیست‌های سرسیت-کلریت دار هستند که ضخامتی در حدود ۲۰۰۰ متر و طولی حدود ۱۲۰ کیلومتر دارند و حد شرقی آن تا نزدیکی علی‌آباد ادامه دارد (درویش‌زاده، ۱۳۹۲). در نقشه زمین‌شناسی چهارگوش بهشهر در منطقه قلعه‌پایان، جنوب شهر گلوگاه و جنوب منطقه لیوان شرقی، توده‌های آذرین نفوذی شامل گابرو، دیوریت، مونزونیت و گرانیت گزارش شده است (سعیدی، ۱۳۶۹).

شواهد تکتونیکی و چینه‌شناسی در منطقه مورد مطالعه ارتباط شیبست‌های گرگان با پی‌سنگ ایران را مورد تایید قرار می‌دهد (Feyzullayev et al, 2016; Glonka, 2007; Knapp et al, 2004; Kuandykov et al, 2011; Reznov and ) (Chamo, 1969; Kazmin and Verzhbitskii, 2011; Granath et al, 2007; Arthyushkov, 2007). بعلاوه باتوجه به برونزد شیبست‌های با درجه دگرگونی پایین (اسلیتی) و خصوصیات چینه‌شناسی در جنوب گرگان و بهشهر، این زون را مربوط به پرکامبرین فرض می‌کنند (Jenny, 1997). توده‌های نفوذی مورد مطالعه به دلیل پوشش گیاهی انبوه و صعب‌العبور بودن منطقه چندان مورد توجه قرار نگرفته است، اما این مجموعه نیازمند بررسی‌های کامل‌تر می‌باشد که در مقاله حاضر بر اساس مشاهدات میکروسکوپی و صحرایی، ارتوگنیس‌های منطقه به‌طور کامل مورد مطالعه قرار گرفته است.

### روش مطالعه:

مطالعات صحرایی این پژوهش شامل مطالعه ویژگی‌های لیتولوژیکی موجود و سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی و دگرگونی جنوب بهشهر، گلوگاه و مهدیرجه است. از نمونه‌های صحرایی تازه نمونه‌برداری شده (شکل ۱)، تعداد ۲۵ نمونه مقطع نازک تهیه و در آزمایشگاه میکروسکوپی دانشگاه خوارزمی تهران با دستگاه Zeiss Axioplan2 مطالعه و تصاویر میکروسکوپی آن‌ها تهیه شد. علائم اختصاری مورد استفاده در کلیه متن، شکل‌ها و جدول‌های این پژوهش بر مبنای ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) می‌باشد.

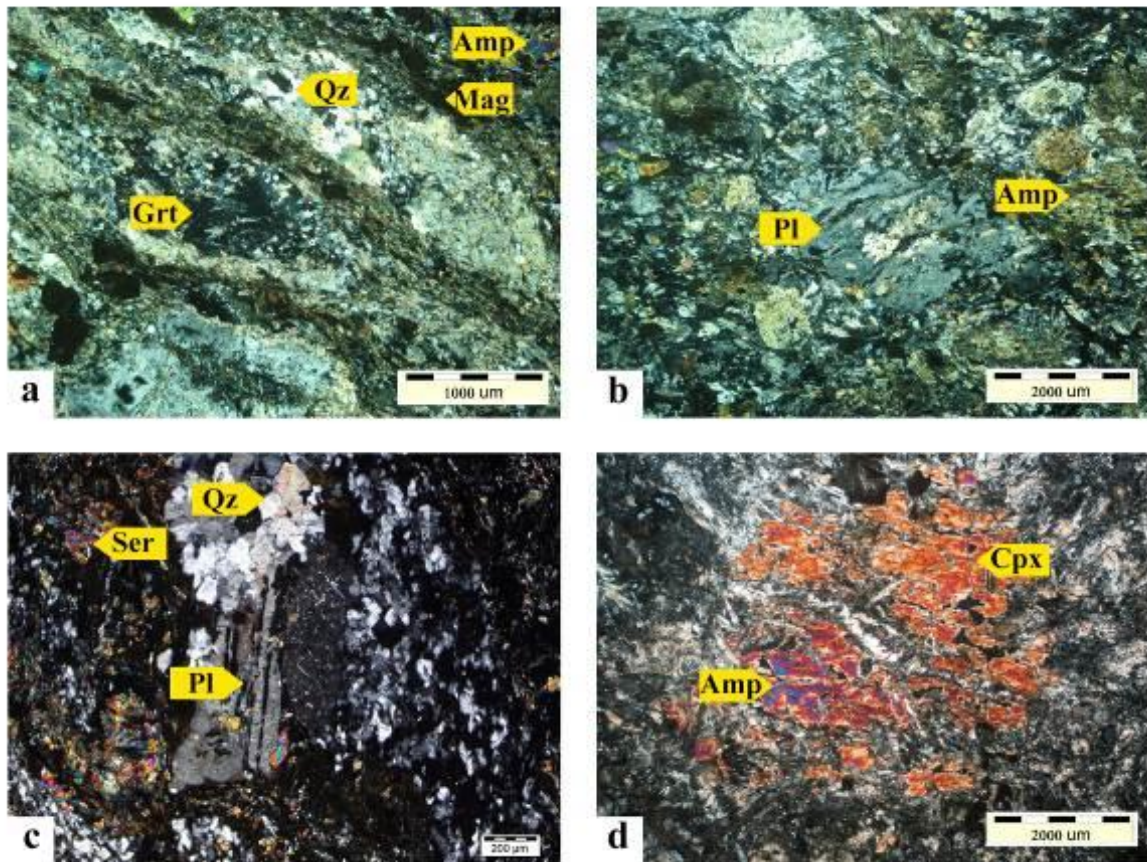


شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه همراه با موقعیت نمونه‌های برداشت شده در عملیات صحرایی

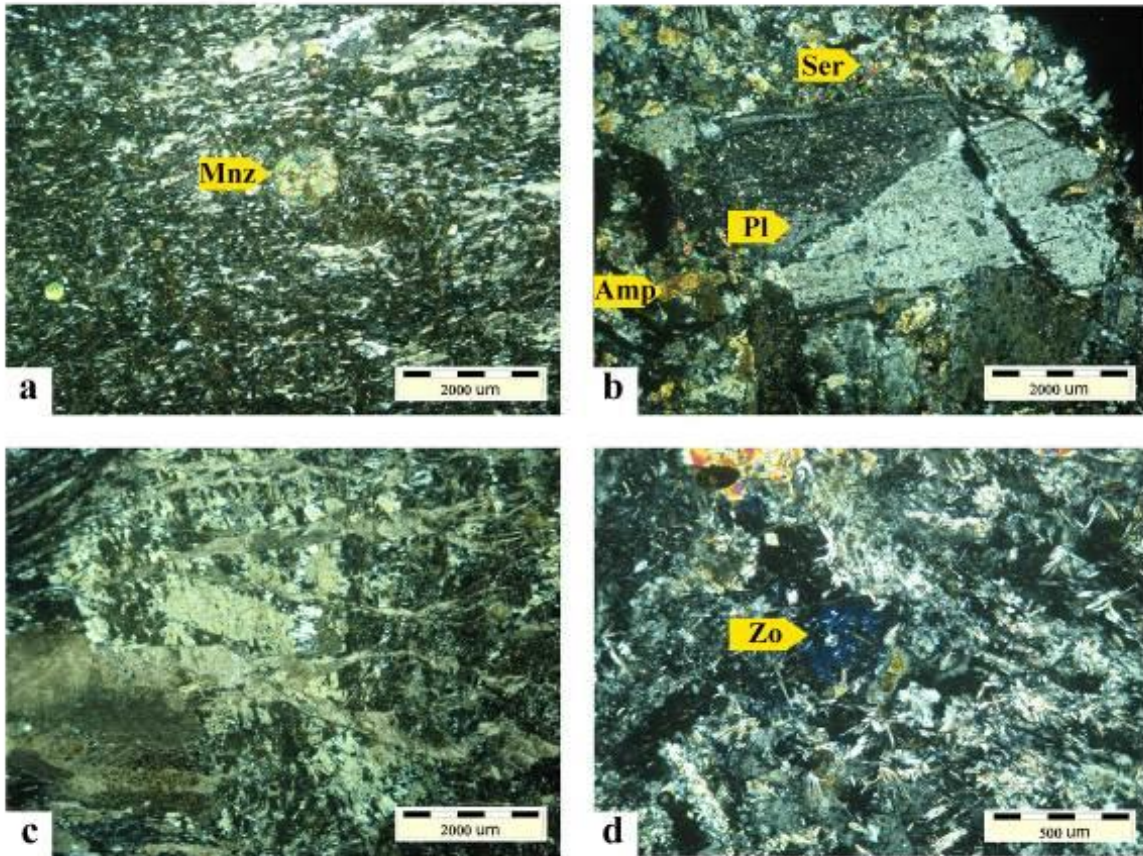
### بحث:

در شرایط دگرگونی دما بالا، سنگ‌ها تمایل به دانه درشت شدن و ایجاد بر گوارگی دارند. ارتوگنیس‌ها از تغییر شکل و دگرگونی سنگ‌های گرانیتوئیدی تشکیل می‌شوند. چنین سنگ‌هایی را در مقیاس ماکروسکوپی میگماتیت می‌نامند و در مقاطع نازک و مطالعات میکروسکوپی این سنگ‌ها گنیس نام دارند. گنیس‌ها باتوجه به اینکه منشاء آذرین یا رسوبی داشته باشند به ترتیب به دو دسته ارتوگنیس و پاراگنیس طبقه‌بندی می‌شوند (Robertson, 1999)، که در اینجا باتوجه به اینکه منشاء سنگ‌های منطقه آذرین می‌باشد، نوع گنیس‌های منطقه مورد مطالعه را ارتوگنیس می‌نامیم. به‌طور کلی ارتوگنیس‌های مورد مطالعه در این پژوهش در نمونه دستی با رنگ خاکستری مایل به سبز و کانی‌های دانه درشت مانند پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکان در زمینه دانه‌ریز تر مشخص می‌شوند. مطالعه پتروگرافی نیز نشان‌دهنده بافت پورفایر و کلاست، دیابلاستیک و چشمی است.

سنگ‌های ارتوگنیسی منطقه از نظر کانی‌شناسی شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، پیروکسن، گارنت، آمفیبول، فلدسپار آلکان، بیوتیت، موسکویت، آپاتیت، کلسیت، کلریت، هورنبلند، مگنتیت و برخی عناصر دیگر شامل زئوتیموم، موناژیت و زئوزیت است. بلورهای گارنت با سایز دانه متوسط تا درشت که با کلریت سودومورف شده و نشان‌دهنده اولیه بودن گنیس است (شکل ۲ - a). ارتوگنیس میلونیتی شده با پورفیروکلاستی از جنس پلاژیوکلاز و دارای ساختار قفسه‌کتابی با جابه‌جایی از نوع راست‌بر در زمینه‌ای متشکل از فلدسپار و آمفیبول در نمونه‌ای از منطقه لیوان شرقی (شکل ۲ - b). همچنین بلور پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتیتیک در مقاطع مختلف دیده شد (شکل ۲ - c)، این کانی نسبت به کانی‌های دیگر تقریباً فراوانی بالایی دارد و معمولاً به صورت فنوکریست وجود دارد. درشت‌بلور آمفیبول از دیگر بلورهای فراوانی است که در ارتوگنیس‌های مورد پژوهش تقریباً لوزی‌شکل با رخ ۱۲۰ درجه همراه با حاشیه‌واکنشی قابل تشخیص است (شکل ۲ - d).

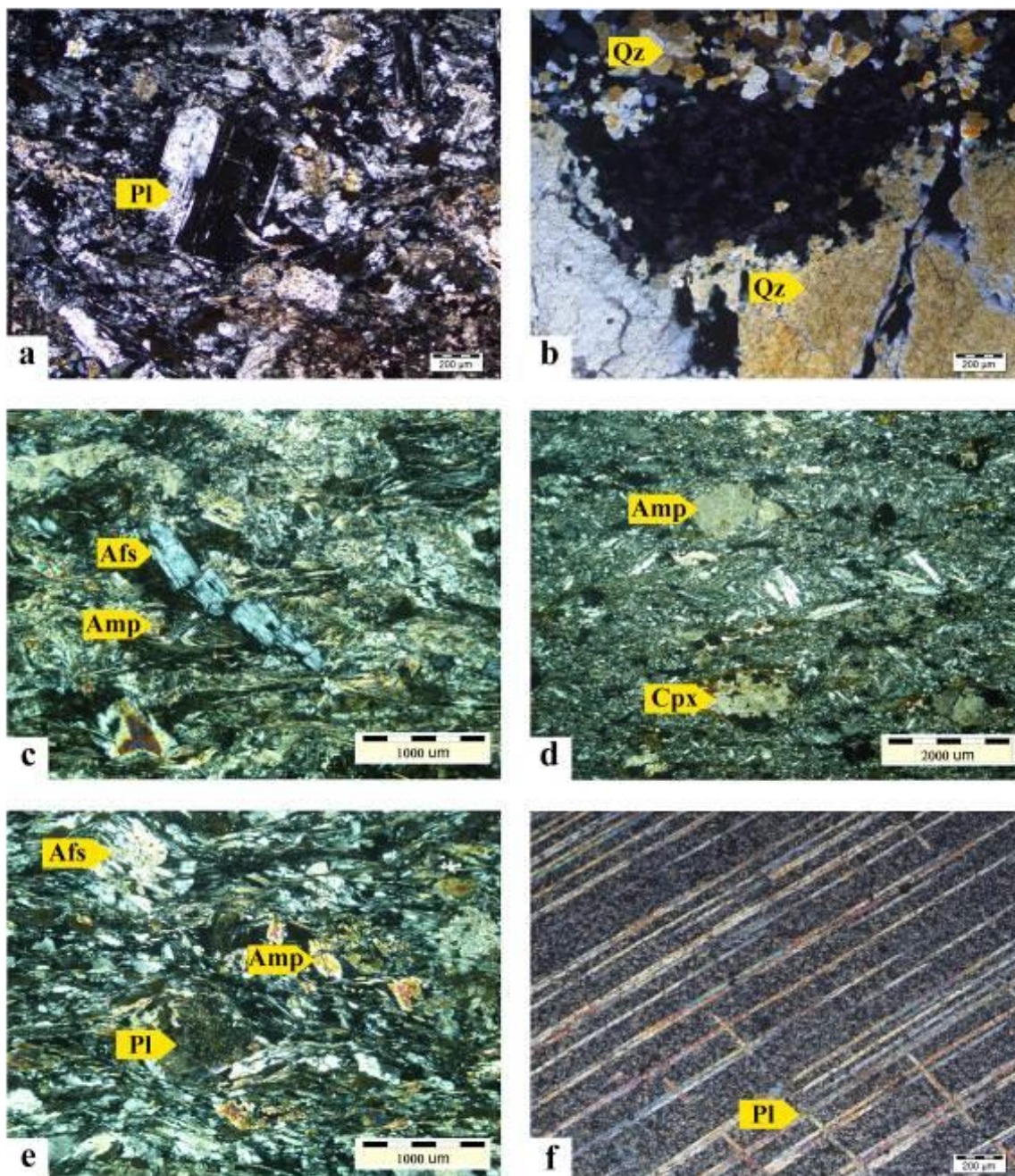


شکل ۲: (a) بلور دانه‌درشت گارنت که سودومورف شده و کلریت در حال جانشینی است (xpl)، (b) ارتوگنیس میلونیتی با پورفیروکلاستی از جنس پلاژیوکلاز و دارای ساختار قفسه‌کتابی با جابه‌جایی از نوع راست‌بر در زمینه‌ای متشکل از فلدسپار و آمفیبول در نمونه‌ای از منطقه لیوان شرقی (xpl)، (c) بلور پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتیتیک و همچنین حضور گارنت‌هایی که سرسیتی شده‌اند (xpl)، (d) بلور درشت کلینوپیروکسن (Cpx) در کنار آمفیبول (Amp) که دارای یک حاشیه‌واکنشی است (xpl).



شکل ۲: (a) کانی نوزاد مونازیت در مقطعی از ارتوگنیس منطقه مهدیرجه که بافت میلونیتی دارد و همزمان با تکتونیک رشد کرده است (xpl)، (b) پلاژیوکلازی که در فازکشی دوباره رشد کرده و پلاژیوکلاز دیگری شکل گرفته است (xpl)، (c) پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتیتیک که باتوجه به شواهد میکروسکوپی نشان دهنده تحمل فشار و دمای بالایی است (xpl)، (d) بلور آبی رنگ زئوزیت با برجستگی پایین در نمونه‌ای از ارتوگنیس منطقه گلوگاه (xpl).

بافت چشمی در اغلب نمونه‌های بررسی شده در مقطع نازک مشاهده شد، از جمله نمونه‌ای در ارتوگنیس منطقه لیوان شرقی که در آن کانی درشت پلاژیوکلاز حفظ شده‌اند و در اطراف آنها کانی‌های دانه‌ریز کوارتز و یا میکا به صورت شیستوزیته قراردارند (شکل ۴ - a). همچنین بافت آمبوئید گرانوبلاستیک (شکل ۴ - b)، قفسه کتابی (شکل ۴ - c)، میلونیتی (شکل ۴ - d)، پورفیروبلاستیک و ماهیگون (شکل ۴ - e) و دوقلویی‌های دگرشکلی در کلسیت (شکل ۴ - f) در مقاطع نازک مشاهده شد.



شکل ۴: (a) بافت چشمی در ارتوگنیسی از منطقه لیوان شرقی که در آن درشت بلور پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتیتیک حفظ شده است و در اطراف آنها کانی‌های دانه ریز کوارتز و یا میکا به صورت شیسستوزیته قرار دارند، همچنین آمفیبول‌های سوزنی شکل نیز در زمینه و در اطراف فنوکریست پلاژیوکلاز قابل مشاهده است (xpl، b) بافت آمیوئید گرانوبلاستیک در کوارتز از ارتوگنیس‌های منطقه مهدیرجه که در آن همه دانه‌ها دارای خطوط نامنظم هستند و اغلب کانی‌ها بی‌شکل می‌باشند (xpl، c) پورفیری‌آواری فلدسپار آلکالن فلسی شده (قفسه‌کتابی) در ارتوگنیسی از منطقه مهدیرجه که بلور درشت فلدسپار آلکالن در جهت برش، مانند مجموعه‌ای از کتاب در حال فروپاشی است (xpl، d) بافت میلونیتی در نمونه‌ای جنوب گلوگاه که حالت برگوارگی و خطوارگی در اثر گسل خوردگی به خوبی قابل مشاهده است و پلاژیوکلازها حالت زیگموئیدال دارند و همچنین فنوکریست‌های آمفیبول و کلینوپیروکسن با بافت پورفیروکلاست قابل تشخیص است (xpl، e) بلورهای درشت فلدسپار آلکالن و پلاژیوکلاز با بافت پورفیروبلاستیک همزمان با تکتونیک و همچنین آمفیبول‌ها بافت

ماهنگون پیدا کرده‌اند (f, xpl)، دوقلویی پلی‌سنیتیک در کلسیتی که به دلیل نازک‌لایه بودن آن‌ها، اغلب رنگ‌های تداخلی مرتبه‌اول را نشان می‌دهند (xpl).

#### نتیجه‌گیری:

سنگ‌های آذرین مورد مطالعه تاکنون تحت عنوان گرانیت و گابروهای منطقه بهشهر و نفوذ کرده در شیست‌های گرگان گزارش شده است (سعیدی، ۱۳۶۹). مطالعات انجام شده در این توده‌ها بیانگر دگرگونی شدید در حد رخساره آمفیبولیت فوقانی تا گرانولیت است. وجود گنیس‌ها با محتوی کانی‌های درجه بالای دگرگونی نظیر گارنت و کلینوپیروکسن و همچنین آمفیبول‌های دگرگونی وجود سری دگرگونی درجه بالا در بخش مرکزی مجموعه دگرگونی گرگان را به اثبات می‌رساند. شناسایی فابریک‌های دگرگونی دیناموترمال مانند بوک‌شلف و میکافیش و... بیانگر تاثیر فرایندهای تکتونیکی حاشیه زون فرورانش و تحول مجموعه‌های دگرگونی در حین بالا زدگی و رخنمون یافتن در افق‌های بالاتر پوسته است.

#### منابع:

- درویش‌زاده، ع.، (۱۳۹۲). زمین‌شناسی ایران، ماگماتیسیم، تکتونیک و چینه‌شناسی. انتشارات امیرکبیر. چاپ پنجم ۴۳۴ ص.
- سعیدی، ا.، (۱۳۶۹). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهشهر. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نبوی، م.ح.، (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۰۹ ص.
- Feyzullayev, A.A., Kadirov, F.A., Kadyrov, A.G., (2016). Tectono-Geophysical Model of the Southern Caspian in the Context of the Presence of Oil and Gas. *Journal of Izvestiya Physics of the Solid Earth*, v. 6: 139-148 p.
- Golonka, J., (2007). Geodynamic Evolution of the South Caspian Basin. Oil and gas of the Greater Caspian area: AAPG Studies in Geology, v. 55: 17-41 p.
- Granath, J.W., Soofi, K.A., Baganz, O.W., and Bagirov, E., (2007). Gravity modeling and its implications to the tectonics of the South Caspian Basin. AAPG Studies in Geology, v. 55: 43-46 p.
- Jenny, J., (1997). Precambrian et Paleozoique inferieur de l'Elburz oriental entre Aliabad et Shahrud, Iran NE. *Eclog. Geol. Helv*, v. 70(3): 761-770 p.
- Kazmin, V.G., Verzhbitskii, E.V., (2011). Age and Origin of the South Caspian Basin. published in *Okeanologiya*, V. 51: 136-145 p.
- Knapp, C.C., Knapp, J.H., Connor, J.A., (2004). Crustal-scale structure of the South Caspian Basin revealed by deep seismic reflection profiling. *Journal of Marine and Petroleum Geology*, v. 21: 1073-1081 p.
- Kuandykov, B.M., Obryadchikov, O.S., Taskinbayev, K.M., (2011). Specifics of Geological Development of Caspian Block Structure. AAPG European Region Annual Conference, Kiev, Ukraine.
- Reznov, I.A., Chamo, S.S., (1969). Reasons for absence of a "granitic" layer in basins of the South Caspian and Black Sea type. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 6: 671-678 p.
- Vernon, R. H. (2018). A practical guide to rock microstructure. Cambridge university press.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., (2010). Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist Journal*. v.95(1):185-187 p.

## سنگ شناسی و ژئوشیمی استوک فلسیک گذارسیاه (جنوب غرب جندق)

احمد جمشیدزائی<sup>۱\*</sup>؛ شمس الدین دامنی گل<sup>۲</sup>؛ قدرت ترابی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup>گروه زمین شناسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، ایران

نویسنده مسئول: [a.jamshidzaei@gmail.com](mailto:a.jamshidzaei@gmail.com)

### چکیده:

استوک فلسیک گذارسیاه در جنوب غرب جندق (ایران مرکزی)، با روند شمال شرق - جنوب غرب و در شمال غرب خرد قاره شرق - ایران مرکزی رخنمون دارد. روابط صحرایی نشان می‌دهد که دایک‌های حدواسط استوک فلسیک را قطع کرده‌اند. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی استوک فلسیک شامل پلاژیوکلاز (آلبیت)، فلدسپار پتاسیم (سانیدین)، کوارتز، بیوتیت مسکوویت، مگنتیت و کلسیت هستند. بافت‌های اصلی در این سنگ‌ها پورفیریتیک و گلومروپورفیریتیک هستند. داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل، ماهیت کالک آلکال را برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. الگوهای کندریت نرمالیز و نمودار چند عنصری بهنجار شده گوشته اولیه در این سنگ‌ها، بیانگر غنی شدگی از LREE و LILE ها و تهی شدگی از HFSE هایی مانند Ta، Ti و Nb می‌باشد. خصوصیات شیمیایی این سنگ‌ها، بیانگر تشکیل آن‌ها در یک محیط فرورانش متعلق به قوس آتشفشانی می‌باشد. نمونه‌های مربوط به استوک فلسیک ویژگی‌های مرتبط با آداکیت‌های غنی از سیلیس را نشان داده که از ذوب اسلب اقیانوسی فرورونده ایجاد گردیده‌اند.

کلیدواژه: استوک فلسیک، فرورانش، آداکیت، جندق، خرد قاره شرق - ایران مرکزی

## Petrology and geochemistry of felsic stock from Godar-e-Siah (SW of Jandaq)

Ahmad Jamshidzaei<sup>1\*</sup>; Shamsoddin Damani Gol<sup>2</sup>; Ghodrat Torabi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>2</sup>Department of Geology, Velayat University, Iranshahr, Iran

Email: [a.jamshidzaei@gmail.com](mailto:a.jamshidzaei@gmail.com)

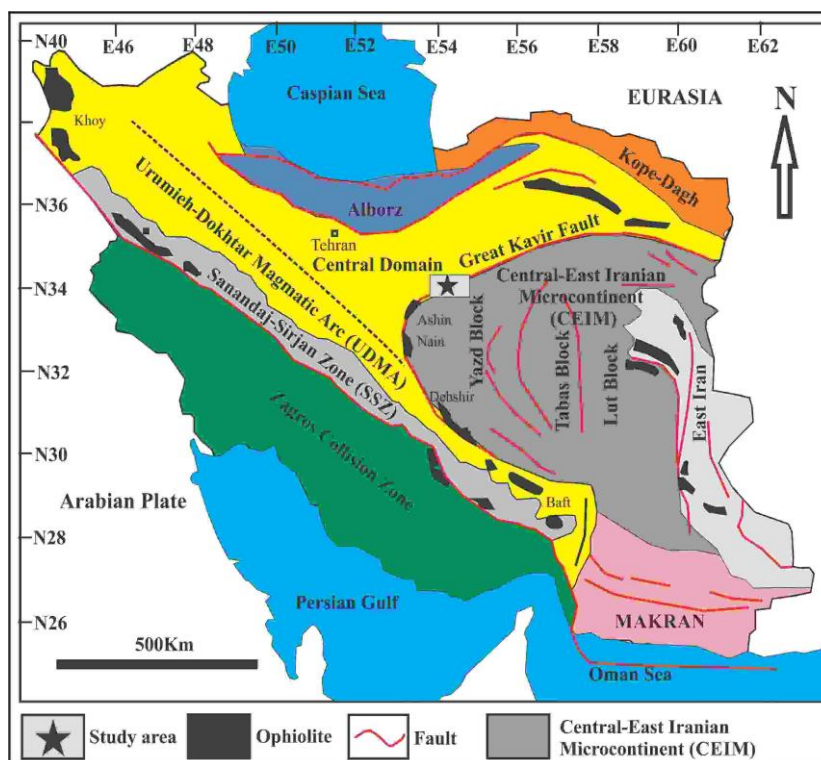
### Abstract

The felsic stock from southwest of Jandaq area (Central Iran) exhibit northeast-southwest exposure trend in northwest of the Central-East Iranian Microcontinent (CEIM). Field relationships show that the intermediate dykes cross cut the felsic stock. Minerals of the felsic stock are plagioclase (albite), K-feldspar (sanidine), quartz, biotite, muscovite, magnetite, and calcite. The main textures in these rocks are porphyritic and glomeroporphyritic. Whole rock geochemical data reveal the calc-alkaline nature of studied rocks. The chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized multi-element spider diagram of felsic stock show LREE and LILE enrichment and HFSE (Ta, Nb and Ti) depletion. These chemical characteristics indicate that the studied samples are probably formed in a subduction zone and are similar to the volcanic arc rocks. The rock samples of felsic stock are geochemical characteristics of the high silica adakites (HSA) produced by melting of a subducted oceanic crust.

Keyword: *Felsic stock, Subduction, Adakite, Jandaq, Central- East Iranian Microcontinent.*

مقدمه:

آداکیت‌ها سنگ‌های آذرین با ترکیب حدواسط تا اسیدی ( $\text{SiO}_2 > 56 \text{ wt.}\%$ ) هستند که ماگمای ایجاد کننده آنها در نتیجه ذوب پوسته اقیانوسی فرورونده تشکیل شده است (Defant and Drummond, 1990). از نظر ژئوشیمیایی آداکیت‌ها با خصوصیتی مانند؛  $\text{SiO}_2 > 56 \text{ wt}\%$ ،  $\text{Sr} > 400 \text{ ppm}$  و غنی‌شدگی از عناصر LILE و LREE و مقادیر  $\text{Y} < 18 \text{ ppm}$ ،  $\text{Yb} < 1/9$  و نسبت‌های بالای  $\text{Sr/Y} > 40$  و  $\text{La/Yb} > 20$  مشخص می‌گردند (Castillo, 2012). استوک فلسیک گدارسیاه در جنوب غرب جندق (شمال شرق استان اصفهان) و در بخش شمال غربی خرد قاره شرق-ایران مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). در این منطقه توده نفوذی به صورت استوک توسط دایک‌های ائوسن با ترکیب حدواسط قطع شده است. در این تحقیق، خصوصیات سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی استوک فلسیک گدارسیاه مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱: موقعیت منطقه گدارسیاه در نقشه تقسیمات زمین‌شناسی ایران (با تغییرات از Tadayan et al., 2017).

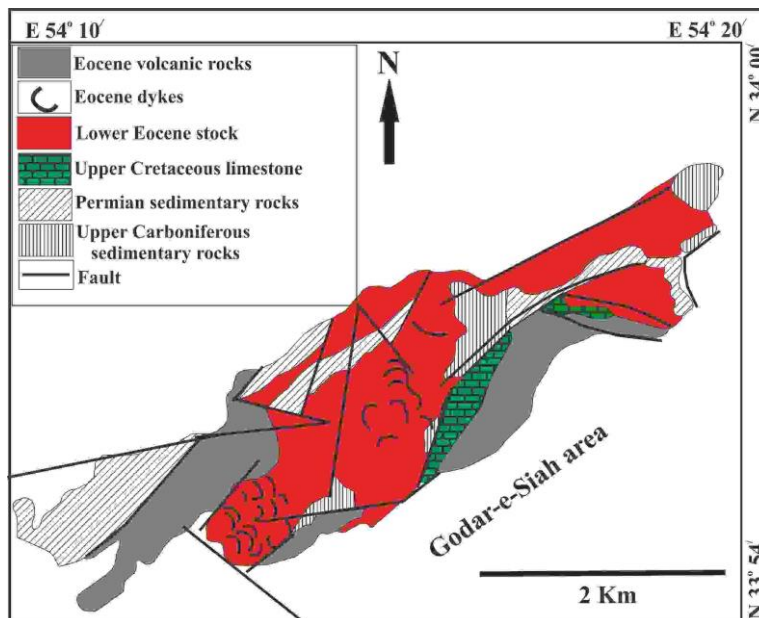
زمین شناسی عمومی:

منطقه گدارسیاه در شمال غربی خرد قاره شرق-ایران مرکزی و در جنوب غربی شهر جندق قرار گرفته است. مهمترین واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های رسوبی کربونیفر و پرمین، سنگ‌های کربناته کرتاسه بالایی، سنگ‌های ولکانیک ائوسن، استوک فلسیک و دایک‌های حدواسط هستند. روند کلی منطقه گدارسیاه و استوک فلسیک شمال-شرقی - جنوب غربی بوده و به موازات گسل کویربزرگ قرار دارد. دایک‌های حدواسط به سن ائوسن زیرین تا میانی، در بخش‌های مختلف، استوک فلسیک را قطع کرده‌اند (شکل ۲).

تعیین سن انجام گرفته از استوک فلسیک با استفاده از روش K-Ar، سن ۵۴ میلیون سال (Aistov et al., 1984) و سن سنجی صورت گرفته از زیرکن‌های موجود در این استوک به روش  $^{206}\text{P}/^{238}\text{U}$  سن ۵۳ میلیون سال (ائوسن زیرین) را نشان



می‌دهد (Berra et al., 2017) را نشان می‌دهد. از نظر سنگ‌شناسی نمونه‌های مربوط به این توده، لوکوکرات و متراکم هستند. در بررسی‌های سنگ‌شناسی و صحرایی اغلب نمونه‌های مربوط به این توده، هموزن بوده و در تعداد کمی از نمونه‌ها نیز می‌توان آثار مربوط به دگرسانی را مشاهده نمود. در برخی از نمونه‌های دگرسان شده، کانی‌های فلدسپار به کانی‌های رسی دگرسان شده و در نمونه دستی به رنگ نارنجی تا صورتی قابل مشاهده هستند.



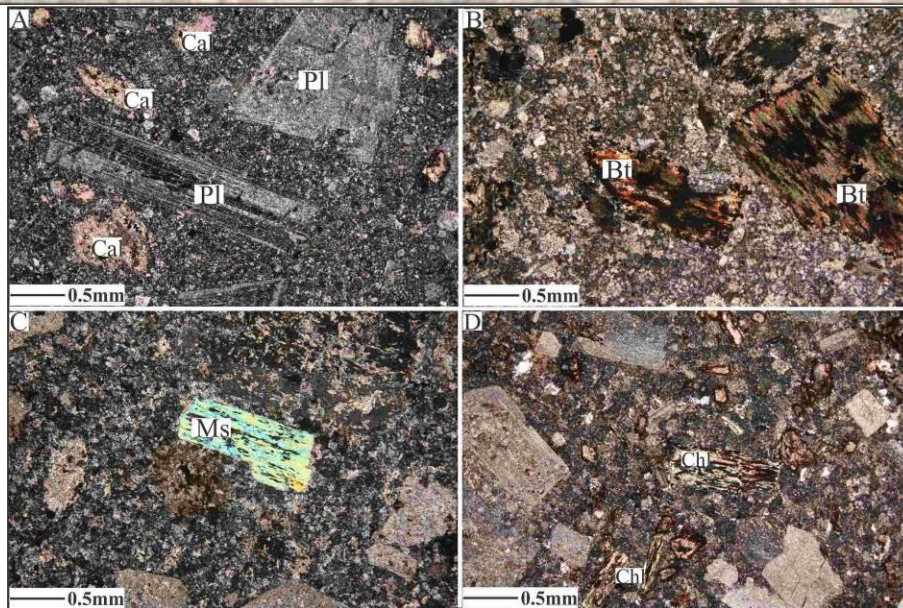
شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی ساده شده جنوب غرب جندق (منطقه گدارسیاه).

### روش مطالعه:

جهت مطالعه و بررسی سنگ‌های مربوط به استوک فلسیک منطقه گدارسیاه علاوه بر بررسی‌های صحرایی، از این سنگ‌ها نمونه برداری انجام شده و نمونه‌های مناسب برای مطالعات پتروگرافی و شیمی‌کانی‌ها و آنالیز سنگ کل انتخاب شدند. پس از مطالعات کانی‌شناسی و پتروگرافی، ۸ نمونه از سالم‌ترین سنگ‌ها توسط ترکیبی از روش‌های ICP-MS و ICP-AES در شرکت Als-Mineral کانادا مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. برای محاسبه مقادیر FeO و  $Fe_2O_3$  از  $Fe_2O_3^*$  نسبت ارائه شده توسط (Middlemost, 1989) استفاده شده است.

### کانی‌شناسی و پتروگرافی استوک فلسیک گدارسیاه:

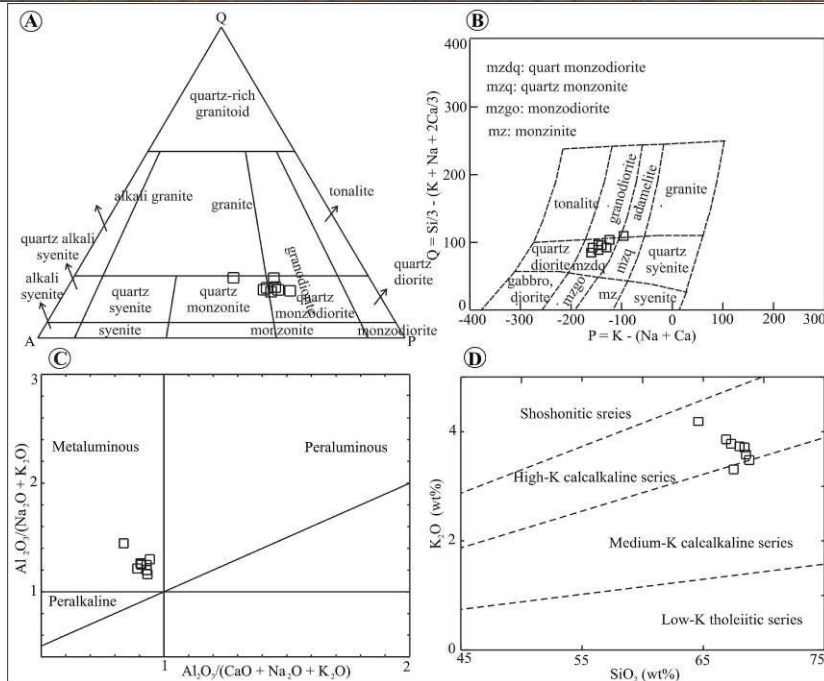
سنگ‌های مورد بررسی دارای درشت بلورهای پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکوویت و کوارتز می‌باشند که در زمینه‌ای ریز بلور از همین کانی‌ها، سانیدین، کانی‌های ثانویه کلریت، کلسیت و کانی‌های اپاک قرار گرفته‌اند (شکل ۳). کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز فراوانی بیشتری نسبت به میکاها دارند. بافت اصلی این سنگ‌ها پورفیریتیک و گلمروپورفیریتیک می‌باشد. در این منطقه با توجه به فراوانی گسل‌های مختلف مانند گسل اصلی کویر بزرگ و شاخه‌های فرعی این گسل به همراه گسل‌های محلی، توده مورد نظر سریعاً سرد شده و سنگ‌ها دارای بافت پورفیریتیک هستند. توده‌های نفوذی با بافت پورفیریتیک تاکنون در نقاط مختلفی از جهان مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شده‌اند (Zhang et al. 2015; Tang et al. 2017). این توده‌ها غالباً به صورت استوک و گنبد بوده و در امتداد گسل‌ها و یا زونهای برشی تشکیل شده‌اند. با توجه به اینکه این توده‌ها سریعاً متبلور شده‌اند، بافت اغلب آنها به صورت پورفیریتیک می‌باشد.



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی از بافت‌ها و کانی‌های تشکیل‌دهنده استوک فلسیک گدارسیاه. A- وجود بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه‌های مورد مطالعه (XPL). B- وجود درشت بلورهای بیوتیت در زمینه‌ای ریزدانه (XPL). C- درشت بلورهای مسکوویت در زمینه‌ای ریزدانه (XPL). D- حضور بلورهای کلریت در نمونه‌های مورد بررسی که در نتیجه دگرسانی بیوتیت شکل گرفته‌اند (XPL).

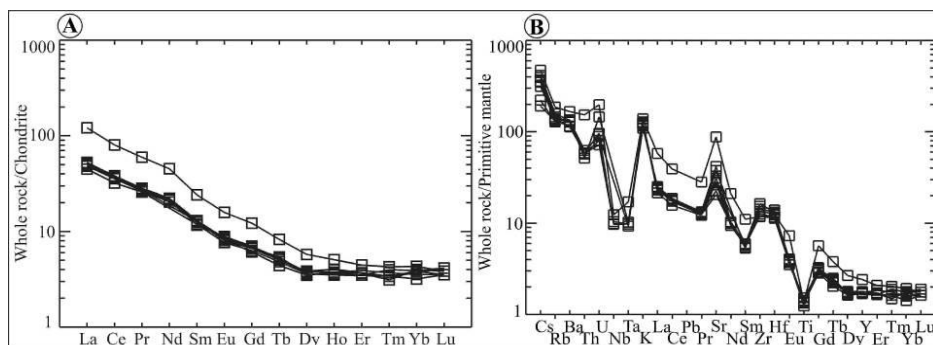
#### بحث:

بررسی نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی استوک فلسیک نشان می‌دهد که این نمونه‌ها دارای  $\text{SiO}_2$  برابر با ۶۴/۶۰ تا ۶۸/۸۰ درصد وزنی هستند. این سنگ‌ها مقادیر  $\text{TiO}_2 < 0.33$  درصد وزنی داشته و دارای میزان  $\text{Al}_2\text{O}_3$  برابر با ۱۴/۷۵ تا ۱۶/۲۰ درصد وزنی می‌باشند. نمونه‌های مورد مطالعه محتوی  $\text{K}_2\text{O}$  برابر با ۳/۳۱ تا ۴/۱۷ درصد وزنی دارند و مقادیر  $\text{CaO}$  و  $\text{Na}_2\text{O}$  در آن‌ها به ترتیب دارای گستره‌ای از ۱/۸۴ تا ۴/۱۰ درصد وزنی و ۳/۴۶ تا ۶/۱۲ درصد وزنی می‌باشند؛ محتوی بالاتر  $\text{Na}_2\text{O}$  نسبت به  $\text{CaO}$  در آن‌ها را می‌توان به حضور پلاژیوکلازهای سدیک (آلبیت) نسبت داد. محتوی LOI در این سنگ‌ها برابر با ۱/۵۷ تا ۵/۲۷ درصد وزنی می‌باشد؛ میزان LOI در این نمونه‌ها ناشی از تاثیر فرایندهای دگرسانی نظیر سرسیتی‌شدن و کلریتی‌شدن در این سنگ‌ها و وجود کانی‌های آب‌دار همچون بیوتیت، مسکوویت و کلریت در آن‌ها می‌باشد. استفاده از نمودارهای P-Q و QAP به منظور تقسیم بندی و نامگذاری این سنگ‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد بررسی دارای ترکیب کوارتز موزودیوریت هستند (شکل ۴-A و ۴-B). بررسی ضریب اشباع‌شدگی از آلومینیم نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از نظر ترکیبی متالومینوس هستند (شکل ۴-C). همچنین تمایز سری ماگمای سازنده این نمونه‌ها بر مبنای عناصر اصلی نشان‌دهنده ماهیت ساب‌آلکان ماگمای مولد آن‌ها است و در تقسیم‌بندی سنگ‌ها از نظر مقدار  $\text{K}_2\text{O}$ ، این نمونه‌ها در محدوده‌ی سری کالک آلکان قرار گرفته‌اند (شکل ۴-D).



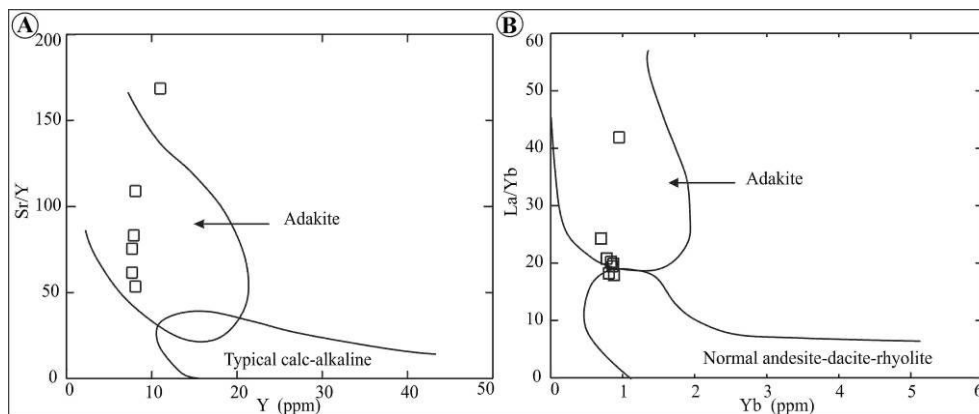
شکل ۴: نمودارهای ژئوشیمیایی بررسی ترکیب استوک فلسیک گذارسیاه. A- نمودار نامگذاری نورماتیو سنگ‌ها براساس کوارتز-آلکالی فلدسپار-پلاژیوکلاز (برگرفته از Le Maitre et al., 1989). B- نامگذاری سنگ‌ها در نمودار Q-P (برگرفته از Debon and Lefort, 1983). C- نمودار A/NK-A/CNK جهت بررسی ضریب اشباع‌شدگی از آلومینیم (برگرفته از Irvine and Baragar, 1971). D- نمودار تقسیم‌بندی نمونه‌ها بر مبنای محتوی  $SiO_2-K_2O$  (برگرفته از Le Maitre et al., 1989).

بررسی الگوی عناصر نادرخاکی در نمونه‌های استوک فلسیک بهنجار شده نسبت به ترکیب کندریت نشان‌دهنده غنی‌شدگی از LREEs نسبت به HREEs می‌باشد. در روند کلی این نمونه‌ها آنومالی مثبت یا منفی Eu وجود ندارد (شکل ۵-A).  
 بررسی الگوی عناصر در نمودار چند عنصری بهنجار شده نسبت به ترکیب گوشته اولیه برای این سنگ‌ها، نشان می‌دهد که عناصر LILEs دارای غنی‌شدگی نسبت به ترکیب گوشته هستند (شکل ۵-B). در روند کلی این نمونه‌ها غنی‌شدگی از LILEs همچون Cs، Rb و Ba نسبت به HFSEs وجود دارد که غنی‌شدگی از این عناصر بیانگر فرایندهای مرتبط با فروانش می‌باشد (Martin et al., 2005).



شکل ۵: نمودار بهنجارسازی عناصر نادر خاکی و نمودار چند عنصری بهنجار شده در استوک فلسیک گذارسیاه. A- نسبت به ترکیب کندریت (برگرفته از Sun and McDonough, 1989). B- نسبت به ترکیب گوشته اولیه (برگرفته از McDonough and Sun, 1995).

بررسی ژئوشیمی نمونه‌های مورد مطالعه بیانگر مقادیر کم عنصر Y در این سنگ‌ها ( $Y < 11 \text{ ppm}$ ) و محتوی اندک HREE می‌باشد. که این مشخصات نشان دهنده‌ی سنگ منشا غیرپریدوتیتی برای آن‌ها می‌باشد. این سنگ‌ها دارای  $\text{MgO}$  برابر با ۰/۱۶ تا ۱/۱۰ درصد وزنی و محتوی  $\text{Sr} = 434-1855 \text{ ppm}$  هستند. همچنین محتوی عناصر Yb و Y در آن‌ها به ترتیب ۰/۷ تا ۰/۹۵ و ۷/۱ تا ۱۱ پی پی ام می‌باشد. وجود مقادیر بالای Sr و محتوی پایین Yb و Y در این نمونه‌ها همراه با ماهیت فلسیک و سدیک آن‌ها، وجه تمایز ماگمای مولد این نمونه‌ها از ماگماهای کالک-آلکالن تیپیک است. استفاده از نمودارهای  $\text{Sr}/\text{Y}$ -Y و  $\text{La}/\text{Yb}$ -Yb نشان می‌دهد که این نمونه‌ها در محدوده آداکیت قرار می‌گیرند (شکل ۶-A و ۶-B)؛ این سنگ‌ها از نظر ترکیب شیمیایی و ماهیت، متفاوت از مذاب‌های کالک-آلکالن معمولی بوده و در محدوده آداکیت قرار می‌گیرند.



شکل ۶: A و B- نمودارهای تفکیک مذاب‌های آداکیتی از ماگماهای کالک آلکالن (اقتباس از Defant and Drummond, 1990).

ماگماهای آداکیتی به آداکیت‌های غنی از سیلیس و آداکیت‌های فقیر از سیلیس تقسیم می‌گردند. آداکیت‌های غنی از سیلیس دارای  $\text{SiO}_2 > 56 \text{ wt\%}$ ،  $\text{MgO} < 3 \text{ wt\%}$ ، میزان پایین  $Y < 18 \text{ ppm}$  و  $Yb < 1/9 \text{ ppm}$ ، مقدار  $\text{Sr} > 400 \text{ ppm}$  و  $\text{Sr}/\text{Y} > 40$  می‌باشند (Martin et al., 2005). همچنین آداکیت‌های فقیر از سیلیس دارای  $\text{SiO}_2 = 50-60 \text{ wt\%}$  و از نسبت  $\text{Sr}/\text{Y}$  و  $\text{La}/\text{Yb}$  بیشتری نسبت به آداکیت‌های پرسیلیس برخوردارند (Moyen, 2009). براساس میانگین ارائه شده برای آداکیت‌های غنی از سیلیس و نمودارهای تفکیک آداکیت‌های غنی از سیلیس و آداکیت‌های فقیر از سیلیس، نمونه‌های مربوط به استوک فلسیک در محدوده آداکیت‌های غنی از سیلیس قرار می‌گیرند.

### نتیجه‌گیری:

بررسی ژئوشیمیایی استوک فلسیک نشان می‌دهد که این سنگ‌ها ماهیت فلسیک و سدیک داشته و ضریب اشباع‌شدگی از آلومینیم در آن‌ها ترکیب متالومینوس را مشخص می‌کند. این سنگ‌ها دارای غنی‌شدگی از LREE، LILE و تهی‌شدگی از HREE و Y بوده و دارای نسبت بالای  $\text{Sr}/\text{Y}$  و  $\text{La}/\text{Yb}$  هستند؛ این مشخصات بیانگر تشابه ترکیب ژئوشیمیایی این سنگ‌ها با ترکیب آداکیت‌های غنی از سیلیس می‌باشد. استوک فلسیک موجود در گدارسیاه دارای غنی‌شدگی از LREEs نسبت به HREEs، مقادیر پایین عنصر Eu، فقدان آنومالی مثبت یا منفی مشخص Eu در نمودار بهنجارسازی نسبت به ترکیب کندریت، مقادیر پایین Nb/Ta (۱۲/۵۷-۱۸/۵۰)، Nb/La (۰/۲۲-۰/۴۶) و مقادیر بالای Zr/Sm (۲۶/۹۳-۷۱/۱۲) هستند (Jamshidzaei et al., 2021). این خصوصیات نشان می‌دهد که ماگمای مولد این استوک فلسیک از طریق رخداد فرایند ذوب بخشی یک گارنت آمفیبولیت در اسلب اقیانوسی فرورونده ایجاد شده و شباهتی به مذاب‌های برگرفته از ذوب بخشی پوسته زیرین ندارد. با توجه به پتروژنز مجموعه استوک فلسیک و تحولات شاخه شرقی اقیانوس نتوتتیس در پیرامون خرد قاره

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شرق- ایران مرکزی، می توان فرورانش پوسته اقیانوسی نایین و عشین را به عنوان مدلی برای تولید ماگماتیسیم آداکیتی در این منطقه پیشنهاد نمود.

منابع:

- Aistov, L., Melnikov, B., Krivyakin, B., Morozov, L., 1984. Geology of the Khur Area (Central Iran). Geological Survey of Iran, Tehran, 132 p.
- Berra, F., Zanchi, A., Angiolini, L., Vachard, D., Vezzoli, G., Zanchetta, S., Bergomi, M., Javadi, H. R., Kouhpeyma, M., 2017. The upper Palaeozoic Godar-e-Siah Complex of Jandaq: evidence and significance of a North Palaeotethyan succession in Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 13, 272-290.
- Castillo, P. R., 2012. Adakite petrogenesis. *Lithos* 134, 304-316.
- Debon, F., Le Fort, P., 1983. A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh* 73, 135-149.
- Defant, M. J., Drummond, M. S., 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 347, 662-665.
- Irvine, T., Baragar, W., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523-548.
- Jamshidzaei, A., Torabi, G., Morishita, T., Tamura, A., 2021. Eocene dike swarm and felsic stock in Central Iran: roles of metasomatized mantle wedge and Neo-Tethyan slab. *Journal of Geodynamics*, 101844.
- Le Maitre, R.W., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms; Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks: Oxford, United Kingdom, Blackwell Scientific Publications, 193 p.
- Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R., Moyen, J.F., Champion, D., 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos* 79, 1-24.
- McDonough, W. F. Sun, S. S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120: 223-253.
- Middlemost, E.A.K., 1989. Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. *Chemical Geology* 77, 19-26.
- Moyen, J.F., 2009. High Sr/Y and La/Yb ratios: the meaning of the “adakitic signature”. *Lithos* 112, 556-574.
- Sun, S. S. McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publications 42, 313-346.
- Tadayon, M., Rossetti, F., Zattin, M., Nozaem, R., Calzolari, G., Madanipour, S., Salvini, F., 2017. The post-Eocene evolution of the Doruneh Fault region (Central Iran): The intraplate response to the reorganization of the Arabia-Eurasia collision zone. *Tectonics* 36, 3038-3064.
- Tang, Y., Li, X., Xie, Y., Liu, L., Lan, T., Meffre, S. and Huang, C., 2017. Geochronology and geochemistry of late Jurassic adakitic intrusions and associated porphyry Mo–Cu deposit in the Tongcun area, east China: Implications for metallogenesis and tectonic setting. *Ore Geology Reviews* 80, 289-308.
- Zhang, J.Q., Li, S.R., Santosh, M., Wang, J.Z. and Li, Q., 2015. Mineral chemistry of high-Mg diorites and skarn in the Han-Xing Iron deposits of South Taihang Mountains, China: Constraints on mineralization process. *Ore Geology Reviews* 64, 200-214.

## ژئوشیمی سنگهای آتشفشانی ائوسن پسین منطقه وادقان

بهناز حسینی<sup>۱\*</sup>، احمدرضا احمدی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور

be.hosseini@pnu.ac.ir

### چکیده:

در این پژوهش به بررسی خصوصیات سنگ شناسی و ژئوشیمیایی سنگهای آتشفشانی ائوسن پسین در این بخش از ناحیه میانی کمربند ارومیه- دختر پرداخته شده است. سنگهای مورد مطالعه دارای ترکیب آندزیت تا آندزی بازالت می باشند. این سنگها به لحاظ ویژگی های ژئوشیمیایی از نوع ساب آلكالن و متمایل به سری کالک آلكالن می باشند. خصوصیات ژئوشیمیایی عناصر کمیاب از جمله غنی شدگی از LILE و تهی شدگی از HFSE در مقایسه با عناصر نادرخاکی مجاور خود و همچنین دیگر خصوصیات ژئوشیمیایی مشابه با سنگهای ماگمایی مناطق فرورانش به ویژه حواشی فعال قاره ای است.

کلیدواژه: وادقان، ژئوشیمی، آندزیت

### Geochemistry of the Late-Eocene volcanic rocks of Vadeghan

Behnaz Hosseini<sup>1,\*</sup>; Ahmadreza Ahmadi<sup>2</sup>

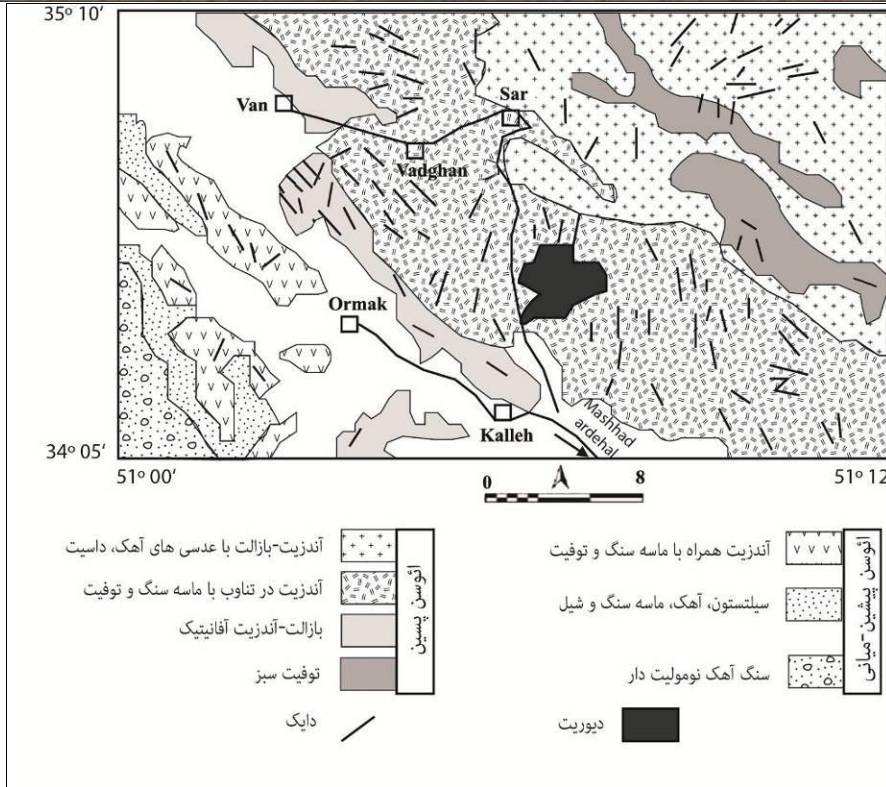
### Abstract

In this study petrology and geochemistry of the Late-Eocene volcanic rocks from the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic belt were investigated. The volcanic rocks vary in composition from andesite to basaltic andesite and mainly belong to sub-alkaline magmatic series. Geochemical characteristics of the volcanic rocks such as enrichment of LILEs and depletion of HFSEs relative to REEs suggest that these volcanic rocks were formed in a magmatically active continental margin.

**Keywords:** Vadeghan, Geochemistry, Andesite

### مقدمه:

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی "۵۱° ۰۰' ۰۰" تا "۵۱° ۱۲' ۰۰" طول شرقی و همچنین "۳۴° ۰۵' ۰۰" تا "۳۴° ۱۰' ۰۰" عرض شمالی در حوالی روستای وادقان در مسیر راه کاشان-دلیجان قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در بخش جنوب غربی نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ آران و نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ آران جای دارد. این منطقه از نظر تقسیمات زمین شناسی ساختمانی ایران، جزء زون ایران مرکزی و کمربند ماگمایی ارومیه-دختر محسوب می شود. در محدوده مورد مطالعه سنگهای آذرین، آذرآواری و رسوبی سنوزوئیک از ائوسن میانی تا عهد حاضر برنزد دارد و در این میان فعالیت های آتشفشانی ائوسن پسین بسیار گسترده است (شکل ۲). نهشته های ائوسن این محدوده را می توان با سازند کرج در کوه های البرز مقایسه کرد. نهشته های آتشفشانی- رسوبی ائوسن پسین که ضخامت کلی آنها تا ۱۵۰۰ متر می رسد به طور پیوسته بر روی مجموعه رسوبی- آتشفشانی ائوسن میانی قرار گرفته است. این نهشته ها شامل سنگهای آتشفشانی با ترکیب غالباً حدواسط همراه با سنگهای آذرآواری، سنگ آهک و سنگهای تخریبی از نوع ماسه سنگ و کنگلومرا است. حجم و وسعت بخشهای آتشفشانی به مراتب بیشتر از بخشهای رسوبی است. هدف از این پژوهش بررسی خصوصیات پترولوژیکی سنگهای آتشفشانی ائوسن پسین در این بخش از کمربند ماگمایی ارومیه- دختر می باشد.



شکل ۱: نقشه واحدهای اصلی منطقه. نقشه برگرفته از (امامی و امینی، ۱۳۷۵) می باشد.

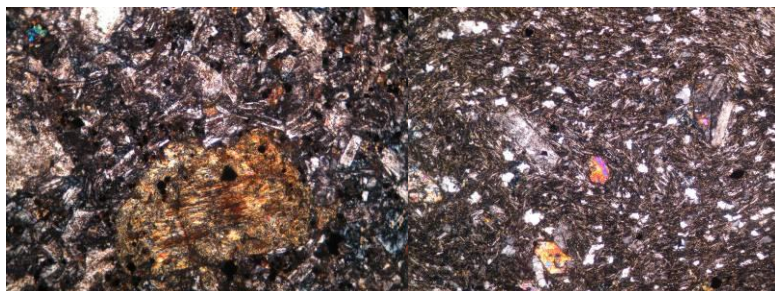


شکل ۲: سکانس سنگهای آتشفشانی ائوسن پسین.

#### بحث:

سنگهای آتشفشانی مورد بررسی از نوع آندزیت، تراکی آندزیت تا آندری بازالت هستند (شکل ۳). بافت غالب این سنگها پورفیریک تا گلومروپورفیریک با خمیره میکرولیتی می باشد. کانی های رایج آنها شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، کلریت، اپیدوت، اکسید آهن- تیتان، آمفیبول، آلکالی فلدسپار و کوارتز است. مهمترین کانی این سنگها پلاژیوکلاز می باشد. بلورهای پلاژیوکلاز غالباً به صورت نیمه شکلدار و با تجزیه شدگی به کلریت، اپیدوت و کلسیت حجم عمده فنوکریست سنگها را تشکیل می دهد. میکرولیتهای ریز از این کانی همچنین بخش اصلی خمیره سنگ را تشکیل داده است. پیروکسن دومین کانی عمده

این سنگها می باشد که غالبا متحمل تجزیه شدگی به سایر کانیها شده است. این کانی به صورت ریز بلور در خمیره سنگها نیز حضور قابل توجهی دارد.



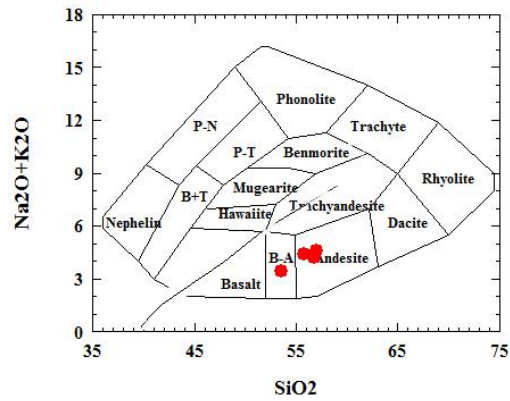
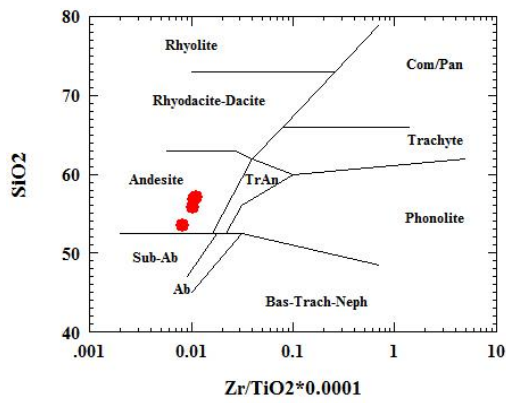
شکل ۳: تصویر میکروسکوپی از سنگهای آتشفشانی ائوسن پسین.

رده بندی سنگهای مورد مطالعه در نمودارهای شکل ۴ نشان داده شده است. نمونه های مورد بررسی در نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر مجموع آلکالی (Cox et al., 1979) در محدوده آندزیت و آندزی بازالت قرار می گیرند. بر اساس این نمودار و معیار تعریف شده توسط Irvine and Baragar (1971)، نمونه ها در محدوده ماگماهای ساب آلکالن جای می گیرند. همچنین در نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $\text{Zr/TiO}_2$  (Winchester & Floyd, 1977) نمونه ها در محدوده آندزیت جای می گیرند. بر اساس نمودار AFM (Irvine & Baragar, 1971) نمونه های مورد مطالعه در مجاورت منحنی متمایز کننده سری کالک آلکالن و تنولیتی قرار می گیرند و در نمودار  $\text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  در محدوده سری کالک آلکالن با پتاسیم متوسط قرار می گیرند (شکل ۵).

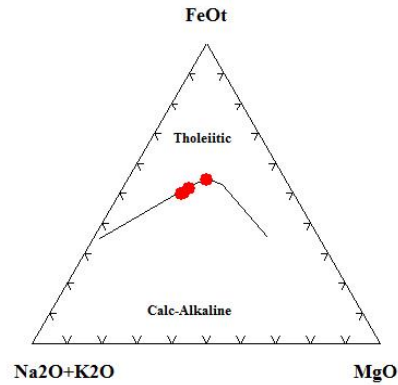
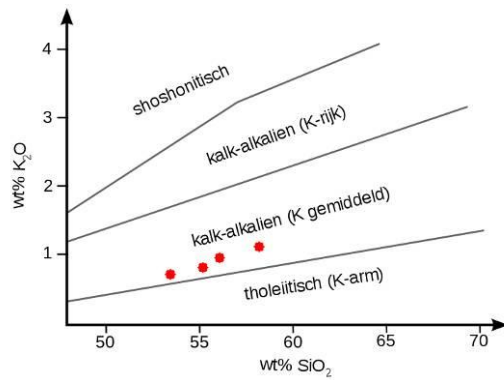
در شکل ۶ الگوهای عناصر نادرخاکی که نسبت به ترکیب کندریت بهنجار شده اند نشان داده شده است. این الگوها غنی شدگی از کلیه عناصر نادر خاکی را نسبت به ترکیب کندریت نشان می دهند (بین ۱۵ تا ۷۰ برابر ترکیب کندری). عناصر LREE نسبت به عناصر MREE و HREE غنی شدگی مشخصی دارند. میانگین میزان  $(\text{La/Sm})_N$  در حدود ۲ میباشد. میزان تفکیک بین عناصر HREE و MREE کم می باشد و الگوی تقریبا مسطحی در این ناحیه وجود دارد. عنصر Eu نسبت به عناصر مجاور خود تهی شدگی چندانی نشان نمی دهد. در شکل ۶ الگوی عناصر ناسازگار که نسبت به گوشته اولیه بهنجار شده اند نشان داده شده است. در این الگوها، عناصر LILE تا حدودی نسبت به عناصر نادرخاکی غنی شدگی دارند. همچنین به صورت مشخص عناصر HFSE (Ti و Ta, Nb) در مقایسه با عناصر نادرخاکی مجاور خود تهی شدگی دارند. عنصر Sr غنی شدگی اندک نسبت به عناصر مجاور خود نشان می دهد که احتمالا در ارتباط با تجمع بلورهای پلاژیوکلاز در مذاب و یا غنی بودن منشاء آن از این عنصر است. مجموع این خصوصیات ژئوشیمیایی عناصر کمیاب مشابه با خصوصیات ژئوشیمیایی سنگهای آتشفشانی وابسته به مناطق فرورانش می باشد.

نمونه های مورد مطالعه بر اساس نمودار Hf-Th-Ta (Wood, 1980) در محدوده سنگهای آتشفشانی کالک آلکالن مرتبط با فرورانش و بر اساس نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb در محدوده سنگهای ماگمایی مناطق حواشی فعال قاره ای قرار می گیرند (شکل ۷).

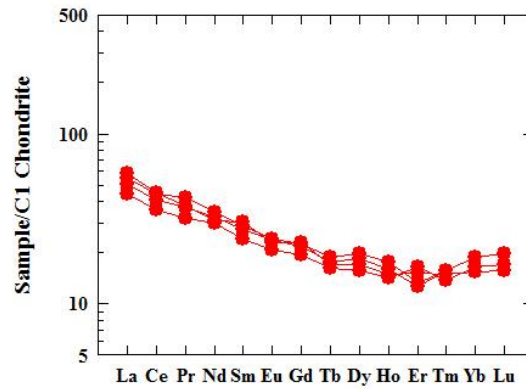
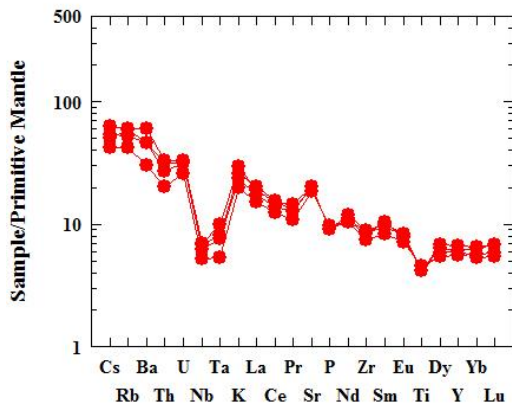




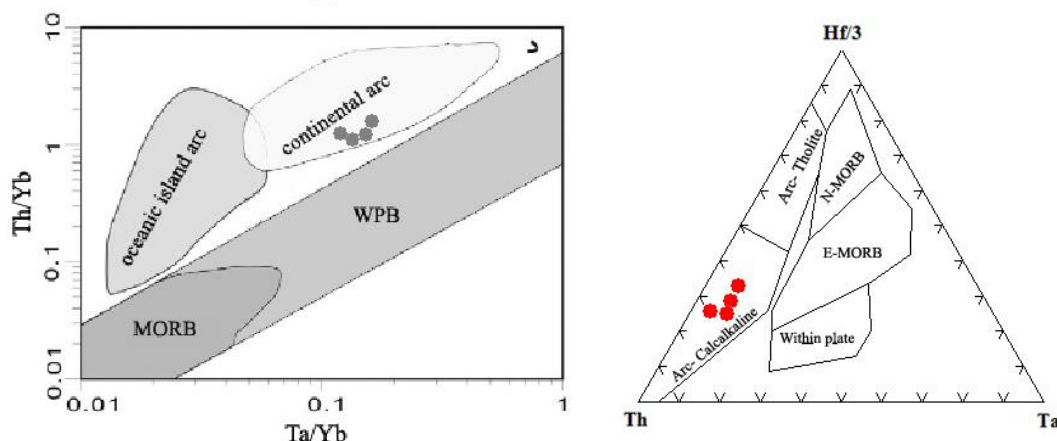
شکل ۴: رده بندی سنگهای مورد مطالعه.



شکل ۵: تعیین سری ماگمایی سنگهای مورد مطالعه.



شکل ۶: الگوهای عناصر کمیاب در مقایسه با ترکیب کندریت و گوشته اولیه.



شکل ۷: تعیین جایگاه تکتونوماگمایی سنگهای مورد مطالعه.

### نتیجه گیری:

فعالیت های ماگمایی ائوسن پسین در این بخش میانی از کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر به صورت توالی ضخیمی از سنگهای آتشفشانی بر روی سکانس ماگمایی ائوسن زیرین و میانی قرار گرفته است. این فعالیت های آتشفشانی باعث ظهور سنگهای پیروکلاستیک و همچنین روانه های گدازه ای با ترکیب بازیک، حدواسط تا اسیدی شده است. با این حال بخش اعظم آنها را سنگهایی با ترکیب حدواسط تشکیل می دهند. نمونه های مورد مطالعه دارای ترکیب سنگ شناسی آندزیت تا آندزی بازالت با بافت پورفیریک تا گلو مروپورفیریک با خمیره جریانی می باشند. خصوصیات ژئوشیمیایی این نمونه ها شباهت با سنگهای ماگمایی وابسته به مناطق فرورانش به ویژه گدازه های مناطق حواشی فعال قاره ای دارد که می تواند در تائید با مکانیسم فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی باشد.

### منابع:

- امامی، م.ه. و امینی، ب، ۱۳۷۵. نقشه زمین شناسی آران مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Cox, K.G. Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. George Allen & Unwin, London 450. pp.
- Walker Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Science 8, 523-548.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology 20, 325-343.
- Wood, D.A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth and Planetary Science Letters 42, 77-97.

## بررسی شرایط دگرشکلی در سنگهای دگرگونی شرق مزایجان (زون سنندج -

سیرجان)

بهناز حسینی<sup>۱\*</sup>، احمدرضا احمدی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور

be.hosseini@pnu.ac.ir

### چکیده:

سنگهای رسوبی و آذرین شرق مزایجان متحمل چندین فاز دگرگونی و دگرشکلی شده اند. مهمترین ساختار قابل مشاهده در این منطقه مربوط به برگوارگی S<sub>2</sub> است که در طی یک مرحله دگرشکلی در زون برشی خمیری تشکیل شده است. بررسی الگوهای مربوط به جهت یابی محور C بلورهای کوارتز بیانگر آن است که این زون برشی در شرایط حرارتی کمتر از ۴۰۰ درجه سانتیگراد فعالیت داشته است. کلیدواژه: مزایجان، دگرگونی، یونیورسال استیج.

### The investigation of deformation condition in metamorphic rocks of Mazayjan (Sanandaj-Sirjan zone)

Behnaz Hosseini<sup>1,\*</sup>; Ahmadrza Ahmadi<sup>2</sup>

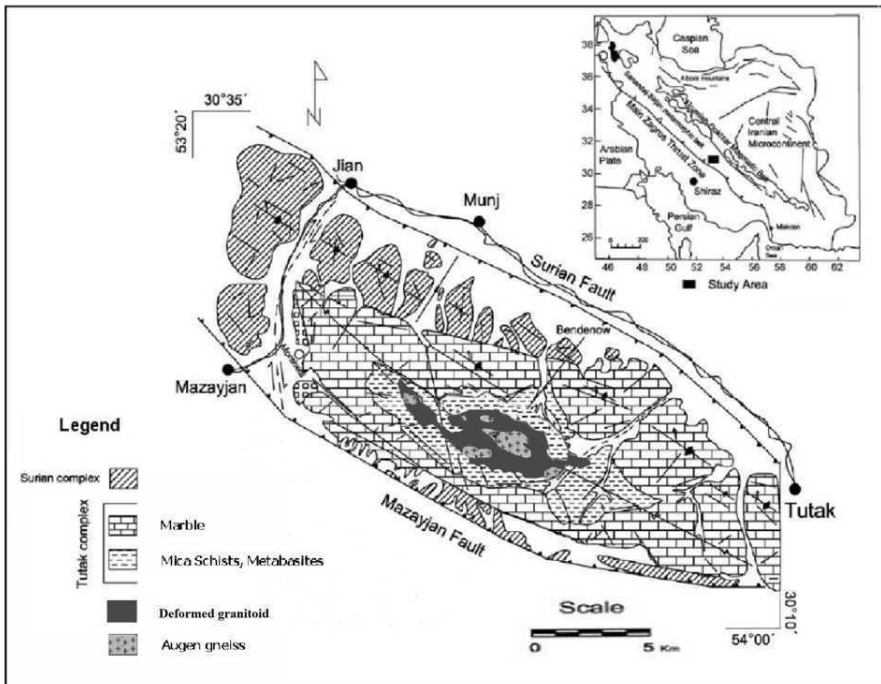
#### Abstract

Sedimentary and igneous rocks of eastern Mazayjan have undergone several phases of metamorphism and deformation. The most predominate structural unit in the region is a result of S<sub>2</sub> foliation which has been developed in a ductile shear zone. Analysis of c-axis quartz fabrics demonstrates that the deformation temperature in the shear zone was below 400 °C.

**Keywords:** Mazayjan, Metamorphism, Universal stage.

#### مقدمه:

سنگهای دگرگونی شرق مزایجان در بخش جنوبی زون سنندج- سیرجان از جمله مناطقی است که رخنمون واحدهای متعلق به پالئوزوئیک را میتوان مشاهده نمود (حسینی، ۱۳۹۰). این منطقه به صورت یک طاقدیس با قطر بزرگ در حدود ۲۰ کیلومتر و قطر کوچک در حدود ۱۰ کیلومتر و با یک روند شمال غرب- جنوب شرق با عرض جغرافیایی ۱۰° تا ۳۵° ۳۰ شمالی و طول جغرافیایی ۲۰° ۵۳ تا ۵۴° ۰۰ شرقی، در نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ اقلید (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۶۹) و بین دو برگه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شیدان و کرخنگان قرار میگیرد. بر اساس نظرات هوشمندزاده و سهیلی (۱۳۶۹)، سنگهای دگرگونی این منطقه از دو کمپلکس دگرگونی تشکیل شده است (شکل ۱). بر این اساس کمپلکس توتک در هسته طاقدیس قرار گرفته و با توجه به موقعیت آن قدیمی تر است و کمپلکس سوریان بخشهای خارجی این طاقدیس را تشکیل میدهد و سنی جوانتر از کمپلکس توتک دارد. در مرکز طاقدیس یک توده گرانیتوئیدی درون سنگهای کمپلکس توتک جای گرفته است. ویژگیهای ساختاری و میکروساختاری در منطقه مورد مطالعه بیانگر متحول شدن سنگهای دگرگونی و همچنین توده گرانیتوئیدی در یک زون برشی خمیری است. در این مطالعه ضمن بررسی ویژگیهای ساختاری سنگهای مورد مطالعه، خصوصیات دمایی زون برشی در این منطقه را بر اساس جهت یابی نوری بلورهای کوارتز توسط تکنیک یونیورسال استیج مورد مطالعه قرار می دهیم.



شکل ۱: جایگاه منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران و نقشه واحدهای اصلی منطقه، برگرفته از Sarkarnejad and Alizadeh, 2008.

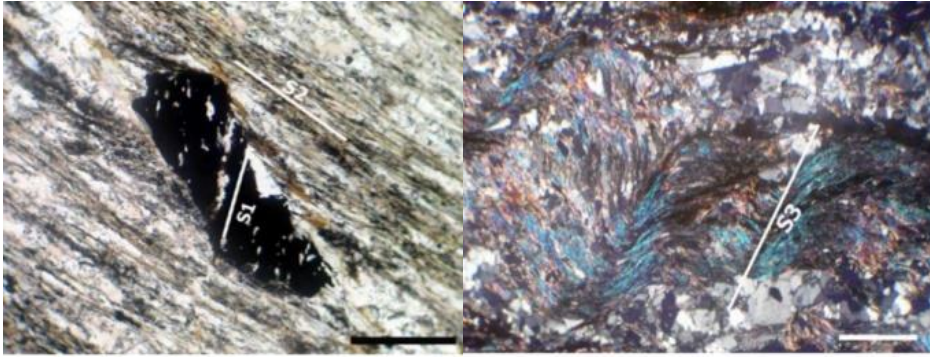
**بحث:**

شاخص ترین ساختار ساختمانی موجود در سنگهای طاقدیس کوه سفید توتک را برگوارگی ها تشکیل میدهند. این برگوارگی ها را میتوان در سه نسل، در سنگهای دگرگونی منطقه مورد مطالعه پیگیری کرد (شکل ۲). برگوارگی (S<sub>1</sub>) اولین برگوارگی است که غالباً در سنگهای متاپلیتی و متابازیت‌های کمپلکس سوریان قابل مشاهده است، در صورتیکه تشخیص آن در سنگهای کمپلکس توتک به سختی امکان پذیر است. این برگوارگی تنها در مقیاس میکروسکوپی قابل شناسایی است، با این حال در مقاطع نازک جهت دار تهیه شده این برگوارگی در سنگهای هر دو کمپلکس یک روند عمومی شمال غربی - جنوب شرقی تا غربی - شرقی را نشان میدهند. در سنگهای متاپلیتی و متابازیتی کمپلکس سوریان این برگوارگی عموماً توسط جهت یابی کانیهایی کلریت و تا حدودی کانیهایی اپیدوت سوزنی شکل و موسکویت معرفی میشود. در سنگهای متاپلیتی کمپلکس توتک، این برگوارگی ضعیف بوسیله جهت یابی کانیهایی بیوتیت، موسکویت، ایلمنیت و در مواردی کلریت های ریز بلور معرفی میشود. یک فاز دگرشکلی غالب، برگوارگی اولیه (S<sub>1</sub>) را تحت تاثیر قرار داده و برگوارگی (S<sub>2</sub>) را ایجاد کرده است. این برگوارگی ساخت صفحه ای اصلی در منطقه را تشکیل میدهد که کلیه سنگهای طاقدیس کوه سفید (کمپلکس های توتک و سوریان) را با روند مشابه و موازی با روند عمومی زون سنندج - سیرجان تحت تاثیر قرار داده است. روند غالب این برگواره در سنگ های منطقه 140-120 N میباشد که البته ممکن است در برخی نقاط بوسیله عملکرد چینها، گسلها و دیگر حوادث تکتونیکی تحت تاثیر قرار گرفته باشد. شیب این برگوارگی به صورت مشخص در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه تغییر میکند. به طور کلی، این برگوارگی در هسته طاقدیس و نزدیک توده گرانیتوئیدی دارای کمترین شیب است، در حالیکه به سمت خارج و به طرف یالهای طاقدیس، بر شیب این برگوارگی افزوده میشود. از هسته طاقدیس به سمت یال شمالی، این برگوارگی دارای شیب به سمت جنوب غربی میباشد، در حالیکه از بخش هسته به سمت یال جنوبی شیب آنها به سمت شمال شرقی است. علت چنین رفتاری در این برگوارگیها، باید به وجود دو گسل تراستی بزرگ مزایجان (در جنوب طاقدیس با شیب به سمت شمال شرق) و سوریان (در شمال طاقدیس با شیب به سمت جنوب غرب) وابسته باشد که طاقدیس کوه سفید را

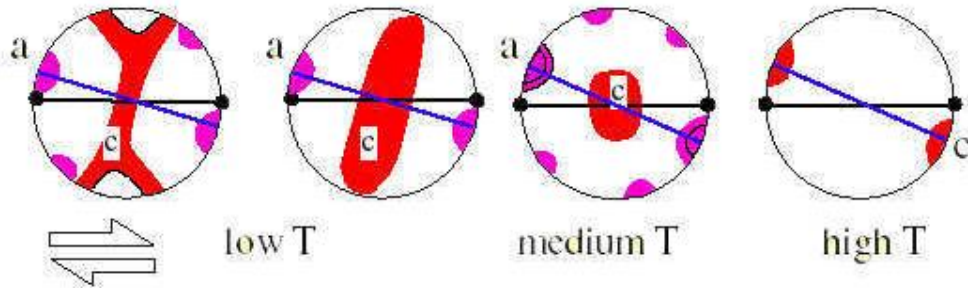
محاصره کرده اند، به نحویکه با نزدیک شدن به این گسلها شیب برگوارگی ( $S_2$ ) با شیب صفحه این گسلها منطبق میشود. این گسلها علاوه بر عملکرد معکوس خود، دارای یک مولفه امتداد لغز راستبر نیز میباشد (Sarkarinejad and Alizadeh, 2008).

با توجه به نوع سنگها و تغییرات لیتولوژیکی که در واحدهای منطقه روی میدهد، این برگوارگی تغییر ماهیت میدهد. بر این اساس، در سنگهای فیلیتی و اسلیتی کمپلکس سوریان که از درجه دگرگونی کمتری برخوردارند، این برگوارگی به صورت کلیواژ اسلیتی ظاهر شده است، در صورتیکه در سنگهای میکاشیستی کمپلکس توتک به صورت شیستوزیته و در سنگهای گرانیتوئیدی مرکز طاقدیس به صورت گنایسوزیته ظاهر میشود. نکته قابل توجه این است که، علیرغم تغییرات اندکی که در روند این برگوارگیها رخ میدهد، با این حال روند عمومی آن در سنگهای مختلف تقریباً ثابت مانده است. در مقیاس میکروسکوپی، متشکله های کانیاپی برگوارگی  $S_2$  در سنگهای متاپلیتی مشابه با برگوارگی  $S_1$  است. به عبارت دیگر، برگوارگی  $S_2$  تنها یک ساخت تکتونیکی است که بدون ایجاد مجموعه کانیهایی جدید باعث جهت یابی مجدد آنها شده است. وجود برخی شاخصهای ساختاری در این برگوارگی، حاکی از آن است که این برگوارگی در طی یک تکتونیک برشی تشکیل شده است. در حقیقت این برگوارگی را باید برگوارگی میلونیتی نامید. از جمله این شواهد ساختاری میتوان به وجود ساختهای چرخشی  $\sigma$  و  $\delta$ ، میکافیشها، فابریکهای S-C و ساختارهای قفسه کتابی اشاره کرد. مجموعه این ساختارها بیانگر ماهیت راستبر برشی در منطقه مورد مطالعه است. علاوه بر این ساختارهای میکروسکوپی، ساختارهایی را در مقیاس مزوسکوپی از جمله رگه های سیگموئیدال نیز میتوان مشاهده نمود که هندسه آنها بیانگر راستبر بودن تکتونیک برشی منطقه است. سومین شیستوزیته در سنگهای دگرگونی ناحیه مورد مطالعه ( $S_3$ ) را غالباً به صورت میکروسکوپی میتوان مشاهده نمود. به طور کلی،  $S_3$  یک کرینولیشن کلیواژ ضعیف است که به صورت ریز چین بر روی برگوارگی  $S_2$  ایجاد گردیده است. این شیستوزیته را غالباً در سنگهای متاپلیتی و به ویژه در کمپلکس سوریان که ماهیت شکل پذیرتری دارند، میتوان مشاهده نمود. در اینجا جهت بررسی الگوهای محور C- بلورهای کوارتز و بررسی شرایط دگرشکلی در زمان اعمال تکتونیک برشی دو نمونه از سنگهای میلونیتی انتخاب گردید. این دو نمونه شامل یک نمونه از توده گرانیتی دگرشکل شده و یک نمونه از سنگهای گارنت میکا شیستی در کمپلکس دگرگونی توتک است. برای بررسی جهت یابی نوری محور C بلورهای کوارتز و الگوهای LPO از نمونه های جهت دار استفاده شد. برای این منظور نمونه ها در جهت عمود بر برگوارگی و به موازات خط وارگی نمونه جهت دار برش داده می شود. با استفاده از الگوی LPO بدست آمده می توان شرایط دمایی دگرشکلی و تشکیل میلونیت ها را محاسبه کرد (شکل ۳). تمرکز الگوها در پیرامون تصویر استریوگرام بیانگر شرایط دمایی دگرشکلی کمتر از ۴۰۰ درجه سانتیگراد است، درحالیکه تمرکز در مرکز (حول محور Y) مویید درجه حرارت بالاتر از ۵۰۰ درجه سانتیگراد است.

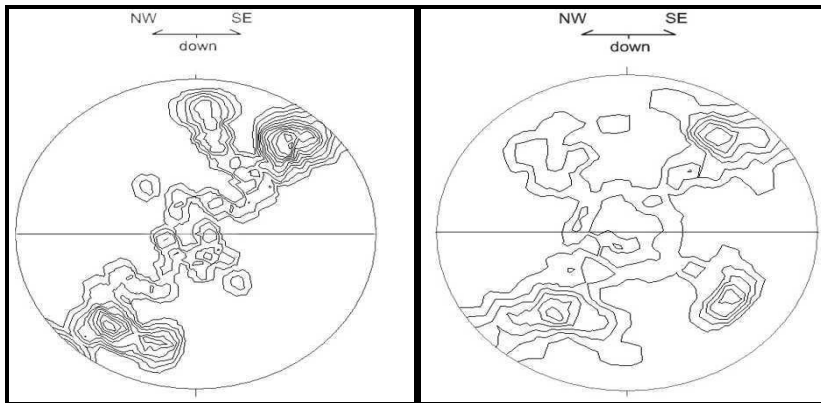
الگوهای مربوط به کانیهایی کوارتز در این دو نمونه در شکل ۴ نشان داده شده است. الگوهای بدست آمده نشان دهنده یک تمرکز در نزدیکی محور Z نشان میدهند. این الگوها بیانگر فعالیت یک سیستم لغزش قاعده ای (basal) در دمای کمتر از ۴۰۰ درجه سانتیگراد است. همانطور که مشاهده میشود، این الگوها شباهت بیشتری را با الگوی کمربندهای عرضی نوع اول در یک تکتونیک برشی راستبر نشان میدهند. همچنین با توجه به این الگوهای بدست آمده، شرایط دگرگونی برشی در منطقه را میتوان را در شرایط دما پایین انتظار داشت.



شکل ۲: تشکیل برگوارگی های متعدد در سنگهای مورد مطالعه.



شکل ۳: الگوی LPO در دگرشکلی غیر هم محور برای بلورهای کوارتز (Passchier and Trouw).



شکل ۴: الگوی LPO برای بلورهای کوارتز در نمونه های مورد مطالعه.

### نتیجه گیری:

شواهد ساختاری متعدد بیانگر آن است که سنگهای منطقه مورد مطالعه علاوه بر فازهای دگرگونی ناحیه ای متحمل فرایندهای دگرشکلی در یک زون برشی خمیری شده اند. برگوارگی  $S_2$  که شاخص ترین برگوارگی در منطقه مورد مطالعه است در حقیقت یک برگوارگی میلونیتی است که تمامی توالی موجود در این ناحیه را متاثر کرده است. بررسی الگوهای مربوط به جهت یابی نوری محور  $c$  بلورهای کوارتز بیانگر این است که این برگوارگی در طی یک زون برشی خمیری راستگرد در درجه حرارت کمتر از ۴۰۰ درجه سانتیگراد و تحت شرایط رخساره شیبست سبز تشکیل شده است.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



منابع:

حسینی، ب.، ۱۳۹۰. پترولوژی و پتروژنز سنگهای دگرگونی منسوب به پالئوزوئیک در زون سنندج- سیرجان و ارتباط آن با کانی زایی آهن. رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۱ صفحه.  
هوشمندزاده، ع.، سهیلی، م.، ۱۳۶۹. شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش اقلید، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Sarkarinejad, K, Alizadeh, A, 2008. Dynamic model for the exhumation of the Tutak gneiss dome within a bivergent wedge in the Zagros Thrust System of Iran. *Journal of Geodynamics*, 47, 201-209.  
Passchier, C.W, Trouw, R.A, 1996. *Microtectonics*". Springer, Berlin.

## ژئوشیمی مجموعه دایکهای شمال شرق مشکین شهر، شمالغرب ایران

محمد فدائیان<sup>۱\*</sup>، امین اله کمالی<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، گروه باستان سنجی و علوم طبیعی

\*m\_fadaeyan@pnu.ac.ir

### چکیده:

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و شمال شرق مشکین شهر در استان اردبیل واقع شده است. این ناحیه در زون البرز غربی و آذربایجان و زون ماگمایی ترشیاری قرار گرفته است. بخش عمده‌ای از این ناحیه را سنگ‌های آذرین به سن ائوسن تشکیل داده است. بیش از ۲۰۰ دایک کوچک و بزرگ در این ناحیه برونزد دارند و در زمینه‌ای از برشهای آتشفشانی به سن ائوسن زیرین تزریق شده اند. این مجموعه دایک‌های روند شمال شرق - جنوب غرب دارند. سنگ‌های مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی شیمیایی در چهار گروه آندزیتی، تراکی آندزیتی، بازالتی و تفریتی قرار می‌گیرند و دارای سری ماگمایی شوشونیتی هستند. بالا بودن نسبت LREE نسبت به HREE می‌تواند نشان‌دهنده‌ی بالا بودن نسبت CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O باشد که این نشان-دهنده‌ی عمق زیاد تولید ماگما است. مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که منبع گوشته غنی شده در تشکیل دایک‌های تفریتی نقش اساسی داشته ولی در تشکیل دایکهای تراکی آندزیتی و تراکییتی نقش تفریق غالب می‌باشد. آنومالی منفی عنصر Nb شاخص ماگماتیسم مربوط به زون فرورانش و میزان تهی‌شدگی یا غنی‌شدگی آن در ارتباط با میزان تاثیر پوسه در تحولات ماگمایی است. محیط تکتونیکی نمونه‌های مورد مطالعه حاشیه‌ی فعال قاره‌ای است. پدیده تفریق در تشکیل تنوعات سنگی دایکهای مورد مطالعه نقش اساسی ایفا نموده است ولی نمیتوان از نقش آرایش ماگمایی در تکامل سنگها را نادیده گرفت. از طرف دیگر پدیده ذوب‌بخشی عامل موثری در تشکیل مگمای مولد سنگ‌های مورد مطالعه نقش داشته است.

کلیدواژه: مشکین شهر، مجموعه دایک، آندزیت، شوشونیتی

## Geochemistry of dyke swarm in the northeast of Meshkinshahr, NW Iran

Mohamad Fadaian<sup>\*1</sup> and Kamali, Allah Amin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, University of Payam Noor

<sup>2</sup> Research Center for Conservation of Culture Relics (RCCCR), Research institute of Cultural Heritage & Tourism, Tehran, Iran.

\*Correspondence: m\_fadaeyan@pnu.ac.ir

### Abstract

The study area is located in northwestern Iran and northeast of Meshkinshahr in Ardabil province. This area is located in the western Alborz and Azerbaijan zones and the Tertiary magmatic zone. Most of this area is composed of igneous rocks of Eocene age. More than 200 small and large dykes have outcrop in this area and have been injected into volcanic breccias in the Lower Eocene age. This swarm dykes have a northeast-southwest trend. The studied rocks are divided into four groups based on chemical classification: andesitic, trachy-andesitic, basaltic and tephritic, and have a Shoshonite magmatic series. The high ratio of LREE to HREE and consequently the high CO<sub>2</sub>/ H<sub>2</sub>O ratio in these rocks, can indicate the high depth of magma production. Geochemical studies show that the source of enriched mantle has a major role in the formation of Tephritic dykes, but in the formation of andesitic and Trachytic dykes, fractionation plays a dominant role. The negative anomaly of the element Nb is the index of magmatism related to the subduction zone and the degree of its depletion or enrichment in relation to the extent of the impact of the crust on the magmatic changes. The



tectonic environment of this group of dykes is the active continental margin. The process of magmatic fractionation has played a major role in the formation of rock variations of the studied dykes, but the role of magmatic contamination in the evolution of rocks cannot be ignored. On the other hand, the partial melting has been an effective factor in the formation of productive magma in the studied rocks.

**Keywords:** Meshkinshahr, Dyke swarm, Andesite, Shoshonite.

#### مقدمه:

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و شمال شرق مشکین شهر در استان اردبیل واقع شده است. این ناحیه در زون البرز غربی و آذربایجان و زون ماگمایی ترشیاری قرار گرفته است (Stöcklin, 1968 and Nezafati, 2006). این ناحیه در ایالت ماگمایی آذربایجان که بین دریای خزر و دریای سیاه قرار گرفته و به طرف غرب به داخل آناتولی مرکزی کشیده شده است، قرار دارد (Alberti et al., 1980). بخش عمده ای از منطقه را سنگ‌های ماگمایی ترشیر می پوشاند. ولی سنگ‌های قدیمی تر به سن کرتاسه نیز به طور محدود در این منطقه برونزد دارند. سنگ‌های این دوره غالباً در شمال منطقه برونزد دارند. آهک‌های پلاژیک صورتی و قرمز همراه با چرت‌های رادیولارتری متناوب با شیل و مارن قرمز رنگ با سن سنونین زیرین و ضخامت متغیر که در ناحیه ارسباران همراه با سنگ‌های ولکانیکی اسپیلیتی زیردریایی بر روی نهشته‌های کامپانین – ماستریشتین رورانه شده‌اند. آهک‌های خاکستری متبلور نازک لایه متناوب با مارن، آهک فورشی و مارنی که با چین خوردگی‌های فراوان به صورت هم شیب واحد را زیر پوشش خود دارد. سن این واحد سنگی، کامپانین – ماستریشتین بوده و در زیر ولکانیک‌های ائوسن قرار می‌گیرد (باباخانی و همکاران، ۱۳۷۰). فعالیت آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه از اواخر کرتاسه شروع و تا اواخر ائوسن ادامه داشته است. این فعالیت آتشفشانی در اواسط ائوسن به اوج خود رسیده و بتدریج تا آخرین مراحل ائوسن از فعالیت آن کاسته شده است. برش‌های ولکانیکی با ترکیب آندزیت بازالتی با سیمان توفی و هیالوکلاستی اولین نشان از ولکانیسم در منطقه مورد مطالعه و نیز کهن ترین سنگ‌های آتشفشانی منطقه را شامل می‌شوند. این واحد در بعضی نقاط ویژگی آتشفشان‌های زیردریایی را نیز از خود نشان داده و قطر قطعات آن از ۵ تا ۲۰ سانتیمتر متغیر است (باباخانی و همکاران، ۱۳۷۵). فعالیت آتشفشانی به صورت جریان‌های گدازه‌ای با ساخت منشوری و با ترکیب بازالتی، تراکیتی و تراکی آندزیتی ادامه یافته است. در این ناحیه بیش از ۲۰۰ دایک در وسعتی حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع برونزد دارند و در بیشتر موارد برش‌های آتشفشانی را قطع کرده‌اند. این دایک‌ها ترکیب بازالتی، آندزیتی، تراکی آندزیتی و تفریتی دارند و احتمالاً دایک‌های تغذیه کننده فعالیت‌های بعدی هستند. بخش‌هایی از برش‌های ولکانیکی که قطعات متشکله آن سنگ‌های آنالسیم دار-تفریتی هستند در نقشه زمین‌شناسی به عنوان واحد مستقل تفکیک شده‌اند. تداوم ولکانیسم در منطقه مورد مطالعه با ظهور سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی آندزیت بازالتی با ریخت بالشی ادامه می‌یابد که قطر آن‌ها تا ۵ متر می‌رسد.

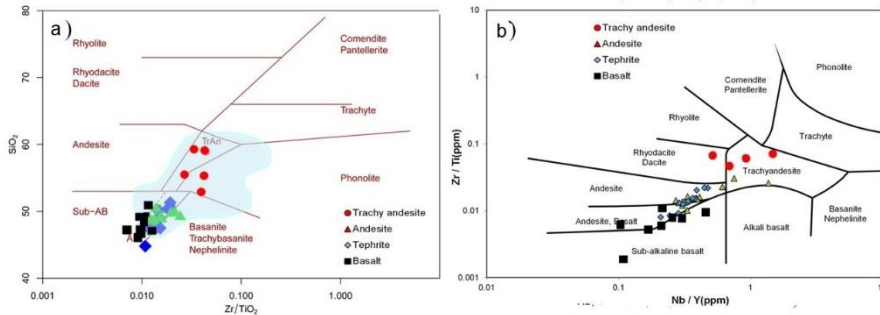
بعد از ائوسن، سنگ‌های منسوب به الیگوسن توسط توده‌های نیمه عمیق به صورت دم و سیل قطع گردیده‌اند. توده‌های نفوذی کوچک به شکل گنبد با ترکیب دیوریت مونزونیت در بخش جنوب غربی منطقه برونزد دارند (باباخانی و همکاران، ۱۳۷۵). تخریب و فرسایش سنگ‌های آذرین ائوسن و ته نشست آبرفتهای قدیمی تر، موجب ایجاد آبرفتهای کواترنری گردیده است که از نظر دانه بندی در حد ماسه، سیلت و رس می‌باشند.

#### روش مطالعه:

تعداد ۴۵ نمونه سنگی از دایک‌های منطقه مطالعاتی به آزمایشگاه موسسه تحقیقاتی زمین‌شناسی و ژئوفیزیک آکادمی علوم چین به منظور آنالیز عناصر اصلی به روش XRF و کمیاب به روش ICP-MS جهت آنالیز XRF از دستگاه Phillips PW1500 X-ray استفاده شده است. در این روش میزان خطا بر اساس آنالیز نمونه استاندارد GSR-2 در حدود کمتر از 5%± می‌باشد. جهت آنالیز ICP-MS از دستگاه Finnigan MAT Element mass spectrometer استفاده شده است، که نمونه‌ها پس از پودر شدن در محلول HF+HNO<sub>3</sub> حل شده و برای آنالیز آماده گردید.

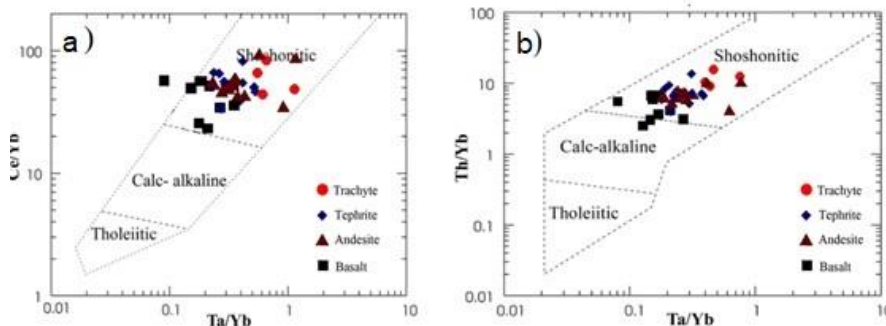
بحث:

طبق مطالعات صحرایی و میکروسکوپی دایک های مورد مطالعه از ۴ نوع سنگ متفاوت تشکیل شده اند که شامل دایکهای تراکی آندزیتی، دایکهای آندزیتی، دایک های بازالتی و دایک های تفریتی میباشند و روند شمال شرق – جنوب غرب دارند. همچنین Nb/Y در مقابل  $Zr/TiO_2$  و SiO<sub>2</sub> در مقابل Nb/Y با توجه به این نمودار سنگ‌های محدوده مطالعاتی در منطقه تراکی آندزیت، آلكالی بازالت و ساب آلكالی بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۱-ا). در این روش از نمودارهای نسبت Nb/Y در برابر Zr/Ti و با مقیاس نیمه لگاریتمی طراحی شده است با توجه به این نمودار سنگ‌های محدوده مطالعاتی در محدوده آندزیت، بازالت و تراکی آندزیت قرار می‌گیرند (شکل ۱-ب).



شکل ۱- (a) نمودار طبقه‌بندی  $Zr/TiO_2$  vs SiO<sub>2</sub>، (b) نمودار Nb/Y vs Zr/Ti (Winchester & Floyd, 1977).

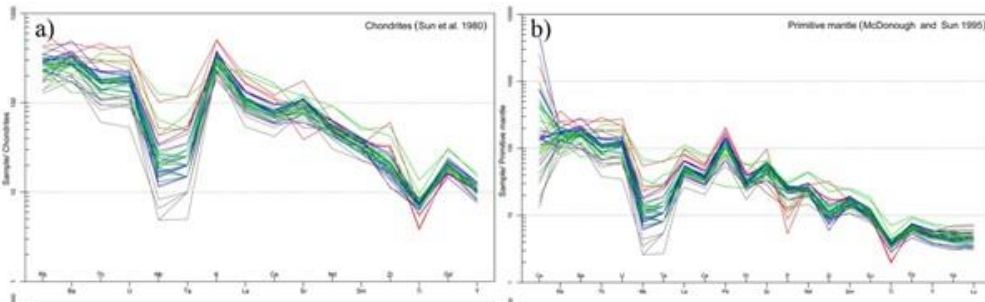
در نمودارهای تعیین سری ماگمایی، Ta/Yb در مقابل Th/Yb و Ta/Yb در مقابل Ce/Yb (Pearce, 1983) سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۲).



شکل ۲- (a) نمودار Ta/Yb vs Ce/Yb، (b) نمودار Ta/Yb vs Th/Yb (modified from Pearce, 1982).

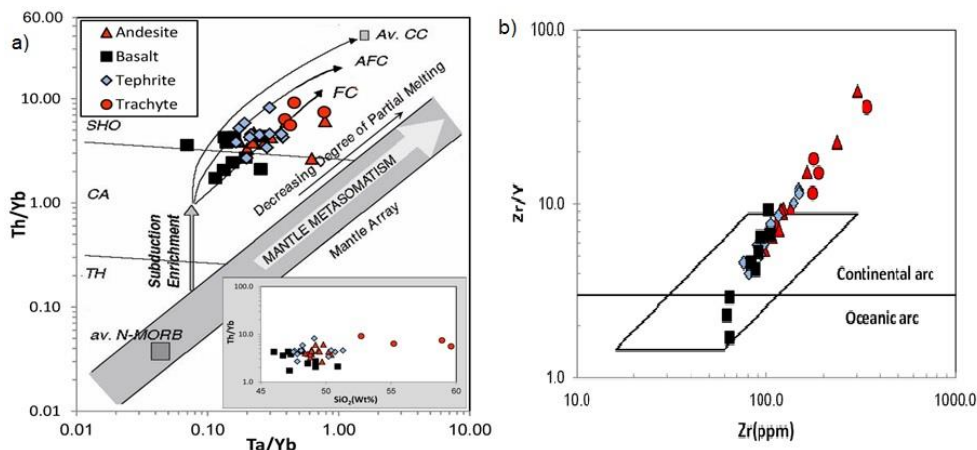
سنگ‌های منطقه، به کندریت (Sun et al., 1980) نرمالیزه شده، الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در سنگ‌های مختلف با هم موازیند و سنگ‌های منطقه از عناصر کمیاب سبک LREE غنی شدگی نشان می‌دهند. دو احتمال را برای غنی شدگی نمونه‌های LREE می‌توان در نظر گرفت: یکی این که چون LREE ها تا حدی ناسازگارتر از HREE ها هستند (Krauskopf and Bird, 1976) ممکن است در اثر تحولات ماگمایی در سنگ‌های تحول یافته منطقه متمرکز شده باشند. عامل دیگری که باعث غنی شدگی سنگ‌های یک ناحیه از LREE ها می‌شود این است که این سنگ‌ها در مناطق فرورانش تشکیل شده باشند (Winter, 2001) در این نمودار سنگ‌های منطقه نسبت به Nb, Ta, Ti آنومالی منفی و نسبت به K آنومالی مثبت نشان می‌دهند (شکل ۳-ا). در نمودار عنکبوتی (شکل ۳-ب) نرمالیزه شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough & Sun, 1995) آنومالی مثبت Pb دیده می‌شود که احتمالاً به دلیل آرایش با پوسته‌ی قاره‌ای است. آنومالی منفی Ti, Nb, Ta (TNT) بیانگر منشأ فرورانشی ماگما بوده و در نتیجه جذب این عناصر در کانی Fe-Ti در پوسته‌ی اقیانوسی فرورانده می‌باشد. به عبارتی دیگر بیانگر مشارکت پوسته‌ی اقیانوسی در تشکیل ماگما‌های فرورانش است (Soesoo, 2000). همچنین غنی شدگی نسبی از Cs دیده می‌شود که در کنار آنومالی منفی Nb, Ti, Ta بیانگر آلودگی

ماگمای اولیه با پوسته‌ی زیرین می‌باشد (Wilson, 1989). به نظر (Ionov and Hofmann, 1995) آمفیبول کانی بسیار مناسبی برای نگهداری Nb و Ta در گوشته بالایی می‌باشد و می‌تواند آنومالی منفی Nb و Ta را در ماگماتیسم مربوط به زون فرورانش کنترل کند. آنومالی منفی P می‌تواند به دلیل تفریق آپاتیت بوده باشد. غنی‌شدگی عناصر Rb, Ba, Th, U, K در این نمودار نشانگر غنی‌شدگی عناصر در سنگ‌های منطقه می‌باشد. غنی‌شدگی عناصر فوق می‌تواند در ارتباط با فرآیند متاسوماتیسم در سنگ‌های منطقه، تاثیر Nb-Ti گوشته یا آرایش پوسته‌ی قاره‌ای باشد. همچنین در محیط‌های فرورانشی عناصر Sr, K, Ba, Th, Ce, P, Sm ممکن متحرک شوند (Pearce, 1983). غنی‌شدگی عناصر Th, Ba, Rb (عناصر گروه پتاسیم) در آندزیت‌های کوهزایی نشانه‌ی ترکیب اولیه غیر یکسان یا آلودگی پوسته‌ای حین صعود می‌باشد (Gill, 1981) و مطابق با نظر (Wilson, 1989) غنی‌شدگی این عناصر نسبت به گوشته‌ی اولیه را می‌توان به متاسوماتیسم گوشته‌ای توسط سیالات آزاد شده از ورقه‌ی فروراند شده نسبت داد. آنومالی منفی Ce نیز که در این دیگرام دیده می‌شود احتمالاً حاکی از وجود مقدار کمی رسوب در ضمن فرورانش است. Eu در نمونه‌ها آنومالی منفی نشان می‌دهد. آنومالی Eu اغلب به وسیله‌ی فلدسپارها کنترل می‌شود. زیرا  $Eu^{2+}$  با پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم سازگار است در حالیکه سایر عناصر سه ظرفیتی هستند. بنابراین جدا شدن فلدسپار از مذاب فلیسیک باعث آنومالی منفی Eu می‌شود.



شکل ۳- (a) نمودار عنکبوتی سنگهای مورد مطالعه نورمالیزه شده با کندریت (Sun et al., 1980)، (b) نمودار عنکبوتی سنگهای مورد مطالعه نورمالیزه شده با گوشته اولیه (McDonough & Sun, 1995)

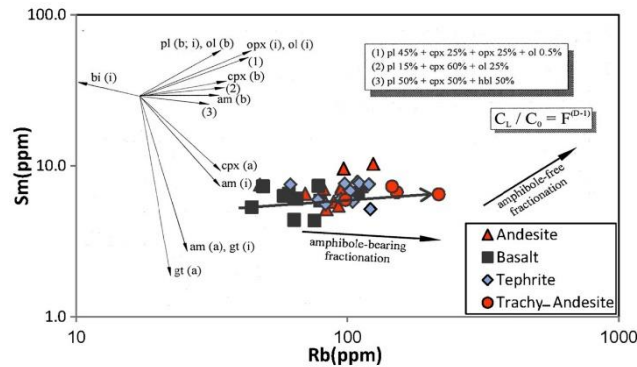
در نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb (Pearce, 1983) (شکل ۴-ا) اهمیت نقش تبلور تفریقی و هضم را در تکامل سنگ‌های شوشونیتی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. طبق نمودار Zr در مقابل Zr/Y (pearce & Noory, 1989) (شکل ۴-ب) جهت تفکیک کمان ماگمایی از کمان اقیانوسی، نمونه‌های مورد مطالعه در محیط کمان ماگمایی قاره‌ای قرار می‌گیرند.



شکل ۴- (a) نمودار ارائه شده توسط (Pearce, 1983) که نمونه‌ها اکثراً در محدوده شوشونیتی قرار می‌گیرند که نقش فرآیند تفریق بلورین در سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار مشخص می‌باشد. (b) نمودار Zr در مقابل Zr/Y (pearce & Noory, 1989) جهت تفکیک کمان ماگمایی از کمان اقیانوسی.

در نمودار لگاریتمی Rb در مقابل Sm (Keskin et al., 1998) بردارهای مدل سازی شده برای تبلور فازهای کانی‌ها آورده شده است ضرایب جدایش محاسبه شده برای مدل سازی برگرفته از (Keskin et al., 1998) می‌باشد. در این مدل از عنصر

Rb استفاده شده است چون این عنصر در جریان تبلور تفریقی ناسازگاری بالایی را نشان میدهد. همچنین از عنصر Sm به خاطر KD بالا در جریان تبلور مجموعه کانی‌های آمفیبول و پیروکسن‌ها در محیط‌های آبدار استفاده شده است. در این نمودار نمونه‌های مورد مطالعه روند مثبتی را نشان می‌دهند و با روند برداری تبلور پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و الیون همخوانی دارند. که این بردارها به بردارهای ریلی (Rayleigh vectors) معروف هستند (شکل ۵).

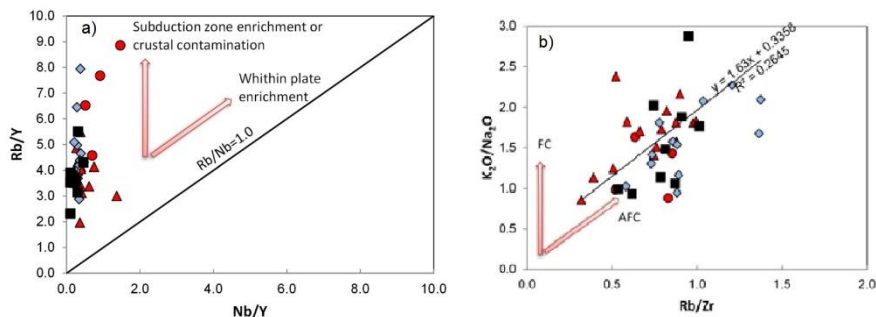


شکل ۵- نمودار لگاریتمی Sm در مقابل Rb (Keskin et al., 1998) جهت تعیین روند تبلور تفریقی در نمونه‌ای مورد مطالعه

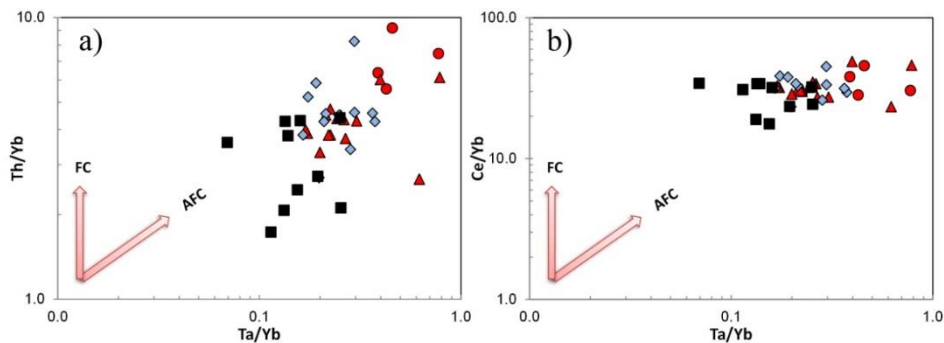
به منظور تعیین روند غنی‌شدگی عنصری سنگ‌های مورد بررسی در ارتباط با محیط‌های زمین‌ساختی از نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y (Pearce, 1983) استفاده شده است (شکل ۵-ا). در این دیاگرام نمونه‌ها بالای خط  $Rb/Y=1$  قرار می‌گیرند که نشان دهنده محیط‌های درون پلیت غنی شده و محیط فروانش غنی شده یا آلودگی پوسته‌ای است. آرایه نمونه‌ها بیشتر با روند زون فرورانشی غنی شده با آلودگی پوسته‌ای تطابق دارد. نسبت Rb/Nb در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بین 2.19-38.14 است که نشان دهنده محیط فرورانش است. تغییرات Rb و Nb در سنگ‌های مورد مطالعه حاصل غنی‌شدگی در زون فرورانش یا آلیش پوسته‌ای است. ماگماهایی که از گوشته منشأ می‌گیرند، بوسیله پوسته قاره‌ای در حین بالا آمدن آلوده می‌شوند که از نشانه‌های آن آنومالی منفی Nb و Ta و آنومالی مثبت Th است (Thompson et al., 1983). بالا بودن نسبت LREE/HREE در سنگ‌های ولکانیکی منطقه شاخصی از گوشته غنی شده به وسیله فرورانش یا آلودگی پوسته‌ای است (Fitton et al., 1991; Barragan et al., 1998). عناصری که از نسبت‌های آنان برای تعیین آلودگی پوسته‌ای استفاده می‌شود عبارتند از نسبت K/P بالاتر از 7 و La/Nb بالاتر از 1.5 نشان دهنده آلودگی پوسته‌ای است (Tamer, 2010). این نسبت‌ها در سنگ‌های آتشفشانی منطقه عبارتند از  $(K/P=2.19-38.18)$  و  $(La/Nb=1.47-15.76)$  که نشان دهنده نقش بالای آلیش پوسته‌ای در تحول ماگمای مولد آنها است. از نسبت Ba/Nb برای تعیین محیط تکتونیکی بازالتها استفاده می‌شود. بالا بودن نسبت  $Ba/Nb > 28$  معرف نوعی از بازالتهاست که در زونهای فرورانش تولید می‌شوند (Gill, 1981; Fitton et al., 1988). نسبت مذکور برای سنگ‌های مورد مطالعه 17.71-626.47 است که منعکس کننده محیط‌های فرورانش است.

یک منبع احتمالی برای غنی‌شدگی عناصر کمیاب ناسازگار در گوشته لیتوسفری می‌تواند وجود آنومالیهای TNT در نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه شده به گوشته اولیه باشد که مرتبط با فرورانش است. علاوه بر این، نسبت‌های عنصری نیز به عنوان علامت قوس (arc-signature) شناخته شده‌اند. از جمله  $Ce/Pb$  پایین (۲ معمولاً کمتر از ۵)،  $Nb/La$  پایین (کمتر از ۰/۷) و  $Sr/Ce$  بالا (بیش از ۵) باشد. بطوری که این تغییرات در منطقه مورد مطالعه عبارتند از  $(Ce/Pb 2.41-5.37)$  و  $(Nb/La 0.06-0.68)$  و  $(Sr/Ce 4.52-25.64)$  است که به درگیر بودن پوسته و گوشته در ماگمای سازنده نسبت داده شده است (Jung et al., 2004). عناصر Nb و Ta به آلودگی پوسته‌ای حساسیت بالایی دارند و ماگماهایی که از گوشته مشتق شده و در معرض آلودگی پوسته قرار می‌گیرند آنومالی منفی Nb و Ta را در دیاگرام‌های عنکبوتی نشان می‌دهند (Wilson, 1989; Thompson et al., 1983). (Stolz et al (1996). عقیده دارد که نسبت Nb/Ta کندریتی منبع گوشته‌ای دارد اگر تحت تأثیر سیالات قرار گیرد، فقیر از HFSE (منشأ گرفته از فرورانش)، غنی شده از LILE خواهد بود و در این حالت نسبت  $Nb/Ta > 1$  خواهد شد، که این نسبت در سنگ‌های منطقه بین 8.50-22.60 است. مقادیر بالای نسبت Nb/Ta شاخص ماگماهای مشتق شده از گوشته‌ای آلوده است.

شاخص‌هایی که جهت تعیین آلودگی پوسته‌ای است عبارتند از: پایین بودن  $Ce/Pb$  و بالا بودن نسبت  $Th/U$  است زیرا  $Th$  و  $Pb$  در مواد پوسته‌ای متمرکز می‌شوند. نسبت  $Ce/Pb$  در پوسته بالایی  $۳/۷$  است (Rudnic and Gao, 2004) در صورتی که این نسبت در نمونه‌های منطقه دامنه تغییراتی بین 2.41-14.05 دارد. نسبت  $Th/U$  در پوسته بالایی در حدود  $۳/۸$  می‌باشد (Rudnic and Gao, 2004) در نمونه‌های مورد مطالعه این نسبت 2.04-5.37 است. مطالعات پتروگرافی شواهدی از آلودگی را نشان می‌دهند. با توجه به شواهد پتروگرافی مانند وجود بافتهای غربالی و حاشیه رشد کرده در پلاژیوکلازها و شواهد ژئوشیمیایی مانند پراکندگی در روند نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و فرعی نسبت به مقدار سیلیس فرایند تفریق به‌عنوان عامل اصلی و در کنار آن آلودگی ماگما در طی بالا آمدن فرایند محتمل و قابل بحث می‌باشد. جهت تفکیک فرایند تبلور بخشی  $FC$  از فرایند تبلور بخشی و هضم  $AFC$  می‌توان از دیگر امپهای نسبت‌های عناصر کمیاب استفاده نمود. برای تعیین روند تحول نمونه‌های مطالعه شده از نمودار  $K_2O/Na_2O$  در مقابل  $Rb/Zr$  از (Esperanca et al (1992) استفاده شده در این نمودار نمونه‌های مطالعه شده روند فرایند  $AFC$  را نشان می‌دهند (شکل ۵-b). برای بررسی فرآیندهای آلودگی ماگمایی در نمونه‌های سنگی منطقه از نمودارهای  $Th/Yb-Ta/Yb$  و  $Ce/Yb-Ta/Yb$  (Pearce, 1984) استفاده کرده ایم. همانطور که این نمودار نشان می‌دهد، تبلور تفریقی و هضم ( $AFC$ ) بیشترین تأثیر را در تشکیل نمونه‌های سنگی مورد مطالعه منطقه داشته است (شکل ۶).



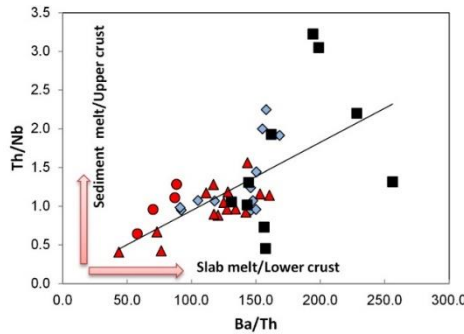
شکل ۵- (a) نمودار  $Nb/Y$  در برابر  $Rb/Y$  (Pearce, 1983) نمودار  $Rb/Zr$  در مقابل  $K_2O/Na_2O$  برای نشان دادن فرایند تبلور بخشی  $FC$  و فرایند هضم و تبلور بخشی ( $AFC$ ) از (Esperanca et al., 1992) نمونه‌های مطالعه شده روند هضم و تبلور بخشی ( $AFC$ ) را نشان می‌دهند.



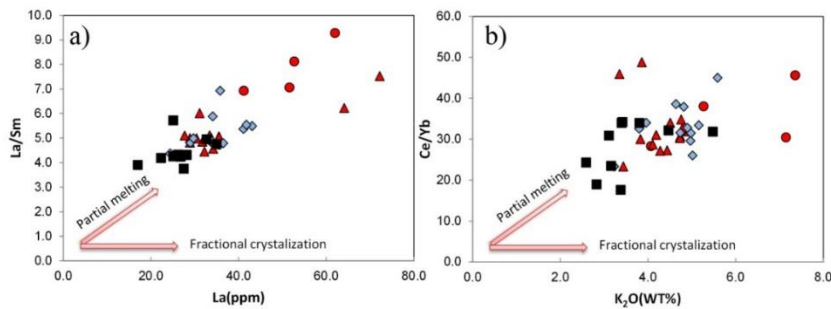
شکل ۶- نمودارهای بررسی فرآیندهای  $AFC$  (Pearce, 1984) تبلور تفریقی و  $AFC$  تبلور تفریقی و هضم.

نمودار  $Th/Nb-Ba/Th$  (Orazaco Esquivel et al., 2007)، از این نمودار برای بررسی ذوب رسوبات پوسته بالایی و ذوب اسلب پوسته پایینی استفاده می‌شود (شکل ۷). مقادیر پایین  $Th/Nb$  و  $Ba/Th$  در این نمودار بیانگر شرکت جزئی محصولات زون فروانش (محلول‌ها و مواد مذاب) و تأثیر آلودگی پوسته‌ای در ایجاد این سنگ‌ها می‌باشد. مقادیر بالای  $Th/Nb$  و پایین بودن  $Ba/Th$  نیز نمایانگر گسترش مواد پوسته بالایی در به وجود آمدن سنگ‌ها می‌باشد. در واقع مقدار این نسبت‌ها می‌تواند نشان دهنده شدت شرکت محصولات زون فروانش (محلول‌ها و مواد مذاب) و یا مواد پوسته‌ای در ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌ها باشد. با توجه به نمودارهای ژئوشیمیایی عنوان شده، ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بیشتر تأثیرات سیالات آزاد شده از پوسته فرو رونده اقیانوسی را نشان می‌دهد.

نقش پدیده ذوب بخشی در تکامل و تحول ماگمای سازنده سنگ‌های مورد مطالعه موثر بوده است اما نقش تفریق در تکامل آنها بیشتر می‌باشد. نمودار  $La/Sm$  vs  $La$  (Fan et al., 2003) هر دو پدیده تفریق و ذوب بخشی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. طبق این نمودار در ایجاد سنگ‌های منطقه ذوب بخشی نیز موثر بوده است ولی ذوب بخشی به تنهایی نمیتواند این مقدار تنوعات سنگی را بوجود بیاورد. همچنین در نمودار  $K_2O$  در مقابل  $Ce/Yb$  (Fan et al., 2003) نیز نقش ذوب بخشی را نشان میدهند (شکل ۸).



شکل ۷- نمودار  $Th/Nb$ - $Ba/Th$  (Orazaco Esquivel et al., 2007). نمونه های منطقه مورد مطالعه دارای مقادیر بالای  $Th/Nb$  و پایین  $Ba/Th$  می‌باشند.



شکل ۸- نمودار  $Ce/Yb$ - $K_2O$  و نمودار  $La/Sm$ - $La$  (Fan et al., 2003) جهت تعیین نقش فرآیندهای ذوب بخشی یا تبلور تفریقی در تحول ماگمای سنگ‌های مورد مطالعه.

### نتیجه‌گیری:

مجموعه دایک‌های شمال شرق مشکین شهر که روند شمال شرق - جنوب غرب دارند. بر اساس تقسیم‌بندی شیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه در چهار گروه آندزیتی، تراکی آندزیتی، بازالتی و تفریتی قرار می‌گیرند. سنگ‌های مورد مطالعه دارای سری ماگمایی شوشونیتی هستند. هماهنگی الگوهای توزیع REE و عناصر ناسازگار بین نمونه‌ها بیانگر ارتباط زایشی این سنگ‌ها با یکدیگر است. وجود چنین ویژگی‌هایی از مشخصات بارز ماگماهای کالک-آلکان قوس‌های حاشیه‌ی قاره‌ای است که پدیده‌ی فرورانش در تشکیل آنها نقش اساسی داشته است. مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که منبع گوشته غنی شده در تشکیل دایک‌های تفریتی نقش اساسی داشته ولی در تشکیل دایک‌های تراکی آندزیتی و تراکیتی نقش تفریق غالب می‌باشد. بالا بودن میزان Sr در نتیجه‌ی ذوب پلاژیوکلاز یا عدم فراوانی فتوکریست‌های پلاژیوکلاز در مذاب باقیمانده می‌باشد و مقادیر پایین Y و Yb ناشی از حضور گارنت در فاز باقیمانده است یا می‌تواند مربوط به تفریق کانی‌هایی مانند البوین و زیرکن مربوط می‌باشد. محیط تکتونیکی نمونه‌های مورد مطالعه حاشیه‌ی فعال قاره‌ای (ACM) است. پدیده تفریق در تشکیل تنوعات سنگی دایک‌های مورد مطالعه نقش اساسی ایفا نموده است ولی نمیتوان از نقش آرایش ماگمایی در تکامل سنگ‌ها را نادیده گرفت. از طرف دیگر پدیده ذوب بخشی عامل موثری در تشکیل مگمای مولد سنگ‌های مورد مطالعه نقش داشته است.

### منابع:

باباخانی ع. ۱۳۷۵، نقشه زمین شناسی چهارگوش لاهرود به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 فدائیان، م.، (۱۳۸۲)، پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین شمال مشکین شهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۲۲۰ ص.

- Pearce, J.A., 1983. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva, Nantwich, 230–249.
- Winchester, J.A., and Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325–342.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bulletin*, 52(7), pp.1229-1258.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (ed.), *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*, John Wiley and Sons, New York, 525-548.
- Sun, S.S., 1980. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, McDonough, W.F. and Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical geology*, 120(3), pp.223-253. 297(1431), pp.409-445.
- Sun, S. -s., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* doi:10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis. A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman, London, 466 p.
- Winter, J.D., 2001-*An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*, Prentice Hall, 697.
- Ionov, D.A., and Hofman, A.W., 1995. Nb-Ta rich mantle amphiboles and micas: implications for subduction related metasomatic trace element fractionations. *Earth and Planetary Science Letters*, 131, 341-356.
- Krauskopf, K.P. and Bird, D.K., 1976. *Introduction to geochemistry*. Mc Graw Hill, pp. 788.
- Gill, J.B.. 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 390 p.
- Pearce, J. A., & Norry, M. J., 1979- Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to mineralogy and petrology*, 69(1), 33-47.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Mitchell, J.G., 1998. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum–Kars Plateau, northeastern Turkey. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 85, 355–404. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00063-8
- Barragan, R., Geist, D., Hall, M., Larson, P. and Kurz, M., 1998. Subduction controls on the compositions of lavas from the Ecuadorian Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 154(1), pp.153-166.
- Fitton, J.G., James, D., and Leeman, W.P., 1991. Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the western United States: Compositional variations in space and time. *Journal of Geophysical Research*, 96, 13693–13711.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Dickin, A.P. and Hendry, G.L., 1983. Continental flood basalts... arachnids rule OK. In *Continental basalts and mantle xenoliths* (pp. 158-185). Shiva Nantwich.
- Esperança, S., Crisci, G.M., De Rosa, R. and Mazzuoli, R., 1992. The role of the crust in the magmatic evolution of the island of Lipari (Aeolian Islands, Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 112(4), pp.450-462.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956-983.
- Orozco-Esquivel, T., Petrone, C.M., Ferrari, L., Tagami, T. and Manetti, P., 2007. Geochemical and isotopic variability in lavas from the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: slab detachment in a subduction zone with varying dip. *Lithos*, 93(1), pp.149-174.
- Fan, W.M., Guo, F., Wang, Y.J. and Lin, G., 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China. *Journal of volcanology and geothermal research*, 121(1), pp.115-135.

## توده گرانیتوئیدی گودحوض در منطقه دهسرد (بافت، کرمان): اولین محصول فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس زاگرس به زیر ایران مرکزی در ژوراسیک پیشین

<sup>۱</sup> محبوبه عربزاده بنی اسدی، <sup>۲\*</sup> حبیب ا. قاسمی، <sup>۳</sup> مهدی رضایی کهخایی، <sup>۴</sup> محسن مباشری

دانشکده علوم زمین - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران

h-ghasemi@shahroodut.ac.ir

### چکیده:

توده گرانیتوئیدی گود حوض (سیاه کوه) در ۶۰ کیلومتری جنوب بافت در جنوب کرمان از گرانیت، گرانودیوریت، کوارتزیدیوریت، دیوریت و سینییت تشکیل شده است. دایک‌های داسیتی، دیابازی و رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی آن را قطع کرده‌اند. در برونزدهای صحرایی، سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک بالایی و سنگ‌های آتشفشانی داسیتی-ریوداسیتی به همراه آذرآواری‌های وابسته به سن تریاس، میزبان این توده هستند. براساس مطالعات دقیق صحرایی و سن سنجی‌های ایزوتوپی به روش‌های Rb-Sr (حدود ۱۹۹ میلیون سال پیش) و U-Pb (حدود ۱۸۴ میلیون سال پیش) این توده به سن ژوراسیک پیشین و نشانه فرآورده ماگمایی آغاز فرورانش حوضه اقیانوسی نئوتتیس زاگرس به زیر ایران مرکزی است. کلیدواژه: توده گرانیتوئیدی، گودحوض، فرورانش نئوتتیس،

## Gowd-e Howz Granitoid Pluton in Dehsard Area (Baft, Kerman): the first product of the Zagross Neotethys Oceanic slab subduction under the Central Iran Block in the Early Jurassic

1- Mahboubeh Arabzadeh Baniasadi 2- Habibollah Ghasemi 3- Mehdi Rezaei Kahkhaei

Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

\*h-ghasemi@shahroodut.ac.ir

### Abstract

Gowd-e Howz (Siah Kouh) granitoidic pluton in 60 km south of Baft in the south of Kerman is composed of granite, granodiorite, quartz diorite, diorite and seyenite. Dacitic and diabasic dykes, and aplitic-pegmatitic veins cut it. In the field outcrops, Upper Paleozoic metamorphic rocks and Triassic dacitic-rhyodacitic volcanic rocks and related pyroclastics are hosts of the granitoid. Based on the detailed field studies and isotopic age datings by Rb-Sr ( $\approx$  199 million years ago) and U-Pb ( $\approx$  184 million years ago) methods, this pluton belongs to the early Jurassic and indicates the magmatic product of the initiation of Zagross Neotethys Oceanic slab subduction under the Central Iran Block in the Early Jurassic.

Keywords: Granitoidic pluton, Gowd-e Howz, Neotethys Subduction

### مقدمه:

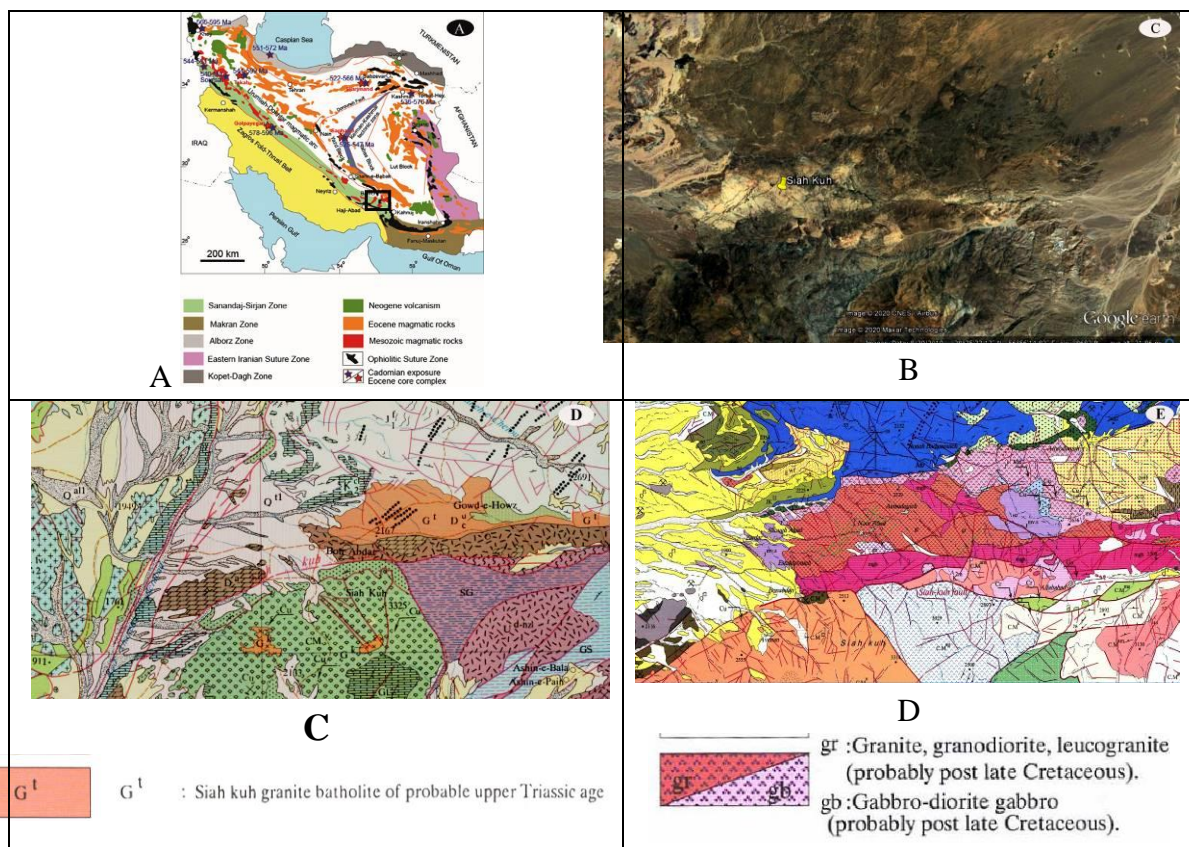
به باور پژوهشگران علوم زمین، باز شدن حوضه نئوتتیس زاگرس در کربونیفر پیشین (Saccani et al., 2013)، کربونیفر پسین- پرمین (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۳)، پرمین پسین- تریاس پیشین (Agard et al., 2005) و بسته شدن آن در جریان همگرایی و شروع فرورانش از تریاس پسین (Berberian and King., 1981; Saidi et al., 1997; Besse et al., 1998; Arvin et al., 2007)، تریاس پسین- ژوراسیک پیشین (Berberian and King, 1981; Davoudzadeh and Schmidt, 1984) یا ژوراسیک پسین (Mohajjel and Fergusson, 2000) رخ داده است. پژوهشگران مختلف، نشانه‌های این باز شدن و بسته شدن را به شکل ماگمایی‌ها و دگرگونی‌های مختلف در گوشه و کنار نوار کوهزادی زاگرس گزارش کرده‌اند.



بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



توده گرانیتوئیدی گود حوض (سیاه کوه) در ۶۰ کیلومتری جنوب بافت در جنوب کرمان به سن تریاس و نشانه فرآورده ماگمایی آغاز فرورانش حوضه اقیانوسی نفوتتیس زاگرس به زیر ایران مرکزی (سبزه ئی و همکاران، ۱۳۷۲؛ Arvin et al., 2007) و یا به سن کرتاسه پسین (ناظم زاده و رشید، ۱۳۸۵) و محصول مراحل پایانی بسته شدن حوضه اقیانوسی نفوتتیس، یکی از نشانه‌های ماگمایی مهم برای پیگیری تحول حوضه نفوتتیس زاگرس است. سبزه ئی و همکاران (۱۳۷۲) در نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ حاجی آباد (شکل ۱-C) این توده را در داخل دگرگونه‌های پالئوزوئیک بالایی و به سن تریاس بالایی و ناظم‌زاده و رشید (۱۳۸۵) در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دهسرد (بزار، شکل ۱-D)، این توده را در داخل متاگابرو (آمفیبولیت- شیبست سبزه) و دیگر بخش‌های عمدتاً آواری نهشته‌های ژوراسیک به نقشه درآورده‌اند و سن آن را به بعد از کرتاسه پسین نسبت داده‌اند. در هر صورت چه سن توده تریاس باشد و چه کرتاسه یا ژوراسیک، به دلیل ماهیت نوع I، طبیعت کالکوالکال و محیط وابسته به فرورانش آن، برای پی بردن به روند تکاملی حوضه نفوتتیس زاگرس و رمزگشایی از شروع رخداد فرورانش این حوضه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.



شکل ۱- A- نقشه زمین ساختاری ایران که پهنه‌ها و بلوک‌های اصلی ایران و بلوک‌های مجاور را نشان می‌دهد. کادر مشکی منطقه بافت کرمان را نشان می‌دهد. B- تصویر ماهواره‌ای از منطقه گودحوض و C- موقعیت استوک گرانیتوئیدی سیاه کوه در نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ حاجی آباد و D- موقعیت استوک گرانیتوئیدی سیاه کوه در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دهسرد (بزار).

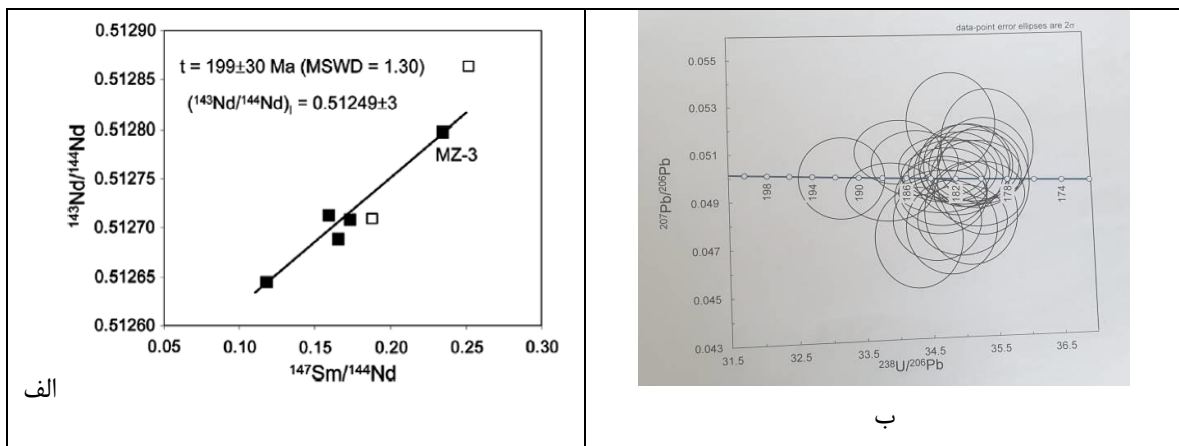
روش مطالعه:

بررسی سوابق مطالعات صورت گرفته بر روی توده گرانیتوئیدی گودحوض، مقایسه نتایج و تحلیل آن‌ها، مطالعه دقیق روابط صحرایی و چینه‌شناختی واحدهای سنگی میزبان و توده نفوذی، استفاده از نتایج داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل مطالعات پیشین و تعیین سن یک نمونه از این توده در گام اول مطالعه، از روش‌های اولیه در مطالعه آن بوده است. مطالعات شیمی

کانی‌ها، آنالیز ایزوتوپی به روش‌های Rb-Sr و Sm-Nd انجام سن سنجی‌های بیشتر به روش U-Pb بر روی زیرکن نیز از برنامه‌های در دست اقدام در بررسی بیشتر توده است.

**بحث:**

توده گرانیتوئیدی گود حوض به شکل کشیده و بیضوی با بخش‌های گسسته توسط گسل‌های محلی با امتداد تقریبی شرقی- غربی در بخش مرکزی گوشه خاوری نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ حاجی آباد (سبزه ئی و همکاران، ۱۳۷۲) و گوشه جنوب خاوری نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دهرسد (بزار) (ناظم زاده و رشید، ۱۳۸۵) رخنمون دارد. این توده در تصاویر ماهواره‌ای و البته در مشاهدات صحرایی با رنگ روشن از سایر واحدهای سنگی نظیر دگرگونه‌های پالئوزئیک- مزوزئیک و شیل‌های ژوراسیک متمایز دیده می‌شود. در نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ حاجی آباد (سبزه ئی و همکاران، ۱۳۷۲) تحت عنوان استوک گرانیتوئیدی سیاه کوه در داخل مجموعه دگرگونی آب‌شور مشتمل بر آمفیبولیت و مرمر به سن پالئوزئیک میانی گزارش شده و سن آن به تریاس پسین نسبت داده شده است. (Arvin et al. (2007) نیز با سن سنجی به روش Rb-Sr سن این توده را تریاس پسین (۱۹۹ میلیون سال) گزارش کرده‌اند (شکل ۲- الف)؛ ولی در نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دهرسد (بزار) (ناظم زاده و رشید، ۱۳۸۵) و دولت آباد (عزیزان و نادری، ۱۳۸۵)، این توده در داخل متاگابرو (آمفیبولیت- شیست سبز) و دیگر بخش‌های عمدتاً آواری ژوراسیک به نقشه در آمده است و سن آن به بعد از کرتاسه پسین نسبت داده شده است. بنابراین، یکی از اولین و مهمترین مسائل چالشی این پژوهش، مطالعه دقیق روابط صحرایی و چینه‌شناختی توده و سنگ‌های میزبان و سپس تعیین سن دقیق سنگ‌های توده به روش U-Pb بر روی زیرکن تعریف شد (شکل ۲-ب) تا به این تناقض پاسخ داده شود. در صورتی که سن توده، تریاس پسین باشد، با توجه به طبیعت متالومین، توله‌ایتی و نوع I بودن، به عنوان شاهدهی محکم از ماگمازایی گرانیتوئیدی محیط کمان فرورانش نئوتتیس محسوب می‌شود و شروع فرورانش از تریاس را تأیید خواهد کرد. توده‌هایی با این ماهیت پترولژیکی و محیط زمین‌ساختی دارای کانه‌زایی‌های مهم به ویژه مس- طلا- نقره هستند. بنابراین، یکی دیگر از نکات مهم این مطالعه بررسی آثار و شواهد این کانه‌زایی‌ها در منطقه است. اگر سن توده پس از کرتاسه پایانی باشد، باز هم به عنوان یک توده گرانیتوئیدی کمان فرورانش حاشیه قاره ناشی از مراحل پایانی بسته شدن حوضه اقیانوسی نئوتتیس قلمداد می‌شود که اهمیت زمین‌دینامیکی و کانه‌زایی آن به ویژه از نظر مس- طلا- نقره باید مورد توجه قرار گیرد. به هر حال، با توجه به اهمیت مطالعه گرانیتوئیدها به عنوان فراوان‌ترین و حجم‌ترین سنگ درونی پوسته قاره‌ای، داشتن نشانه‌های پترولژیکی مهم از بخش‌های درونی زمین به ویژه پترولژی زون‌های فرورانش، ارتباط تنگاتنگ با زمین‌ساخت ورقه‌ای به ویژه کمان‌های فرورانش و همراهی با کانی‌زایی‌های مهم به ویژه مس و طلای پورفیری (Clarke, 1992; Nedelec and Bouchez, 2015) انجام این مطالعه از ضرورت بالایی در زمین‌شناسی منطقه و ایران برخوردار است.



شکل ۲- الف- نمودار ایزوکرون سنگ کل گرانیت سیاه کوه (گودحوض) از Arvin et al. (2007). ب- نمودار کنکوردیای تعیین سن به روش U-Pb بر روی زیرکن از گرانیت سیاه کوه (گودحوض).

ملکی (۱۳۷۹) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود به بررسی پترولوژی این توده گرانیتوئیدی (سیاه کوه) پرداخته و آن را شامل سنگ‌های گرانیت، گرانودیوریت، کوارتزیدیوریت، دیوریت و سینیت دانسته است. به باور وی، سنگ‌های آتشفشانی از جنس داسیت و ریوداسیت و به مقدار بسیار کم سنگ‌های آذرآواری از نوع توف برشی به همراه توده گزارش شده است. این توده به وسیله دایک‌هایی از جنس مونزونیت، کوارتزمونزونیت، مونزودیوریت و آکالی گرانیت قطع شده است و حاوی آنکلاوهای میکروگرانولار مافیک و زینولیت آمفیبولیتی است. حضور بافت‌های پرتیتی، آنتی پرتیتی، گرافیکی، گرانوفیری و میرمیکیتی در آن نشانگر جایگزینی توده‌ی نفوذی در عمق کم است. این توده‌ی نفوذی از جنوب با مجموعه دگرگونی آب شور به سن پالئوزوئیک میانی در تماس است. به دلیل بالا بودن رخساره دگرگونی (آمفیبولیت)، نفوذ توده تاثیر چندانی بر روی این سنگ‌ها بر جای نگذاشته و فقط باعث تبلوردوباره کانی‌ها (آمفیبول) در محل تماس شده است. در مرز شمالی توده‌ی نفوذی سیاه کوه، سنگ‌های رسوبی از نوع کنگلومرای ژوراسیک و آهک کالپیونلادار اواخر کرتاسه بر روی توده قرار گرفته است. براساس مطالعات ژئوشیمیایی و نمودارهای خاستگاه محیط تکتونیکی، توده نفوذی سیاه کوه از نوع کالکوالکان، نوع I کالدونیایی و متعلق به گرانیتوئیدهای کمان آتشفشانی (VAG) می‌باشد. آروین و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله‌ای با عنوان "پتروشیمی استوک گرانیتوئیدی سیاه کوه، جنوب خاور کرمان، ایران: دلالت‌هایی برای شروع فرورانش نئوتیس" به ارائه نتایج حاصل از پایان نامه ملکی (۱۳۷۹) پرداختند و این توده را از نوع توده‌های گرانیتوئیدی کمان‌های آتشفشانی حاشیه قاره به سن تریاس پسین معرفی کردند.

مطالعه صحرایی دقیق این پژوهش نشان می‌دهد که استوک گرانیتوئیدی گود حوض (سیاه کوه) دارای تنوع سنگی شامل گرانیت، گرانودیوریت، کوارتزیدیوریت، دیوریت و سینیت است که دایک‌های داسیتی (شکل ۳- الف، ب) و رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی (شکل ۳- پ) آن را قطع کرده‌اند. دگرگونه‌های پالئوزوئیک بالایی و سنگ‌های آتشفشانی شامل ریوداسیت و داسیت به همراه آذرآواری‌های وابسته به سن تریاس، میزبان این توده هستند. سنگ‌های آتشفشانی در محل تماس با توده متحمل دگرسانی آرژیلیتی شده و از پتانسیل داشتن کانی‌زایی‌های این زون دگرسانی برخوردارند.

بخش اعظم سنگ‌های توده گرانیتوئیدی گود حوض (سیاه کوه) از جنس گرانیت دانه درشتی است که به رنگ خاکستری روشن تا سفید بوده و سطحی هوازده و فرسایش یافته و دبی بلوکی دارد (شکل ۳- ت، ث). بافت آن هیباپیدیومورفیک گرانولار و دانه درشت (بیش از ۵ میلی‌متر) است (شکل ۳- ج) به طوری که با چشم غیر مسلح نیز می‌توان کانی‌های آن را مشاهده کرد. کانی‌های فلسیک تشکیل دهنده آن شامل کوارتز، آکالی فلدسپار، پلاریوکلاز، و کانی‌های تیره اکثراً شامل آمفیبول کلریتی شده و به مقدار کمتر بیوتیت کلریتی و مسکوویتینی شده می‌باشد. در داخل توده نفوذی گودحوض آنکلاوهایی از جنس شیست‌ها و آمفیبولیت‌های پالئوزوئیک میزبان (شکل ۳- چ)، میکروگرانولار مافیک (شکل ۳- ح) و حاشیه سریع سرد شده و دانه‌ریز توده (آنکلاو هم منشأ، شکل ۳- خ) در اندازه‌های متغیر قرار دارند. رگ‌های تفریقی آپلیتی-پگماتیتی نیز به فراوانی در توده دیده می‌شوند (شکل ۳- پ). بخش‌های تیره و دانه‌ریزتر و گاهی دانه‌درشت‌تر کوارتزیدیوریتی و مونزونیتی نیز با گسترش بسیار کم در منطقه دیده می‌شوند که عمدتاً به شکل آنکلاوهای شناور در توده قرار دارند. بافت این سنگ‌ها در نمونه دستی فانریتیک ریزدانه، متوسط دانه و گاهی درشت دانه است. کوارتز همراه با فلدسپار، آمفیبول سوزنی- کشیده و گاهی پیروکسن در نمونه دستی قابل تشخیص می‌باشند. این سنگ‌ها در مطالعات قبلی به عنوان دایک در داخل توده تشخیص داده شده‌اند ولی مطالعه دقیق طبیعت سطح تماس (کنتاکت) آن‌ها نشانگر شناوری و بدون ریشه بودن آن‌ها در داخل توده، تأثیر حرارتی و سیالات توده بر آن‌ها و همچنین تزریق رگه‌هایی از توده به درون آن‌هاست.



بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



الف



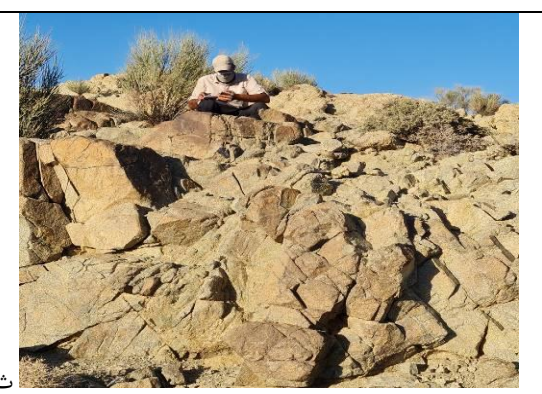
ب



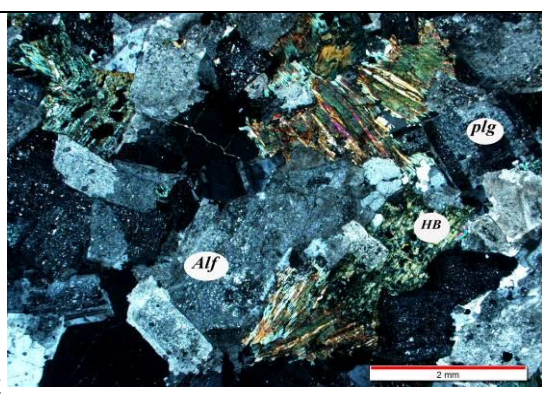
ب



ت



ث



ج



ح



ح



شکل ۳- تصاویر صحرایی از رخنمون استوک گرانیتوئیدی گود حوض (سیاه کوه). الف- نمای کلی از توده گرانیتی و دایک‌های داسیتی موازی با روند خاوری- باختری در آن. ب- حاشیه انجماد سریع دایک داسیتی. پ- رگه صورتی رنگ آپلیتی- پگماتیتی در گرانیت‌ها. ت- گرانیت سفید روشن با آنکلاو تیره رنگ مونزونیتی. ث- نمای شدیداً فرسایش یافته با دبی دیاکلازی/ بلوکی گرانیت‌ها. ج- بافت گرانولار توده گرانیتی. چ- آنکلاو شیستی. ح- آنکلاو میکروگرانولار مافیک. خ- آنکلاو همزاد از جنس حاشیه دانه ریز توده. د- نفوذ توده در آمفیبولیت‌های پالئوزوئیک. ذ- نمای نزدیک از آمفیبولیت‌های پالئوزوئیک. ر- مرز شمالی توده که نفوذ آن در سنگ‌های آتشفشانی تریاس را نشان می‌دهد. ز- قرارگیری توالی تخریبی تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین بر روی سنگ‌های آتشفشانی تریاس میزبان توده در مرز شمالی توده نفوذی. س- نمای نزدیک از کنگلومرای چندزادی توالی تخریبی تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین. ش، ص- نمای نزدیک از فسیل‌های موجود در لایه آهکی توالی تخریبی تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین.

### سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک میزبان توده

سنگ‌های دگرگونی مجموعه‌های پالئوزوئیک سرگر-آبشور به سن پالئوزوئیک میانی-پسین در جنوب منطقه، میزبان توده نفوذی هستند و برخلاف گزارش‌های پیشین مرز نفوذی توده در داخل آن‌ها به طور آشکار دیده می‌شود. این سنگ‌های دگرگونی متشکل از آمفیبولیت، شیست، گنیس و مرمر هستند (شکل ۳-د، ذ).

### سنگ‌های داسیتی - ریوداسیتی تریاس میزبان توده

سنگ‌های داسیتی-ریوداسیتی و آذرآواری‌های مربوطه به سن تریاس که احتمالاً بیانگر کمان ماگمایی تریاس هستند، میزبان توده گرانیتوئیدی گودحوض هستند (شکل ۳-ز، س) و برخلاف گزارش شرح نقشه‌های زمین‌شناسی برگه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دهمرد (بزار) (ناظم زاده و رشید، ۱۳۸۵) و دولت آباد (عزیزان و نادری، ۱۳۸۵)، توده نفوذی گود حوض هرگز در توالی‌های ژوراسیک و آمیزه‌های رنگی کرتاسه نفوذ نکرده و لذا نمی‌تواند سن چینه‌شناختی پس از کرتاسه داشته باشد. گسترش سنگ‌های داسیتی-ریوداسیتی و آذرآواری‌های مربوطه محدود به یک نوار باریک در حاشیه شمال باختری توده و در زیر توالی تخریبی عمدتاً کنگلومرای-ماسه‌سنگی-شیلی ژوراسیک است (شکل ۳-س). این سنگ‌ها با ورنی صحرایی کاملاً تیره ولی سطح روشن تا خاکستری و ساخت میکروولیتی پورفیری در نمونه‌های تازه شکسته و در بعضی پرونده‌ها با دگرسانی آرژیلیتی دیده می‌شوند. رنگ آجری و قرمز در زون‌های دگرسانی آرژیلیتی بیانگر وجود کانی‌های سولفیدی (پیریت-کالکوپیریت) در نمونه‌های نادگرسان و احتمال کانه‌زایی مس-نقره-طلا است.

### توالی تخریبی تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین

توالی تخریبی تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین با کنگلومرای قاعده‌ای چندزادی ناجور اندازه (قطعات بسیار درشت تا ریزدانه که بیانگر یک کنگلومرای چندزادی ناهمگن نابالغ درون حوضه‌ای است، شکل ۳-س)، میکروکنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل به همراه یک لایه نازک آهکی سرشار از فسیل (شکل ۳-ش، ص) بر روی سنگ‌های آتشفشانی کمان تریاس قرار می‌گیرند و خود به طور ناپیوسته توسط توالی آهکی متوسط تا نازک لایه کرتاسه زیرین پوشیده می‌شود (شکل ۳-ز).

### سنگ آهک‌های کرتاسه زیرین

در نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ حاجی‌آباد (سبزه ئی و همکاران، ۱۳۷۲)، سن این آهک‌ها که بر روی توالی تخریبی تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین قرار گرفته‌اند، ژوراسیک بالایی-کرتاسه زیرین گزارش شده است.

### آمیزه‌های رنگی و شیست‌های آبی کرتاسه پایانی

این واحد که به طور گسترده در جنوب منطقه دیده می‌شود شامل دونیت و هارزبورژیت سرپانتینی شده، آمفیبولیت، شیست، مرمر و گارنت میکاشیست، گلوکوفان شیست، سرپانتینیت و سرپانتین شیست، سنگ آهک پلاژیک، شیل و ماسه‌سنگ، رادیولاریت، دایک‌های دیابازی، بازالت توده‌ای و بالشی و آذرآواری‌های وابسته است. در داخل واحد آمیزه رنگی به ویژه بازالت-های بالشی و توده‌ای کانه‌زایی مس و آهن-منگنز دیده می‌شود. پیگیری و اکتشاف این مواد معدنی در دیگر مناطق گسترش این سنگ‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

### نتیجه‌گیری:

توده گرانیتوئیدی گودحوض در جنوب بافت به سن ژوراسیک پیشین در داخل دگرگونه‌های پالئوزوئیک و سنگ‌های آتشفشانی کمان ماگمایی تریاس نفوذ کرده است. این توده با ماهیت متالومین و کالکوآلکالن نوع I از نشانه‌های بارز وجود یک کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای در زمان تریاس و شروع فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس زاگرس در این زمان است.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



منابع:

- سبزه‌ئی، م، روشن روان، ج، عزیزان، ح، ناظم زاده، م، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۲۵۰۰۰۰ حاجی آباد. سازمان زمین شناسی کشور.
- عزیزان، ح، نادری، ن، ۱۳۸۵. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ دولت آباد. سازمان زمین‌شناسی کشور.
- قاسمی، ح، سبزه‌ئی، م، ژوتو، ت، بلون، ا، امامی، م.ه، ۱۳۸۳. سن پرتوسنجی بخش‌های مافیک و دگرگونه‌های میزبان مجموعه اولترامافیک- مافیک سیخوران، جنوب خاوری ایران. فصلنامه علوم زمین ۱۱(۵۱-۵۲): ۶۷-۵۸.
- ملکی، آ، ۱۳۷۹. ژئوشیمی و پتروژنز توده نفوذی گرانیت باتولیت سیاه کوه. پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۲۲ صفحه.
- ناظم زاده، م، رشید، ا، ۱۳۸۵. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ دهسرد (بزار). سازمان زمین‌شناسی کشور.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 94, 401-19.
- Arvin, M., Pan, Y., Dargahi, S., Malekizadeh, A., Babaei, A., 2007. Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: Implications for initiation of Neotethys subduction. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 474-489
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265
- Besse J., Torcq F., Gallet Y., Ricou L.E., Krystyn L. and Saidi A., 1998. Late Permian to Late Triassic palaeomagnetic data from Iran: constraints on the migration of the Iranian block through the Tethyan Ocean and initial destruction of Pangaea. *Geophysical Journal International* 135(1), 77-92.
- Clarke, 1992. *granitoids rocks*. Champn & Hall, 230pp.
- Mohajjel, M., and Fergusson, C.L., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, Western Iran. *Journal of Structural Geology* 22, 1125-1139.
- Nédélec, A., and Bouchez, J.L., 2015. *Granites Petrology, Structure, Geological Setting, and Metallogeny*. Oxford University Press, 349p.
- Saccani, E., Azimzadeh, Z., Dilek, Y., and Jahangiri, A., 2013. Geochronology and petrology of the Early Carboniferous Misho Mafic Complex (NW Iran), and implications for the melt evolution of Paleo-Tethyan rifting in Western Cimmeria. *Lithos* 162, 264-278.

پتروگرافی و ژئوشیمی دایکهای تاخیری کانسار مس - مولیبدن پورفیری سونگون  
(شمال ورزقان - استان آذربایجان شرقی)

امین اله کامالی<sup>۱\*</sup>، محسن موید<sup>۲</sup>، محمد فداییان<sup>۳</sup>

۱- پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، گروه باستان سنجی و علوم طبیعی.

۲- دانشگاه تبریز-دانشکده علوم طبیعی-گروه علوم زمین

۳- دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

\*Aminkamali1984@gmail.com

چکیده:

کانسار مس پورفیری سونگون در شمال غربی ایران و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. عمده‌ی رخنمون‌های سنگی محدوده‌ی سونگون واحدهای فلیشوئیدی کرتاسه فوقانی، ائوسن، الیگوسن و پلیوکواترن می‌باشند. معدن مس سونگون از لحاظ سنگ‌شناسی شامل توده سونگون پورفیری (SP) و هشت دسته دایک تأخیری کوارتز دیوریت ((DK1(a, b, c)), گابرو دیوریت (DK2)، دیوریت (DK3)، داسیتی (DK4)، دایک لامپروفیری (LAM) و دایک میکرودیوریتی (MDI) می‌باشد. روند دایکها در توده سونگون پورفیری شمالغرب- جنوب شرق بوده و شیبی به سمت جنوب غرب دارند. کانی شناسی دایک DK1 شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، آمفیبول، بیوتیت، دایک DK3، پلاژیوکلاز و آمفیبول، دایک لامپروفیری شامل بیوتیت، پلاژیوکلاز و آمفیبول، دایک میکرودیوریتی، پلاژیوکلاز و کانی فرو منیزین می‌باشند. ترکیب شیمیایی دایکها براساس شیمی سنگ کل، گرانودیوریت، دیوریت، کوارتز مونزونیت، مونزونیت و گابرو دیوریت قرار می‌گیرند. همچنین نمونه‌های لامپروفیری در محدوده فنو تفریت، تراکی بازالت و تفریت-بازانیت قرار می‌گیرند. ماگمای مولد دایکهای معدن سونگون و توده پورفیری سونگون براساس ژئوشیمی سنگ کل، کالک آلکان تا شوشونیتی و غنی شدگی LILE و LREE را دارا هستند. نمونه‌های دایکهای معدن سونگون و توده پورفیری سونگون در دیاگرام‌های تفکیک قوس‌های ماگمایی پس برخوردی و حواشی فعال قاره‌ای، در محدوده قوس‌های ماگمایی پس برخوردی قرار می‌گیرند. شباهت الگوی عناصر نادر خاکی در گروه دایکها و توده سونگون پورفیری نشان از هم منشا و هم ماگما بودن این سنگها است. از طرفی ترکیب شیمیایی دایکها با جوانتر شدن سن آنها مافیک تر می‌شود. کلیدواژه: سونگون، کوارتز مونزونیت، دایک تاخیری، لامپروفیر، کوارتز دیوریت

Petrography and geochemistry of post mineralization dykes and Sungun Cu -  
Mo porphyry deposit (North Varzaghan- East Azerbaijan province)

Kamali, Allah Amin<sup>1\*</sup>, Moayyed, Mohsen<sup>2</sup> and Mohamad Fadaian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Research Center for Conservation of Culture Relics (RCCCR), Research institute of Cultural Heritage & Tourism, Tehran, Iran.

<sup>2</sup> Department of Geology, University of Tabriz, 51664, Tabriz, Iran

<sup>3</sup> Department of Geology, University of Payam Noor

\*aminkamali1984@gmail.com

Abstract:

Sungun porphyry copper deposit is located in the northwest of Iran, East Azerbaijan province. The main rock outcrops of Sungun area contain the Flyschoid units of upper cretaceous, Eocene, Oligocene and Plio-Quaternar outcrops. Considering the petrology viewpoint, the Sungun copper mine contains of porphyry sungun (SP), and eight categories of delayed Dykes contain Quartz-diorite (DK1 (a, b, c)), Gabbro-diorite (DK2), Diorite (DK3), Dacite (DK4), Lamprophyre Dyke (LAM) and Micro-diorite Dyke (MDI). The dikes trends in the Sungun



porphyry are SE-NW and their mass slope is southwest. DK1 minerals are plagioclase, amphibole and biotite, DK3 contains of plagioclase and amphibole and micro-diorite dyke contains of plagioclase and ferro-magnesian minerals and lamprophyre dyke are biotite, plagioclase, alkali feldspar, and amphibole. Dyke's chemical composition is Granodiorite, Diorite, Quartz-Monzonite, Monzonite and Gabbro- Diorite based on whole rock chemistry. Also the Lamprophyre samples locate in Pheno- tephryte, Tracybasalt and tephryt- Basanite range. Primary magma of dikes and Sungun porphyry bodies are calc-alkaline to shoshonite and enrichment in LREE and LILE elements. The samples of dikes and sungun porphyry mass locate in post collision magmatic arc domain using the post collision magmatic arc and continental active margins diagrams. The dykes REE pattern similarity to porphyry sungun mass shows their similar origin magma. On the other hand the dyke's chemical composition turns to more mafic state, being younger their age.

**Keywords:** Sungun, Quartz-Monzonite, dely dike, lamprophyre, Quartz-diorite.

#### مقدمه:

کانسارمس سونگون در ۳۲ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان، استان آذربایجان شرقی واقع شده است. قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه را سنگ‌های آهکی و شیلی نازک تا متوسط لایه تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها توسط توده عمدتاً بزرگ کوارتز مونزونیت پورفیری قطع شده‌اند ولی جهت شیب آن‌ها به سمت توده سونگون پورفیری است که این ویژگی می‌تواند در اثر عملکرد گسله منطبق بر مسیر سونگون چای و یا در اثر تزریق توده‌های دیگر باشد. قدیمی‌ترین پالس نفوذی توده کوارتز مونزونیتی باردار سونگون است که حامل کانی سازی مس-مولیبدن پورفیری است. توده کوارتز مونزونیتی سونگون که بزرگترین توده آذرین محدوده معدن را تشکیل می‌دهد، سن الیگومیوسن دارد. سن سنجیهای مطلق صورت گرفته توسط (Hassanpour, 2010) به روش Ar-Ar سن ۲۰/۶۹ میلیون سال بدست داده است همچنین سن سنگ درونگیر سونگون پورفیری به روش U-Pb ۲۷/۶۵ میلیون سال می‌باشد (Hassanpour, 2010). براساس روش U-Pb سن ۲۱ میلیون سال (میوسن آغازی) را گزارش نموده اند. (Aghazadeh et al., 2015). مرز توده سونگون پورفیری با سنگهای آهکی کرتاسه در سمت شمال و شرق ناحیه معدنی موجب پیدایش زون اسکارنی شده است. زون‌های اسکارنی در محدوده کانسار سونگون به صورت عدسی‌های بسیار کشیده و جدا از یکدیگر پراکنده‌اند. هورنفلسها بیشتر در حاشیه اسکارن شرقی در گمانه‌ها که حجم بالایی هم دارد دیده می‌شود. فعالیت‌های ماگمایی پس از جایگیری توده کوارتز مونزونیتی، به صورت تزریق سیستم دایکهای متعدد درون توده و سنگهای کربناتی بوده است. این دایکها براساس تقدم و تاخر به هشت دسته تقسیم می‌شوند (Kamali et al., 2020). دایکهای نسل اول دایک دیوریتی تا کوارتز دیوریتی (DK-1) است که فراوان‌ترین دایکهای موجود در توده سونگون پورفیری می‌باشند. مطالعات صحرایی و مغزه‌های حاصل از حفاری نشان می‌دهد که سه نوع متفاوت از این دایکها در داخل توده سونگون پورفیری تزریق شده‌اند که برحسب قدمت زمانی و نوع دگرسانی به سه دسته DK-1، DK1a، b، DK1-c تقسیم می‌شوند. در سطح پیت تنها می‌توان رخنمون دایکهای DK1a و DK1b را مشاهده نمود. دایک DK1a در شمال معدن در مجاورت با آهکهای منطقه به صورت جزئی سبب اسکارن زایی شده است. مرز دایکهای گروه DK1a با واحد توده سونگون پورفیری، سپری شکل بوده و گاه دارای حاشیه دگرسان یا دگرگونی مجاورتی درجه حرارت پایین است. به عبارتی، دایک تاخیری DK1a به فاصله زمانی کمی بعد از تشکیل توده سونگون پورفیری در آن تزریق شده است. براساس سن سنجیهای صورت گرفته به روش U-Pb توسط (Hassanpour, 2010) و (Aghazadeh et al., 2015) سن نفوذ به ترتیب ۲۰/۵۷ و ۱۹/۸۵ میلیون سال برای این دایک تعیین شده است. دایک DK1b حاوی دو نوع انکلاو میکرودیوریتی و انکلاوهایی از جنس خود دایک DK1b است، بنابراین دایک میکرودیوریتی MDI از دایک DK1b قدیمی تر است؟ مرز دایکهای گروه DK1b با توده سونگون پورفیری، سپری شکل بوده و بیشتر دارای حاشیه دگرسان است. دایک DK1b دایک DK1a را قطع می‌کند. (Aghazadeh et al., 2015) به روش U-Pb سن این دایک را ۱۹/۲۸ میلیون سال برآورد نموده‌اند. دایک DK1c در بخش پیت در گمانه‌ها مشاهده شده، اما در بخش اسکارن شرقی معدن بروز دارد. همچنین این دایک نیز دایک‌های DK1a و DK1b را قطع می‌کند. دایک دیوریت - گابرو (DK-2) در داخل معدن سونگون مشاهده نشده است و نمونه‌های مربوط به این دایکها در خارج از پیت و در ضلع شمال شرقی آن مشاهده می‌شوند. دایکهای دیوریتی (DK3) در داخل توده سونگون پورفیری تزریق شده و همچنین دایکهای نسل

اول DK1 را نیز قطع می‌کنند. در این دایکها انکلاو هورنفلسی و اتولیت های فراوانی وجود دارد. این دایک در توده سونگون پورفیری در گمانه ها و در قسمت اسکارن به صورت رخنمون مشاهده می شود. دایک میکرودیوریتی (MDI)، در گمانه های (SUS\_01,03,07,17,41,43,44,46,52) دیده می شود. با توجه به این که قطعاتی از دایک میکرودیوریتی در دایک DK1b دیده شده پس نسبت به این دایک قدیمی تر می باشد. دایکهای لامپروفیری (LAM) در سطح منطقه گزارش نشده اند لیکن در گمانه های (SUS\_24,26,38,42,64) مشاهده شده اند (Kamali, A, Moayyed, M, Amel, N, 2017). توده ساب ولکانیک داسیتی تا ریو داسیتی چال داغی سن پلیوسن دارد. دایکهای تراکیتی تا داسیتی (DK-4) حاصل انشعابات و آپوفیزهای توده ساب ولکانیک چال داغی هستند که سن پلیو- کواترنر داشته و به داخل توده سونگون پورفیری تزریق شده‌اند.

#### روش مطالعه:

برای مطالعه ژئوشیمیایی از نمونه‌های برداشت شده از دایکهای معدن مس سونگون منطقه ۲۸ نمونه سالم پس از مطالعات پتروگرافی انتخاب و پس از پودر نمودن جهت آنالیز به روش ICP-MS به آزمایشگاه شرکت ALS - Chemex کانادا ارسال شدند. همچنین تعداد ۳۶ نمونه از رساله (Alavi, 2014) استفاده شده است.

#### بحث:

توده سونگون پورفیری: کانی‌های اصلی توده سونگون پورفیری شامل پلاژیوکلاز (۴۰ تا ۴۵ درصد)، پتاسیم فلدسپار (۳۰ تا ۳۵ درصد)، آمفیبول (۵ تا ۱۰ درصد)، بیوتیت (۵ تا ۱۰ درصد) و کوارتز (۵ تا ۱۰ درصد) می‌باشد. دگرسانی‌های توده پورفیری سونگون به ترتیب پروپلیتیک، آرژیلیک، فیلیک و پتاسیک می‌باشد.

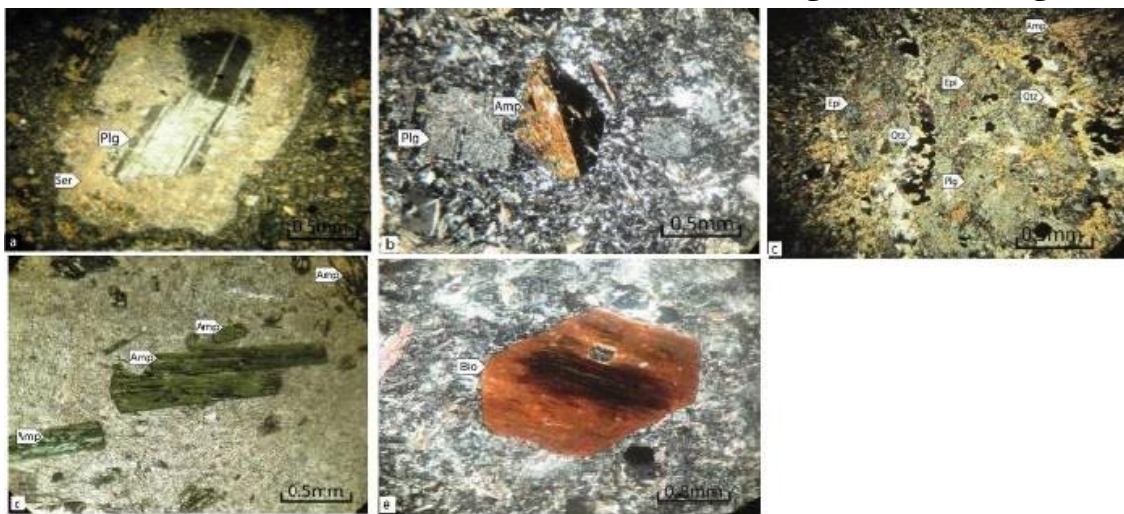
دایک دیوریتی تا کوارتز دیوریتی (DK1): فراوانترین دایکهای موجود در توده سونگون پورفیری می‌باشند که دارای رنگ سبز کمرنگ تا سبز تیره متمایل به لجنی خاکستری تیره می‌باشند. برحسب قدمت زمانی و نوع دگرسانی به سه دسته DK1-a, b, DK1-c تقسیم می‌شوند. دایک دیوریتی تا کوارتز دیوریتی نوع DK1a: کانی‌های اصلی این گروه سنگی شامل: پلاژیوکلاز، آمفیبول، کوارتز و پتاسیم فلدسپار. پلاژیوکلاز (۶۰-۵۰) که اکثراً از حاشیه سرسپت شده‌اند (شکل ۱-a). بیوتیت (۲۰-۱۵) فنوکریست های شکلدار اما کلسیتی، کلریتی و سرسپتی شده دیده می‌شوند. آمفیبول (۱۰-۵) که توسط مجموعه کلریت و سرسپت سودومورف شده اند. کوارتز (۱۵-۱۰) به دو شکل یکی بفرم بین دانه ای و با بافت اینترستیشیال و دومی بفرم بلورهای درشت با حواشی واکنشی، تجمعی و گاهی دارای خوردگی خلیجی شکل هستند. کانی‌های فرعی در این دایکها شامل زیرکن، آپاتیت و پیریت است. بافت اصلی این دایکها میکروولیتی پورفیریک تا پورفیریک با خمیره ریز بلور است. دایک دیوریتی تا کوارتز دیوریتی نوع DK1b: دایک DK1-b نسبت به انواع DK1-a رنگ تیره‌تری دارد. تاخیری تر بوده و دگرسانی خیلی ضعیف فیلیک و دگرسانی نسبتاً قوی پروپلیتی نشان می‌دهند. کانی‌های اصلی شامل: پلاژیوکلاز و آمفیبول. فنوکریست های پلاژیوکلاز (۶۰-۵۰) از حواشی به سرسپت و یا سرسپت + کلسیت تجزیه شده اند، آمفیبول (۳۰-۲۰) و در برخی از موارد بطور کامل توسط کلریت، سرسپت، اپیدوت، کلسیت و کانی تیره جایگزین شده اند (شکل ۱-b). کانی‌های فرعی در این دایکها شامل بیوتیت، اسفن، آپاتیت و کوارتز می‌باشد. بافت این دایکها میکروولیتی پورفیریک تا پورفیریک است. دایک دیوریتی تا کوارتز دیوریتی نوع DK1c: در نمونه‌های دستی رنگ آن‌ها سبز تیره با فنوکریستالهای مشخص پلاژیوکلاز سفید رنگ و دگرسانی خیلی ضعیف پروپلیتی و به میزان جزئی دگرسانی به کلسیت نشان می‌دهند. کانی‌های اصلی شامل، پلاژیوکلاز و آمفیبول. پلاژیوکلازها (۴۰-۳۰) از حاشیه سرسپت شده و در بعضی موارد اپیدوتی شده اند (شکل ۱-c)، ارتوز پرتیتی و بفرم نیمه شکلدار به مقدار خیلی کم و آمفیبول به صورت شکلدار و نیمه شکلدار سالم با ماکل کارلسباد دیده می‌شوند. کانی‌های فرعی شامل کوارتز، بیوتیت و اسفن. بافت این دایکها پورفیریک با خمیره ریز تا متوسط بلور است.

دایک دیوریت - گابرو (DK-2): کانی‌های اصلی شامل: پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول. پلاژیوکلاز بصورت بلورهای نیمه شکلدار که بلورهای کلینوپیروکسن را در میان گرفته‌اند. کلینوپیروکسن بفرم شکلدار تا نیمه شکلدار به اورالیت و کلریت دگرسان شده است. آمفیبول بصورت نیمه شکلدار توسط کلریت و کلسیت پسودومورف شده‌اند. آپاتیت کانی عارضه ای سنگ است. بافت این دایکها ایتیکی و پوئیکلیتیک است. دایک دیوریتی (DK3): رنگ آن‌ها سبز تیره بوده و دارای فنوکریست های پلاژیوکلاز، ارتوزهای صورتی درشت بلور و آمفیبول می‌باشند. کانی‌های اصلی شامل، پلاژیوکلاز و آمفیبول. بلورهای

پلاژیوکلاز به سریسیت و اندکی کانی رسی، ارتوکلاز به صورت فنوکریست نیمه شکلدار و آمفیبول در اثر دگرسانی کلریتی، اپیدوتی، سریسیتی و مسکویتی شده اند (شکل ۱-d). کانی فرعی در این دایکها کوارتز می باشد. بافت این دایکها میکروولیتی پورفیریک تا پورفیریک است.

دایکهای تراکیتی تا داسیتی (DK-4): کانی های اصلی این گروه سنگی شامل: پلاژیوکلاز و سانیدین. کانی فرعی در این دایک آمفیبول است. بافت سنگ در حاشیه دایک هیالومیکروولیتی (شیشه دارد) و در بخش مرکزی بافت میکروولیتی پورفیریک است.

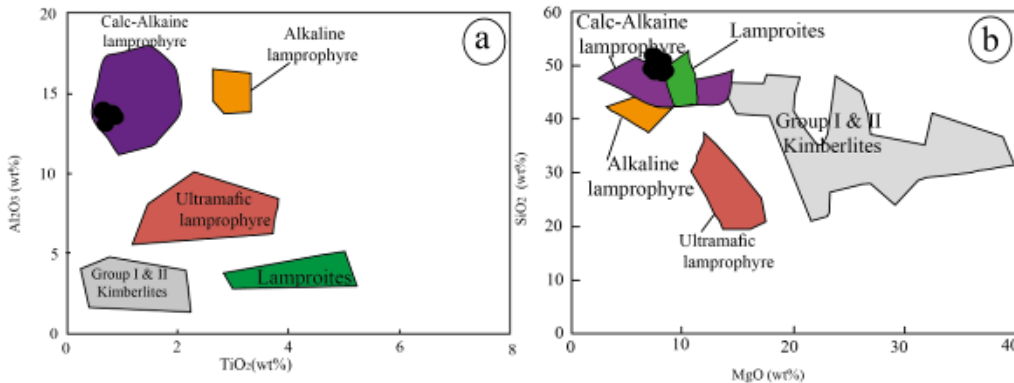
دایکهای لامپروفیری (DK5-LAM): رنگ در نمونه های دستی خاکستری تا سبز روشن است. کانی های اصلی شامل: بیوتیت، پلاژیوکلاز، ارتوز، آمفیبول و زینوکریست پیروکسن. بیوتیت (۳۵-۳۰) این بلورها به صورت شکل دار و نیمه شکل دار در اندازه های درشت بلور و متوسط بلور (شکل ۱-e)، پلاژیوکلاز (۳۰-۲۰) و به شدت سریسیتی و اپیدوتی شده، آمفیبول (۱۰-۵) به صورت تجمع گروهی، ارتوز به صورت فنوکریست و پیروکسن به صورت زینوکریست و به صورت شکلدار دیده می شود. کانی های فرعی در این دایکها شامل آپاتیت، زیرکن و کانی کوارتز است. سنگ های مورد مطالعه دارای بافت پورفیریک و میکروولیتی پورفیری هستند. دایکهای میکرودیوریتی (DK6-MDI): رنگ در نمونه دستی خاکستری تا تیره و رگه و رگچه های کلسیتی در داخل سنگ میکرو دیوریتی به فراوانی دیده می شود. به شدت دگرسان شده هستند بطور که کانیهای فرومنیزین از بین رفته اند. کانی های اصلی این گروه سنگی شامل: پلاژیوکلاز و پیروکسن. پلاژیوکلاز (۲۵ تا ۳۰ درصد) در اثر دگرسانی سریسیتی، اپیدوتی و کلسیتی شده هستند. میکروولیت های خمیره حالت جریان یافته اند بطوری که فنوکریست های پلاژیوکلاز را در بر گرفته اند. کانیهای فرومنیزین از بین رفته و تنها قالبی از آنها برجای مانده است. کوارتز: بفرم بی شکل بصورت تجمعی و بین دانه ای دیده می شود.



شکل ۱- (a) فنوکریست پلاژیوکلاز زونینگ دار با حاشیه سریسیت شده دایک DK1a، (b) ماکل کارلسباد در فنوکریست های آمفیبول دایک DK1b، (c) فنوکریست پلاژیوکلاز اپیدوتی و سریسیتی شده که توسط رگه کوارتزی قطع شده است دایک DK1c، (d) فنوکریست سالم و شکل دار آمفیبول در دایک DK3. (e) فنوکریست شکل دار بیوتیت در دایک لامپروفیری.

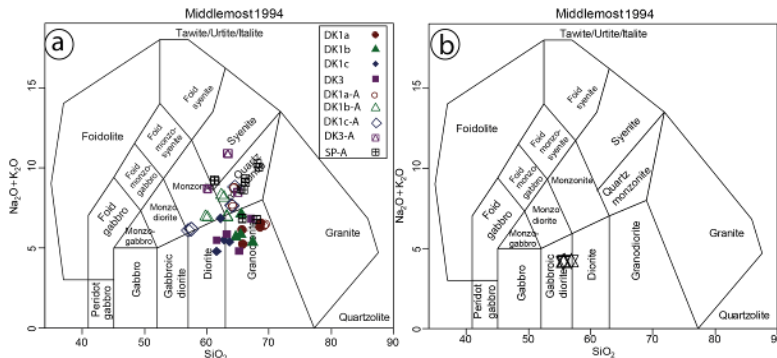
دایکها در محدوده معدن اشکال متفاوتی را از خود نشان می دهند. در بسیاری از جاها به صورت زیگزاگ مشاهده می شوند و در بعضی جاها به همدیگر متصل شده و جهت گیری های مختلفی را از خود نشان می دهند. طول دایکها از ۵۰۰ تا ۴۰۰ متر و پهنای آنها از ۰/۵ تا ۳۰ متر متغیر است. در قسمت های جنوبی و شمالی معدن ضخامت دایکها افزایش می یابد. در قسمت پیت معدن روند دایکها شمالغرب - جنوب شرق و شیبی به سمت جنوب غرب دارند، اما در قسمت اسکارن روند غالب اکثر دایکها شمالشرق- جنوب غرب می باشد، دلیل تفاوت در روند دایکها در پیت و اسکارن چرخش گسل نرمال چپگرد سونگون چای می باشد. بیش از ۸۰ درصد دایکها دارای شیبی بین ۴۵ تا ۹۰ درجه می باشند.

طبق نمودارهای  $MgO-SiO_2$  و  $Al_2O_3-TiO_2$  (Rock, 1987) ماگمای مولد نمونه‌های لامپروفیری مورد مطالعه دارای سرشت کالک‌آلکان می‌باشد (شکل ۲). با توجه به میزان بعضی از عناصر جهت تفکیک لامپروفیرهای کالک‌آلکان از آلکان از جمله  $TiO_2$  در لامپروفیرهای کالک‌آلکان (کمتر از ۱/۶۷) و در آلکان (بیش از ۱/۵۷)، میزان  $K_2O$  در لامپروفیرهای کالک‌آلکان نسبت به آلکان بالا، نسبت  $K_2O/Na_2O$  در لامپروفیرهای کالک‌آلکان (بیش از یک) و لامپروفیرهای آلکان (حدود یک)، دامنه  $MgO$  در کالک‌آلکان از ۳/۹۵ تا ۱۰/۶ و در آلکان ۴/۸۲ تا ۱۱/۲، میزان  $P_2O_5$  در نمونه‌های لامپروفیر کالک‌آلکان (۰/۷۱-۱/۹۴) و آلکان (۰/۴۶ تا ۱/۴۸) و  $Th$  یکی دیگر از شاخص‌های تمایز کالک‌آلکان (۹/۵-۳۷) از آلکان (۱۴/۵) به ترتیب ۰/۱۸۶-۰/۶۵، ۰/۶۶۹-۱/۶۲، ۸/۲۶-۷/۲۶، ۰/۱۸۸-۰/۱۶۶ و ۲۳/۷-۳۰/۸ است با توجه به دامنه تغییرات این عناصر لامپروفیرهای منطقه جز لامپروفیرهای کالک‌آلکان قرار می‌گیرند.



شکل ۲- (a) نمودار دووجهی  $Al_2O_3-TiO_2$  و موقعیت نمونه‌های لامپروفیری، (b) نمودار  $MgO-SiO_2$  و موقعیت نمونه‌های لامپروفیری در آن، (Rock, 1987).

در دیاگرام ارائه شده توسط (Middlemost, 1994) دایکهای DK1a, DK1b, DK1c, DK3 و توده سونگون پورفیری در محدوده گرانودیوریت، دیوریت، کورازن مونزونیت و مونزونیت و دایکهای MDI در محدوده گابرویدیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۳).



شکل ۳- طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین با استفاده از نمودار (Middlemost, 1994). (a) دایکهای کوارتزیدیوریتی (DK1a, DK1b)، (b) دایکهای MDI، (c) توده کوارتز مونزونیتی سونگون (SP)، (d) دایکهای MDI. (A = علوی، ۱۳۹۲).

در نمودار عنکبوتی نرمالیزه شده نسبت به کندریت (Ree, 1984)، دایکهای تاخیری و توده سونگون پورفیری به صورت موازی هست (شکل ۴- a,c,e). این نمودار همچنین بیان می‌کند که عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) غنی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی از عناصر LREE نسبت به HREE و مقدار کم  $Zr$  و  $Nb$  وابستگی این سنگ‌ها را به سری کالک‌آلکان نشان می‌دهد (Leat et al., 2004; Machado et al., 2005). آنومالی منفی عنصر  $Eu$  احتمالاً ناشی از تبلور تفریقی پلاژیوکلاز در طی پیشرفت تبلور در ماگما است. مطابق، الگوی تغییرات عناصر کمیاب منطقه به صورت موازی می‌باشد. (Magazine)

(1989, n.d.) اعتقاد دارد که اگر یک مجموعه از سنگ‌های آذرین در اثر تحمل فرایندهای تبلور تفریقی با یکدیگر مرتبط باشند، باید مقادیر عناصر کمیاب و نسبت‌های آن‌ها به صورت ثابت و پیوسته در یک سری تغییر کند. موازی بودن الگوی عناصر در سنگ‌های منطقه بر منشأ واحد و تبلور تفریقی به عنوان سازوکار تشکیل آن‌ها دلالت می‌کند.

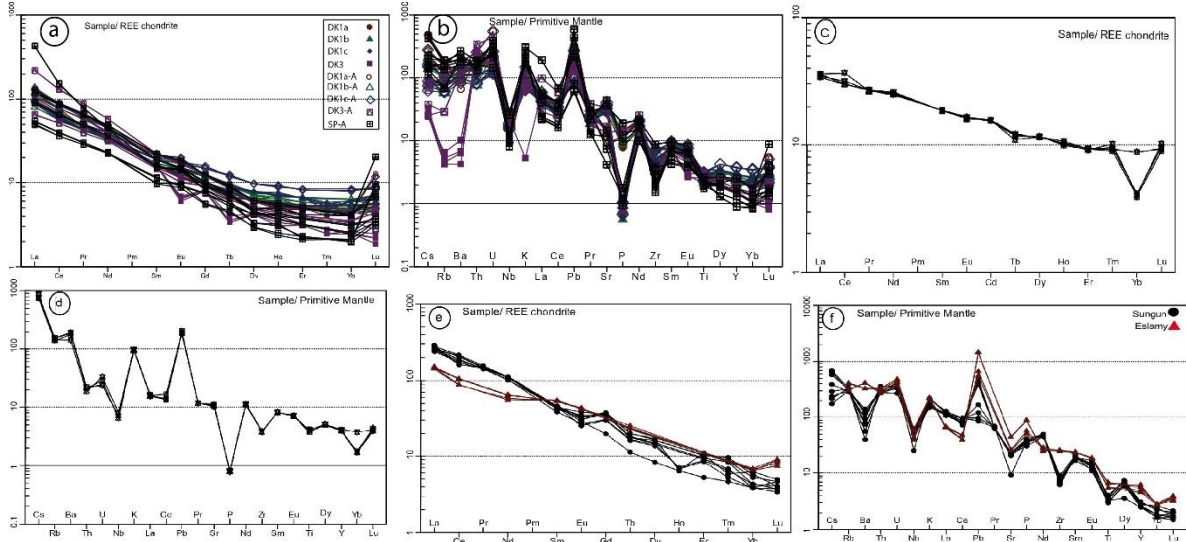
نمودار عنکبوتی به هنجار شده با گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) آنومالی‌های منفی واضح و مشخصی از Ti, Zr, P, Pr, Ce, Nb و همچنین آنومالی مثبت Cs, U, K, Pb, Nd مشاهده می‌شود (شکل ۴-b,d,f). آنومالی منفی Nb نشان‌دهنده ماگماهای مربوط به محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای است و می‌تواند در اثر آلودگی پیوسته و سیالات آزاد شده از لیتوسفر فرورونده به وجود آمده باشد (Aldanmaz et al., 2000). همچنین عنصر Nb می‌تواند جانشین Ti در کانی اسفن شود، باقی ماندن چنین فاز دیرگدازی در ماگمای مادر، می‌تواند باعث آنومالی منفی این عنصر شود (Magazine & 1989, n.d.). آنومالی منفی عناصر Ti, Ta, P, Nb و غنی‌شدگی مشخص از عناصر (LILE(K,Cs,Th,Sr,Sm)) از ویژگی‌های سنگ‌های ماگمایی مرتبط با قوس‌های آتشفشانی است (Peng et al., 2008; Rollinson, 2014).

نمودار عنکبوتی به هنجار شده با گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) آنومالی‌های منفی واضح و مشخصی از Ti, Zr, P, Pr, Ce, Nb و همچنین آنومالی مثبت Cs, U, K, Pb, Nd مشاهده می‌شود (شکل ۴-a). آنومالی منفی Ti منعکس‌کننده نقش اکسیدهای Fe-Ti است (Rollinson, 2014). با وارد شدن Ti به ساختمان کانی‌هایی مانند تیتانومگنتیت در مراحل اولیه تفریق، می‌تواند این آنومالی ایجاد شود. در ماگماتیسیم‌های مرتبط با فرورانش فوگاسیته بالای O<sub>2</sub> در زون فرورانش، باعث تهی‌شدگی Ti می‌شود. هنگامی که فوگاسیته اکسیژن بالا باشد، دمای زیادی لازم است تا فازهای حاوی Ti در مذاب‌های مشتق شده از منطقه فرورانش تخلیه شود (Edward et al., 1994). تهی‌شدگی P نیز نشان‌دهنده تبلور فاز آپاتیت در طول کریستالیزاسیون است که شواهد پتروگرافیکی وجود این کانی را تقریباً در تمام مقاطع مورد بررسی نشان می‌دهد. آنومالی منفی عناصر Nb, Ti, P همراه با یک غنی‌شدگی مشخص از عناصر LILE نظیر K,Cs,Th از ویژگی‌های مهم سنگ‌های ماگمایی مرتبط با قوس‌های آتشفشانی است که در اثر عملکرد سیالات ناشی از فرورانش به وجود می‌آیند (Peng et al., 2008; Rollinson, 2014). بدین ترتیب روند تغییرات این نمونه‌ها با ویژگی‌های محیط زمینی ساختی مرتبط با فرورانش انطباق دارند (Gioncada et al., n.d.; Magazine & 1989, n.d.). همچنین توده موزونیتی سونگون متمایز بوده و ماگماها از منابع مختلفی منشأ گرفته، در صورتی که نسبت‌های ایزوتوپی و ژئوشیمی سنگ کل خلاف این ادعا رو اثبات می‌کند (A. A. Kamali, 2016; A. A. Kamali et al., 2018). در الگوی عناصر کمیاب که به کندریت و گوشته اولیه نرمالیزه شده‌اند، ارتباط مشابهی بین همه نمونه‌ها دیده می‌شود. که نشان‌دهنده هم ماگما بودن توده نفوذی و دایکهای همراه می‌باشد.

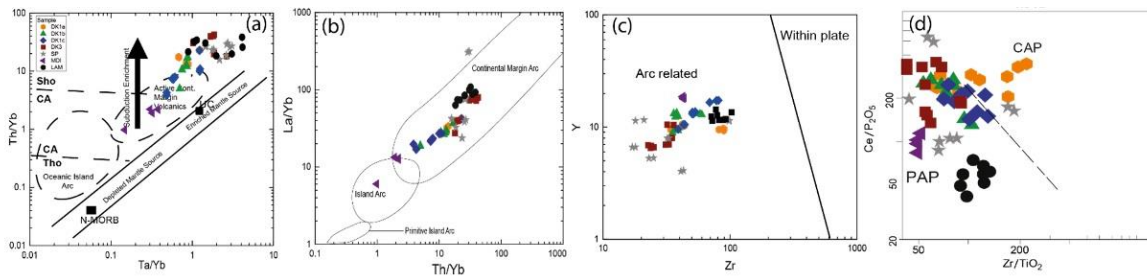
در نمودار بهنجار شده به گوشته اولیه دایکهای لامپروفیری سونگون و جزیره اسلامی (شکل ۴-f)، آنومالی‌های منفی Nb, Ti را می‌توان به پایداری کانی‌هایی مانند تیتانیم، روتیل، ایلمنیت و آمفیبول در گوه گوشته‌ای نسبت داد. این گوه گوشته‌ای توسط آب به یک محیط اکسیدان تبدیل شده و باعث پایداری این کانی‌ها شده است (Saunders et al., 1991). در نمودارهای عنکبوتی نمونه‌های کالک‌آکالن جزیره اسلامی که در مقایسه با دایکهای لامپروفیری آورده شده‌اند، در هر دو نمونه غنی‌شدگی بالایی از LILEs و تهی‌شدگی از عناصر HFSEs (Nb, Ta, Ti) نشان می‌دهند. همچنین در این نمودار نمونه‌های جزیره اسلامی غنی‌شدگی از Pb و P نشان می‌دهند. نزدیک بودن داده‌های ایزوتوپی استرانسیم و نئودیمیم و تغییرات منظم عناصر فرعی در سنگ‌های منطقه، بیانگر منشأ ماگمایی یکسان برای آن‌هاست و نشان می‌دهد آغشتگی‌های پوسته‌ای، نقش چندانی در هنگام بالا آمدن و جایگیری ماگماهای مادر آن‌ها نداشته است. با توجه به نتایج ترموبارومتري دایکها می‌توان یک ماگمای حدواسط تفریق یافته با ترکیب دیوریتی برای منشأ تنوعات سنگی در معدن مس سونگون در نظر گرفت.

از نمودار Ta/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce, 1983) می‌توان به محیط تکتونیکی حاکم در منطقه پی برد. نمونه‌های مورد نظر در محدوده سنگ‌های شوشونیتی حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرد. نحوه قرارگیری سنگ‌های مورد مطالعه در این نمودار

خطی و به موازات روند غنی‌شدگی مناطق فرورانش است (شکل ۵-ا). از نسبت‌های عنصری مختلف برای مثال  $Th/Yb$  و  $La/Yb$  می‌توان قوس‌های فعال قاره‌ای را از سایر قوس‌های اقیانوسی مجزا کرد. در این نمودار به دلیل نسبت بالای عناصر  $La/Yb$  و  $Th/Yb$  در محیط‌های قوس‌های فعال قاره‌ای نسبت به جزایر قوسی، سنگ‌های مورد مطالعه در قوس‌های فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۵-ب). در نمودارهای  $Zr$  در مقابل  $Y$  و  $Al_2O_3$  در برابر  $TiO_2$  که برای جدا نمودن محیط تکتونیکی سنگ‌های پتاسیک درون صفحه‌ای و محیط مرتبط با کمان بکار می‌روند سنگ‌های مورد مطالعه در محیط تکتونیکی مرتبط با کمان قرار می‌گیرند (شکل ۵-د، ۵-ج).



کل ۴-ا نمودار بهنجار شده دایکهای تأخیری و توده کوارتزومونزیتی سونگون نسبت به کندریت (Boynton, 1984) ، نمودار (b) ، نمودار بهنجار شده دایکهای تأخیری و توده کوارتزومونزیتی سونگون نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDough, 1989) . (A = علوی، ۱۳۹۲). نمودار بهنجار شده دایکهای میکرودیوریتی نسبت به کندریت (Boynton, 1984) ، نمودار (d) ، نمودار بهنجار شده دایکهای میکرودیوریتی نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDough, 1989) . (e) نمودار بهنجار شده دایکهای لامپروفیری نسبت به کندریت (Boynton, 1984) ، (f) ، نمودار بهنجار شده دایکهای لامپروفیری نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDough, 1989).



شکل ۵-ا) نمودار  $Ta/Yb$  در برابر  $Th/Yb$  (Pearce, 1983) ، نمودار (b)  $La/Yb$  در مقابل  $Th/Yb$  (Condie & 1989, 1989) . (c) دیگرام  $Al_2O_3$  در برابر  $TiO_2$  ، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند و نمودار  $Zr$  در مقابل  $Y$  ، در این نمودار دایکهای تأخیری و توده کوارتزومونزیتی سونگون در کمان‌های آتشفشانی واقع می‌شوند (Müller et al., 1992) . (A) = (Alavi, 2014).

### نتیجه‌گیری:

مطالعات صحرایی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که سنگ‌های توده نفوذی و دایکهای همراه دارای ترکیب کوارتزومونزیت، کوارتز دیوریت، گابرو دیوریت، میکرودیوریت، گرانودیوریت و لامپروفیری می‌باشند. روندهای امتداد دایکها در محدوده پیت معدن شمال غربی – جنوب شرقی و در قسمت اسکارن همانند پیت می‌باشند. شیب اکثر دایکها به سمت جنوب غرب است و توده‌های تغذیه‌کننده این دایکها یعنی  $DK1a$  و  $DK1b$  در بخش جنوبی معدن به حاشیه توده سونگون پورفیری تزریق شده‌اند. توده

سونگون پورفیری سن میوسن تحتانی دارد. دایکهای تاخیری معدن مس سونگون بر حسب زمان نفوذ به هشت دسته و برحسب ترکیب به شش دسته دایک تقسیم می شوند. کانی‌های اصلی دایکهای کوارتزدیوریتی (DK1a, DK1b, DK1c) پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت و دایک میکرودیوریتی (DK3) پلاژیوکلاز و آمفیبول می‌باشد. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده دایک لامپروفیری شامل بیوتیت، پلاژیوکلاز، ارتوز و آمفیبول می‌باشد. دایک میکرودیوریتی شامل پلاژیوکلاز و کانی ثانویه کلریت می‌باشند. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی، دایکهای کوارتزدیوریتی (DK1a, DK1b, DK1c)، میکرودیوریتی (DK3)، لامپروفیری و توده کوارتزمونزیتی سونگون از لحاظ سری ماگمایی جز سری شوشونیتی قرار می‌گیرند و ماهیت متآلومینوس را نشان می‌دهند. ماگمای مولد نمونه‌های میکرودیوریتی مورد مطالعه دارای سرشت کالک‌آلکانل می‌باشد. موازی بودن الگوی تغییرات عناصر REE در منطقه نشان از مرتبط بودن این سنگ‌ها از طریق تبلور تفریقی است.

دایکهای کوارتزدیوریتی (DK1a, DK1b, DK1c)، میکرودیوریتی (DK3) و توده کوارتزمونزیتی سونگون آنومالی‌های منفی واضح و مشخصی از Ti, Zr, P, Pr, Ce, Nb و همچنین آنومالی مثبت Cs, U, K, Pb, Nd مشاهده می‌شود. عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) غنی‌شدگی نشان می‌دهند. آنومالی منفی و مثبت Eu هم در این سنگ‌ها دیده می‌شود

با توجه به نمودارهای مختلف، محیط تکتونیکی، منطقه مورد مطالعه را می‌توان به قوس‌های ماگمایی بعد از تصادم و حاشیه فعال قاره‌ای منتسب کرد. شباهت الگوی عناصر نادر خاکی در گروه دایکها و توده سونگون پورفیری نشان از هم منشأ و هم ماگما بودن این سنگ‌ها است. با توجه به اینکه توده پورفیری سونگون، اسیدی‌ترین بخش این مجموعه بوده است. ابتدا جایگزین شده و از نظر زمانی نیز قدیمی‌ترین توده محسوب می‌شود و سپس توده DK1a و دایکهای منشعب از آن تزریق شده‌اند عمل تزریق تا خروج اعضای مافیک‌ترین یعنی DK1b, DK1c و DK3 ادامه یافته است.

#### منابع:

- Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z., & Zhou, L. (2015). Temporal–spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: constraints from zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology. *Ore Geology Reviews*, 70, 385–406.
- Alavi, G. (2014). Study of the skarn deposits around the Sheyvar-Dagh batolith and comparison with the Sungun porphyry skarn. *Geology. Tabriz*.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. ., Thirlwall, M. ., & Mitchell, J. . (2000). Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102(1–2), 67–95. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00182-7](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00182-7)
- Condie, K. C. K., & 1989, U. (1989). *Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: Identification and significance*. 23(1–2), 1–18. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(89\)90020-0](https://doi.org/10.1016/0024-4937(89)90020-0)
- Edward, C. M. H., Menzies, M. A., Thirlwall, M. F., Morrid, J. D., Leeman, W. P., & Harmon, R. S. (1994). The transition to potassic alkaline volcanism in island arcs: the Ringgite-Beser Complex, East Java. *Journal of Petrology*, 35(6), 1557–1595.
- Gioncada, A., Mazzuoli, R., ... M. B.-J. of V., & 2003, undefined. (n.d.). Petrology of volcanic products younger than 42 ka on the Lipari–Vulcano complex (Aeolian Islands, Italy): an example of volcanism controlled by tectonics. *Elsevier*. Retrieved October 18, 2021, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377027302005024>
- Hassanpour, S. (2010). *Metallogeny and mineralization of copper and gold in Arasbaran zone (Eastern Azerbaijan)*. PhD Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran (in Persian with English abstract).
- Kamali, A., Moayyed, M., Amel, N., H. M. (2017). Mineral chemistry and geochemistry of lamprophyric dykes in the Sungun Cu–Mo porphyry deposit (Varzaghan–Northwestern Iran). *Journal of Geoscience*, 26(102), 73–90.
- Kamali, A. A. (2016). *Petrology and Mineral chemistry of post mineralization dykes of Sungun Cu–Mo porphyry deposit, North of Varzeghan, East-Azerbaijan, Iran: Vol. Ph.D*. University of Tabriz.
- Kamali, A. A. A. A., Moayyed, M., Amel, N., Mohammad, F., Brenna, M., Saumur, B. M. B. M. B. M., & Santos, J. F. J. F. (2020). Mineralogy, mineral chemistry and thermobarometry of post-mineralization dykes of the Sungun Cu–Mo porphyry deposit (Northwest Iran). *Open Geosciences*, 12(1), 764–790. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0009>
- Kamali, A. A., Moayyed, M., Amel, N., Hosseinzadeh, M. R., Mohammadiha, K., Santos, J. F., & Brenna, M. (2018). Post-mineralization, cogenetic magmatism at the sungun cu-mo porphyry deposit (Northwest Iran):

- Protracted melting and extraction in an arc system. *Minerals*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/MIN8120588>
- Leat, P. T., a. Pearce, J., Barker, P. F., Millar, I. L., Barry, T. L., & Larter, R. D. (2004). Magma genesis and mantle flow at a subducting slab edge: The South Sandwich arc-basin system. *Earth and Planetary Science Letters*, 227(1–2), 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.08.016>
- Machado, A., Lima, E. F., Chemale, F., Morata, D., Oteiza, O., Almeida, D. P. M., Figueiredo, A. M. G., Alexandre, F. M., & Urrutia, J. L. (2005). Geochemistry constraints of Mesozoic–Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica. *Journal of South American Earth Sciences*, 18(3–4), 407–425. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.11.011>
- Magazine, A. H.-M., & 1989, undefined. (n.d.). M. Wilson. *Igneous Petrogenesis: a Global Tectonic Approach*. London (Unwin Hyman), 1989, xx + 466 pp. Price £50.00 (hardback); £24.95. *Cambridge.Org*. Retrieved October 18, 2021, from <https://www.cambridge.org/core/journals/mineralogical-magazine/article/m-wilson-igneous-petrogenesis-a-global-tectonic-approach-london-unwin-hyman-1989-xx-466-pp-price-5000-hardback-2495-paper/369C46F2E4BB23EE1489304C9C99728A>
- Middlemost, E. A. K. (1994). Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3–4), 215–224. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Müller, D., Rock, N. M. S., & Groves, D. I. (1992). Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: A pilot study. *Mineralogy and Petrology*, 46(4), 259–289. <https://doi.org/10.1007/BF01173568>
- Pearce, J. (1983). *Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins*. <http://orca.cf.ac.uk/id/eprint/8626>
- Peng, P., Zhai, M., Ernst, R. E., Guo, J., Liu, F., & Hu, B. (2008). A 1.78 Ga large igneous province in the North China craton: The Xiong'er Volcanic Province and the North China dyke swarm. *Lithos*, 101(3–4), 260–280. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.07.006>
- Ree, S. (1984). *Spider plot – REE chondrite (Boynton 1984)*. 1984.
- Rock, N. M. S. (1987). The nature and origin of lamprophyres: An overview. *Geological Society Special Publication*, 30, 191–226. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.030.01.09>
- Rollinson, H. R. (2014). Using Geochemical Data. *Using Geochemical Data*. <https://doi.org/10.4324/9781315845548/USING-GEOCHEMICAL-DATA-HUGH-ROLLINSON>
- Saunders, A. D., Norry, M. J., & Tarney, J. (1991). Fluid influence on the trace element compositions of subduction zone magmas. *Philosophical Transactions - Royal Society of London, A*, 335(1638), 377–392. <https://doi.org/10.1098/RSTA.1991.0053>
- Sun, & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society Special Publication*, 42(1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>



## تفسیر بازالت‌های کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی همراه در جنوب آمل براساس

### شواهد پتروگرافی

روشنک ارغائی<sup>۱\*</sup>، منصور قربانی<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشجوی دکتری پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

arghaee.rk@gmail.com

#### چکیده:

منطقه‌ی مورد مطالعه واقع در جنوب جاده آمل\_تهران بین تونل سیاه‌بیشه و سه راهی بلده در محدوده جنگل علمستان واقع شده است. تنوع سنگ‌شناسی با توجه به مطالعات پتروگرافی در نمونه‌های منطقه شامل: بازالت‌های آلکالن (شامل بازانیت و تفریت)، تراکی‌بازالت، تراکیت و دیاباز معرفتی شدند. براساس مطالعات پتروگرافی بافت غالب در نمونه‌های منطقه، بافت پورفیری با خمیره‌ی میکرولیتی (بافت تراکیتی) می‌باشد. طول شدگی میکرولیت‌ها تقریباً در یک جهت است که نشان می‌دهد گدازه‌ها در سطح جریان یافته‌اند. در تراکی‌بازالت‌های منطقه بافت سنگ به قدری دانه‌ریز است که هیچ فنوکریستی در مقاطع نازک مشاهده نمی‌شود. این پدیده نشان‌دهنده‌ی صعود سریع این تراکی‌بازالت‌ها بدون استراحت در آشیانه‌ی ماگمایی است در حالیکه در پتروگرافی تراکیت‌های منطقه جنوب آمل علاوه بر میکرولیت‌های جریان‌یافته در خمیره، فنوکریست‌های نیمه شکل‌دار متعدد مشاهده شده است که احتمالاً نشانه‌ی استراحت تراکیت‌ها در آشیانه‌ی ماگمایی می‌باشد. پلاژیوکلاز در تراکیت‌های منطقه به صورت خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار مشاهده می‌شود که اغلب حاشیه‌ی خوردگی نشان می‌دهند. این حاشیه احتمالاً به دلیل افزایش درجه حرارت ماگما در نتیجه‌ی خروج و جریان یافتن می‌باشد.

کلیدواژه: آلکالی‌بازالت، تراکیت، آشیانه‌ی ماگمایی، میکرولیت

## The Interpretation of Cretaceous Basalts and associated volcanic rocks in the south of Amol based on petrographic evidence

\*Rowshanak Arghae, Mansour Ghorbani

#### Abstract:

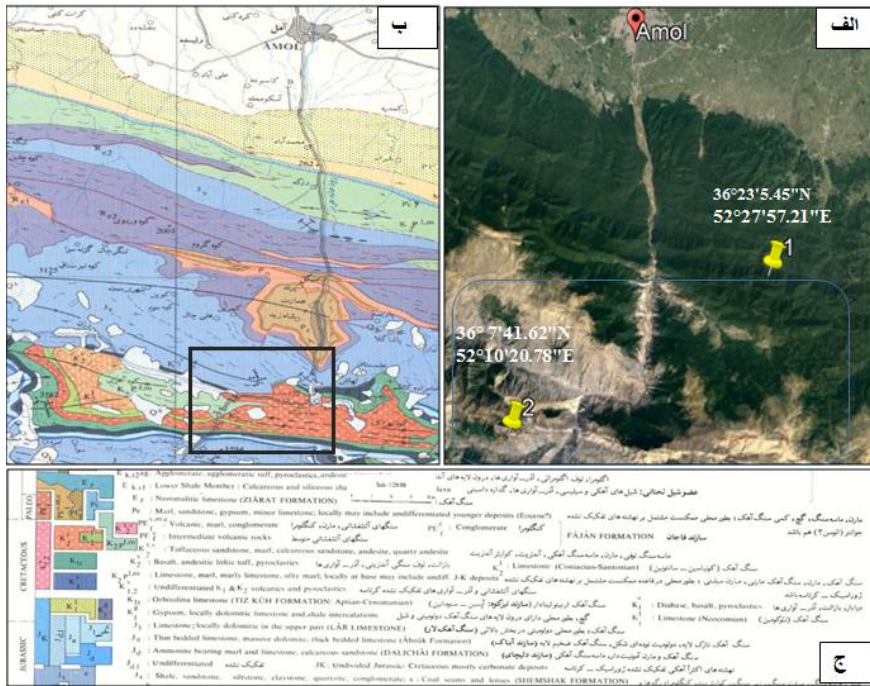
The studied area is located in the south of Amol-Tehran highway between the Siahbisheh tunnel and the Baladeh T-junction in the forest of Alamestan. Diversity of rocks based on petrographic evidence in our region, are consist of: Alkali Basalts (Basanite, Tephrite), Trachybasalt, Trachyte and Diabase. Based on petrographic evidence, most texture of thin section that have been studied in our region are flowed texture and the elong of the microlite is roughly in one direction. Microlites are located in one direction shows that lava have been flowed on the surface. In the Trachy Basalt, texture are very fine grained so there is no phenocrysts in the Trachybasalt section. This evidence suggested that quick eruption was happened and it shows that they didn't residence in magma chamber. While the Trachyte that has been found in our region, was residencies in magma chamber so we can see many phenocrysts in flow texture. Plagioclase in Trachytes are self shaped and semi shaped and also they are with corroded margins. The corrosion margins can be caused by increasing magma temperature as a result of lava flows.

Keywords: Alkali Basalt, Trachyte, Magma chamber, Microlite

مقدمه:

سنگ‌های بازالتی در ایران در کرتاسه نمود قابل توجهی دارند که بیشترین برونزد آن‌ها را می‌توان در زون البرز و زون سنندج - سیرجان مشاهده کرد (قربانی، ۱۳۹۲). فعالیت‌های آتشفشانی در طول پالئوزویک و اوایل مزوزویک در البرز به صورت ناچیز بوده است (Stocklin, 1974) اما بر خلاف آن سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه بالایی در ایران به ویژه در البرز شمالی بسیار گسترده‌اند (آقباتی، ۱۳۸۳). در طول کرتاسه فوران‌های آتشفشانی زیردریایی مهمی به صورت محلی در بخش‌های شمالی البرز رخ داده است (Stocklin, 1974). سیستم کرتاسه در ایران توسط رسوبات دریایی معرفی می‌شود، که بیشتر مناطق ایران را در بر گرفته است. این سیستم شامل رسوبات عمیق دریایی، گدازه‌های بالشی دیابازی و رسوبات شیب قاره می‌باشد (Berberian and King, 1981). دوران مزوزویک با ته نشینی رخساره‌های کربناتی-آواری حوضه‌های کرانه قاره‌ای آغاز و در پایان تریاس به رخساره‌های آواری و توربیدیت‌های مجموعه شمشک و رخساره‌های هم ارز زمانی آن می‌پیوندد. گدازه‌ها و آذرآواری‌های قلیایی در تکرار با رخساره‌های توربیدیتی ژوراسیک، نشان از آغاز سامانه‌های کششی برشی در این دوره داشته که در کرتاسه پسین با ظهور لایه‌های ستبری از آتشفشان‌های واگرا (قلیایی) در البرز باختری شمالی به اوج تکوین خود می‌رسد (Nazari et al., 2004). فعالیت ماگمایی کرتاسه بالایی با ویژگی‌های قلیایی و نشانه‌های محیط زمین‌ساختی کافت درون قاره‌ای عمدتاً در حوالی چالوس، آمل، لاهیجان، جواهر دشت و ... گزارش شده است (دلآوری و همکاران، ۱۳۹۷؛ حق نظر، ۱۳۸۸؛ ارغانی، ۱۳۹۵).

منطقه مورد مطالعه در حدود ۴۵ کیلومتر جنوب شهر آمل در جاده اصلی آمل - تهران بعد از گذر از سه راهی بلده- یوش- پل زنگوله در محدوده جنگل علمستان واقع شده است. این منطقه در بخشی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل واقع شده است (شکل-۱).



شکل-۱. الف: موقعیت جغرافیایی منطقه در تصاویر ماهواره‌ای ب: موقعیت منطقه مورد مطالعه با کادر مشکی بر روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۰). ج: راهنما نقشه آمل.

در مطالعات پیشین در منطقه‌ی مورد مطالعه، موسوی (۱۳۸۲) با مطالعات پتروگرافی و پترولوژی بر روی سنگ‌های کرتاسه منطقه جواهرده، ژن آن‌ها را به فرآیند ریفت‌زایی حاشیه ایران مرکزی در کرتاسه نسبت می‌دهد و در ارتباط با کشش همزمان با کوهزایی می‌داند درحالیکه حق نظر (۱۳۸۸) با بررسی سنگ‌های آذرین کرتاسه در منطقه جواهردشت ژن این سنگ‌ها را به

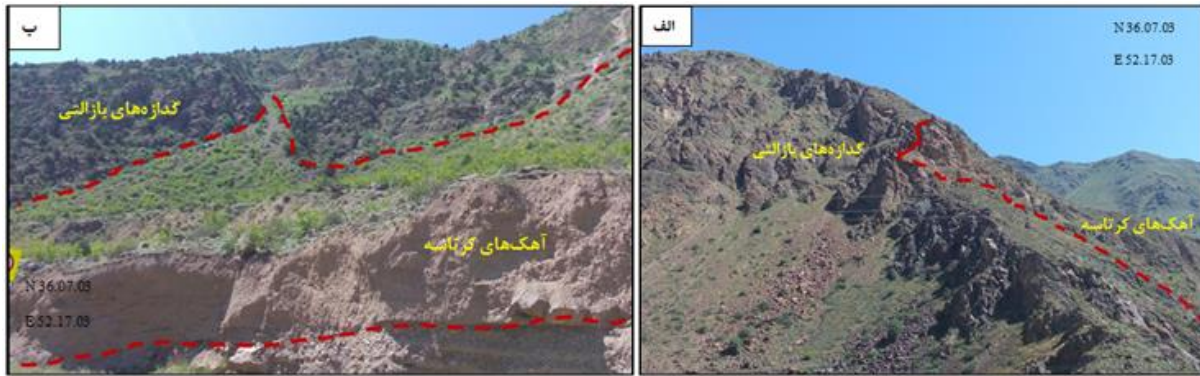
وجود ریفت قاره‌ای فعال در دوره کرتاسه می‌داند. عبدی و همکاران (۱۳۹۳) سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه در تیران آمل را بازالت، آندزیت، دیاباز و آذرآواری‌ها بیان می‌کنند و به وجود دو سری بازالت‌های کالک‌آکالن و تولییتی در منطقه آمل اشاره کردند که می‌تواند هم شاخصه محیط‌هایی با حاشیه مخرب و هم کافت‌شدگی در اثر کشش و شکست‌ها در امتداد البرز باشد. ارغائی (۱۳۹۵) نیز در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بازالت‌های این محدوده را نام‌گذاری و با بازالت‌های طغیانی دکن هندوستان مقایسه کرده است. در مطالعات ژئوشیمیایی ژنز این سنگ‌ها را آکالن درون صفحات قاره‌ای عنوان کرده است.

### روش مطالعه:

ابتدا بررسی صحرایی و نمونه‌برداری (حدود ۲۵ نمونه) از بازالت‌های کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی همراه آن از منطقه‌ی مورد مطالعه صورت گرفت و پس از آن مقاطع نازک تهیه و مطالعات پتروگرافی با میکروسکوپ پلاریزان انجام شده است.

### بحث و زمین شناسی:

از دیدگاه زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه در زون البرز واقع شده است. در بررسی چینه‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه برونزد سازندهای نسن، روته و دورود در چند ناحیه از منطقه قابل مشاهده می‌باشد که عموماً به واسطه‌ی آهک‌های کرتاسه پوشیده شده‌اند. آهک‌های سازند الیکا با سن تریاس پیشین تا میانی در منطقه‌ی مورد مطالعه قابل مشاهده است. بخشی از ماسه‌سنگ و شیل سازند شمشک با سن ژوراسیک بعد از گذر از تونل سیاه‌بیشه در منطقه برونزد دارد. در ژوراسیک میانی تا بالایی یک پیشروی گسترده سبب به وجود آمدن محیط غالباً دریایی با رسوب‌گذاری کربنات‌ها در منطقه شده است که می‌توان سازند دلیچای در بخش جنوب غربی منطقه مورد مطالعه را نام برد. سازند لار یک واحد آهکی صخره‌ساز و اغلب توده‌ای و ضخیم‌لایه می‌باشد، در بخش جنوبی منطقه قابل مشاهده است که واحدهای سنگی جوان‌تر مانند سازند تیزکوه و گدازه‌های سنوزوییک با ناپیوستگی فرسایشی بر روی این سازند قرار گرفته‌اند. سنگ‌های آتشفشانی متعلق به سازند تیزکوه در منطقه مورد مطالعه به وفور قابل مشاهده است (شکل-۳). کنگلومرای فجن در شرق منطقه قابل مشاهده است و بر روی آن توف‌های سازند کرج قرار گرفته است. دایک‌های با ترکیب متوسط و بازیگ که سنگ‌های ژواسیک بالایی و کرتاسه را قطع نموده‌اند احتمالاً در ارتباط با فاز قوی آتشفشانی ائوسن هستند، در غرب منطقه قابل مشاهده است ولیکن دایک‌های موجود در سازند کرج و نیز دایک‌های موازی با گسل‌ها می‌بایستی جوان‌تر باشند. ارتباطات چینه‌شناسی نهشته‌های کرتاسه بالایی البرز مرکزی و شمالی تا حدی پیچیده است. تغییرات جانبی فراوان واحدهای سنگی مناطق مختلف در اثر بالا و پایین رفتن حوضه‌های مربوطه و ناهماهنگ بودن مرزهای زیرین و فوقانی واحدها در چنین حوضه‌هایی سبب بروز مشکلاتی برای مطالعه کنندگان متعدد قبلی در تعیین هم ارزی‌ها شده است و اضافه بر آن‌ها در بررسی‌های فسیل‌شناسی مربوطه نیز اتفاق نظر وجود دارد. استمرار جنبش‌های زمین‌ساختی در اواسط تا اواخر کرتاسه سبب تشکیل حوضه‌های شرقی- غربی فراوانی شده است که با پشته‌های در حال خروج، از یکدیگر جدا شده‌اند (ارغائی، ۱۳۹۵). بنابراین نهشته‌های کرتاسه بالایی نیز تغییرات زیادی در رخساره و ضخامت نشان می‌دهند. آهک‌های کرتاسه بالایی در برخی نواحی بر روی گدازه‌های بازالتی کرتاسه قرار گرفته‌اند و بالعکس در برخی نواحی گدازه‌های بازالتی بر روی آهک‌ها قرار گرفته‌اند. در واقع نکته‌ی قابل تأمل در این دوره مشخص نبودن دقیق قرارگیری این بازالت‌هاست (شکل-۲).



شکل-۲: تناوب آهک‌های کرتاسه و گدازه‌های بازالتی در منطقه‌ی مورد مطالعه. الف: آهک‌های کرتاسه بر روی گدازه‌های بازالتی کرتاسه (غرب جاده) ب: گدازه‌های بازالتی کرتاسه بر روی آهک‌های کرتاسه (شرق جاده) (برگرفته از ارغائی، ۱۳۹۵ با تغییر).



شکل-۳. الف: گدازه‌های سنوزوئیک با ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند لار. ب: گدازه تراکیتی متعلق به سازند تیزکوه. ج: گدازه‌های بازالتی متعلق به سازند تیزکوه.

### پتروگرافی:

نمونه‌های منطقه براساس شواهد پتروگرافی شامل: بازالت‌آلکالن (تفریت، بازانیت)، تراکی‌بازالت، تراکیت، تراکی‌بازالت و زیکولار، دیاباز، می‌باشند. بررسی پتروگرافی سنگ‌های مورد مطالعه شواهدی از نوع ماگمای اولیه را نشان می‌دهند که این شواهد بیشتر نشان دهنده‌ی حضور ماگمای آلکالن در منطقه است. این شواهد در نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت که شامل: (۱) سنگ‌های آلکالن از سیلیس فقیر بوده و از عناصر آلکالن و عناصر خاکی نادر و مواد فرار (به ویژه CO<sub>2</sub> و هالوژن‌ها) غنی می‌باشند. فلدسپات و فلدسپاتوئیدها در اکثر مقاطع غالب است. (۲) وجود الیوین پایدار و بدون حاشیه‌ی واکنشی (به صورت فنوکریست و میکروکریستالین) از ویژگی سنگ‌های سری آلکالن است که در مقاطع بازانیت منطقه فنوکریست‌های الیوین اغلب بدون حاشیه واکنشی مشاهده می‌شود. (۳) وجود فلدسپاتوئید (نفلین، آنالسیم، لوسیت) از شاخصه‌های سری آلکالن است که در مقاطع تفریت و بازانیت ما در منطقه، نفلین قابل مشاهده است. (۴) در حضور فلدسپاتوئیدها، ارتوپروکسن تشکیل نمی‌شود بنابراین عدم وجود ارتوپروکسن از شاخصه‌های سری آلکالن است که در نمونه‌های منطقه نیز تنها کلینوپروکسن قابل مشاهده است. (۵) به دلیل خروج سریع ماگمای آلکالن، معمولاً فنوکریست‌ها فرصت تشکیل نداشته‌اند بنابراین معمولاً براساس محاسبه‌ی نورم آن‌ها الیوین و فلدسپاتوئید به دست می‌آید (Macdonald, 1968; ارغائی، ۱۳۹۵; قربانی، ۱۳۹۱).

### بازالت آلکالن:

در تبلور ماگمای فقیر از سیلیس، اگر میزان SiO<sub>2</sub> در ماده مذاب در صورتیکه مذاب غنی از سدیم باشد از ۵۵٪ کمتر باشد به جای آل‌بیت، فلدسپاتوئید نفلین تشکیل می‌شود و اگر ماگما سرشار از پتاسیم باشد ولی مقدار SiO<sub>2</sub> مذاب از ۲۰٪ کمتر باشد

به جای فلدسپات، فلدسپاتوئید لوسیت تشکیل می‌شود (ولی‌پور، ۱۳۸۹). به بازالت‌هایی که دارای فلدسپاتوئید هستند بازالت‌آلکان می‌گویند. در نمونه‌های منطقه باتوجه به صعود سریع ماگما و کمبود فنوکریست، نام‌گذاری بازالت‌های آلکان (سنگ تفریت از بازانیت) براساس حضور الیوین مورد تأیید است. تفریت در منطقه با بافت پورفیری با خمیره‌ی میکرولیتی به همراه شیشه قابل مشاهده است. خمیره از میکرولیت‌های ریزدانه به خصوص پلاژیوکلاز تشکیل شده است که در برخی نمونه‌ها جریان یافته‌اند (شکل ۴-الف). به دلیل خروج سریع و سرد شدن سریع ماگما، الیوین در خمیره به سختی قابل مشاهده است. فنوکریست‌ها اغلب از پلاژیوکلاز و سانیدین و نفلین تشکیل شده‌اند. پیروکسن در خمیره نیز مشاهده می‌شود که از نوع کلینوپیروکسن می‌باشند و اکثراً به اکسید آهن تبدیل شده‌اند و یا ایدنگزیتی شده‌اند (شکل ۴-ج). میزان کلسیت ثانویه در برخی نمونه آلکالی‌بازالت بالاست. بازانیت به بازالت‌های فلدسپاتوئیددار که بیش از ۱۰٪ درصد الیوین داشته باشند می‌گویند (قربانی، ۱۳۹۱). میکرولیت‌های پلاژیوکلاز تا حدودی جریان یافته‌اند. درصد شیشه در خمیره پایین است (شکل ۵-الف). در برخی نمونه‌های بازانیت به دلیل بالا بودن حرارت ماگما و ازدیاد  $O_2$  در ماگما، الیوین و پیروکسن در خمیره به ایدینگزیت (Iddingsite) که ابتدا در حاشیه بلور سپس به تدریج تمامی آنرا فرا می‌گیرد تبدیل شده است (شکل ۴-ب).

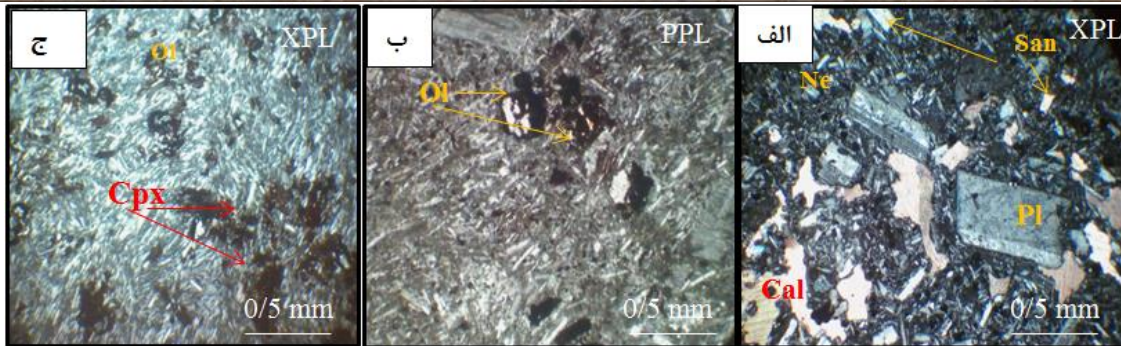
#### تراکی بازالت:

نام تراکی‌بازالت برای توصیف سنگ بازالت آلکانی به کار می‌رود که از نظر ترکیب حدواسط بین آلکالی‌بازالت‌ها، تفریت‌ها و تراکی‌آندزیت‌ها باشد (قربانی، ۱۳۹۱). در واقع تراکی‌بازالت‌ها معادل پتاسیک‌هاوایی‌ایت‌ها و موژه‌آریت‌ها است. جوهانسن معتقد است بافت تراکیتی معرف تعداد فراوانی از میکرولیت‌های موازی تا نیمه موازی سانیدین است که عموماً برای فلدسپات‌ها بکار می‌رود، می‌توان برای تمام بلورهای جهت‌یافته و بدون توجه به نوع آن‌ها نیز بکار برد و از اصطلاحات بافت جریان‌ی (Flow Texture) به عنوان معادل بافت تراکیتی استفاده کرد (Johannsen, 1931).

شاخص‌ترین بافت در تراکی‌بازالت‌های منطقه بافت تراکیتی یا جریان‌ی می‌باشد. در نمونه‌ها طولی‌شدگی میکرولیت‌ها تقریباً در یک جهت‌اند که نشان می‌دهد در سطح جریان یافته‌اند. با توجه به خروج سریع ماگما و سرد شدن سریع تراکی‌بازالت‌ها، فنوکریست‌ها فرصت تشکیل به صورت کامل و را نداشته‌اند (شکل ۵-ه). کلینوپیروکسن در خمیره مشاهده می‌شود که اکثراً به اکسید آهن تبدیل شده‌اند. ازدیاد اکسید آهن در مقاطع نشان از بالا بودن اکسیژن در ماگما و کمبود فنوکریست نشان از سرعت و حرارت بالای ماگمای خروجی می‌دهد (Johannsen, 1931). در برخی نمونه‌های تراکی‌بازالت، سنگ‌ها به شدت دگرسانی نشان می‌دهند و کانی ثانویه کربنات به مقدار بسیار بالایی در آن‌ها قابل مشاهده است.

#### تراکی‌بازالت وزیکولار:

حفره‌ها به طور کل به ۲ صورت در سنگ‌های بازالتی مشاهده می‌شوند: ۱) حفره‌ها در اثر بزرگ‌تر شدن حباب‌های گاز یا بخار در طی جریان جامد شدن سنگ پدید آمده‌اند ۲) در بافت‌های حفره‌ای سنگ‌های آتشفشانی حفره‌هایی که پدید می‌آید با کانی‌های ثانویه‌ای هم‌چون زئولیت، کلسیت، کوارتز و اکسید آهن پر می‌شوند (Grapes, 2011). در نمونه ما حفرات از کانی‌های ثانویه کلسیت و اکسید آهن پر شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی سرد شدن ماگمایی در دو مرحله است (شکل ۵-ب).



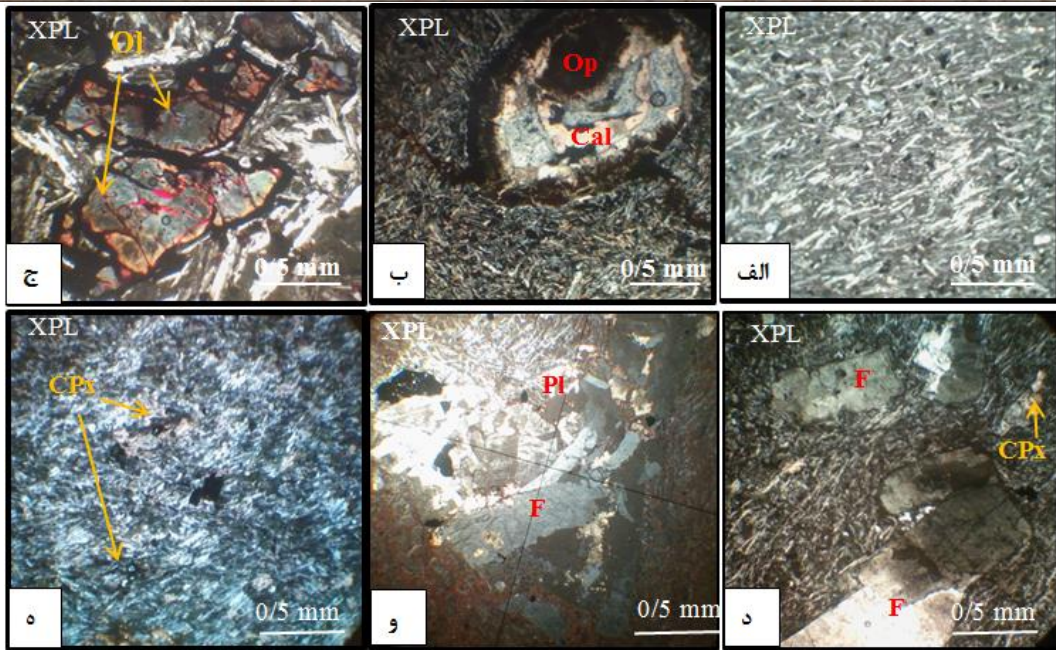
شکل-۴: الف: تفریت با بافت پورفیری میکرولیتی و شیشه، فنوکریست‌های نفلین و پلاژیوکلاز و فضای بین میکرولیت‌ها توسط کلسیت ثانویه پر شده است. ب: آثار باقیمانده از الیوین‌های ایدنگزیتی شده در بازانیت. ج: کلینوپیروکسن ایدنگزیتی شده در خمیره تفریت (تنها اثر آن‌ها باقی مانده است). (نام اختصاری کانی‌ها: Cpx: کلینوپیروکسن؛ Ol: الیوین؛ Pl: پلاژیوکلاز؛ Cal: کلسیت؛ Ne: نفلین؛ San: سانیدین) (Whitney et al, 2010)

#### دیاباز:

نمونه‌های دیاباز احتمالاً مرتبط با دایک‌های دیابازی اوایل ژوراسیک می‌باشند. این سنگ‌ها بافت دیابازی و اینترسرتال دارند. فنوکریست اصلی سنگ پلاژیوکلاز است که فضای بین آن به وسیله پیروکسن و کلریت‌های سبزرنگ حاصل از تجزیه پیروکسن‌ها پر شده است. در این نمونه‌ها پلاژیوکلاز به سوسوریت و پیروکسن‌ها به کلریت تجزیه شده‌اند. فنوکریست‌های الیوین در اکثر نمونه‌ها ایدنگزیتی شده‌اند (شکل ۵-ج) (Jerram and Petford, 2010).

#### تراکیت:

ماگمای تراکیتی در فشار پایین بر اثر تبلور جزء به جزء از ماگمای بازالتی آکالن تشکیل می‌شود (Bailey, 1978; Macdonald, 1968). تراکیت‌ها عموماً به صورت گدازه یافت می‌شوند (قربانی، ۱۳۹۱). بافت پورفیری با خمیره میکرولیتی شیشه‌ای و بافت تراکیتی در بیشتر نمونه‌های تراکیت منطقه مشاهده می‌شود. طولیل‌شدگی میکرولیت‌ها تقریباً در یک جهت‌اند که نشان می‌دهد گدازه در سطح جریان یافته است (شکل ۵-د). فنوکریست‌ها عبارتند از: (۱) پلاژیوکلاز (۲) آلکالی‌فلدسپات از نوع سانیدین (۳) پیروکسن (۴) کانی‌های اپک. پلاژیوکلازهای سنگ خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار که اغلب حاشیه‌ی خوردگی نشان می‌دهند. این حاشیه نشان می‌دهد که با خمیره دچار واکنش شده‌اند و این واکنش می‌تواند به ۲ دلیل ایجاد شده باشد: (۱) درجه‌ی سلسیوس ماگما افزایش یافته است و ماگما دوباره با خمیره وارد واکنش شده باشد. (۲) در نتیجه‌ی خروج و جریان یافتن درجه حرارت ماگما افزایش یافته است و حاشیه‌خوردگی نشان دهنده‌ی افزایش درجه حرارت ماگما باشد که حالت دوم محتمل‌تر به نظر می‌رسد (قربانی، ۱۳۹۲). کلسیت نیز به دلیل دگرسانی سنگ‌ها به صورت فرعی در این نمونه‌ها مشاهده می‌شود. میکرولیت‌های پلاژیوکلاز حجمی حدود ۳۵٪ از خمیره سنگ را تشکیل می‌دهند. شیشه به میزان کم حدود ۱۰ تا ۱۵٪ خمیره را تشکیل می‌دهد. کلینوپیروکسن‌های ایدنگزیت شده نیز در خمیره به رنگ‌های مختلف و مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد آثاری که از الیوین‌ها در تراکیت‌ها دیده می‌شود بقایای ماگمای بازیکی باشد که قبل از تشکیل تراکیت (قبل از حضور ماگما در آشیانه‌ی ماگمایی و تبلور تراکیت‌ها) در آلکالی‌بازالت و در ماگمای اولیه حضور داشته است و در واقع این بقایای فنوکریست‌های بازالت‌هاست. تجمع خوشه مانند فنوکریست‌ها از قبیل پیروکسن، فلدسپات و پلاژیوکلاز در خمیره میکرولیتی به همراه کربنات ثانویه بافت گلومروپورفیری را به وجود آورده است که از نشانه‌های تفریق است (شکل ۵-و).



شکل-۵. الف: خمیره‌ی بسیار دانه ریز و نبود فنوکریست در یک بازائیت. به دلیل سرعت بالای ماگما فنوکریست‌ها فرصت تشکیل نداشته‌اند. ب: بافت بادامکی در یک تراکی‌بازالت، حفره‌های پر شده از کربنات و اکسید آهن. و فور آهن در ماگما کاملاً مشهود است. ج: الیوین ایدنگزیتی شده در یک دیاباز با بافت اینترسرتال. د: تراکیت با بافت تراکیتی، فلدسپات‌های هم‌جهت با میکروولیت‌های جریان‌یافته. و: بافت گلوپورپوریری در یک تراکیت. این بافت یکی از نشانه‌های تفریق در تراکیت‌ها است. ه: تراکی‌بازالت با خمیره بسیار دانه‌ریز و کلینوپیروکسن در خمیره. (نام اختصاری کانی‌ها: Cpx: کلینوپیروکسن؛ OI: الیوین؛ Pl: پلاژیوکلاز؛ Cal: کلسیت؛ F: فلدسپات؛ Op: کانی اپک (Whitney et al, 2010))

### نتیجه‌گیری:

بررسی پتروگرافی از سنگ‌های مورد مطالعه شواهدی از نوع ماگمای اولیه آکالن را نشان می‌دهند. در این شواهد نمونه‌ها از عناصر آکالن و عناصر خاکی نادر غنی می‌باشند و نبود کوارتز کاملاً مشهود است. وجود الیوین پایدار و بدون حاشیه‌ی واکنشی از ویژگی سنگ‌های سری آکالن است که در برخی نمونه‌ها مشاهده می‌شود همچنین اکثر الیوین‌ها ایدنگزیتی شده‌اند که حرارت بالای ماگمای اولیه در هنگام خروج را نشان می‌دهد. وجود فلدسپاتوئید از شاخصه‌های سری آکالن است که در مقاطع منطقه نفلین به مقدار زیاد قابل مشاهده است. عدم وجود ارتوپیروکسن از شاخصه‌های سری آکالن است که در تمام نمونه‌های منطقه نیز تنها کلینوپیروکسن قابل مشاهده است. بافت آکالی‌بازالت‌ها و تراکیت‌های منطقه، بافت پورپیری با خمیره‌ی میکروولیتی جریان‌یافته (بافت تراکیتی) می‌باشد که باتوجه به هم‌جهت بودن نسبی میکروولیت‌ها به احتمال زیاد گدازه‌ها در سطح جریان یافته‌اند. در تراکی‌بازالت‌های منطقه بافت سنگ به قدری دانه‌ریز است که هیچ فنوکریستی در مقاطع نازک مشاهده نمی‌شود. این پدیده نشان از صعود سریع این تراکی‌بازالت‌ها بدون استراحت در آشیانه‌ی ماگمایی است درحالی‌که در پتروگرافی تراکیت‌ها علاوه بر میکروولیت‌های جریان‌یافته در خمیره، فنوکریست‌های نیمه شکل‌دار متعدد مشاهده می‌شود که نشانه‌ی استراحت تراکیت‌ها در آشیانه‌ی ماگمایی است. مشاهده کربنات‌های ثانویه و کلریت در برخی نمونه‌های منطقه، پدیده‌ی دگرسانی در نمونه‌ها را نشان می‌دهد. پلاژیوکلاز در تراکیت‌ها خودشکل تا نیمه شکل‌دار و اغلب حاشیه‌ی خوردگی نشان می‌دهند. این حاشیه احتمالاً به دلیل افزایش درجه حرارت ماگما در نتیجه‌ی خروج و جریان یافتن باشد. بنابراین به دلیل خروج سریع بازالت‌های منطقه (آکالی‌بازالت و تراکی‌بازالت) و کاهش ناگهانی حرارت، فنوکریست در آن‌ها فرصت تشکیل

نداشته است اما در نمونه‌های تراکیتی منطقه برخلاف آلکالی‌بازالت‌ها، فنوکریست‌های شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار فلدسپات و فلدسپاتوئید نظیر نفلین و کلینوپیروکسن مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد به دلیل استراحت تراکیت‌های منطقه در آشیانه‌ی ماگمایی باشد.

#### منابع:

- (۱) آقابی، ع، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- (۲) ارغانی، ر، ۱۳۹۵. بررسی بازالت‌های کرتاسه جنوب آمل و ارتباط آن‌ها با بازالت‌های کرتاسه دکن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- (۳) حق‌نظر، ش، ۱۳۸۸. پترولوژی سنگ‌های ماگمایی مافیک محدوده جواهردشت در شرق گیلان (جنوب‌شرق شهرستان رودسر). رساله دکتری پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- (۴) دلاوری، م. مرادی، ر. طبخ شعبانی، ا، ۱۳۹۷. شیمی کانی، دما فشارسنجی و جایگاه زمین‌ساختی ماگمای سازنده‌ی سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پسین منطقه کجید (جنوب لاهیجان، البرز شمالی)، مجله پترولوژی سال نهم، شماره سی‌وسوم، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۱۳۳-۱۶۴.
- (۵) عبدی، ع. خاکزاد، ا. وهاب‌زاده، ق، ۱۳۹۳. بازالت‌های آتشفشانی کرتاسه البرز با بررسی سنگ‌های منطقه تیران (آمل)، مقاله کنفرانس ملی علوم معدنی جهت اکتشاف.
- (۶) قربانی، م، ۱۳۹۲. ماگماتیسیم\_متامورفیسیم ایران، انتشارات آریز زمین، ۳۲۵ صفحه.
- (۷) قربانی، م، ۱۳۹۱. سنگ‌شناسی آذرین پیشرفته، انتشارات آریز زمین، ۳۹۸ صفحه.
- (۸) موسوی، ر، ۱۳۸۲. پترولوژی سنگ‌های آذرین کرتاسه پسین ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ جواهرده با نگرشی ویژه بر سنگ‌های آتشفشانی ناودیس لج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی، تهران، ایران.
- (۹) نظری، ح.، ریتز، ژ. ف.، عقابایی، ش، ۱۳۸۶. نگاهی نو بر جغرافیای دیرینه و فرگشت ساختاری البرز در تیس، مجله علوم زمین، تابستان ۸۶، سال شانزدهم، شماره ۶۴، صفحه ۵۳-۳۸.
- (۱۰) ولی پور، م. قدسی، ج، ۱۳۸۹. پتروگرافی و اطلس سنگ‌های آذرین، انتشارات سخن گستر و معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، ۲۶۲ صفحه.
- (۱۱) وحدتی دانشمند، ف، ۱۳۷۰. نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی آمل، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ف ۴. ایران.

12) Bailey, D., 1978. Continental rifting and Mantle degassing: pp1-1-13 in Neumann, F.R. & Ramberg. I. B (eds), Petrology and Geochemistry of Continental rifts. D. Reidel pub. Co., Dordrecht, The Netherlands.

13) Berberian, M., King, G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Journal Earth Science 18, 210-265.

14) Grapes, R., 2011. Pyrometamorphism, Publisher Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg , SpringerLink.

15) Jerram, D., Petford, N., 2010. The Field Description of Igneous Rock, Wiley Black well publication, 238.

16) Johannsen, A., 1931. A Descriptive Petrography of the Igneous Rocks, Vol 1. Introduction, Textures, Classification, and Glossary. The Journal of Geology, 40, 182-185.

17) Macdonald, G., 1968. Composition and Origin of Hawaiian lavas. Geol. Soc. Am. Mem, 116:477-522.

18) Nazari, H., Omrani, J., Shahidi, A., R., 2004. Geological map of Anzali. GSI.

19) Stocklin, J., 1974. Possible Ancient Continental Margin in Iran. In: Burke, C.A. and Drake, C.L., Eds., The Geology of Continental Margins, Springer, New York, 873-887.

20) Whitney, D. and Evans, B., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals, American Mineralogist 95: 185-187.



تخمین عمق بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با روش اویلر در محدوده معدنی اسبخان،

استان آذربایجان شرقی (شمال غرب ایران)

نیما یادگاری<sup>۱\*</sup>، سید غفور علوی<sup>۱</sup>، محسن موید<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

Nima.yadegari7@yahoo.com

چکیده:

محدوده مورد مطالعه در جنوب رشته کوه قوش‌آداغ، در شمال روستای اسبخان، شهرستان هریس و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این محدوده از نظر زمین‌شناسی ساختاری ایران، در پهنه اصلی ایران مرکزی و زیر پهنه البرز-آذربایجان قرار دارد. واحدهای زمین‌شناسی منطقه، شامل سنگ‌های آذرین و آذرآواری ائوسن با ترکیب آندزیتی، تراکی‌آندزیتی، بازالتی، توفی و ایگنمبریتی است. توده نفوذی نیمه عمیق با سن الیگوسن، با ترکیب کوارتز دیوریت، دیوریت و کوارتز مونزونیت به صورت استوک و دایک در منطقه رخنمون دارد. در تفسیر نقشه‌های مغناطیسی محدوده مورد مطالعه از روش کمی استفاده گردید. در روش کمی، ناهنجاری‌های مورد توجه به صورت عددی مورد محاسبه قرار گرفت و مشخصات ناهنجاری از قبیل عمق و جنس (خود پذیری مغناطیسی) بررسی گردید.

کلیدواژه: ژئوفیزیک، مغناطیس‌سنجی، روش اویلر، اسبخان

Estimation of the depth of magnetic anomalies by Euler method in Asbkhan  
Heris region, East Azarbaijan province, Northwest Iran

\*<sup>1</sup>Nima Yadegari; <sup>1</sup>Seyed ghafour Alavi; <sup>1</sup>Mohsen Moayyed

<sup>1</sup>Department of Geology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

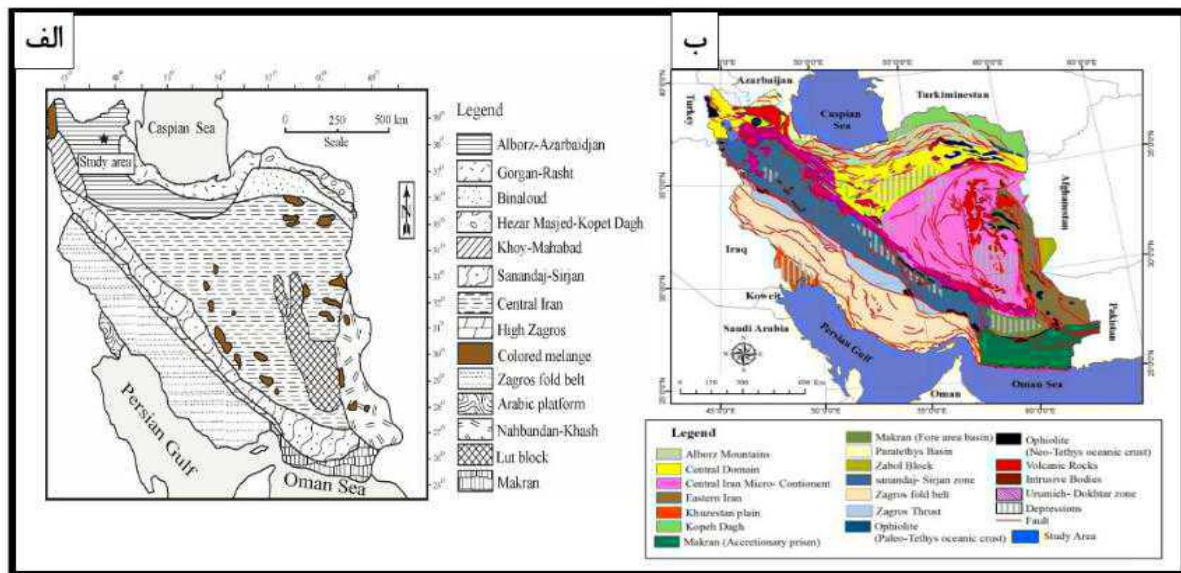
**Abstract:** The study area is located in the south of Qushadagh mountain range, in the north of Asbkhan village, Heris township and in East Azarbaijan province. In terms of structural geology of Iran, this area is located in the main zone of Central Iran and Alborz-Azerbaijan sub-zone. The geological units of the region are including Eocene igneous and pyroclastic rocks with combination of andesitic, Trachyandesitic, basaltic, tuffic and ignembritic. The semi-deep intrusive mass with Oligocene age, with the combination of quartz diorite, diorite and quartz monzonite in the form of stock and dyke is exposed in the area. In interpreting the magnetic maps of the study area, quantitative methods were used. In the quantitative method, the considered anomalies were calculated numerically and the characteristics of the anomalies such as depth and sex (magnetic self-acceptance) were investigated.

**Key words:** Geophysics, Magnetometry, Euler method, Asbkhan

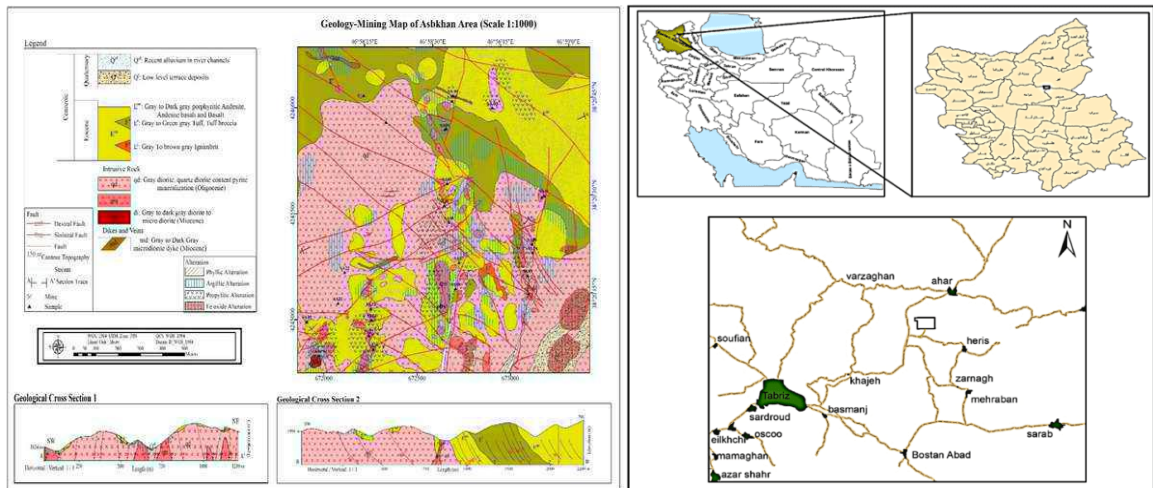
مقدمه

کمربند فلزایی ارسباران در شمال غربی ایران واقع بوده و شامل مناطقی از جمله اهر، کلپیر، ورزقان، سیه‌رود و بخش‌های از شمال و غرب مشکین شهر است. برخی زمین‌شناسان این کمربند را ادامه قفقاز کوچک در نظر می‌گیرند که با روند شمال غرب-جنوب شرق وارد ایران می‌شود (Innocenti et al., 1982). عده‌ای آن را بخشی از زون ارومیه-دختر در نظر می‌گیرند

(Hezarkhani, 2006) و عده‌ای دیگر آن را کمر بند ماگمایی مجزا در نظر می‌گیرند که از البرز تا شمال شرق ترکیه کشیده شده است (Dercourt et al., 1986; Alavi, 2007; Dilek, et al., 2010). این کمر بند دارای برون‌زدهای گسترده‌ای از رسوبات فیلیشی پالتوسن و سنگ‌های آذرین آتشفشانی و درونی ائوسن تا میوسن است. ماگماتیسم سنوزوییک که از ائوسن آغاز می‌شود عمدتاً آتشفشانی است که اغلب ماهیت اسیدی و حد واسط دارند. از ائوسن بالایی تا میوسن، فعالیت آذرین بیشتر به شکل توده‌های نفوذی بروز می‌کند که با کانی‌سازی و دگرسانی گسترده‌ای همراه است (Jamali et al., 2010). بخش‌های وسیعی از سنگ‌های ماگمایی به ویژه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآوری آن دگرسان شده‌اند (Ghorbani, 2013). توالی سنگ‌های مطالعه شده در این پهنه شامل دو دوره اصلی الیگوسن پسین - میوسن پیشین است (Jamali, and Mehrabi, 2015). منطقه اسبخان به مختصات جغرافیایی  $46^{\circ} 57' 15''$  تا  $46^{\circ} 59' 23''$  طول شرقی و  $38^{\circ} 19' 15''$  الی  $38^{\circ} 21' 48''$  عرض شمالی، در ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهر هریس در استان آذربایجان شرقی، شمال غرب ایران واقع است (شکل ۲). از دیدگاه (نبوی ۱۳۵۵) این منطقه جز زون البرز - آذربایجان (شکل ۱ الف) و از لحاظ تقسیم‌بندی ساختاری - تکتونیکی ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳) این منطقه بخشی از زون ایران مرکزی می‌باشد (شکل ۱ ب). قدیمی‌ترین رخنمون تشکیلات سنگی منطقه اسبخان مربوط به سنگ‌های آهکی ائوسن است. این سنگ‌های رسوبی شیمیایی توسط رخنمون‌های سنگی چون آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت، توف و ایگنمبریت ائوسن همراهی می‌شود. واحدهای سنگی الیگوسن در منطقه اسبخان شامل سنگ‌های آذرین درونی با ترکیب سنگ‌شناسی کوارتز دیوریت، کوارتز مونزونیت پورفیری و دیوریت می‌باشد که توسط مارن‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای الیگومیوسن پوشیده شده‌اند (شکل ۳). مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی برای شناسایی ساختارهای مغناطیس در محدوده معدنی اسبخان در استان آذربایجان شرقی انجام شد تا با در اختیار داشتن این اطلاعات ساختارهای زیرسطحی محدوده معدنی بهتر شناسایی گردد و با استفاده از این داده‌ها دانش بهتری از تغییرات زیرسطحی زمین و موقعیت کانی‌سازی در منطقه به دست آید.



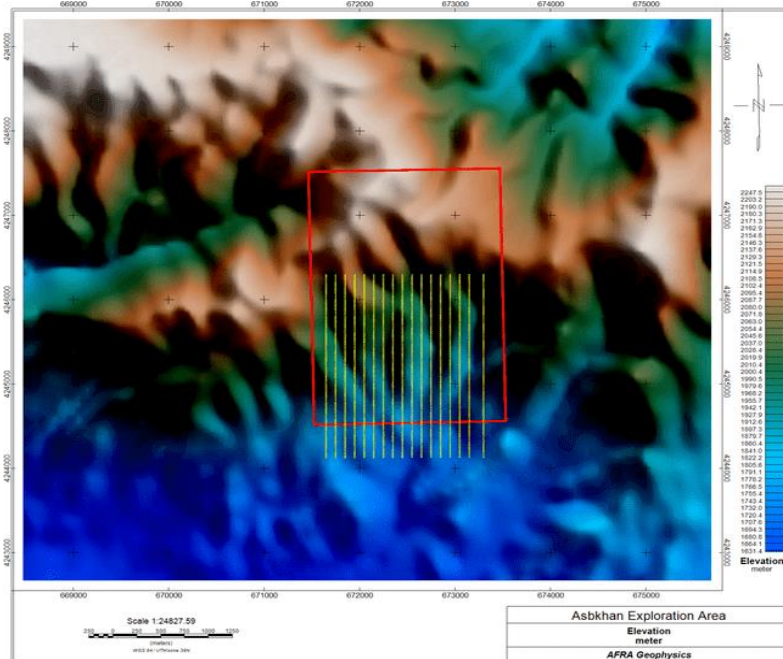
شکل ۱. الف) تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی-رسوبی ایران (Nabavi, 1967)، ب) پهنه‌های رسوبی - ساختاری ایران (Aghanabati, 2004).



شکل ۲: راه‌های دسترسی به محدوده اسبخان. شکل ۳: نقشه زمین شناسی محدوده اسبخان در مقیاس 1:1000 با تغییرات

### نحوه پیاده‌سازی نقاط و برداشت داده‌ها

با توجه به هدف مطالعاتی برای برداشت اطلاعات در محدوده معدنی مورد نظر ایستگاه‌های برداشت با فاصله پروفیلی ۱۰۰ متر و فاصله نقاط ۲۰ متر طراحی شد. با توجه وجود آنومالی مغناطیسی در جنوب منطقه و ادامه توده نفوذی در بخش جنوبی طراحی عملیات مقداری به سمت جنوب ادامه‌دار طراحی شد تا در اطلاعات بخش جنوبی نیز در اختیار باشد و آنومالی احتمالی جنوبی به صورت کامل برداشت گردد. در (شکل ۴) طراحی ایستگاه برداشت در محدوده مطالعاتی نمایش داده شده است. حجم عملیات صحرایی مغناطیس‌سنجی در منطقه در (جدول ۱) آورده شده است.



شکل ۴: نمایش خطوط برداشت اطلاعات مغناطیس‌سنجی در محدوده معدنی.

جدول ۱. حجم عملیات صحرایی مغناطیس سنجی در منطقه

نام محدوده	تعداد ایستگاه	فاصله پروفیلی (متر)	فاصله ایستگاهی (متر)	آزیموت برداشت (درجه)
اسبخان	۱۸۴۰	۱۵۰ و ۱۰۰	۲۰	۰

دامنه تغییرات خودپذیری مغناطیسی بر روی دو رخنمون از منطقه که تفاوت بالای خودپذیری را احتمالاً به خاطر میزان دگرسانی نشان می‌دهند متفاوت ثبت شده است که دو نوع متفاوت که مقادیر مختلفی را نتیجه داده‌اند در (شکل ۵) نشان داده شده است. و خود پذیری مغناطیسی متفاوت در (جدول ۲) آورده شده است.



شکل ۵. خودپذیری مغناطیسی بر روی دو رخنمون از منطقه که تفاوت بالای خودپذیری را احتمالاً به خاطر میزان دگرسانی نشان می‌دهند.

جدول ۲. خودپذیری مغناطیسی بر روی رخنمون‌های مختلف

شماره نمونه	خودپذیری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۱/۹	۶۷۲۸۵۸	۴۲۴۵۲۲۴
۲	۰/۱۱۱	۶۷۲۶۳۹	۴۲۴۴۵۸۸
۳	۲۲/۲	۶۷۲۶۵۰	۴۲۴۴۸۹۱
۴	۶۳/۲	۶۷۲۶۸۰	۴۲۴۴۹۲۸
۵	۰/۳۶۲	۶۷۲۶۹۲	۴۲۴۵۱۷۹
۶	۰/۳	۶۷۳۱۸۹	۴۲۴۵۲۶۸

### پردازش داده‌ها

پس از اتمام اندازه‌گیری‌های صحرایی، اطلاعات جمع آوری شده به بخش پردازش تحویل شد و اطلاعات با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند Oasis Montaj مورد پردازش قرار گرفت و نقشه‌های نهایی تهیه گردیدند. در این مطالعه به دلیل تغییرات بالایی که در فواصل ۲۰ متری در داده‌های مغناطیسی ایجاد شد در چندین مرحله صحت تغییرات با تکرار برداشت‌ها و همچنین کم کردن فاصله نقاط برداشت آزموده شد تا اطمینان حاصل شود که تغییرات دقیقاً مرتبط با تغییرات میدان

مغناطیسی زمین است. در این راستا در یک منطقه که دارای تغییرات بالا بود چند نقطه روی زمین علامت گذاری شد و در روی این نقاط در زمان های مختلف اطلاعات مغناطیسی برداشت گردید و دیده شد که در تمامی تکرارها اطلاعات یکسانی به دست می آید و تنها تغییرات مربوط به تغییرات روزانه میدان در برداشت های مختلف است. با توجه به آزمون انجام شده در این پروژه از ابزار پردازشی درون بایی خطی با استفاده از Refid استفاده شد که با این عملیات تعداد ایستگاه ها بدون تغییر ماهیت اطلاعات چندین برابر شد تا بتوانیم فیلترها را با کیفیت بهتر روی اطلاعات اعمال کنیم. مراحل پردازش مقدماتی به شرح زیر می باشند.

### تفسیر و شرح نقشه ها

در تفسیر نقشه های محدوده مورد مطالعه از دو روش کمی استفاده گردید. در روش کمی، ناهنجاری های مورد توجه به صورت عددی مورد محاسبه قرار می گیرد و مشخصات ناهنجاری از قبیل عمق، جنس (خود پذیری مغناطیسی) و شکل شیب و گسترش در صورت وجود سایر اطلاعات اکتشافی بررسی می گردد.

### تفسیر کمی

#### تخمین عمق بی هنجاری های مغناطیسی با روش اویلر (Euler Deconvolution)

هدف از این روش تخمین عمق سقف آنومالی های مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه می باشد. از آنجایی که روش اویلر بر اساس طول موج سیگنال های دریافتی از منشأ کار می کند، بنابراین در حد کلی قادر به تخمین عمق است. به عنوان مثال ممکن است در یک نقطه رخنمون مگنتیت وجود داشته باشد اما تخمین عمق اویلر، عمق ۱۰ یا ۲۰ متر را برای ما تخمین بزند. پس منظور از ۲۰ متر چیست؟ بر اساس مطالب مذکور این تخمین، نشان می دهد که منشأ سیگنال مغناطیسی دریافتی در عمق ۲۰ متر قرار دارد؛ پس در صورت پیشنهاد حفاری باید حداقل ۲۰ متر حفاری انجام شود. در این قسمت ابتدا تئوری روش اویلر را بیان می کنیم و سپس به تحلیل و تخمین عمق سطح بالایی (سقف) توده های مغناطیسی می پردازیم.

#### تئوری روش اویلر

به منظور تخمین عمق بی هنجاری های موجود در منطقه مورد مطالعه، تخمین عمق به روش واهمامیخت اویلر انجام شد. معادله اویلر را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$x \frac{\partial T}{\partial x} + y \frac{\partial T}{\partial y} + z \frac{\partial T}{\partial z} + \eta T = x \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + y \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} + \eta b$$

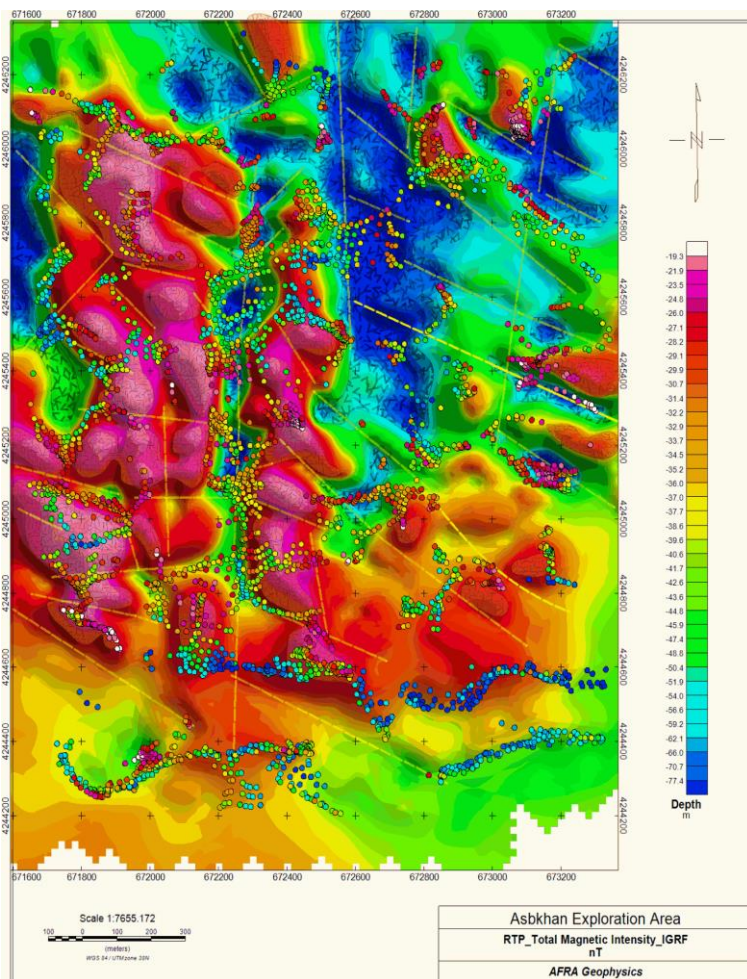
به طوری که در آن  $\frac{\partial T}{\partial z}$  و  $\frac{\partial T}{\partial y}$  مشتقات میدان در جهات  $x$ ،  $y$  و  $z$  است؛ و  $\eta$  شاخص ساختاری بوده که قبل از اعمال روش باید بر اساس ویژگی های زمین شناسی بی هنجاری مورد مطالعه حدس زده شود. اندیس ساختاری در مغناطیس از ۰ تا ۳ متغیر است. به طور کلی مقدار صفر برای پله و کنتاکت زمین شناسی، مقدار ۱ برای سیل و دایک، مقدار ۲ برای استوانه و مقدار ۳ برای کره در نظر می گیرند. با توجه به چهار یا بیشتر از چهار نقطه قرائت میدان مجاور هم، معادله خطی بالا حل شده و  $(x_0, y_0, z_0)$  و همچنین  $b$  محاسبه می شود. در واقع مختصات چشمه یا همان بی هنجاری است که ما به دنبال آن هستیم. سپس با حرکت پنجره حل اویلر از یک نقطه به نقطه بعد حل های متعدد (تخمین عمق ها) به دست می آید.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



به منظور اعمال روش اویلر بر روی داده‌های منطقه مورد بررسی از نرم‌افزار Geosoft Oasis Montaj 8.0.2 استفاده شد. پس از آماده‌سازی نقشه میدان باقیمانده، نقشه‌های مشتقات میدان مغناطیسی در سه جهت (X,Y,Z) که تهیه آن لازمه اجرای فرایند واهمامیخت اویلر است، تهیه شدند. همچنین برای اعمال فرآیند اویلر نیاز به اندیس ساختاری و اندازه پنجره حل اویلر است. برای دستیابی به پاسخ‌های مناسب، شاخص‌های ساختاری به صورت پیش‌فرض به مسئله داده می‌شود و شاخص ساختاری صحیح‌تر شاخصی در نظر گرفته می‌شود که اولاً بیشترین خوشه‌بندی را در پاسخ‌ها داشته باشد، یعنی پاسخ‌های با عمق یکسان مجاور هم باشند و ثانیاً در مناطقی که از لحاظ آماری بی‌هنجاری وجود ندارد، تعداد نقاط حل اویلر کمینه باشد (Beiki, 2010). از آنجا که هیچ دید مناسبی از اعماق زمین وجود ندارد برای رسیدن به اندیس ساختاری مناسب، باید اعداد مختلف اندیس ساختاری، مورد آزمایش قرار گیرند. البته قابل ذکر است که بر اساس نقشه‌های مختلف میدان مغناطیسی محدوده‌های مورد مطالعه روند آنومالی مورد نظر بیشتر شبیه دایک بوده و بنابراین می‌توان گفت که اندیس ساختاری این ۱ می‌تواند انتخاب مناسبی برای پارامتر شکل آنومالی‌ها در کل منطقه باشد.

در شکل ۶ نتایج تخمین عمق به روش اویلر بر روی نقشه RTP برای محدوده مطالعاتی نشان داده شده است. نتایج این تخمین عمق در نقاط مختلف نقشه با دایر رنگی توپر مشخص شده‌اند. عمق بی‌هنجاری‌های مغناطیسی نیز در همین شکل در مناطق مختلف به تصویر کشیده شده است. توجه نمایید که در این شکل، راهنمای رنگی برحسب عمق بوده و نماینده عمق دایر رنگی نمایش داده شده بر روی نقشه می‌باشد.



شکل ۶. نمایش نقاط تخمین عمق به روش اویلر بر روی نقشه RTP، در محدوده مطالعاتی.

### نتیجه گیری

اطلاعات مغناطیسی در محدوده مطالعاتی در برخی مناطق تغییرات زیادی را از خود نشان می‌دهد که این عامل نشان دهنده آن است که توده نفوذی موجود در محدوده، قبل از دچار شدن به دگرسانی و خردشدگی خاصیت مغناطیسی بالایی داشته است و عوامل ثانویه باعث شده است تا از مقدار خاصیت مغناطیسی کاسته شود. بر اساس نقشه‌های مختلف میدان مغناطیسی محدوده مورد مطالعه روند آنومالی مورد نظر بیشتر شبیه دایک بوده و بنابراین می‌توان گفت که اندیس ساختاری ۱ می‌تواند انتخاب مناسبی برای پارامتر شکل آنومالی‌ها در کل منطقه باشد.

### منابع

- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F. and Villari, L., 1982- Tertiary and quaternary volcanism of the Erzurumkars area (Eastern Turkey): geochronological data and geodynamic evolution, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 13, 223-240
- Hezarkhani, A., 2006- Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(3), 326-340.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. and Altunkaynak, S., 2010- Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint, *International Geology Review*, 52(4-6), 536-578.
- Dercourt, J.E, Zonenshain, LP, Ricou, LE, Kazmin, V. G., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, C., Sbertshikov, I.M., Geyssant, J., Lepvrier, C., Pechersky, D.H., 1986- Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias, *Tectonophysics*, 241- 315
- Alavi, M., 2007- Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of science*, 307(9), 1064-1095
- Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A. and Mehrabi, B., 2010- Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar-Arasbaran volcanic belt, northern Iran, *International Geology Review*, 52(4-6), 608-630
- Ghorbani, M., 2013- A summary of geology of Iran, In *The Economic Geology of Iran*, Springer, Dordrecht, 45-64.
- Jamali, H. & Mehrabi, B., 2015- Relationships between arc maturity and Cu-MO-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt. *Ore Geology Review* 31,123-138
- Nabavi, M. H., "An Introduction to the Geology of Iran", Geological Survey of Iran Publication (1976) 1-105.
- Aghanabati, A., 2004. *Geology of Iran*, Ministry of industry and mines, Geological survey of Iran. Tehran, Iran, 582 pp. (in Persian)
- Beiki, M., 2010, Analytic signals of gravity gradient tensor and their application to estimate source location : *Geophysics*, 75(6), I59-I74.

## کاربرد روش وارونسازی همزمان لرزه‌ای در توصیف پارامترهای مخازن شیلی

\* وحید کاملی نیا<sup>۱</sup>، علی میثاقی<sup>۲</sup>، محمدرضا آصف<sup>۲</sup>، علیرضا ساجدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد لرزه شناسی، دانشگاه خوارزمی، گروه زمین شناسی کاربردی

<sup>۲</sup> استادیار، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین، گروه زمین شناسی کاربردی

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد ژئوفیزیک، مدیریت اکتشاف نفت

Kamelinia.vahid@gmail.com

### چکیده:

بسته به نوع ماده آلی و همچنین میزان پختگی کروژن منابع شیلی می تواند هم به عنوان شیل نفتی و هم شیل گازی شناخته شود. با پیشرفت در روش‌های حفاری و تکمیل چاه، به‌ویژه حفاری افقی و شکست هیدرولیکی و تغییرات محسوس در اقتصاد انرژی دنیا، منابع شیل گازی در کشورهای دارای فناوری‌های مربوطه مقرون به صرفه شده است. از این رو مطالعات گسترده‌ای در نقاط مختلف جهان بر روی مخازن غیر متعارف شیلی در حال انجام است. به دلیل حجم زیاد آنها پیش‌بینی می‌شود این منابع سهم بزرگی از انرژی جهان را در آینده نزدیک تامین کند. با تحلیل و تفسیر پارامترهای الاستیکی و ژئومکانیکی استخراج شده از وارونسازی داده‌های لرزه‌ای و اطلاعات چاه می‌توان پارامترهای مهم شیل‌ها نظیر میزان تردشوندگی سنگ شیل، محتوی کربن آلی را تخمین زد. منطقه با محتوی کربن بالا و ترد شوندگی بالا نقطه هدف برای عملیات حفاری خواهد بود.

**کلیدواژه:** شیل، مخازن غیر متعارف، نقاط هدف، وارونسازی لرزه‌ای، تردشوندگی

## Application of Pre-Stack Simultaneous Inversion to characterize shale reservoir Parameters

Vahid Kamelinia<sup>1</sup>; Ali Misaghi<sup>1</sup>; Mohammadreza Asef<sup>1</sup>; Seyyed Alireza Sajedi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

<sup>2</sup> Geophysicist at NIOC-Exploration Directorate

### Abstract

Depending on the type of organic matter and the maturity of kerogen, the shale resource is identified as oil and gas shale reservoirs. Development in drilling and of wells completion, particularly horizontal drilling and hydraulic fracturing as well as tangible modification in the world's energy economy has made shale resources affordable in countries with related technologies. Therefore, intensive studies are being carried out around the world on unconventional reservoirs. Due to their massive volume, this resources are expected to supply a large part of the world's energy in the near future. Elastic and geomechanical parameters extracted from seismic inversion data and well logs can estimate shale parameters such as brittleness index and total organic carbon. The zone with high organic content and high brittleness, are going to be sweet spot for drilling operation.



مقدمه:

به طور معمول شیل‌ها به عنوان سنگ منشاء منابع هیدروکربنی در نظر گرفته می‌شوند که بعد از بلوغ کروژن و ترکیبات آلی درون آن‌ها، شروع به مهاجرت به سمت سنگ مخزن با تراوایی و نفوذپذیری بالا می‌کنند. ماسه سنگ‌ها و سنگ‌های کربناته از مهم‌ترین مخازن نفتی و گازی می‌باشند. به همین خاطر شیل‌ها در اکتشافات ژئوفیزیکی به عنوان سنگ مخزن بیشتر مورد بحث و بررسی قرار نمی‌گیرند (آلبوان و اودفیول، ۲۰۱۴). پدیده شیل نفت و شیل گاز رخداد نوظهوری نیست و بیش از ۱۰۰ سال است که در بخش‌هایی از جهان مطرح شده است، اما به دلیل قیمت پایین نفت و گاز معمولی بهره برداری از این ذخایر غیر متعارف توجه اقتصادی نداشت. احیای دوباره این صنعت در یک دهه اخیر به دلیل افزایش چشمگیر قیمت گاز و نفت برداشت از منابع غیر متعارف در مناطقی از جهان مانند ایالات متحده، کانادا، مکزیک و چین به مرحله عمل رسیده است (EIA, 2010). اخیراً پی‌جویی‌هایی در رابطه با شیل‌های نفتی و گازی در کشورمان ایران در دستور کار قرار گرفته است که گویای وجود ذخایری در حوضه کپه‌داغ، دشت آبادان و همچنین مناطق عظیمی از استان لرستان در غرب کشور می‌باشد. این مطالعه با هدف تعیین کمیت و توصیف پتانسیل منابع شیلی با استفاده از تجزیه و تحلیل فیزیک سنگ، وارونسازی لرزه‌ای و تکنیک‌های توصیف مخزن انجام شده است.

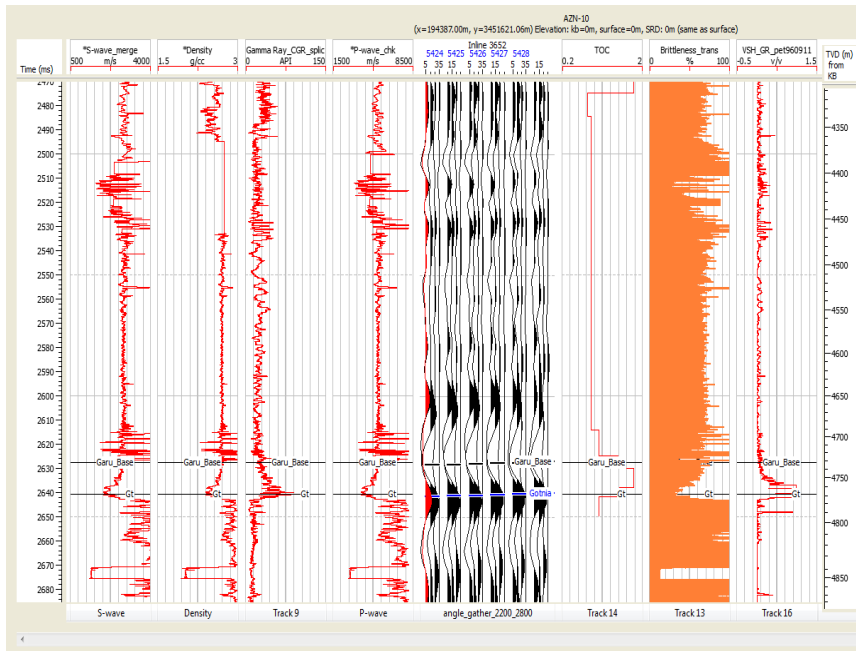
از مراحل ارزیابی مخازن شیلی، شناسایی رابطه‌ی بین خصوصیات الاستیکی و ژئومکانیکی سنگ است. در این راستا ریکمن و همکارانش (۲۰۰۸) روشی را برای تخمین میزان ترد شونده‌گی بوسیله پارامترهای الاستیک مانند مدول یانگ و نسبت پواسون در شیل‌ها تعریف کردند. به گونه‌ای که سنگ‌هایی با مدول یانگ بالا و نسبت پواسون کم تردشوندگی بالایی دارند (شکل ۱). هرچند این رابطه برای تمام مخازن شیلی قابل استفاده نیست اما می‌توان از این دو پارامتر ژئومکانیک مکانیکی استخراج شده از وارون‌سازی لرزه‌ای برای بررسی میزان تردشوندگی در بسیاری از مناطق و اکتشافات جدید استفاده کرد. آنالیز دیگری که کاربرد زیادی در مخازن شیلی دارد استفاده از ضرایب لامه است. مطالعات انجام شده توسط آلزات و دوگودا (۲۰۱۳) و پرز و مارفورت (۲۰۱۵) نشان‌دهنده این امر بود که تفسیر نمودارهای متقابل (crossplot) ضرایب لامه ( $\mu\rho, \lambda\rho$ ) می‌تواند در تشخیص لیتولوژی و شناسایی مناطق با میزان کربن آلی بالا (TOC) و تفکیک بین شیل‌های با شاخص ترد شونده‌گی بالا و کم (Brittleness index) مفید واقع شوند. مطالعات این دانشمندان با استفاده از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی و وارون‌سازی پیش از برانبارش برای بدست آوردن ضرایب لامه و پارامترهای ژئومکانیکی از مقاومت موجی امواج P و S بوده است. رایج‌ترین روش‌های آنالیز پتروفیزیکی برای اندازه‌گیری TOC، استفاده از نگاره مقاومت‌سنجی و نگاره سرعت موجی است که توسط پسی و همکارانش (۱۹۹۰) ارائه گردید. پسی این روش را با استفاده از نرمالیزه کردن دو نگاره مقاومت و موج صوتی برای تشخیص TOC و میزان بلوغ مواد آلی در سنگ انجام داد. وی این مدل را  $\log R\Delta$  نامید. رابطه‌ی زیر برای محاسبه‌ی  $\log R\Delta$  استفاده شده است.

$$\Delta \log R = \log \frac{R}{R_{baseline}} + 0.02(dt - dt_{baseline}) \quad (1)$$

$\log R\Delta$  بیانگر منحنی جدایش بین نگاره تخلخل و نگاره مقاومت می‌باشد، R مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده بر حسب ohm/m است، dt زمان سیر موج و  $R_{baseline}$  مقاومت پایه در سازند است. پسی از رابطه تجربی ۲-۱۴ برای محاسبه TOC برای در سنگ منشاء استفاده کرده است.

$$TOC = \Delta \log R \times 10^{(2.297 - 0.168 LOM)}$$

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شکل ۱. نگاره های چاه A: به ترتیب در ستون اول از سمت چپ سرعت موج برشی، چگالی، پرتو گاما، سرعت موج تراکمی تصحیح شده، مقطع لرزه ای، محتوی کربن آلی، شاخص ترد شونددگی و نگاره حجم شیل نمایش داده شده اند.

**روش تحقیق:**

این مطالعه با تجزیه و تحلیل فیزیک سنگ برای تعیین رابطه بین خصوصیات ژئوفیزیکی، لیتولوژیکی و ژئومکانیکی سنگها ، با هدف ارزیابی خصوصیات شیل های نفتی و گازی آغاز گردید. تکنیک وارونگی همزمان لرزه ای مقاطعی با دقت بالا از مدل زمین را با حذف اثر موجک ارائه می دهد (همپسون و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین، با استفاده از ضریب بازتاب، می توان امپدانس موج P و S و چگالی را با اختصاص مجموعه ای از ردلرزه ها در یک محدوده زاویه ای مشخص و استخراج موجک برای هر محدوده به طور همزمان به دست آورد. معادله آکی ریچارد (۱۹۸۰) توسط فتی و همکاران (۱۹۹۴) به شرح زیر اصلاح شد.

$$R_{PP}(\theta) = C_1 R_P + C_2 R_S + C_3 R_D \quad (2)$$

که در آن:

$$C_1 = 1 + \tan^2 \theta$$

$$C_2 = -8 \left( \frac{V_S}{V_P} \right)^2 \tan^2 \theta$$

$$C_3 = \frac{1}{2} \tan^2 \theta - 2 \left( \frac{V_S}{V_P} \right)^2 \sin^2 \theta$$

ضریب بازتاب خروجی های وارون سازی با استفاده از روابط زیر بدست می آیند:

$$R_P = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V_P}{V_P} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right) = \frac{1}{2} \Delta \ln(Z_P) \quad (3)$$

$$R_S = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V_S}{V_S} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right) = \frac{1}{2} \Delta \ln(Z_S) \quad (4)$$

$$R_D = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \Delta \ln \rho \quad (5)$$

ترکیب روابط بالا می تواند ردلرزه ها را بر اساس زاویه بازتاب طبقه بندی کند، بنابراین:

$$T(\theta) = \frac{1}{2} C_1 W(\theta) DL_p + \frac{1}{2} C_2 W(\theta) DL_s + \frac{1}{2} C_3 W(\theta) DL_D \quad (6)$$

$W$  = wavelet at angle  $\theta$ ,  $L_p = \ln(Z_p)$ ,  $L_s = \ln(Z_s)$ ,  $L_D = \ln(\rho)$

بر پایه خصوصیات الاستیک سنگ مانند مدول یانگ و نسبت پواسون، شیل‌های با مدول یانگ بالا و نسبت پواسون نسبتاً کم، تردی بالایی دارند. (ریکمن و همکاران، ۲۰۰۸) این مشخصات توانایی جداکردن شیل‌های با تردشوندگی بالا را از شیل‌های نرم را که حاوی میزان رس بالایی هستند را نشان می‌دهد. بصورتی که هرچه ضریب پواسون کمتر باشد میزان سختی شیل بیشتر خواهد بود.

$$Brittleness = \frac{1}{2} \left( \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} + \frac{v - v_{max}}{v_{min} - v_{max}} \right) \quad (7)$$

نسبت پواسون  $v$  و مدول یانگ  $E$  بر اساس خروجی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای برای بررسی میزان تردشوندگی سنگ شیل بدین روش بدست می‌آیند:

$$E = \rho \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right) \quad (8)$$

$$v = \frac{\left( 2 - \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 \right)}{\left( 1 - \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 \right)} \quad (9)$$

ضرایب لامه استخراج شده از امپدانس‌های صوتی حاصل از وارون‌سازی بدین صورت بدست می‌آید:

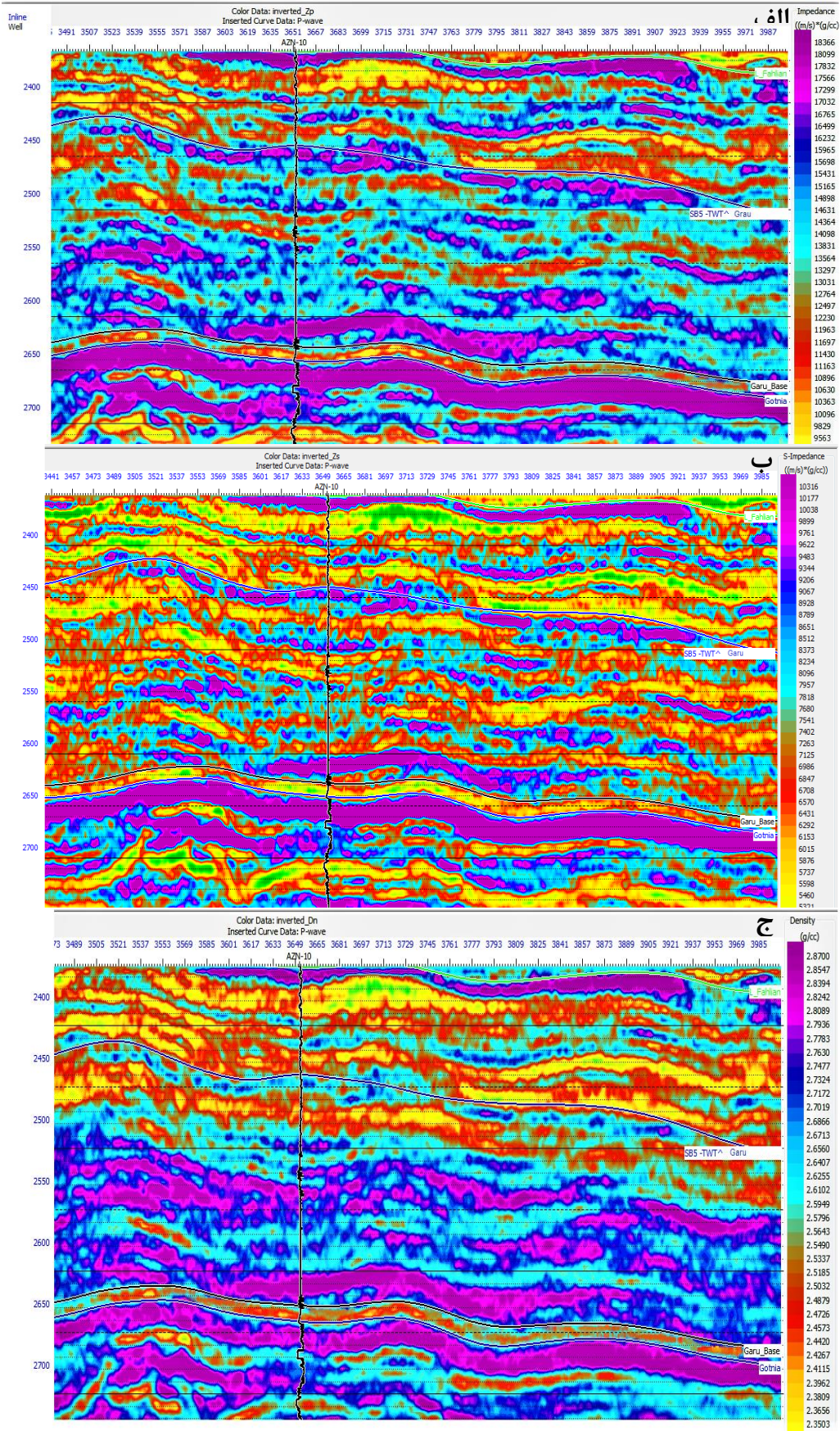
$$\lambda\rho = Z_p^2 - 2 Z_s^2 \quad (10)$$

$$\mu\rho = Z_s^2 \quad (11)$$

### اعمال وارون‌سازی لرزه‌ای و تفسیر نتایج:

با استفاده از داده‌های لرزه‌ای تصحیح شده، داده‌های چاه و مدل فرکانس پایین، وارون‌سازی بر روی کل حجم لرزه‌ای اعمال شد. خروجی وارون‌سازی لرزه‌ای خواص کشسانی هستند که در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل (۳ الف) مقطعی از امپدانس موج  $P$  ( $Z_p$ ) است که در آن مقیاس رنگ میزان تغییرات پارامتر را نشان می‌دهد. در ناحیه مورد نظر که بخش قاعده ای سازند گرو باشد، میزان  $Z_p$  نسبت به بخش‌های بالایی سازند و سازند پایینی (سازند گوتنیا) کاهش یافته است. کاهش  $Z_p$  ممکن است نشان دهنده کاهش سرعت موج  $P$  و تخلخل بالا در قاعده سازند باشد. مقطع حجمی  $Z_s$  و چگالی نیز در شکل (۳ ب) و (۳ ج) نشان داده شده است. همانند  $Z_p$ ، مقدار  $Z_s$  و چگالی نیز در قاعده سازند روند کاهشی دارند.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran

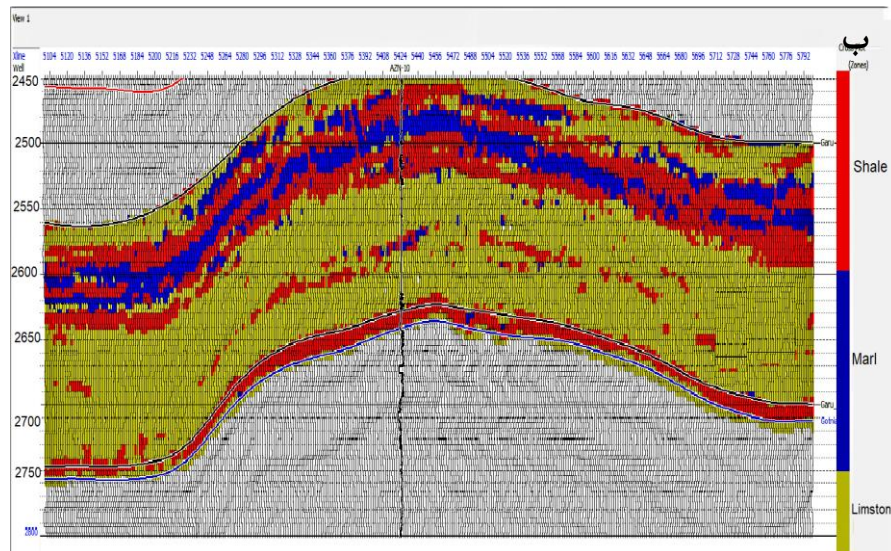
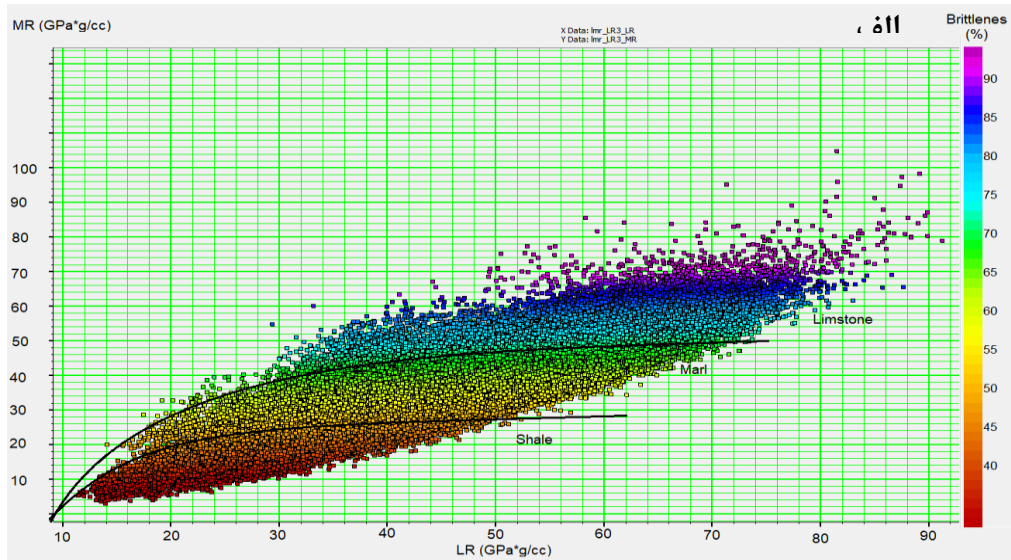


شکل ۲. خروجی های حاصل از وارون سازی داده های لرزه ای. (الف) امپدانس موج تراکمی (ب) امپدانس موج برشی (ج) چگالی.

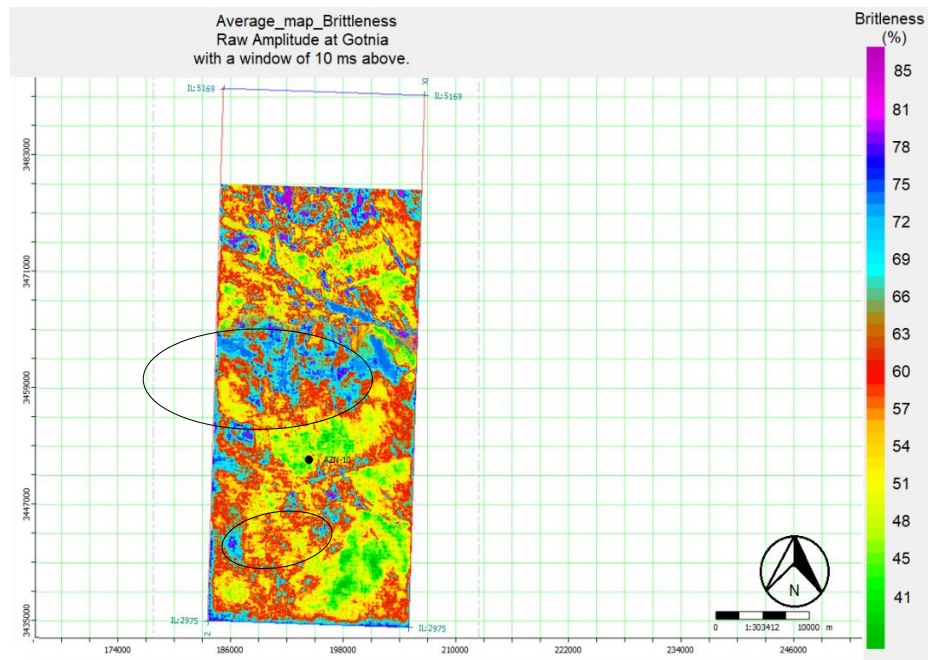
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



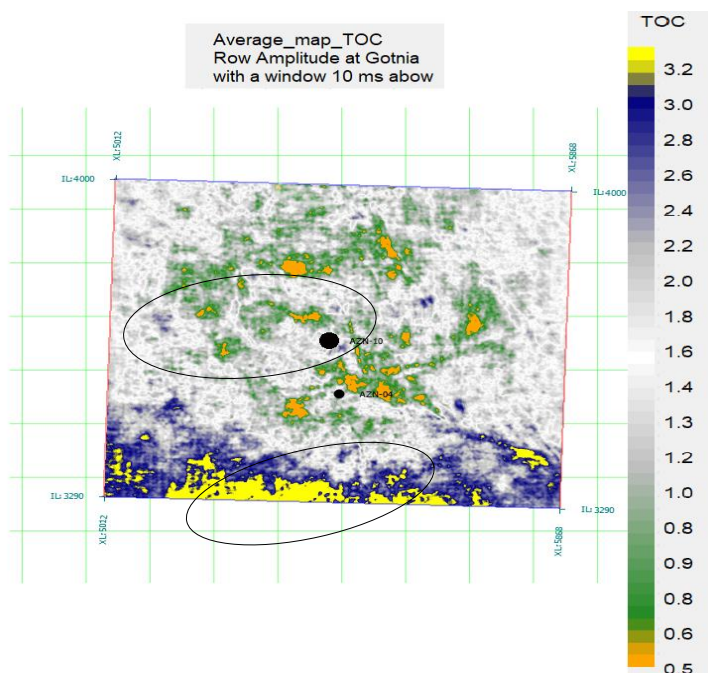
با استفاده از نمودار مقاطع پارامترهای الاستیک مانند مدول یانگ در مقابل نسبت پواسون و  $\lambda\rho$  در مقابل  $\mu\rho$ ، تجزیه و تحلیل رخساره سنگی برای تشخیص تنوع در سنگ‌شناسی در عمق هدف انجام شد (شکل ۳). کاهش مدول یانگ و  $\mu\rho$  در قاعده سازند به دلیل افزایش کانی‌های رسی در شیل است. شکل ۴ و ۵ به ترتیب نقشه توزیع جانبی تردشوندگی و محتوای کربن آلی را در سنگ شیل منشاء نشان می‌دهد. منطقه مشخص شده بر روی نقشه به دلیل افزایش در تردشوندگی و کاهش محتوای کربن آلی ممکن است نشان دهنده پراکندگی پنجره‌های گاز باشد. در مناطق جنوبی تردشوندگی کم و محتوای کربن آلی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، که نشان دهنده یک پنجره بزرگ نفتی در منطقه است. وجود پنجره‌های گازی پراکنده در بخش‌های بالایی منطقه ممکن است ناشی از لایه ضخیم شیل تحت فشار باشد.



شکل ۳. ترسیم مقاطع برای تفکیک رخساره‌های سنگی. (الف) نسبت بین ضرایب لامه ( $\lambda\rho$ -  $\mu\rho$ ) تغییرات رنگ نشان دهنده تغییرات در میزان تردشوندگی است. (ب) تفکیک سنگ‌های شیل منشاء در قاعده سازند از کربنات‌ها و مارن‌ها.



شکل ۴. نقشه میانگین توزیع جانبی شیل های قاعده بر اساس میزان ترد شوندگی. منطقه مشخص شده نشان دهنده پنجره گازی است که میزان تردی بالاتری نسبت به مناطق دیگر دارد.



شکل ۵. نقشه میانگین توزیع جانبی شیل های قاعده بر اساس میزان محتوای کربن آلی. منطقه مشخص شده نشان دهنده پنجره گازی است که محتوای کربن آلی کمتری نسبت به مناطق دیگر دارند.

نتیجه گیری:

مدول های الاستیک، TOC و تردشوندگی همگی با یکدیگر مرتبط هستند و می توان آن ها را به صورت پتروفیزیکی و ژئومکانیکی توضیح داد. سنگ های با مدول یانگ بالا و احتمالاً نسبت پواسون کم نشان از شکنندگی بالا دارند و دارای کانی-

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



های شکننده نظیر کوارتز و سیلت هستند. این بدین معنی است که در صورت وجود محتوی کربن آلی، شیل‌ها حاوی کروژن دریایی و بصورت گازی ظاهر خواهند شد. از سوی دیگر، سنگ با مدول یانگ کم و نسبت پواسون بالا دارای نرمی بیشتری هستند و مقدار زیادی از محتوی آن را خاک رس تشکیل می‌دهد. در این شرایط میزان TOC بیشتری را شامل می‌شود و تشکیل شیل نفتی خواهند داد. روش کار ارائه شده در این مطالعه نشان‌دهنده یک روش امیدوارکننده برای ادغام خواص مکانیکی و ژئوشیمیایی سنگ برای توصیف پارامترهای منابع شیل است. اطلاعات چاه و داده‌های لرزه‌ای سه بعدی به طور همزمان برای دستیابی به پارامترهای الاستیک وارون‌سازی شدند. سپس برای طبقه‌بندی نقاط هدف بر اساس ویژگی‌های سنگ مانند مدول یانگ و نسبت پواسون مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس نقشه‌های TOC و میانگین ترد شونده‌گی، بیشتر بخش‌های سنگ منشأ از شیل‌هایی ساخته شده‌اند که دارای TOC بالا و تردشونده‌گی کمتر هستند. اگر چه در محدوده شمالی منطقه تردشونده‌گی افزایش می‌یابد، که ممکن است مستعد وجود پنجره‌های گازی باشند.

منابع:

- Aliouane, L., & Ouadfeul, S., 2014. Sweet spots discrimination in shale gas reservoirs using seismic and well-logs data. A case study from the Worth Basin in the Barnett Shale. *Energy Procedia*, 59(6), 22-27.
- Fatti, J.L., Smith, G.C., Vali, P.J., Strauss, P. J., and Levitt, P. R., 1994. Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: a 3-D seismic case history using the geostack technique: *Geophysics*, 59, 1362-1376.
- Goodway, B., Chen, T., & Downton, J., 1997. Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petro physical parameters; " $\lambda\rho$ ", " $\mu\rho$ ", & " $\lambda/\mu$  fluid stack", from P and S inversions. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 1997* (pp. 183-186). Society of Exploration Geophysicists.
- Hampson, D. P., B. H. Russell, and B. Bankhead, 2005, Simultaneous inversion of pre-stack seismic data: *Seg Technical Program, Expanded Abstracts*.
- Perez, R , 2012 , Application of LMR and Clustering Analysis in Unconventional Reservoirs Adapted from presentation at AAPG Geoscience Technology Workshop, "International Shale Plays," Houston, Texas, October 11-12, 2011
- Perez Altamar, R., and K. Marfurt., 2015, Identification of brittle/ductile areas in unconventional reservoirs using seismic and microseismic data: Application to the Barnett Shale: *Interpretation*, 3, T233–T243, <https://doi.org/10.1190/INT-2013-0021.1>
- Rickman, R., Mullen, M. J., Petre, J. E., Grieser, W. V., Kundert, D., 2008. A practical use of shale petrophysics for stimulation design optimization: All shale plays are not clones of the Barnett Shale. In *SPE annual technical conference and exhibition*. Society of Petroleum Engineers.

## تعیین حلقه نفتی با استفاده از روش تغییرات دامنه برحسب دورافت داده‌های لرزه‌ای

### و نگارهای پتروفیزیکی

کریم خرسندپور<sup>۱</sup>، دکتر علی میناقلی<sup>۲</sup>، محسن سید علی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد لرزه شناسی، دانشگاه خوارزمی، گروه زمین شناسی کاربردی

<sup>۲\*</sup>استادیار، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین، گروه زمین شناسی کاربردی

<sup>۳</sup>کارشناس ارشد، شرکت نفت فلات قاره

\*Ali.Misaghi@gmail.com

#### چکیده:

روش‌های کمی تفسیر داده‌های لرزه‌ای در مراحل اکتشاف تا تولید مخازن نفتی به جای روش‌های کیفی، به مرور زمان جای خود را در صنعت بالادستی نفت پیدا کرده است. یکی از موفق‌ترین روش‌ها برای کاوش زون‌های مخزن تحلیل AVO می‌باشد. این روش با استفاده از داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش، وجود هیدروکربن در مخزن را مشخص می‌کند و می‌تواند به عنوان نشانگر مستقیم هیدروکربوری در سنگ‌های آواری مفید واقع شود. در این پایان‌نامه روش آنالیز و تحلیل AVO به منظور آشکار سازی زون هیدروکربنی در افق بالای مخزن ماسه‌سنگی غار جهت تعیین حلقه نفتی در میدان نفتی ابوذر واقع در خلیج فارس انجام گردیده است. این مطالعه با استفاده از سری داده‌های لرزه‌ای سه بعدی پیش از برانبارش و نگارهای پتروفیزیکی انجام شده است. ابتدا به کمک نگارهای چاه‌پیمائی، مدل‌سازی مستقیم انجام شده و لرزه نگاشت‌های مصنوعی حاصل از چاه‌ها تولید شده است. در ادامه با توجه به نتایج مدل‌سازی مستقیم و کالیبره‌شدن داده‌های لرزه‌ای واقعی با نگارهای چاه‌پیمائی، منحنی‌های AVO و همچنین کلاس بندی ناهنجاری‌های AVO تشخیص داده شد. سپس روش پیشرفته وارون‌سازی AVO پیش از برانبارش ابتدا در محل چاه‌ها و در نهایت بر روی داده‌های لرزه‌ای واقعی اعمال گردید. به وسیله مقاومت صوتی موج تراکمی، مقاومت صوتی موج برشی و چگالی به دست آمده محدوده مخزن از لحاظ سنگ‌شناسی و مقاومت لرزه‌ای تفکیک گردید. استفاده از نتایج حاصل از وارون‌سازی پیش از برانبارش، نشانگرهای AVO استخراج شده و ترسیم کراس‌پلات نشانگرهای مختلف AVO از سری داده‌های لرزه‌ای واقعی، افق بالای مخزن ماسه سنگی غار از نظر محتوای سیال و همچنین سنگ‌شناسی تفکیک گردید. کلیه این مراحل در تحلیل AVO مکمل یکدیگر بوده که در نهایت قادر به تشخیص حلقه نفتی، تفکیک سیالات و سنگ‌شناسی محدوده مورد بررسی شده است.

**کلمات کلیدی:** تغییرات دامنه بازتاب در مقابل دورافت، وارون‌سازی پیش از برانبارش، تحلیل AVO، نشانگرهای AVO، کراس‌پلات نشانگرهای AVO

## Determining The Oil Ring Using AVO Method On Seismic Data and Well Logs

### Abstract

Quantitative methods of interpreting seismic data in the stages of exploration to the production of oil reservoirs instead of qualitative methods, over time has found its place in the upstream oil industry. AVO Analysis One of the most successful methods for exploring reservoir zones. This technique using pre-stack seismic data to determine the hydrocarbon reservoir and can be a direct attribute of hydrocarbon in clastic rocks. In this Thesis AVO analysis method has been performed in order to show the hydrocarbon zone in the upper horizon of the sandstone Ghar reservoir to determine the oil ring in the Aboozar oil field in the Persian Gulf. This study uses a series of 3D pre-stack seismic data and well logs. At first forward modeling and artificial Seismographs performed by using the well logs. According to the result of forward modeling and calibration between real seismic data and well logs, the classification of AVO anomalies and AVO curves were identified. Then the advanced AVO



pre-stack inversion method at first applied to the wells and finally to the real seismic data. By the obtained resistance of acoustic Compression wave, acoustic shear wave and density, the reservoir area was separated in terms of lithology and seismic resistance. With using the result of pre-stack inversion, extracted AVO attributes and cross plot of different AVO attributes on real seismic data, the upper horizon of Ghar sandstone reservoir was separated in terms of fluid content and lithology. All of this steps in AVO analysis are complementary which is finally able to detect the oil ring, fluid separation and lithology of the study area.

**Key words:** Amplitude Reflection Variation with Offset, Pre-Stack Inversion, AVO Analysis, AVO Attributes, Cross Plot of AVO Attributes.

#### مقدمه:

یکی از مهم‌ترین روش‌های کیفی، بررسی نحوه تغییر ضرائب بازتاب امواج لرزه‌ای بر حسب تغییر دورافت گیرنده و چشمه است. این روش با استفاده از داده‌های پیش از برانبارش، وجود هیدروکربن در مخزن را مشخص می‌کند و می‌تواند به عنوان نشانگر مستقیم هیدروکربنی در سنگ‌های آواری استفاده شود.

در مطالعات کمی لرزه‌ای که به منظور تخمین خصوصیات مخزن از جمله ضخامت، نوع سنگ‌شناسی، نوع سیالات مخزنی و درجه اشباع آنها، مقدار تخلخل و سایر خصوصیات مورد نیاز می‌پردازد، نشانگرهای زیادی وجود دارند. نشانگرهای لرزه‌ای به دو گروه عمده نشانگرهای لرزه‌ای پیش از برانبارش و بعد از برانبارش تقسیم می‌شوند. یک دسته از نشانگرهای پیش از برانبارش آنهایی هستند که با توجه به تغییرات دامنه و فاز بازتاب‌های لرزه‌ای با توجه به فاصله فرستنده و گیرنده بدست می‌آیند. این روش که تحت عنوان تغییرات دامنه با دور افت<sup>۱۹</sup> معروف می‌باشد، در ابتدا توسط استراندر (۱۹۸۴) ارائه شد. به تدریج AVO به عنوان ابزاری در پیش بینی دقیق‌تر خصوصیات سنگ‌شناسی و سیالات مخزنی معرفی شد. استراندر (۱۹۸۴)، فتی و همکاران (۱۹۹۴)، آلن و پدی (۱۹۹۲) چگونگی استفاده از AVO در شناسایی هیدروکربور را نشان دادند. لی و همکاران (۲۰۰۳) کاربرد AVO را در اکتشاف کربنات‌ها شرح دادند. همچنین از آنجا که AVO قادر به پیش بینی فشار منفذی است می‌تواند در طرح‌ریزی برنامه‌های حفاری مورد استفاده قرار گیرد (کارسیون و گانگی، ۲۰۰۰).

تحلیل پتروفیزیکی و AVO مرسوم، به بررسی تغییرات غیرمعمول سرعت موج تراکمی ( $Vp$ ) و سرعت موج برشی ( $Vs$ ) به منظور تعیین تغییرات نوع سیال و همچنین خصوصیات سنگ‌شناسی می‌پردازد (گسمن، ۱۹۵۱؛ تانام، ۱۹۸۲؛ کاستاگنا، ۱۹۹۳). روش‌های تحلیلی دیگر از اندازه‌گیری‌های لرزه‌ای به منظور تعیین ضرایب بازتاب موج تراکمی و ضریب بازتاب موج برشی (فتی و همکاران، ۱۹۹۴) یا تعیین مقدار  $(Vp/Vs)^2$  (استراندر، ۱۹۸۴) استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن شرایط مرزی (پیوستگی جابه‌جایی ذره و تنش در یک سطح بازتابنده) به کمک معادلات زوپریتس (۱۹۱۹) و نات (۱۸۹۹) دامنه موج بازتاب و دامنه موج عبوری حاصل از برخورد موج تراکمی به یک بازتابنده تخت و در نهایت چگالی و سرعت لرزه‌ای بدست می‌آید. از نشانگرهای AVO می‌توان به شیب<sup>۲۰</sup> AVO، عرض از مبدأ<sup>۲۱</sup> AVO و یا ترکیبات آنها، و نیز مطالعه همزمان نشانگرهای مختلف تحت عنوان روش ترسیم‌مقاطع<sup>۲۲</sup> (Castagna and Smith, 1994; Foster, et.al; Castagna and Swan, 1997) ، همچنین برانبارش‌های جزئی<sup>۲۳</sup> (برانبارش نزدیک و دور) اشاره کرد. وارون سازی AVO نیز می‌تواند با استخراج ضرایب لامه<sup>۲۴</sup> ( $\mu$  و  $\lambda$ ) و همچنین محاسبه مقاومت کشسان بینش جدیدی را در کسب خصوصیات سنگ‌شناسی و مخزنی مناطق هیدروکربوری ارائه دهد. چگونگی استخراج پارامترهای لامه توسط گودوی و همکاران (۱۹۹۷) عنوان گردید. آنها نشان دادند که رفتار  $\mu$  مستقل از نوع سیال منفذی بوده در حالیکه  $\lambda$  نسبت به تغییر سیال حساسیت بالایی دارد. مطالعات

<sup>19</sup> Amplitude Versus Offset

<sup>20</sup> Gradient

<sup>21</sup> Intercept

<sup>22</sup> Cross Plot

<sup>23</sup> Partial Stack

<sup>24</sup> Lamé's Parameters

ضریب کشسان توسط گودوی (۲۰۰۱)، بوریانیک (۲۰۰۰)، دافورد و همکاران (۲۰۰۲)، لی و همکاران (۲۰۰۳)، گودوی و همکاران (۲۰۰۶) ادامه یافت. مفهوم مقاومت کشسان (EI) در تفسیر و تحلیل سنگ‌شناسی بسیار مورد استفاده است (ساویک و همکاران، ۲۰۰۰ و مالیک، ۲۰۰۱). کونولی (۱۹۹۹) رابطه بین سرعت امواج تراکمی و برشی و چگالی را با مقاومت کشسان فرمول‌بندی کرد. مطالعات نشان می‌دهد که لایه‌های حاوی گاز مقدار EI نسبتاً پایینی دارند که مقدار آن با زاویه فرود تغییر می‌کند (Shaoming and Mc Mecan, 2004).

برای وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای و رسیدن به مدل زمین، روش‌های مختلفی وجود دارد؛ که هر روش این مدل را از منظر خاصی مورد بررسی قرار می‌دهد. با اینکه هر روش جزییات جداگانه‌ای دارد، ولی به‌صورت کلی وارون‌سازی لرزه‌ای به دو دسته روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای پیش از برانبارش و پس از برانبارش تقسیم‌بندی شده است. در این مقاله از روش وارون‌سازی پیش از برانبارش استفاده شده است.

تلفیق این مدل‌ها با اطلاعات زمین شناسی و داده‌های چاه برای شناسایی رخساره‌های مخزنی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Chopra and Castagna, 2014). فرآیند دو مرحله‌ای تخمین ضریب بازتاب با وارون‌سازی بر مبنای مدل، در این نوع - وارون‌سازی با استخراج مستقیم و همزمان مقاومت صوتی تراکمی، مقاومت صوتی برشی و چگالی به یک مرحله تبدیل می‌شود (Simm and Bacon, 2014).

مناطق جنوب غرب کشور دارای مهم‌ترین ذخایر هیدروکربنی جهان می‌باشند، مطالعه بیشتر این مخازن و اکتشاف دقیق - تر با روش‌های نوین از اهمیت بالایی برخوردار است. شناخت خصوصیات مخزنی و ویژگی‌های پتروفیزیکی مخزن یا به‌عبارتی ساخت مدل هر یک از پارامترهای مخزنی می‌تواند به تصمیمات بعدی نظیر تعیین موقعیت محل حفاری چاه‌های تولیدی و تزریقی و به‌دست آوردن مدل دینامیکی مخزنی کمک بسیاری نماید. هدف از این پژوهش مطالعه و بررسی تئوری تحلیل، روش‌های تفسیر AVO، استفاده از پارامترهای لامه و کاربرد نتایج این روش در مرز ابتدایی کربناته فوقانی (فارس زیرین) تا مرز ابتدایی مخزن ماسه‌ای غار جهت تعیین حلقه نفتی، سیال غالب و همچنین انطباق چینه شناسی و پتروفیزیکی لایه های میدان نفتی ابودر می‌باشد.

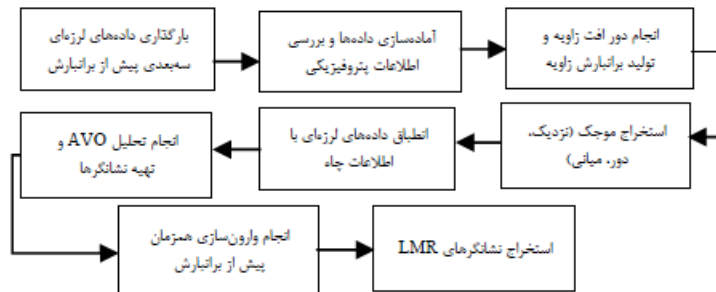
#### روش مطالعه:

در این مطالعه با کمک داده‌های لرزه‌ای سه حلقه چاه میدان نفتی ابودر و همچنین نگاره‌های پتروفیزیکی آن‌ها، اقدام به تحلیل AVO، اعمال نشانگرهای AVO، وارون‌سازی پیش از برانبارش برای استخراج پارامترهای لامه جهت تعیین حلقه نفتی در محدوده افق فارس زیرین تا افق مخزنی غار خواهیم کرد.

پس از آماده سازی اولیه داده‌ها و بارگذاری آنها در نرم‌افزار، روش‌های بهبود کیفیت داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش مورد استفاده قرار گرفت. هدف از بکارگیری این روش‌ها ارتقا کیفی سیگنال‌های لرزه‌ای برای بهبود کیفیت نتایج حاصل از تفسیرهای کمی بود. در گام بعدی، اطلاعات موجود پتروفیزیکی مورد بررسی قرار گرفتند و ارتباط آنها با داده‌های لرزه‌ای از طریق محاسبه روابط زمان-عمق معتبر مورد ارزیابی قرار گرفت. در حین محاسبه روابط زمان-عمق، موجک لرزه‌ای معرف در محدوده مخزنی استخراج شد؛ تا در فرایند تحلیل و آنالیز AVO و وارون‌سازی AVO ایفای نقش نماید.

با ترکیب اطلاعات موج تراکمی، موج برشی و چگالی مقاطع لرزه‌ای مقاومت صوتی موج تراکمی، مقاومت صوتی موج برشی و مقطع لرزه‌ای چگالی بدست آمده شد. پس از بدست آوردن مقاطع مقاومت صوتی با استفاده از نگاره‌های چاه آنالیز AVO جهت تعیین نوع سیال تشکیل دهنده و تعیین حلقه نفتی بر روی مقاطع لرزه‌ای استخراج می‌شوند. مقاطع دوبعدی و سه بعدی مقاومت صوتی بر پایه مدل و همچنین نمودارهای تقاطعی امواج تراکمی، برشی و چگالی نسبت به نمودارهای حاصل از چاه پیمایی به نمایش گذاشته شد. در آخر با استفاده از ترسیم کراس پلات نشانگرهای AVO، بهترین نشانگرها استخراج و ترسیم

می‌شوند. سپس وارون سازی برکل حجم داده‌ها جهت استخراج پارامترهای لامه درمحل چاه جهت تعیین ماهیت و تایید صحت تحلیل AVO در تشخیص سیال درافق بالای مخزن غار و بدست آوردن ضریب همبستگی بالا انجام می‌شود.

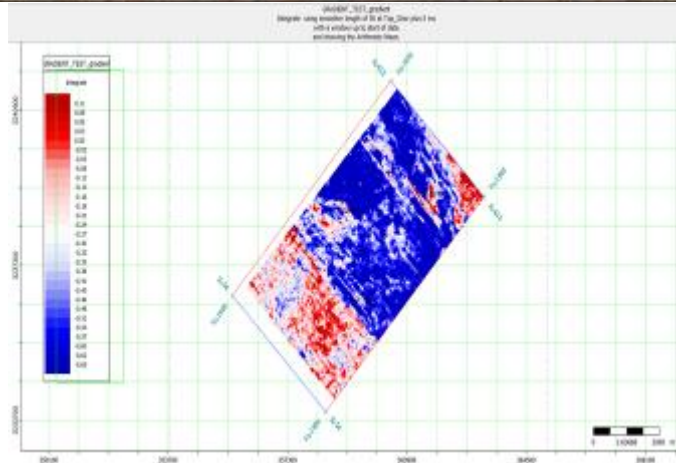


شکل ۱- مراحل انجام کار در این مطالعه

### تحلیل و تفسیر AVO

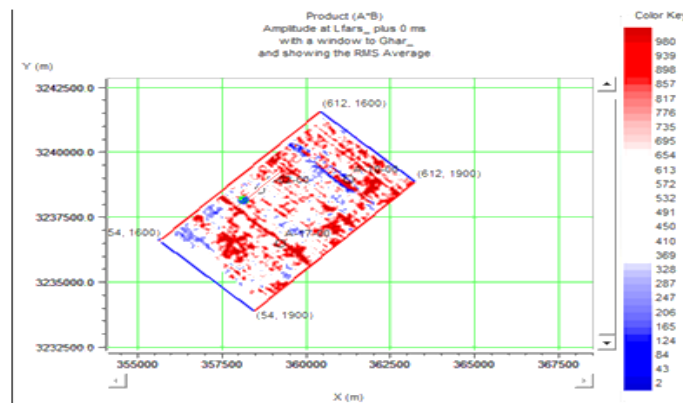
هدف اصلی تحلیل AVO به دست آوردن چگالی، سرعت موج P و سرعت موج S است. با استفاده از روابط فیزیکی سنگ، سرعت موج P و S مقدار نسبت پواسون محاسبه می‌شود. اکنون نوبت به استفاده از تحلیل‌های AVO می‌رسد که شامل اطلاعات لرزه‌ای و نگاره‌های پتروفیزیکی جهت تحلیل AVO می‌باشد، سپس استفاده از عملگرهای AVO که می‌توان به عملگر تقاطع، گرادیان و ترکیبی از این دو نشانگر بصورت حاصل ضرب تقاطع درگرادیان، تقاطع در حاصل ضرب تقاطع در گرادیان، فاکتورسیال و غیره اشاره کرد. نحوه محاسبه این عملگرها از طریق رابطه ژئوپریتمس و تقریب‌های حاصل از آن، انتقال از قلمرو دور افت به قلمرو زاویه، محاسبه خط رگرسیون حاصل از کراس پلات داده‌ها، طبقه بندی AVO، کراس پلات نشانگر AVO، کراس پلات اطلاعات چاه، کراس پلات اطلاعات لرزه‌ای، مقاطع عرضی که از کراس پلات‌ها بدست می‌آیند، برنبارش در بازه محدود، مدل سازی رو به جلو AVO، مدل سازی اولیه امواج، ردیابی پرتو، برگردان AVO و عملگر فاکتور سیال که میزان انحراف از خط سیال (مودراک) جهت تحلیل AVO را نمایش می‌دهند. در آخر کاربرد تحلیل AVO روی داده‌های واقعی که منجر به تعیین نوع سیال از طریق امواج لرزه‌ای، محاسبه ضرائب بازتاب نرمال امواج تراکمی و برشی، استخراج پارامترهای لامه، کراس پلات  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$ ، تولید لرزه نگاشت مصنوعی، استخراج موجک، پیک کردن افق‌ها و وارون سازی AVO می‌باشد.

به طور معمول اولین نشانگرهایی که در تحلیل AVO مورد استفاده قرار می‌گیرند، عرض از مبدأ و شیب می‌باشند. لذا با انتخاب نشانگر عرض از مبدأ و شیب در این پژوهش به عنوان نشانگرهایی که پتانسیل شناخت رفتار سیال مخزنی را در ناحیه مورد مطالعه دارند، اقدام به تهیه مکعب این نشانگرها در محدوده مورد مطالعه شده است. شکل ۲ برشی از نشانگر گرادیان را نشان می‌دهد. این برش در امتداد سازند کربناته فوقانی تا ابتدای افق مخزنی ماسه سنگی غار تهیه شده است.



شکل ۲. نقشه اعمال نشانگر گرادیان بر روی مرز ابتدایی افق فارس زیرین تا مرز ابتدایی افق مخزن غار

نشانگر حاصل ضرب تقاطع در گرادیان همیشه برای تشخیص هیدروکربن مناسب نیست؛ چرا که این نشانگر تنها در صورتی که عرض از مبدأ و شیب هر دو منفی باشند، کارآمد است. بنابراین اغلب در تشخیص آنومالی نوع سوم بکار می‌رود. با این حال برشی از حاصل ضرب این دو نشانگر در امتداد سازند کربناته فوقانی در شکل ۳ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در زون کربناته، به طور کلی همگونی مشخصی در قسمت مورد مطالعه از مخزن کربناته مشاهده می‌شود؛ که این مساله می‌تواند بیانگر عدم کارایی نشانگرهای AVO در تفکیک سیالات مخزنی می‌باشد. یکی از دلایل قابل ذکر در این مورد، حساسیت پایین سازندهای کربناته به تغییر فاز سیال است. چرا که به دلیل بالا بودن مدول حجمی این سازندها، تغییرات سیال درون مخزن تاثیر چشمگیری در تغییرات دامنه نسبت به دورافت ایجاد نمی‌نماید. از اینرو شناسایی تغییرات فاز سیالات مخزنی در سازندهای کربناته از طریق نشانگرهای AVO در بسیاری از موارد ممکن نیست. بنابراین روش‌های وارون‌سازی مبتنی بر مدل اولیه، شانس بیشتری را برای شناسایی نحوه تغییرات سیال فراهم می‌آورند.

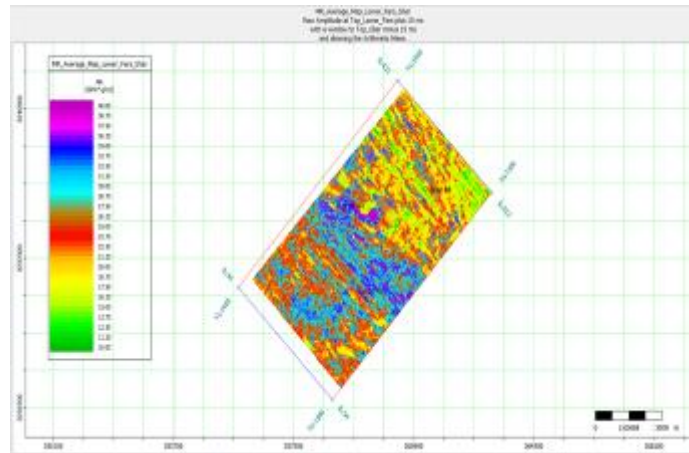


شکل ۳. اعمال نشانگر حاصل ضرب تقاطع در گرادیان بر روی مرز ابتدایی افق فارس زیرین تا مرز ابتدایی افق مخزن غار

#### بحث:

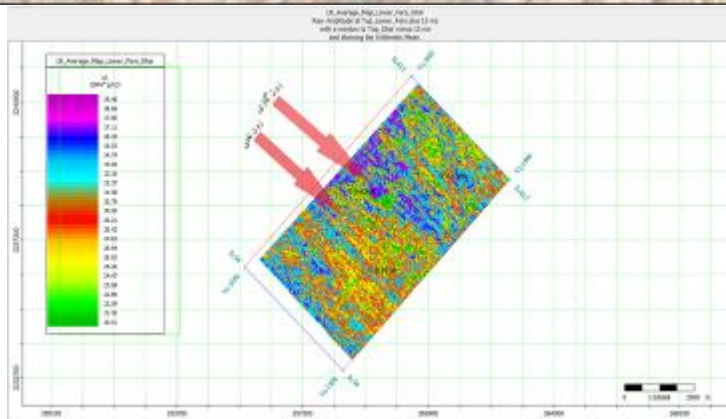
برای اثبات و افزایش دقت انجام آنالیزهای دامنه بر اساس دورافت، روش وارون‌سازی همزمان مورد استفاده قرار گرفت. خروجی این وارون‌سازی مقاطع مقاومت تراکمی، مقاومت برشی و چگالی، نسبت سرعت موج تراکمی و سرعت موج برشی است، که به طور همزمان بدست آمده است.

همان گونه که قبلا اشاره شد، با بهره‌گیری از نتایج بدست آمده از وارون‌سازی همزمان، نشانگرهای LMR از وارون‌سازی پیش از برانبارش قابل استخراج می‌باشند.  $\mu\rho$  و  $\lambda\rho$  از جمله نشانگرهای کاربردی برای تفکیک لیتولوژی و خواص مخزنی هستند، که از وارون‌سازی داده‌های پیش از برانبارش استخراج می‌شوند. این نشانگرها به اختصار نشانگرهای LMR نامیده می‌شوند. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب برشی از بخش کریناته مخزن را برای پارامترهای  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$  نشان می‌دهند. از آنجایی که هدف نهایی این مطالعه تشخیص خواص سیالات مخزن است، برش حاصله از مکعب  $\lambda\rho$  با دقت بالایی در تفکیک فازهای گاز و نفت در مخزن شده است. بر اساس تئوری، نقشه‌ی بدست آمده از  $\mu\rho$  بیانگر چگونگی تغییرات لیتولوژی در سازند مخزنی است. با توجه به موارد ذکر شده در ارتباط با عدم کیفیت مناسب داده‌های لرزه‌ای و مشاهدات انجام شده در تفسیرهای لرزه‌ای چاه‌های مختلف، تغییرات لیتولوژی چشمگیری در این سازند در محدوده‌ی مورد مطالعه انتظار نمی‌رود. از اینرو نتایج بدست آمده از نقشه‌ی  $\mu\rho$  اطلاعات قابل اتکایی را در زمینه‌ی تغییرات لیتولوژی در این سازند کریناته فراهم نمی‌آورد. با این حال، نشانگر  $\lambda\rho$  که قابلیت نشان دادن تغییرات خواص سیال در مخزن را داراست، شواهد قابل قبولی را از چگونگی توزیع سیالات مخزنی نمایش می‌دهد.



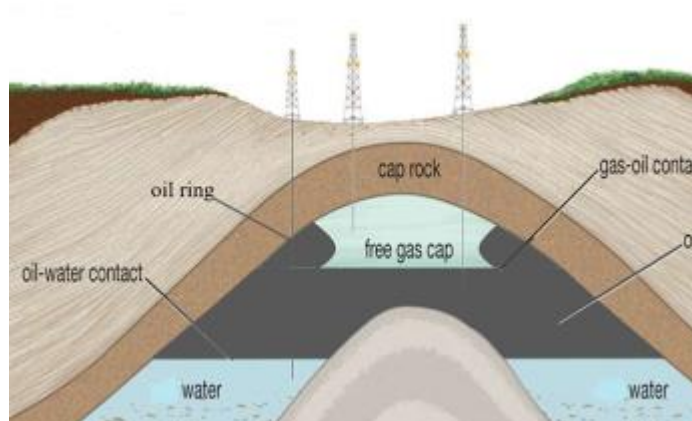
شکل ۴. نشانگر  $\mu\rho$  جهت تعیین نوع سنگ شناسی محدوده مورد مطالعه

در شکل ۵، افت مقادیر  $\lambda\rho$  معرف تغییرات فاز سیالات مخزنی در این قسمت از سازند است. از آنجایی که بر اساس شواهد حفاری در این ناحیه، همواره احتمال وجود نفت در قسمت‌های تست نشده سازند آهکی میدان ابوذر مطرح بوده است، از اینرو نتایج حاصل از این مطالعه موید فرضیه تغییرات فاز سیال مخزن در این محدوده است. به منظور اعتبارسنجی این نتایج، نیاز به حفاری یک چاه جدید در این میدان است. با این حال، با در نظر گرفتن این که این مشاهدات بر روی نقشه‌های میانگین حاصل شده‌اند و تغییرات بدست آمده برای پارامتر  $\lambda\rho$  بسیار بالاست، لذا نتیجه‌گیری در مورد بروز تغییر فاز سیال بر اساس مشاهدات بدست آمده، بر اساس تئوری‌های مربوط به تفسیر مقادیر  $\lambda\rho$  و شواهد موجود در میدان مورد مطالعه، قطعیت بالایی دارد.



شکل ۵. نشانگر  $\lambda_p$  جهت تعیین نوع سیالات تشکیل دهنده محدوده مورد مطالعه

در شکل ۶ مقطع عرضی زمین شناسی و سیالات تشکیل دهنده آن نمایش داده شده است. وجود هیدروکربن در مخزن غار و کربناته فوقانی (سیال غالب گاز)، میدان ابودر به کمک تحلیل تغییرات دامنه برحسب دورافت داده‌های لرزه‌ای و نگارهای پتروفیزیکی اثبات شد. بررسی بیشتر نوع سیال مخزن کربناته فوقانی (کم عمق‌ترین) لایه هیدروکربنی از وجود گاز در آن ناحیه حکایت داشت. برای بررسی ارتباط بین سازندهای غار و کربناته فوقانی پس از تحلیل و پردازش داده‌های لرزه‌ای و نگارهای پتروفیزیکی، وجود نفت احتمالی در مخزن کربناته فوقانی را به صورت حلقه نفتی با گنبد گازی نشان داد. معمولاً در ساختارهای تاکدیسی که وجود هیدروکربن آنها اثبات شده است، گاز و نفت به صورت جانبی در کنار یکدیگر می‌باشند که به دلیل تفاوت در چگالی، لایه گازی در قسمت بالایی (قله) و سیال نفتی در لایه زیرین ساختار تاکدیسی قرار می‌گیرد. حفاری در نقاطی انجام می‌شود که بیشترین ارتفاع ستون نفت را شامل شود و معمولاً این نقاط در راس ساختار می‌باشند. ولی در برخی موارد خاص دیده شده است که ستون نفت در یال‌های ساختار تاکدیسی در کنار لایه گازی در قسمت بالایی قرار دارد، اما به دلیل این که حفاری در مرکز این ساختار صورت گرفته و چاه با عبور از لایه گاز وارد لایه زیرین شده است، نفت موجود در یال‌های ساختار بدون استخراج در مکان خود باقی مانده است.



شکل ۶. نمایش سیالات و حلقه نفتی محدوده مورد مطالعه

### نتیجه‌گیری:

- در مطالعه افق بالای مخزن غار (کربناته فوقانی)، با استفاده از مدل‌سازی مستقیم، لرزه‌نگاشت مصنوعی حاصل از نگارهای چاه‌پیمایی ایجاد شد و به کمک آن علت ناهنجاری مشاهده شده، بر روی داده‌های لرزه‌ای پیش‌از برانبارش

مشخص شد. با تولید منحنی‌های AVO، نوع ناهنجاری در افق مطالعاتی نوع اول تشخیص داده شد. این ناهنجاری در کلاس نوع اول دارای تقاطع مثبت، گرادیان منفی است.

- در مطالعه نشانگرهای AVO، بر روی اطلاعات لرزه‌نگاری با توجه به این که نوع ناهنجاریهای AVO در محدوده مورد مطالعه از نوع اول است، کیفیت پائین اطلاعات لرزه‌نگاری و محدود بودن حجم داده‌های مطالعاتی، نشانگرهای AVO تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهند و امکان جداسازی زون‌های هیدروکربنی با دقت بالا وجود ندارد.

- بر اثر عبور امواج تراکمی و برشی از یک ماسه سنگ مرطوب به یک ماسه سنگ‌گازدار قطبیت موج تراکمی تغییر می‌کند ولی قطبیت موج برشی بدون تغییر می‌ماند. با این تفاوت در عملکرد امواج می‌توان به حضور گاز در مخزن پی برد.

- با توجه به تحلیل تغییرات دامنه بر حسب دورافت، پاسخ‌ها و اعمال نشانگرهای مختلف بر روی محدوده بالای مخزن غار تغییرات در سیال تشکیل دهنده این افق مشاهده شد. این تغییرات در نزدیکی چاه A-02 و چاه A-17 به صورت ناهنجاری‌های کلاس بندی AVO و تغییرات در نشانگرهای AVO، وجود سیال هیدروکربور را به صورت غالب و محیط شیلی به صورت جزئی نمایش داد. در اطراف چاه A-10 تغییرات محسوسی در کلاس بندی و همچنین تغییرات در نشانگرهای AVO مشاهده نشد، که دلیل آن می‌تواند کیفیت پائین داده‌های لرزه‌ای برداشت شده در این چاه باشد.

- نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل روش‌های مختلف تفسیرهای کمی داده‌های لرزه‌ای، نشان داد که در مخزن کربناته مورد مطالعه، نشانگرهای تقاطع و گرادیان AVO از قدرت کافی برای شناسایی خواص سنگ و سیال مخزن برخوردار نیستند، اما با ترکیب این نشانگرها با یکدیگر و استخراج نشانگرهایی همچون، نشانگر تقاطع نسبت به گرادیان و نشانگر تقاطع نسبت به حاصل ضرب تقاطع در گرادیان، امکان تشخیص تغییرات جانبی سیال با تفسیرهای نشانگرهای مربوطه تا حدودی میسر می‌باشد.

#### منابع:

مهدی اصغرزاده، م.، ۱۳۸۴، گزارش مطالعات انجام شده بر روی سازند غار میدان ابوزر، شرکت نفت فلات قاره ایران نظری، ب، ۱۳۹۴، اکتشاف هیدروکربن با استفاده از تکنیک AVO در داده‌های لرزه‌نگاری و داده‌های چاه‌نگاری در یکی از میداین جنوب غربی ایران

- Aki, K. and Richards, P., 1980, Quantitative seismology: Theory and methods: W.H. Freeman and Co.
- Castagna, J. P. and Swan, H. W., 1997, Principles of AVO cross plotting: The Leading Edge, 16 (4), 337-342
- Castagna, J. P., Swan, H. W. and Foster, D., 1998, Framework for AVO gradient and intercept interpretation: Geophysics, 63, 948-956.
- Fatti, J.L., Smith, G.C., Vali, P.J., Strauss, P.J. and Levitt, P.R., 1994, Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: a 3-D seismic case history using the geostack technique: Geophysics, 59, 1362-1376.
- Fugro-Jason (UK) Ltd., 2006, Aboozar field geostatistical inversion report, in IOOC.
- Goodway, B., 2001, AVO and Lamé constants for rock parameterization and fluid detection: Recorder, 26 (6), 39-60.
- Goodway, B., Chen, T. and Downton, J., 1997, Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameters 67th Annual International Meeting (Soc. of Expl. Geophys.), 183-186.
- Yilmaz, O., 2001, Seismic data analysis and processing, inversion, and interpretation of seismic data: Tulsa, Oklahoma, Society of Exploration Geophysicists 2007.
- Zoeppritz, K., 1919, Erdbebenwellen VII B, On the reflection and penetration of seismic waves through unstable layers: Göttinger Nachrichten, 1, 66-84.

## لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت جنوب شرق استان کرمان - جنوب دشت لوت،

### با تمرکز بر ریگان

محمد امیری<sup>۱\*</sup> و آرمان کرم خانی<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گرایش زلزله شناسی، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

Mohammadamiri0023@ut.ac.ir

#### چکیده:

گستره مورد مطالعه در جنوب بلوک لوت به مختصات جغرافیایی ۲۸ تا ۲۹ درجه عرض شمالی و ۵۸/۵ تا ۶۰ درجه طول شرقی واقع شده است و جنوب شرقی استان کرمان و بخشی از غرب استان سیستان و بلوچستان را در بر می گیرد. این گستره طبق تقسیم بندی میرزائی و همکاران (۱۹۹۸)، در استان لرزه زمین ساختی ایران مرکزی - شرق ایران قرار گرفته است. جهت انجام مطالعه های لرزه زمین ساختی در گستره مورد نظر، در بازه ی زمانی زمین لرزه های دوره نخست و جدید دستگاهی از سال ۱۹۲۳ میلادی تا زمان نگارش این مقاله از کاتالوگ یکپارچه سازی شده ی زمین لرزه های ایران، حاصل پژوهش های موسوی و همکاران (۲۰۲۰) و داده های مرکز لرزه نگاری کشوری استفاده شده است. بر پایه زمین لرزه های دوره نخست و جدید دستگاهی، فعال ترین سامانه گسلی در گستره مورد نظر، بخش جنوبی سامانه گسلی کهورک و امتداد جنوبی سامانه گسلی بم است. بررسی نقشه ی لرزه زمین ساختی در گستره مورد نظر نشان می دهد که بخش جنوبی سامانه گسلی کهورک و امتداد جنوبی سامانه گسلی بم و منطقه جنوب ریگان از لرزه خیزترین مناطق گستره مورد نظر هستند. کلیدواژه: لرزه خیزی، لرزه زمین ساخت، کرمان، گسل و ریگان

## Seismicity and Seismotectonic of the southeast of Kerman province - south of Lut plain, Focusing on Rigan Mohammad Amiri; Arman Karamkhani

#### Abstract

The study area is located in the south of Lut plain with geographical coordinates of 28 to 29 degrees north latitude and 58 to 60 degrees east longitude and includes the southeast of Kerman province and a part of the west of Sistan and Baluchestan province. According to the Mirzaei et al. (1998), this area is located in the Seismotectonic province of Central-Eastern Iran. In order to conduct seismic studies in the region, in the period of earthquakes of the new and old instrumental from 1923 to the time of writing this article from the integrated catalog of earthquakes in Iran, the results of research by Mousavi et al. (2020) and data from the Iranian Seismological Center have been used. Based on the earthquakes of the new and old instrumental, the most active fault in the area is the southern part of the Kahorak fault and the southern part of the Bam fault. Examination of the seismic map in the area shows that the southern part of the Kahorak fault and the southern part of the Bam fault and the southern Rigan region are the most seismic areas of the area most seismic areas of the area.

#### مقدمه:

یکی از مناطقی که به لحاظ وجود دگرشکلی های قاره ای به طور وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است، کمربند کوهزایی آلپ هیمالیا است که از اروپای غربی آغاز می شود و با عبور از خاورمیانه تا هند و چین گسترش می یابد. بخشی از نوار آلپی که سطح بالایی از فعالیت های لرزه ای را نشان می دهد و دارای دگرشکلی منحصر به فردی است، فلات ایران است. تحقیقات زمین ساختی بیانگر تراکم بسیار زیاد گسل های جوان و فعال در فلات ایران است. زمین ساخت کنونی ایران نتیجه همگرایی جنوب غرب - شمال شرق، بین صفحه عربی در جنوب غرب و اوراسیا در شمال شرق آن است. ایران به منزله یکی از فعال ترین



مناطق لرزه‌خیز دنیا شناخته می‌شود و تاکنون متحمل زمین لرزه‌های ویرانگری شده است. زمین لرزه‌های بزرگ بسیاری در سامانه‌های گسلی امتدادلغز راست‌گرد در حاشیه غربی دشت لوت به وقوع پیوسته و باعث تعدیل برش راست‌گرد بین ایران مرکزی و افغانستان شده است. ایران مرکزی و شرق ایران ناحیه‌ای درون صفحه‌ای است که از شمال و شمال شرق به مناطق برخوردی البرز و کپه داغ، از غرب و جنوب غرب به منطقه برخورد قاره‌ای زاگرس، از جنوب شرق به منطقه فرورانش اقیانوسی قاره‌ای مکران و از شرق به بلوک افغانستان محدود می‌شود (Vernant et al., 2004). استان کرمان از دیدگاه تکتونیکی یکی از مناطق فعال لرزه‌خیز به شمار می‌رود. مسیر چندین گسل مهم از جمله: گسل‌های نائین، بافت، تایبند، گلباف و کوهبنان از این استان عبور می‌کنند، لذا کرمان قسمتی از کمربند زلزله‌خیز ایران محسوب می‌شود. وقوع زلزله‌های مخرب و متعدد در سال‌های گذشته مبین این موضوع است. قسمت اعظم استان کرمان از دیدگاه زمین‌ساختی، ناحیه مرزی ایران - افغانستان حد نهایی زون برخوردی عربی - اوراسیا است (Walker and Jackson, 2004).

#### روش مطالعه:

در این مقاله، مطالعه‌های لرزه‌زمین‌ساختی گستره موردنظر با هدف شناسایی ساخت گسل‌ها، شرح زمین‌لرزه‌های مهم بر پایه داده‌های زمین‌لرزه‌ای و نسبت دادن زمین‌لرزه‌های متوسط به گسل‌های منطقه صورت گرفته است. پس از گردآوری اطلاعات پایه موجود و آغاز مطالعات مقدماتی با بررسی، مقاله‌های داخلی و خارجی، کتاب‌های مربوطه، نقشه‌ی زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰) گستره موردنظر و جمع‌آوری داده، همگن و تکمیل کردن کاتالوگ زمین‌لرزه‌های گستره موردنظر با استفاده از کاتالوگ یکپارچه‌سازی شده‌ی زمین لرزه‌های ایران، حاصل تحقیقات موسوی و همکاران (۲۰۲۰) و داده‌های مرکز لرزه‌نگاری کشوری، منجر به تهیه نقشه لرزه‌زمین‌ساخت با نرم افزار QGIS 3.16 و بررسی لرزه‌خیزی منطقه گردید.

#### بحث:

استان لرزه زمین‌ساختی، پهنه‌ای است که تحت رژیم‌های ژئودینامیکی کنونی، دارای جایگاه تکتونیکی همانند والگوی لرزه-خیزی یکسان باشد. ایران به پنج استان لرزه زمین‌ساختی عمده تقسیم می‌شود: البرز - آذربایجان، کپه داغ، زاگرس، ایران مرکزی - شرق ایران و مکران، تقسیم کرده‌اند (Mirzaei et al., 1998).



شکل ۱: استان‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران (Mirzaei et al., 1998) و نمایش گستره مورد مطالعه.

استان لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی - شرق ایران، پهنه‌ای درون صفحه‌ای است که از شمال و شمال شرق به مناطق برخوردی البرز - آذربایجان و کپه داغ، از غرب و جنوب غرب به منطقه برخورد قاره‌ای زاگرس، از جنوب شرق به منطقه فرورانش اقیانوسی - قاره‌ای مکران و از شرق به بلوک Helmand محدود است. این استان لرزه‌زمین‌ساختی تحت تأثیر چندین فاز کوهزایی قرار گرفته است. ایران مرکزی در زمان پرکامبرین - پالئوزوئیک بخشی از صفحه عربستان بوده است که با اقیانوس Hercynian در شمال، از اوراسیا جدا می‌شده است (Berberian and King, 1981). به نظر می‌رسد که پدیده کافتن در پالئوزوئیک پسین در پلاتفرم ایران - عربستان در محل کنونی گسل معکوس زاگرس، عامل جدایش ایران مرکزی از صفحه عربستان و حرکت به سوی شمال آن نسبت به این صفحه و هم‌چنین شکل‌گیری اقیانوس آلپی زاگرس مرتفع

نفوتتیس) بوده باشد. تحقیق‌های دیرینه مغناطیس و اطلاعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد که از زمان تریاس میانی تا کرتاسه پسین، خرد قاره ایران مرکزی حدود ۱۳۰ درجه در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت چرخش داشته است (Davoudzadeh et al., 1981). فرورانش پوسته اقیانوسی نفوتتیس به زیر حاشیه جنوبی ایران مرکزی (نوار سندنج - سیرجان) در مزوزوئیک و احتمالاً ترشیری، کمان ماگمایی نوع آند را به وجود آورده است. حرکت آرام به سوی شمال صفحه عربستان و فرورانش پوسته اقیانوسی نفوتتیس به زیر ایران مرکزی موجب بسته شدن نفوتتیس و برخورد پوسته قاره‌ای صفحه ایران مرکزی و عربستان شد (Berberian and King, 1981). بین تاریخ تکاملی ایران مرکزی و البرز شباهت‌های زیادی وجود دارد، تشابه رسوبات به گونه‌ای است که نام بسیاری از واحدهای سنگی سازندهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترشیری را می‌توان به البرز و بخش‌های زیادی از ایران مرکزی اطلاق کرد. هر دو منطقه بر اثر کوه‌زایی آپی در ترشیری با شدت یکسان متحمل گسلش و چین خوردگی شده‌اند. البته مجموعه‌هایی از رادیولاریت - افیولیت به شدت به هم‌ریخته از ویژگی‌های مناطق خاصی از ایران مرکزی است که به طور کلی در البرز دیده نشده است. برخلاف استان‌های لرزه‌زمینساختی زاگرس و البرز - آذربایجان، لرزه‌خیزی در ایران مرکزی - شرق ایران به‌طور عمده به زون‌های گسلی لرزه‌زا که خرد قاره‌های نسبتاً پایدار را احاطه کرده‌اند، محدود می‌باشد. بخش شرقی ایران مرکزی - شرق ایران لرزه‌خیزی بسیار شدیدتری را نشان می‌دهد. نتایج مدل‌سازی شکل امواج و مطالعات خرد زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که بیش‌تر زمین‌لرزه‌ها در ایران مرکزی - شرق ایران از عمق ۸ تا ۲۰ کیلومتر نشأت می‌گیرند. در نواحی دیگر این ایالت پوسته ضخامت بین ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر دارد. با استفاده از نتایج حل ۲۲ صفحه گسل دریافت‌ند که بهترین انطباق برای بزرگ‌ترین تنش اصلی  $\sigma_1$ ، در شرق ایران افقی با آزیموت ۲۱۹ درجه و کوچک‌ترین تنش اصلی  $\sigma_3$ ، دارای آزیموت ۳۲۰ درجه و میل ۷۷ درجه می‌باشد (Stocklin, 1977).

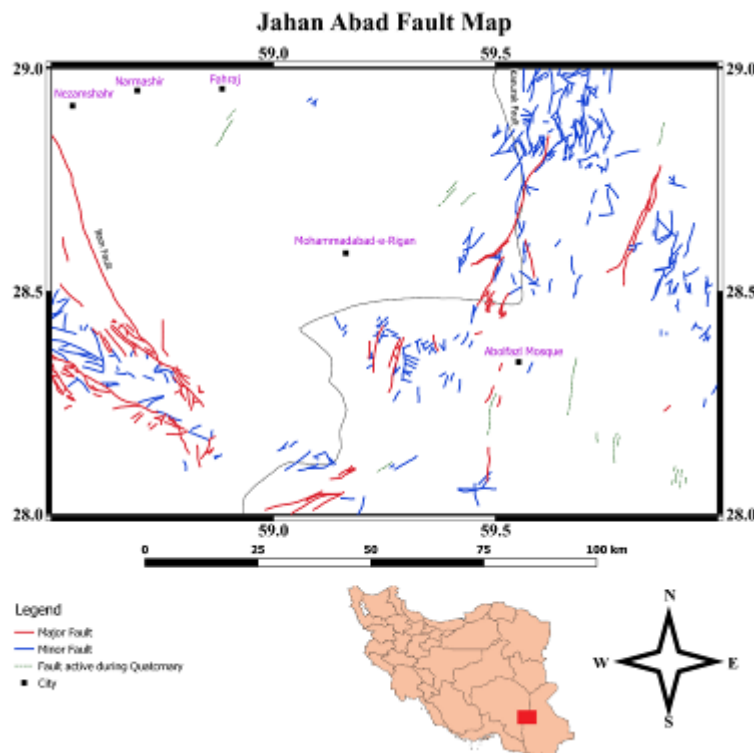
گسل‌ها، مهم‌ترین چشمه‌های لرزه‌زا هستند. چشمه‌های لرزه‌زا پدیده‌هایی هستند که امواج لرزه‌ای از آن‌ها در جهت‌های مختلف گسیل شده و زمین‌لرزه از آن‌ها نشأت می‌گیرد. چشمه‌های تولیدکننده زمین‌لرزه به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند (Walker and Jackson, 2004).

بررسی نقشه‌های مربوط به گستره موردنظر نشان می‌دهد که امتداد جنوبی سامانه گسلی بم و بخش جنوبی پایانه گسلی کهورک، گسل‌های مهم منطقه و به عبارتی گسل‌های موجود در منطقه هستند. جدول ۱: گسل‌های مهم گستره مورد مطالعه.

نام گسل	راستای گسل	رفتار گسل	طول گسل (کیلومتر)
بم	شمال - شمال غرب	امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه کوچک شیب‌لغز	۶۵
کهورک	شمال - جنوب	امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه معکوس	۱۲۰

گسل بم، پس از زمین لرزه ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ میلادی با بزرگای گشتاوری ۶/۶ که بعد از وقفه لرزه‌ای ۲۰۰۰ ساله رخ داد و موجب کشته شدن حدود ۴۰۰۰۰ نفر گردید، مورد توجه قرار گرفت. ۶۵ کیلومتر طول اثر گسل با امتداد شمال - شمال غرب که از بین دو شهر بم و براوات می‌گذرد، مشخص شد. گسل بم، از دو قطعه گسلی که الگوی چپ پله‌ی هم پوشان را پدیدار می‌کنند، تشکیل شده است. قطعه شمالی، سنگ‌های بستر قبل از کواترنری را به سمت شمال بم قطع کرده و رسوبات کواترنری پسین را بین دو شهر بم و براوات جابه‌جا می‌کند. قطعه جنوبی در رسوبات آبرفتی کواترنری پسین واقع می‌گردد. یک فراگام بین قطعه شمالی و قطعه جنوبی در جنوب شرقی شهر بم وجود دارد (Fu et al., 2004). در بازدید صحرایی، پرتگاه گسلی مشخص، با ۲۰-۱۵ متر ارتفاع بین دو شهر بم و براوات گسترش یافته بود و درزهای سطحی با الگوی چپ پله‌ی هم-پوشان ظاهر شده بود که حاکی از گسلش راست‌لغز راست‌گرد در منطقه بود. بنابراین این گسل فعال دارای سازوکار امتدادلغز با مؤلفه کوچک شیب‌لغز است. به‌طور مشابه قطعه جنوبی گسل بم، پرتگاه گسلی رو به شرق را ظاهر می‌سازد که مخروط افکنه‌های آبرفتی کواترنری را جابه‌جا کرده است. محتمل است که این فراگام منطقه‌ای از انقباض بین دو گسل چپ پله تشکیل شده باشد که میدان تنش تراشارشی بر آن غالب است (Fu et al., 2004).

گسل کهورک، از شاخه‌های سامانه گسلی نه‌بندان در بخش شرقی بلوک لوت و جداکننده منطقه نه‌بندان - خاش از شرق بلوک لوت است و تا شمال آتشفشان بزمان ادامه می‌یابد. گسل کهورک در راستای شمالی جنوبی با طول ۱۲۰ کیلومتر، گسلی راست‌لغز با مؤلفه معکوس که بخش شرقی آن برخاسته است و طبق شواهد ساختاری دارای ریک ۲۵ درجه و شییبی حدود ۷۶ تا ۸۰ درجه به سمت شرق است. نرخ لغزش بر روی گسل‌های کهورک و نصرت آباد متفاوت است و حدود ۰/۶ تا ۵ میلی‌متر در سال برای هر دو گسل، تخمین زده شده است. گسل‌های شمالی - جنوبی در طول مرزهای شرقی و غربی بلوک لوت به شاخه‌هایی با امتداد تقریباً سی درجه تقسیم گردیده‌اند که این دو شاخه به ترتیب با عناوین گسل کهورک و گسل بم نام‌گذاری شده‌اند. شواهد مورفولوژیک در طول گسل کهورک بررسی گردید که با توجه به آبراهه‌های جابه‌جا شده در طول گسل، سازوکار امتداد لغز راست‌گرد و با توجه به وجود افزای‌های گسلی و قرارگیری رسوبات کرتاسه در کنار رسوبات جوان‌تر کواترنری مؤلفه معکوس این گسل تأیید گردیده است (Kobayashi et al., 2013).



شکل ۲: نقشه گسل‌های گستره مورد مطالعه و موقعیت گسل‌های مهم منطقه، بم و کهورک (ترسیم از نویسنده مسئول).  
 بررسی داده‌های لرزه‌خیزی مربوط به گستره موردنظر نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ با بزرگای ۶/۵ و ۲۷ ژانویه ۲۰۱۱ میلادی با بزرگای ۶/۲، از زمین‌لرزه‌های مهم در منطقه مطالعاتی هستند.  
 جدول ۲: زلزله‌های مهم گستره مورد مطالعه (کاتالوگ یکپارچه‌سازی شده‌ی زمین‌لرزه‌های ایران، حاصل تحقیقات Mousavi et al. (2020).

بزرگای ( $M_W$ )	عمق (Km)	طول	عرض	زمان روز/ ماه/ سال (م)
۶/۵	۱۴/۰۶	۵۹/۱۷	۲۸/۴۳	۲۰۱۰/۱۲/۲۰
۶/۲	۱۵/۰۹	۵۹/۰۱	۲۸/۰۷	۲۰۱۱/۰۱/۲۷

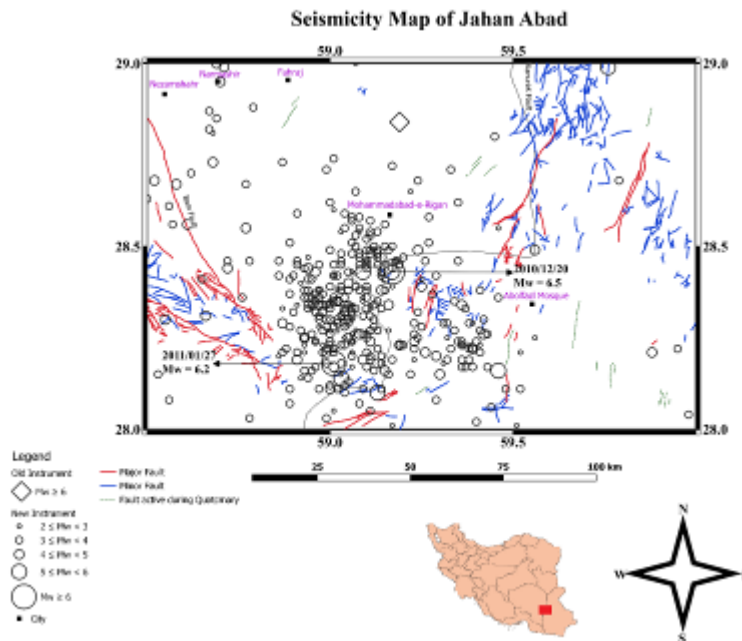
بررسی‌ها نشان می‌دهد که گسل زمین‌لرزه ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰، صفحه گسلی تقریباً عمودی با امتداد شمال شرق - جنوب غرب و حرکتی تقریباً راست‌گرد مطلق دارد که بر منطقه کشش جنوبی گسل کهورک رخ داده است (Kobayashi et al., 2013). بررسی‌های لرزه‌شناسی، تداخل سنجی و میدانی آشکار می‌سازند که این زمین‌لرزه شامل متوسط لغزش راست‌گرد

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



حدود ۳/۱ متر بر گسل عمودی با روند حدود ۲۱۰ درجه آغاز می شود و این زمین لرزه بر رأس جنوبی گسل راست گرد کهورک اتفاق افتاده است (Walker et al. 2013).

زمین لرزه ۲۷ ژانویه ۲۰۱۱ میلادی حدود ۴۰ روز پس از زمین لرزه ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ میلادی جنوب ریگان، بر گسل چپ گرد متقاطع با حدود ۳۱۰ درجه موازی با روند کوه های شهبوران و در درون منطقه تنش کولومب افزایش یافته ناشی از شوک اصلی پیشین در سال ۲۰۱۰ میلادی اتفاق افتاد و موجب لغزش حدود ۰/۶ متر گردید (Walker et al., 2013). مشخصات صفحه اصلی گسل مسبب، امتداد ۱۳۵ درجه، شیب ۸۲ درجه و ریک ۲ درجه با سازوکار امتداد لغز چپ گرد به دست آمد و این گسل، گسلی در راستای گسل بم تشخیص داده شد. این زمین لرزه نیز مانند زمین لرزه سال ۲۰۱۰ میلادی و ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ میلادی، گسلش به سطح نرسیده و گسل مسبب اثر به طور واضح قابل شناسایی در سطح زمین نبود (Walker et al., 2013).

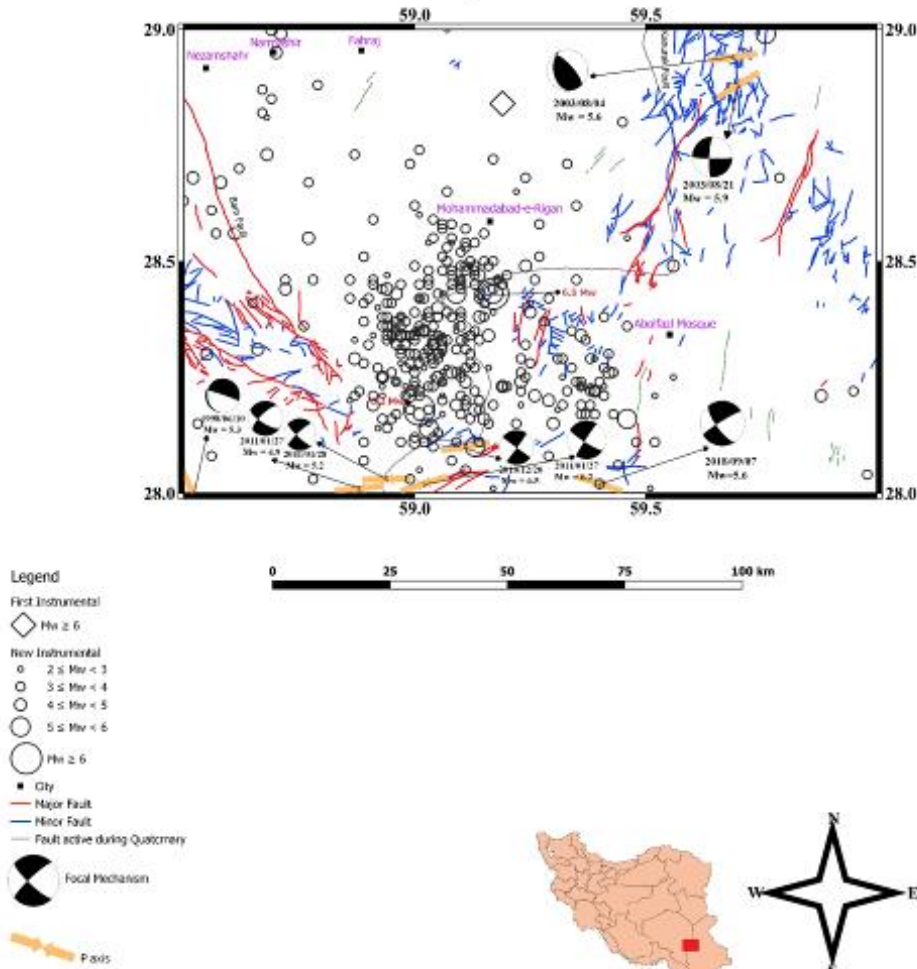


شکل ۳: نقشه لرزه خیزی گستره مورد مطالعه (ترسیم از نویسنده مسئول).

جدول ۳: فراوانی زمین لرزه ها در هر بازه بزرگای مورد نظر. (براساس کاتالوگ یکپارچه سازی شده ی زمین لرزه های ایران حاصل تحقیقات (Mousavi et al. (2020)

$M_W$	فراوانی
$2.5 \leq M_W < 3$	۲۵
$3 \leq M_W < 3.5$	۲۰۲
$3.5 \leq M_W < 4$	۸۷
$4 \leq M_W < 4.5$	۴۸
$4.5 \leq M_W < 5$	۱۴
$5 \leq M_W < 5.5$	۶
$5.5 \leq M_W < 6$	۲
$6 \leq M_W < 6.5$	۳

Seismotectonic Map of Jahan Abad



شکل ۴: نقشه لرزه‌زمین‌ساخت گستره مورد مطالعه (ترسیم از نویسنده مسئول).

### نتیجه‌گیری:

- ✓ بخشی از نوار آلپی که سطح بالایی از فعالیت‌های لرزه‌ای را نشان می‌دهد و دارای دگرشکلی منحصر به فردی است، فلات ایران است که در آن، تراکم بسیار زیاد گسل‌های جوان و فعال را شاهد هستیم.
- ✓ گستره مورد مطالعه در جنوب بلوک لوت و استان لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی - شرق ایران دارد.
- ✓ استان لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی - شرق ایران، پهنه‌ای درون صفحه‌ای است که از شمال و شمال شرق به مناطق برخوردی البرز - آذربایجان و کپه داغ، از غرب و جنوب غرب به منطقه برخورد قاره‌ای زاگرس، از جنوب شرق به منطقه فرورانش اقیانوسی - قاره‌ای مکران و از شرق به بلوک Helmand محدود است.
- ✓ بر پایه زمین‌لرزه‌های دوره نخست و جدید دستگاهی، فعال و لرزه‌خیزترین سامانه‌های گسلی در گستره مورد نظر، بخش جنوبی سامانه گسلی کهورک و امتداد جنوبی سامانه گسلی بم است.
- ✓ گسل بم با طول ۶۵ کیلومتر و متشکل از دو قطعه گسلی ست که الگوی چپ پله‌ی هم پوشان دارند و فراگامی بین قطعه شمالی و قطعه جنوبی در جنوب شرقی شهر بم وجود دارد.
- ✓ گسل بم، گسلی فعال و دارای سازوکار امتداد لغز با مؤلفه کوچک شیب لغز است.

- ✓ گسل کهورک، از شاخه‌های سامانه گسلی نهبندان در بخش شرقی بلوک لوت و جداکننده منطقه نهبندان - خاش از شرق بلوک لوت است و تا شمال آتشفشان بزمان ادامه می‌یابد.
- ✓ گسل کهورک در راستای شمالی جنوبی با طول ۱۲۰ کیلومتر، گسلی راست‌لغز با مؤلفه معکوس است.
- ✓ زمین‌لرزه ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ و زمین‌لرزه ۲۷ ژانویه ۲۰۱۱ میلادی در جنوب ریگان، از زمین‌لرزه‌های مهم گستره مورد مطالعه هستند.
- ✓ گسل مسبب زمین‌لرزه ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰، صفحه گسلی تقریباً عمودی با امتداد شمال شرق - جنوب غرب و حرکتی تقریباً راست‌گرد مطلق دارد که بر منطقه کشش جنوبی گسل کهورک رخ داده است.
- ✓ صفحه اصلی گسل مسبب زمین‌لرزه ۲۷ ژانویه ۲۰۱۱ میلادی، با امتداد ۱۳۵ درجه، شیب ۸۲ درجه و ریک ۲ درجه و سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد به‌دست آمد و این گسل، گسلی در راستای گسل بم تشخیص داده شد.
- ✓ در حالت کلی، گسل‌های منطقه، قابلیت دید در سطح زمین را ندارند و با بررسی‌های لرزه‌شناسی، تداخل سنجی و میدانی، شناسایی می‌شوند.
- ✓ گستره مورد مطالعه از نظر لرزه‌خیزی جزء مناطق بسیار فعال می‌باشد که برای ساخت‌وساز نیاز به برنامه‌ریزی اساسی دارد.

#### منابع:

- آقائباتی، س.ع.، افتخارنژاد، ج.، صمیمی نمین، م.، ارشدی، س.، جمشیدی، خ.، حدادان، م.، افشاریانزاده، ع.، قماش، ع.، ۱۳۷۰، چهارگوش ۲۵۰۰۰: ۱ زمین‌شناسی جهان‌آباد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Berberian, M. and King G.C.P., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Can. J. Earth Sci.*, 18, 210-265.
- Davoudzadeh, M., Sofel, H., and Schmidt, K., 1981, On The Rotation of the Central-east Iran microplate, *No Ib, Gol. Palant. Mh.* (3), 08-192.
- Dziewonski, A. M., T.-A. Chou and J. H. Woodhouse, Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.*, 86, 2825-2852, 1981. doi:10.1029/JB086iB04p02825
- Ekström, G., M. Nettles, and A. M. Dziewonski, The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 200-201, 1-9, 2012. doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002
- Fu, B., Ninomiya, Y., Lei, X., Toda, S., and Awata, Y., 2004, Mapping active fault associated with the 2003 Mw 6.6 Bam (SE Iran) earthquake with ASTER 3D images, *Remote Sensing of Environment* 92, 153-157.
- Kobayashi, T., Tobita, M., Suzuki, A., and Noguchi, Y., 2013, InSAR-derived Coseismic Deformation of the 2010 Southeastern Iran Earthquake (Mw=6.5) and its Relationship with the Tectonic Background in the South of Lut Block, *Bulletin of the Geospatial Information Authority of Japan*, Vol.60.
- Mirzaei, N., Mengtan, G., and Yuntai, C., 1998, Seismic Source Regionalization for Seismic Zoning of Iran: Major Seismotectonic Provinces, *Journal of Earthquake Prediction Research* 7, 465-495.
- Stocklin, J., 1977, Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia, *Memoire Hors - Serie*, No. 8 de la soc. Geol. De. France, 8, 333-353.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004, Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.* 157, 381-398.
- Walker, T.R., Bergman, E.A., Elliot, J.R., Fielding, E.J., Ghods, A., Ghorraishi, M., Jackson, J., Nazari, H., Nemati, M., Oversi, B., Talebian, M. and Walters, R.J., 2013, The 2010-2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran, *Geophys. J. Int.* 193, 349-374.
- Walker, T.R. and Jackson, J., 2004, Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *TECTONICS*, Vol. 23, TC5010.

## برآورد پارامترهای هندسی و دینامیکی زمین لرزه‌های روی داده در شمال ایران

علی شکری<sup>۱</sup>، احمد رشیدی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

<sup>۲\*</sup> استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

rashidi@iiees.ac.ir

### چکیده:

در این پژوهش طیف بسامدی ۴۲ زمین لرزه ( $M_n \geq 4.5$ ) دستگاهی روی داده در شمال ایران (۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰) بررسی شدند. امواج لرزه‌ای این زمین لرزه‌ها توسط شبکه لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ثبت شده‌اند. براساس محاسبات انجام شده، این زمینلرزه‌ها دارای بزرگای گشتاوری ( $M_w$ ) بین ۴/۳ تا ۵/۵ ریشتر، گشتاور لرزه‌ای بین  $1.07E+18$  (N.m) تا  $3.24E+17$  (N.m)، افت تنش بین ۲/۶ تا ۲۵۶/۱ بار، و نسبت بسامد گوشه فازهای P,S آنها از ۰/۵۸ تا ۲/۱۳ هرترز می‌باشند. بیشترین مقدار افت تنش روی داده در منطقه ۲۵۶/۱ بار، مربوط به زمینلرزه رازمیان قزوین است. افت تنش این زمینلرزه بیشتر از ۴۱ برابر میانگین آن برای زمینلرزه‌های دیگر (۲۱/۹۲ بار) می‌باشد.

**کلیدواژه:** زمین لرزه، طیف بسامدی، افت تنش، البرز، شمال ایران.

## Estimation of geometric and dynamic parameters of earthquakes in northern Iran

Ali Shokri<sup>1</sup>, Ahmad Rashidi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M. Sc, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

<sup>2\*</sup> Assistant Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

### Abstract

In this study, the frequency spectrum of 42 instrumental earthquakes ( $M_n \geq 4.5$ ) in the north of Iran (2004-2020) were investigated. The seismic waves of these earthquakes were picked up by the broadband seismic network of the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. According to the calculations, magnitude of the earthquakes moment ( $M_w$ ) are 4.3 to 5.5 Richter, seismic moment are  $1.07E + 18$  (N.m) to  $3.24E + 17$  (N.m), stress drop are between 2.6 to 256.1 Bar, and the corners frequency ratio of PS phases are from 0.58 to 2.13 Hz. The maximum amount of stress drop in the area obtained 256.1 Bar which is related to the Razmian earthquake in the Qazvin area. The stress drop of this earthquake is more than 41 times of the average stress drop for other earthquakes (21.92 Bar).

**Keywords:** Earthquake, Frequency Spectrum, Stress Drop, Alborz, Northern Iran.

### مقدمه:

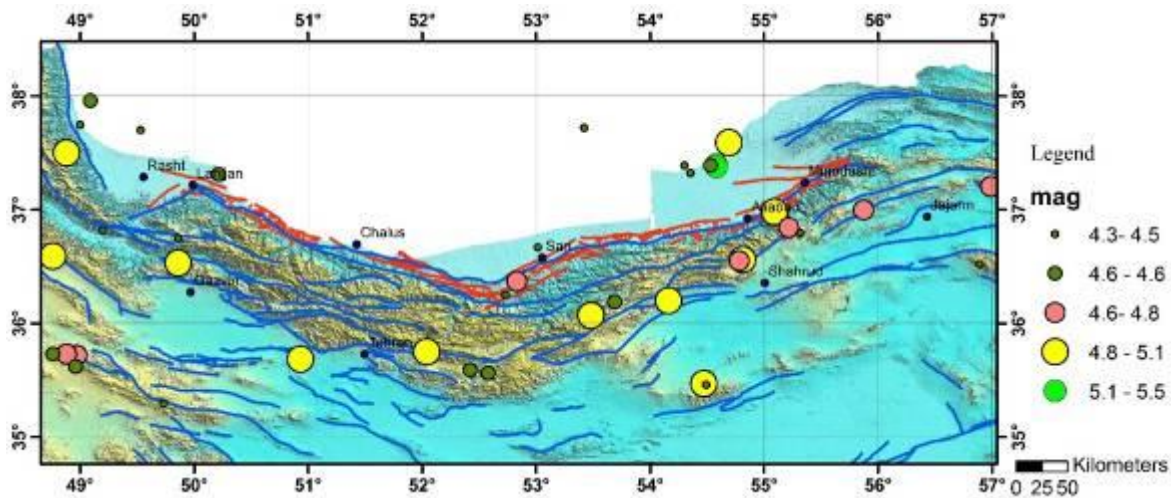
در ۱۶ سال اخیر، ۴۲ زمین لرزه با بزرگای  $M_n \geq 4.5$  در شمال ایران در زیر زون‌های البرز، بخش شمالی ایران مرکزی و تالش روی داده‌اند. گسل‌های خزر، رودبار، آستارا، آوج، مشاء، آستانه، فیروزکوه، بشم، جاجرم، عطاری، دامغان، میامی، ترود، اشتهارد، رویان، ساری می‌توانسته‌اند چشمه رخداد این زمینلرزه‌ها باشند. در این مطالعه با بررسی پارامترهای چشمه زمینلرزه‌ها مانند ابعاد چشمه شکستگی ( $S_r$  or  $r$ )، افت تنش ( $St$  یا  $\Delta\sigma$ )، گشتاور لرزه-ای ( $M_0$ )، بزرگای گشتاوری ( $M_w$ )، فرکانس گوشه ( $f_c$  یا  $f_0$ )، دامنه بخش تخت طیف ( $OM$ )؛ می‌توان به بررسی سنجش زمینلرزه‌ها و چشمه‌های آنها پرداخت. برای برآورد پارامترهای مدنظر، طیف‌های بسامدی پرتوهای P و S

زمینلرزه‌ها در مؤلفه‌های خاوری - باختری، شمالی - جنوبی و قائم در ایستگاه‌هایی که شکل موج خوبی را ثبت کرده بودند، مورد بررسی قرار گرفتند. بیشترین بازماند (RMS) زمانی این زمینلرزه‌ها ۰/۸ ثانیه، ژرفای کانونی آنها از ۶ تا ۴۰ کیلومتر و گستره بزرگی این زمینلرزه‌ها  $4.5 \leq M_N \leq 6$  می‌باشد. در شکل (۱) و جدول (۱) مشخصات این زمینلرزه‌ها آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات زمینلرزه‌های روی داده در گستره شمال ایران (۲۰۰۴-۲۰۲۰) با بزرگای  $M_N \geq 4.5$ .

ID	Date	Origin-Time	Lat.	Long.	Depth-km	Mw
1	2004/10/07	21:46:15	37.4	54.58	17	5.5
2	2004/10/08	13:45:49	37.39	54.53	15	4.6
3	2004/10/17	21:31:03	35.62	48.96	17	4.6
4	2004/11/08	20:03:19	35.73	48.88	15	4.7
5	2005/01/10	18:47:26	37.38	54.58	15	5.2
6	2005/11/29	05:57:03	37.59	54.69	15	4.9
7	2006/11/05	20:06:40	37.5	48.88	14	5
8	2008/03/23	12:11:32	37.45	48.52	38	4.8
9	2008/03/26	18:49:55	36.25	52.73	14	4.5
10	2008/05/27	06:18:04	36.59	48.76	14	5
11	2010/03/04	03:24:23	37.39	54.3	18	4.3
12	2010/08/27	19:23:48	35.46	54.49	14	4.5
13	2010/08/28	00:29:04	35.47	54.47	15	4.9
14	2010/10/22	08:00:38	37.96	49.09	15	4.6
15	2011/07/26	04:04:11	36.52	56.89	6	4.5
16	2011/08/11	22:32:17	36.56	54.81	8	5
17	2012/01/11	17:08:01	36.37	52.83	16	4.8
18	2012/02/04	20:04:14	37.7	49.53	40	4.4
19	2012/02/10	08:59:40	35.59	52.42	14	4.6
20	2012/03/18	02:38:16	36.82	49.2	14	4.5
21	2013/03/21	19:37:05	36.19	53.69	14	4.6
22	2013/10/16	08:49:32	35.29	49.73	6	4.5
23	2014/09/06	21:34:22	36.55	54.78	17	4.8
24	2015/03/02	06:08:41	35.73	48.76	17	4.6
25	2015/05/10	22:08:58	36.75	49.86	16	4.5
26	2015/08/25	17:36:34	35.563	52.579	17	4.6
27	2015/09/15	17:35:50	37.322	54.352	17	4.5
28	2016/12/27	20:56:20	36.997	55.871	6	4.7
29	2017/12/05	15:27:16	37.311	50.214	23	4.6
30	2017/12/20	19:57:37	35.686	50.932	14	4.9
31	2018/03/18	02:53:15	36.797	55.314	15	4.5
32	2018/07/17	03:58:31	37.203	56.985	6	4.8
33	2018/08/16	06:41:51	36.843	55.216	15	4.7
34	2018/09/22	22:34:44	36.67	53.014	16	4.5
35	2019/01/25	13:47:07	37.746	48.997	15	4.5
36	2019/07/04	06:27:33	36.2	54.16	10	5
37	2019/09/16	16:58:48	36.53	49.86	10	5
38	2020/05/07	20:18:22	35.75	52.04	10	5
39	2020/07/04	17:30:06	37.72	53.42	10	4.5
40	2020/09/06	21:34:24	36.98	55.09	10	5.1
41	2020/09/13	03:04:40	36.07	53.48	10	4.8
42	2020/10/24	11:34:17	35.72	48.97	10	4.8





شکل (۱): کانون رومرکز زمین‌لرزه‌های روی داده ( $M_w \geq 4.5$ ) (۲۰۰۴-۲۰۲۰) به همراه گسل‌های فعال منطقه.

### روش مطالعه:

برای محاسبه پارامترهای هندسی و دینامیکی زمین‌لرزه‌های روی داده در منطقه از شکل موج زمین‌لرزه‌های دریافت شده از سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (<http://www.iiees.ac.ir>) استفاده شد. با استفاده از نرم افزار سایزن ۸.۳ (Havskov and Ottermoller, 2005) شکل موج زمینلرزه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با بررسی بیش از ۸۹۸ نگاشت بسامدی قابل قبول، پارامترهای مورد نظر محاسبه شدند.

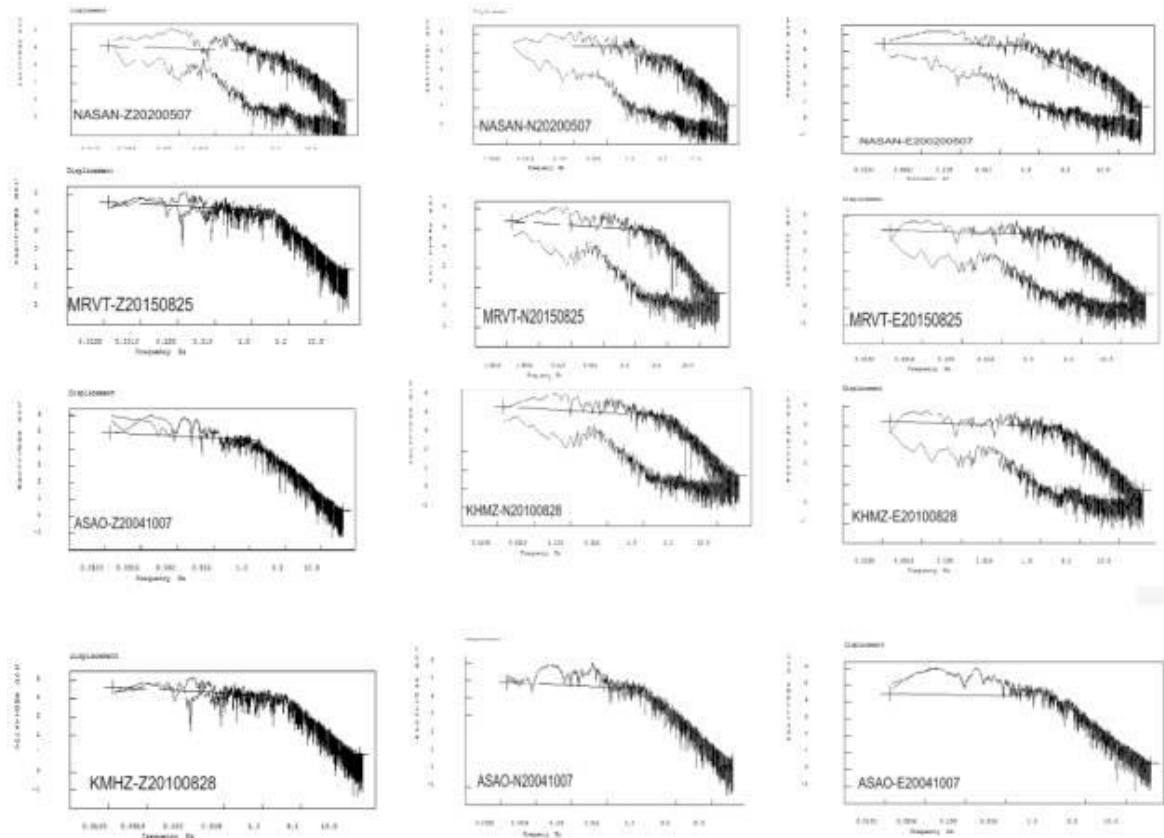
در فرآیند برآورد طیف بسامدی، باید پاسخ دستگاهی از نگاشت زمینلرزه‌ها برداشته شود (Modiano and Hatzfeld, 1982). پردازش‌ها با برداشتن پاسخ دستگاهی و ساختن نگاشت جابجایی از سرعت نگاشت‌ها آغاز شده و سپس طیف‌های بسامدی برای پرتوهای P و S در مؤلفه‌های خاوری - باختری (E-W)، شمالی - جنوبی (N-S) و قائم (Z) برآورد می‌شوند. این نگاشت‌های بسامدی با بکارگیری تبدیل فوریه (FFT) از نگاشت‌های جابجایی بدست می‌آیند. همچنین با بکارگیری رابطه‌های ریاضی می‌توان فرکانس گوشه موج‌های P, S، گشتاور نرده‌ای ( $M_0$ (dyn.cm)) و افت تنش ( $\Delta\sigma$ (dyn.cm<sup>2</sup>)) را به ترتیب براساس مطالعات ماداری آگا (Madariaga, 1976)، برنه و هواسکو (Havskov, 2005; Stein and Wysession, Brnne, 1970) (2003 برآورد کرد.

در این پژوهش در برآورد پارامترهای چشمه مانند الگوی مدی‌آنو و هاتزفلد (Modiano and Hatzfeld, 1982) عمل شده است. برای برآورد پارامترهای طیفی مدل ماداری آگا (Madariaga, 1976) به کار برده شده و از آنها میانگین‌گیری صورت گرفته است.

### بحث:

طیف‌های بسامدی پرتوهای P و S تمام ۴۲ زمین‌لرزه لیست شده در جدول (۱) در سه مؤلفه (خاوری - باختری، شمالی - جنوبی و قائم) در ایستگاه‌هایی که شکل موج مناسبی داشتند، برآورد شد. از میان آن‌ها طیف بسامدی ۴ زمینلرزه به صورت نمونه در شکل (۲) آورده شده است. طیف‌های بسامدی این زمینلرزه‌ها (۴۲ زمینلرزه مورد بررسی) در محدوده ۰/۱- تا ۱۰ هرتز جای دارند. اختلاف بسامد گوشه یک زمینلرزه که در ایستگاه‌های مختلف برداشت شده است (هرچند اندک باشد) می‌تواند پیامد تغییرات آزمایشی پرتوهای که به آن ایستگاه‌ها می‌رسند، باشد (Savage, 1974; Madariaga, 1976; Modiano and Hatzfeld, 1982). همچنین با نگاهی به شکل (۲) می‌توان دریافت، وابستگی زیادی میان طول نگاشتی پرتو

که برای برآورد طیف انتخاب شده است و شکل ظاهری طیف دیده نمی‌شود. به بیان دیگر شکل طیف تقریباً مستقل از طول نگاشت می‌باشد. یک بخش تخت و همچنین یک بخش شیبدار در همه آنها دیده می‌شود. هرچه بزرگی زمینلرزه بیشتر باشد  $\Omega_0$  بیشتر و درازای بخش تخت طیف کمتر خواهد بود (چون فرکانس گوشه کوچکتر خواهد بود) (Modiano and Hatzfeld, 1982). همانگونه که در شکل (۲) دیده می‌شود، بسامد  $f_2$  برای همه زمینلرزه‌های برداشت شده (که ۴ نمونه در شکل (۲) آورده شده است) با همه دستگاه‌ها یکسان است. انتظار می‌رود که دامنه نوفه (Noise) در بسامدهای بیشتر از  $f_3$  و کمتر از  $f_2$  در نگاشت‌ها بیشتر از دامنه پرتوهای (Signal) زمینلرزه باشد. این روند در نگاشت‌ها به خوبی دیده می‌شود.



شکل (۲): مثال‌هایی از طیف‌های بسامدی: پرتوهای S,P در مؤلفه‌های خاوری - باختری (تصاویر سمت راست)، مؤلفه‌های شمالی - جنوبی (تصاویر میانه)، مؤلفه‌های قائم (تصاویر سمت چپ) برای زمینلرزه‌های ۲۰۲۰۰۵۰۷، ۲۰۱۵۰۸۲۵، ۲۰۰۴۱۰۰۷، ۲۰۱۰۰۸۲۸.

جدول ۲- پارامترهای دینامیکی بدست آمده برای ۴۲ زمینلرزه رخ داده در طی ۱۶ سال اخیر با استفاده از نگاشت بسامدی (F0: فرکانس گوشه، OM: دامنه بخش تخت طیف، Sr: ابعاد چشمه شکستگی، ST: افت تنش، M0: گشتاور لرزه‌ای، Mw: بزرگای گشتاوری).

Number	Date	Time	Late.	Long.	F0 (Hz)	OM	Sr (km)	ST (bar)	M0 (N.m)	Mw
1	2004/10/07	21:46:15	37.4	54.58	0.5844	4.61	4.166	21.92	17.4	5.5
2	2004/10/08	13:45:49	37.39	54.53	1.119	3.4	2.4196	6.56	16	4.6
3	2004/10/17	21:31:03	35.62	48.96	1.173	3.84	2.0764	7.3	16.04	4.6
4	2004/11/08	20:03:19	35.73	48.88	0.873	3.93	2.9156	15.54	8.72	4.7
5	2005/01/10	18:47:26	37.38	54.58	1.638	3.29	2.7928	5.049	8.35	5.2
6	2005/11/29	5:57:03	37.59	54.69	1.016	3.75	2.0169	25.16	15.02	4.9
7	2006/11/05	20:06:40	37.5	48.88	1.008	4	2.1283	26.78	15.7	5
8	2008/03/23	12:11:32	37.45	48.52	1.39	3.92	1.7	30.95	16.2	4.8
9	2008/03/26	18:49:55	36.25	52.73	1.55	3.51	1.59	17.47	15.87	4.5
10	2008/05/27	6:18:04	36.59	48.76	1.47	4.11	1.94	64.73	16.57	5
11	2010/03/04	3:24:23	37.39	54.3	1.32	3.1	1.86	4.51	15.6	4.3
12	2010/08/27	19:23:48	35.46	54.49	13.92	3.73	0.34	1	8.57	4.5
13	2010/08/28	0:29:04	35.47	54.47	5.42	3.92	1.2715	11.3554	8.07	4.9
14	2010/10/22	8:00:38	37.96	49.09	1.71	3.4	1.6214	13.2625	8.28	4.6
15	2011/07/26	4:04:11	36.52	56.89	0.92	3.56	2.56	8.9	16.48	4.5
16	2011/08/11	22:32:17	36.56	54.81	0.75	4.06	3.38	9.07	16.6	5
17	2012/01/11	17:08:01	36.37	52.83	1.14	3.83	2.1	12.26	16.34	4.8
18	2012/02/04	20:04:14	37.7	49.53	1.73	3.08	1.43	7.42	15.4	4.4
19	2012/02/10	8:59:40	35.59	52.42	1.71	3.63	1.38	25.9	15.05	4.6
20	2012/03/18	2:38:16	36.82	49.2	2.13	3.69	1.39	24.6	15.79	4.5
21	2013/03/21	19:37:05	36.19	53.69	1.66	3.3	1.5	12.12	14.95	4.6
22	2013/10/16	8:49:32	35.29	49.73	4.52	3.27	1.36	19.5552	6.87	4.5
23	2014/09/06	21:34:22	36.55	54.78	1.03	3.87	2.07	7.52	16.29	4.8
24	2015/03/02	6:08:41	35.73	48.76	1.42	3.78	1.62	9.2	15.89	4.6
25	2015/05/10	22:08:58	36.75	49.86	1.25	3.52	1.9	6.61	14.75	4.5
26	2015/08/25	17:36:34	35.563	52.579	0.79	3.64	3	2.35	16.09	4.6
27	2015/09/15	17:35:50	37.322	54.352	0.88	3.18	2.66	2.06	15.74	4.5
28	2016/12/27	20:56:20	36.997	55.871	1.27	3.94	1.9	10.96	15.17	4.7
29	2017/12/05	15:27:16	37.311	50.214	1.27	3.7	2.068	6.78	15.86	4.6
30	2017/12/20	19:57:37	35.686	50.932	0.925	4.47	1.76	16.63	16.48	4.9
31	2018/03/18	2:53:15	36.797	55.314	1.012	3.15	2.675	0.798	15.54	4.5
32	2018/07/17	3:58:31	37.203	56.985	1.087	4.07	2.1417	6.3409	8.7	4.8
33	2018/08/16	6:41:51	36.843	55.216	1.471	3.55	1.8512	17.8887	15.84	4.7
34	2018/09/22	22:34:44	36.67	53.014	1.311	2.78	1.6333	25.0109	15.22	4.5
35	2019/01/25	13:47:07	37.746	48.997	1.4	3.32	1.5609	5.5	15.58	4.5
36	2019/07/04	6:27:33	36.2	54.16	0.638	3.68	3.7994	3.98	16.46	5
37	2019/09/16	16:58:48	36.53	49.86	1.7	3.78	1.6101	256.1	16.63	5
38	2020/05/07	20:18:22	35.75	52.04	0.939	3.96	2.8047	2.8883	8.9	5
39	2020/07/04	17:30:06	37.72	53.42	0.944	3.46	2.5926	3.3897	8.25	4.5
40	2020/09/06	21:34:24	36.98	55.09	1.095	4.07	2.0363	7.7845	9.18	5.1
41	2020/09/13	3:04:40	36.07	53.48	1.036	3.94	2.5884	3.6952	8.95	4.9
42	2020/10/24	11:34:17	35.72	48.97	1.139	4.81	1.9174	9.8627	9.71	4.8

#### نتیجه گیری:

براساس محاسبات انجام شده، زمین‌لرزه‌های دستگاهی روی داده در شمال ایران در طی ۱۶ سال اخیر دارای بزرگای گشتاوری (Mw) بین ۴/۳ تا ۵/۵ ریشتر، گشتاور لرزه‌ای بین  $1.07E+18$  (N.m) تا  $3.24E+17$  (N.m)، افت تنش بین ۲/۶ تا ۲۵۶/۱ بار، و نسبت بسامد گوشه فازهای P,S آنها از ۰/۵۸ تا ۲/۱۳ هرتز می‌باشند. در گستره شمال ایران (چارچوب مدنظر) بیشترین مقدار افت تنش در ۱۶ سال اخیر مربوط به زلزله ۲۰۱۹/۰۹/۱۶ در البرز باختری است که نشان‌دهنده بیشترین انرژی آزاد شده از نیروی جمع شده در سطح گسل در البرز باختری می‌باشد. مقدار افت تنش این زمینلرزه (۲۵۶/۱ بار) بسیار بیشتر از میانگین آن برای ۴۱ زمینلرزه دیگر (۲۱/۹۲ بار) است.

#### منابع:

- Brune, J. N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of Geophysics* 75, 4997-5009.
- Havskov, J., 2005. Q and spectral analysis in SEISAN, version 8.1 ([www.geo.uib.no/Seismologi/SOFTWARE](http://www.geo.uib.no/Seismologi/SOFTWARE)).
- Madariaga, R., 1976. Dynamics of an expanding circular fault. *Bulletin of the Seismological Society of America* 66, 639-666.
- Modiano, T., Hatzfeld, D., 1982. Experimental Study of the Spectral Content for Shallow Earthquakes: *Bulletin of the Seismological Society of America* 72 (5), 1739-1758.
- Savage, J. C., 1974. Relation between P- and S-wave corner frequencies in the seismic spectrum. *Bulletin of the Seismological Society of America* 64, 1621-1627.
- Stein, S., Wysession, M., 2003. *An Introduction to Seismology: Earthquakes and Earth Structure*, Blackwell Publishing. ISBN 0-86542-078-5.

## تأثیر فرایندهای رسوبی و دیاژنزی بر توزیع واحدهای مخزنی سازند سروک در

### میادین فروافتادگی دزفول، جنوب غرب ایران

جواد سبحانی فروشانی<sup>۱\*</sup>، حمزه مهرابی<sup>۱</sup>، حسین رحیم پور بناب<sup>۱</sup>

دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Sobhani.javad@ut.ac.ir

#### چکیده:

سازند سروک در چرخه رسوبی کرتاسه میانی همزمان با تغییرات سطح آب دریا و فعالیت های زمین ساختی روی داده در حاشیه شمال شرقی صفحه عربی، در بخش های مختلف حوضه رسوبی زاگرس و خلیج فارس بر روی یک سکوی کربناته کم عمق نهشته شده است. این سازند به دلیل میزبانی از حجم عظیمی از هیدروکربور یکی از مهم ترین سنگ مخزن های میادین هیدروکربوری جنوب غرب ایران به شمار می رود. عوامل رسوبی و دیاژنزی، سازند سروک را به شدت تحت تأثیر قرار داده اند. این تغییرات منجر به تغییر ویژگی های مخزنی و ایجاد ناهمگنی های متعدد در آن شده است. مطالعه حاضر از تلفیق نتایج بدست آمده از مطالعه های سنگ نگاری (رخساره و دیاژنزی) با داده های پتروفیزیکی و مخزنی (تخلخل-تراوایی مغزه و نمودارهای چاه پیمایی) به منظور بررسی این عوامل و کنترل آن ها بر توزیع کیفیت مخزنی در سازند سروک استفاده نموده است. استفاده از روش شاخص زون جریان (FZI) منجر به شناسایی ۱۰ واحد جریانی هیدرولیکی گردید. زون بندی مخزن براساس روش لورنز صورت گرفت و ۱۲ زون مخزنی و غیرمخزنی (بافلی و سدی) در این سازند تفکیک گردید. در نهایت، رخساره های غالب و فرآیندهای دیاژنزی رایج در واحدهای جریانی و زون های مخزنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان می دهند که رخساره های رودیستی متعلق به واریزه های ریفی و رخساره های دانه غالب پشته های زیرآبی با غلبه فرآیندهای دیاژنزی جوی نظیر انحلال گسترده، با کیفیت ترین افق های مخزنی را در سازند سروک پدید آورده اند. از دیدگاه چینه نگاری سکانسی، این واحدهای مخزنی اغلب در بسته های رسوبی پس رونده و در زیر مرزهای ناپیوستگی ناشی از رخنمون های قدیمه تمرکز یافته اند.

**کلیدواژه ها:** سازند سروک، رخساره، دیاژنزی، واحدهای جریانی هیدرولیکی، رخساره های الکتریکی، ناهمگنی های مخزنی

## Controls of depositional and diagenetic processes on the distribution of reservoir units in the Sarvak Formation, Dezful Embayment, SW Iran

Javad Sobhani Foroshani, Hamzeh Mehrabi, Hossain Rahimpour-Bonab

### Abstract

The Sarvak Formation was deposited on shallow-marine carbonate platforms under the controls of tectonic and eustatic changes during the Upper Cretaceous in the Zagros area and the Persian Gulf. It forms one of the most important reservoir intervals in the SW Iran. Complex depositional setting and diagenesis history have resulted in a heterogeneous carbonate reservoir. This study, integrates the results of petrographic (facies and diagenesis) studies with petrophysical and reservoir data (core porosity-permeability and wireline logs) to evaluate the controls of depositional and diagenetic processes on the distribution of reservoir quality in the Sarvak Formation. The FZI method has resulted in the recognition of 10 hydraulic flow units. For reservoir zonation, the Lorenz approach was adopted and 12 reservoir and non-reservoir (baffle and barrier) zones were identified. Finally, dominant depositional facies and diagenetic alterations are evaluated in each HFU and reservoir zone. Results of this study show that meteorically-dissolved rudist-dominated facies and high-energy facies of shoal complexes form the best reservoir units in the Sarvak Formation. In sequence stratigraphic point of view, these zones are located in the RSTs of sequences, beneath the unconformity (paleoexposure) surfaces.

#### مقدمه

در مطالعه‌های مخازن هیدروکربوری، ارائه یک مدل دقیق و قابل قبول از مخزن، مدنظر است تا پیچیدگی‌ها و ناهمگنی‌های مخازن قابل درک باشند. مخازن کربناته اصولاً پیچیده هستند و در جهت‌های مختلف (جانبی و عمودی) ناهمگن می‌باشند. این ناهمگنی‌ها بامنشأ رسوبی، دیاژنزی و زمین‌ساختی در خصوصیات رسوبی رخساره‌ها و در شاخص‌های پتروفیزیکی قابل مشاهده هستند (Lucia, 2007; Ahr, 2008; Gomes et al., 2008).

تحولات و رخداد‌های زمین‌شناسی کرتاسه میانی در حوضه زاگرس، همزمان با تشکیل سازند سروک، تاریخچه رسوبی و دیاژنزی این سازند را تحت تأثیر قرارداده و سبب شده این توالی‌ها دستخوش تغییرات مهم باشدت وضع‌های متفاوت گردد که نهایتاً این تغییرات منجر به تغییر ویژگی‌های مخزنی آن شده است (Rahimpour-Bonab et al. 2012; Mehrabi and Rahimpour-Bonab et al., 2017). از این رو، این سازند به دلیل تغییرات رخساره‌ای و نیز قرار گرفتن در معرض رخنمون‌های تحت‌الجوی و فرایندهای وابسته به آن، در جهت‌های جانبی و عمودی و در مقیاس‌های مختلف بسیار ناهمگن و پیچیده است و از واحدهای متخلخل و تراوا تا سدهای درون‌مخزنی تشکیل شده است (Rahimpour-Bonab et al., 2013; Esrafil-Dizaji et al., 2015; Hajikazemi et al., 2017). وجود این ناهمگنی‌ها و تغییرات کیفیت مخزنی، سبب می‌شود که تعیین واحدهای جریانی و بحث در مورد عوامل موثر بر ایجاد و توزیع آن‌ها در حجم مخزن ضروری باشد. بنابراین در این مطالعه سعی شده است، فرایندهایی که در ایجاد واحدهای مختلف جریانی در سازند سروک در میدان‌های واقع در بخش‌های مرکزی و جنوبی فروافتادگی دزفول تأثیرگذار بوده‌اند، شناسایی و مورد تحلیل قرار بگیرند.

#### روش مطالعه

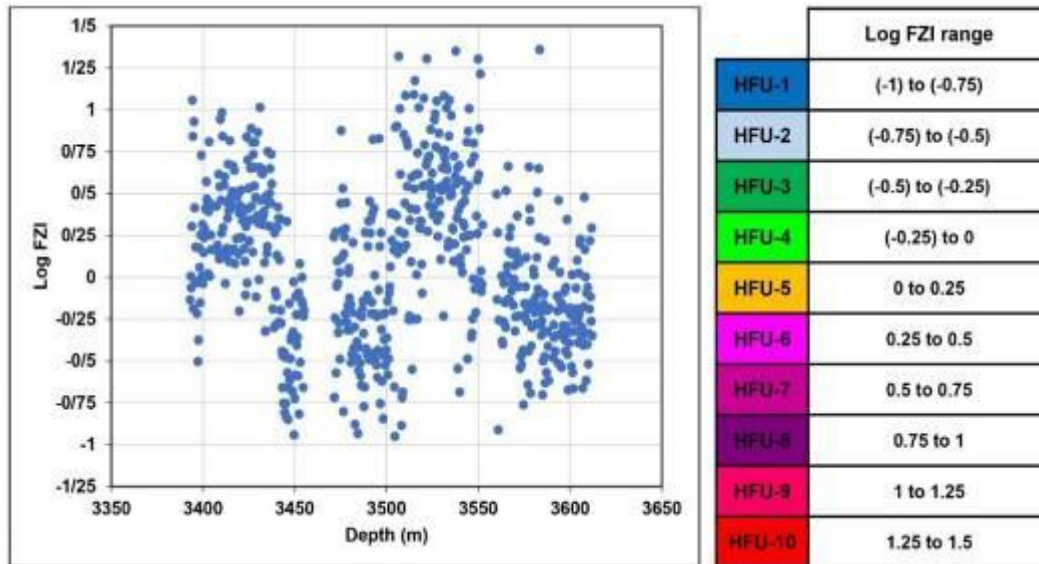
به منظور دستیابی به اهداف این مطالعه، از نمودارهای پتروفیزیکی شامل نمودارهای صوت (DT)، نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB) و اشباع آب (SW) و داده‌های تخلخل-تراوایی حاصل از تجزیه و تحلیل مغزه‌های حفاری، به ترتیب برای تعیین رخساره‌های الکتریکی (از روش خوشه‌بندی گرافیکی چندتفکیکی (MRGC) در نرم‌افزار ژئولاگ) و واحدهای جریانی هیدرولیکی (از روش‌های نشانگر زون جریانی، نمودار چینه‌ای اصلاح‌شده لورنز و وینلند) استفاده شده است. جهت بررسی تأثیر فرایندهای رسوبی و دیاژنزی بر نحوه توزیع و گسترش واحدهای مختلف جریانی، رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی به دقت مورد بررسی قرار گرفته‌اند و به نقش هر یک از عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی در چارچوب چینه‌نگاری سکاسی پرداخته شده است. از همین رو، مطالعه‌های سنگ‌نگاری بر روی ۴۴۲ عدد مقطع نازک میکروسکوپی (تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری) همراه با تجزیه و تحلیل تصاویر میکروسکوپی، مورد استفاده قرار گرفته است. نام‌گذاری سنگ‌های کربناته براساس رده بندی دانهام (Dunham, 1962) و نیز امری و کلوان (Embry and Klovan, 1971) انجام شده، سپس ریزرخساره‌های تعیین شده با ریزرخساره‌های استاندارد فلوگل (Flügel, 2004) مطابقت داده شده‌اند. به منظور تعیین سکاس‌های رسوبی از روش پیش‌رونده-پس‌رونده (T-R) استفاده شده است (Embry, 2002).

#### نتایج

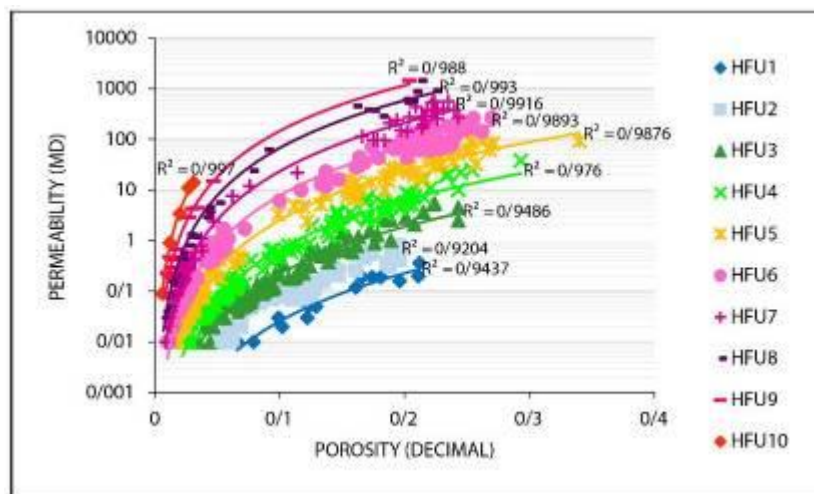
##### - واحدهای جریانی هیدرولیکی

در روش نشانگر زون جریانی (FZI)، با استفاده از رسم نمودار مقادیر لگاریتم FZI در برابر عمق برای بدست آوردن تعداد بهینه واحدهای جریانی در چاه B-1، برپایه نحوه توزیع داده‌های FZI، تعداد ۱۰ واحد جریانی هیدرولیکی در این چاه شناسایی گردید (شکل ۱). همچنین در شکل ۲، نمودار تراوایی در برابر تخلخل برای ۱۰ واحد جریانی هیدرولیکی مذکور نشان داده شده است.

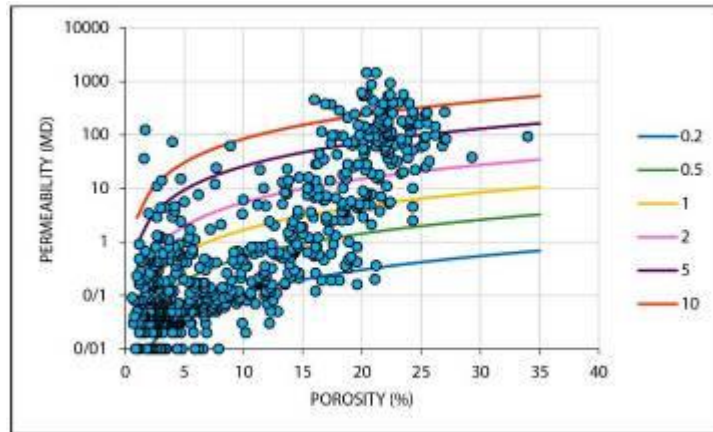
داده‌های تخلخل و تراوایی هر کدام از واحدهای جریان هیدرولیکی نشان می‌دهند که ویژگی‌های سیستم منافذ در هر واحد جریان هیدرولیکی مشابه بوده و از یک روند مشخص پیروی می‌کنند که با روند واحدهای جریان هیدرولیکی دیگر بر روی نمودار تخلخل و تراوایی متفاوت است. همانطور که در شکل‌های 1 و ۲ مشاهده می‌شود، شاخص کیفیت مخزنی از HFU-10 به سمت HFU-1 کاهش می‌یابد.



شکل ۷. نمودار مقادیر لگاریتم FZI در برابر عمق به منظور تعیین دامنه تغییرات مقادیر FZI و مشخص نمودن تعداد بهینه واحدهای جریان هیدرولیکی در روش نشانگر زون جریان در چاه B-1



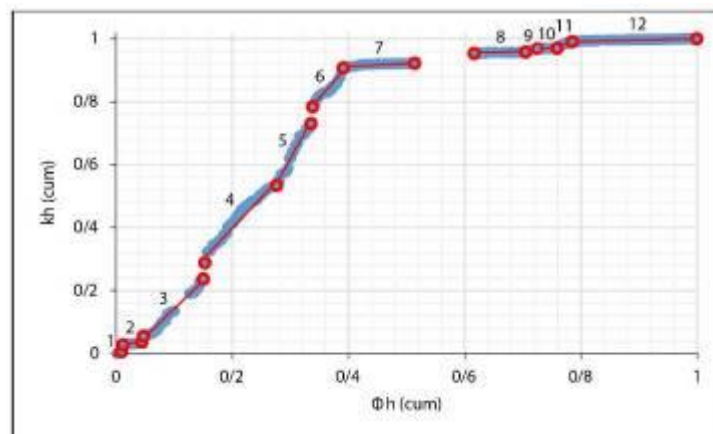
شکل ۸. واحدهای جریان هیدرولیکی مشخص شده از روش نشانگر زون جریان براساس رابطه تخلخل و تراوایی در چاه B-1 براساس معادله وینلند و باتوجه به شکل ۳، واحدهای جریانی در اشباع جیوه ۳۵ درصد، تعیین شد. بدین ترتیب هفت واحد جریانی شناسایی شد که عبارت‌اند از: واحد جریانی یک: واحدهای با منافذ کوچکتر از ۰,۲ میکرون، واحد جریانی دو: واحدهای با منافذ بین ۰,۲ تا ۰,۵ میکرون، واحد جریانی سه: واحدهای با منافذ بین ۰/۵ تا ۱ میکرون، واحد جریانی چهار: واحدهای با منافذ بین ۱ تا ۲ میکرون، واحد جریانی پنج: واحدهای با منافذ بین ۲ تا ۵ میکرون، واحد جریانی شش: واحدهای با منافذ بین ۵ تا ۱۰ میکرون، واحد جریانی هفت: واحدهای با منافذ بزرگتر از ۱۰ میکرون.



شکل ۹. شعاع گلوگاه‌های منافذ مشخص شده از روش وینلند براساس رابطه تخلخل و تراوایی در چاه B-1.

### ۳-۲- زون بندی مخزنی براساس روش لورنز

براساس نمودار چینه‌ای اصلاح شده لورنز، به وسیله نقاط عطف و تغییر شیب در منحنی و تعداد خط‌های مماس شده که می‌توان بر این منحنی ترسیم کرد تعداد واحدهای جریانی مشخص شده‌اند. بنابراین، در ایده‌آل‌ترین حالت ممکن می‌توان تعداد ۱۲ زون مختلف را برای مخزن سازند سروک در چاه B-1 متصور گردید (شکل ۴).



شکل ۱۰. نمودار ظرفیت تجمعی جریان در برابر ظرفیت ذخیره و تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی براساس نقاط عطف در چاه B-1. این ۱۲ واحد جریان هیدرولیکی براساس میزان شیب‌شان، به سه نوع واحد جریانی، بافلی و سدی تقسیم می‌گردند. بخش‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ با داشتن شیب نمودار SLMP زیاد و به تبع آن مقادیر بالای ظرفیت جریان و ظرفیت ذخیره به‌عنوان واحد مخزنی (جریانی) در نظر گرفته شده‌اند (شکل ۴). این بخش‌ها با زون‌هایی که در آن‌ها عوارض انحلالی از فراوانی بالاتری برخوردار هستند، مطابقت می‌کنند. بخش‌های ۱، ۲، ۹ و ۱۱ با داشتن شیب نمودار SLMP و مقادیر ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریان کم‌تر نسبت به گروه قبلی به‌عنوان واحدهای بافلی در نظر گرفته شده‌اند (شکل ۴). این بخش‌ها با زون‌هایی که در آن‌ها عوارض استیلولیتی شدن و سیمانی شدن از فراوانی بالاتری برخوردار هستند، مطابقت می‌کنند. بخش‌های ۷، ۸، ۱۰ و ۱۲ با داشتن شیب نمودار SLMP بسیار کم و مقادیر ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریان بسیار پایین به‌عنوان واحدهای سدی در نظر گرفته شده‌اند (شکل ۴). این بخش‌ها با زون‌هایی که در آن‌ها عوارض استیلولیتی شدن، دولومیتی شدن و سیمانی شدن فراوان‌تر هستند، مطابقت می‌کنند. همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، مخزن سازند سروک در چاه B-1، دارای ۴ واحد جریانی، ۴ واحد بافلی و ۴ واحد سدی می‌باشد.

### ۳-۳- رخساره‌های الکتریکی



بایه کارگیری روش خوشه‌سازی گرافیکی چندتفکیکی (MRGC) در نرم‌افزار ژئولاگ، مدلی با تعداد ۱۱ رخساره الکتریکی به- عنوان بهینه‌ترین مدل انتخاب شد. همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، رخساره‌های الکتریکی از رخساره الکتریکی شماره ۱ (EFAC-1) تا رخساره الکتریکی شماره ۱۰ (EFAC-10) از نظر خواص مخزنی به ترتیب مرتب شده‌اند. از این رو، از EFAC-1 به سمت EFAC-10 کیفیت مخزنی با افزایش مقادیر نمودارهای صوت و نوترون و با کاهش مقادیر نمودار چگالی و کاهش میزان اشباع آب، افزایش پیدا می‌کند (جدول ۱). به طور کلی، می‌توان این یازده رخساره الکتریکی را از منظر کیفیت مخزنی در سه گروه با کیفیت مخزنی پایین (EFAC-1 تا EFAC-4)، متوسط (EFAC-5 تا EFAC-8) و بالا (EFAC-9 تا EFAC-10) دسته‌بندی نمود. از نظر فراوانی بخش قابل ملاحظه‌ای از رخساره‌های الکتریکی دارای کیفیت پایین تا متوسط هستند، به- طوری که به ترتیب ۳۷/۶ درصد و ۴/۴۳ درصد به این دسته از رخساره‌ها اختصاص دارند. در حالی که تنها ۱۷/۹۷ درصد رخساره‌های الکتریکی از نظر کیفیت مخزنی دارای کیفیت خوب و مناسبی هستند (جدول ۱).

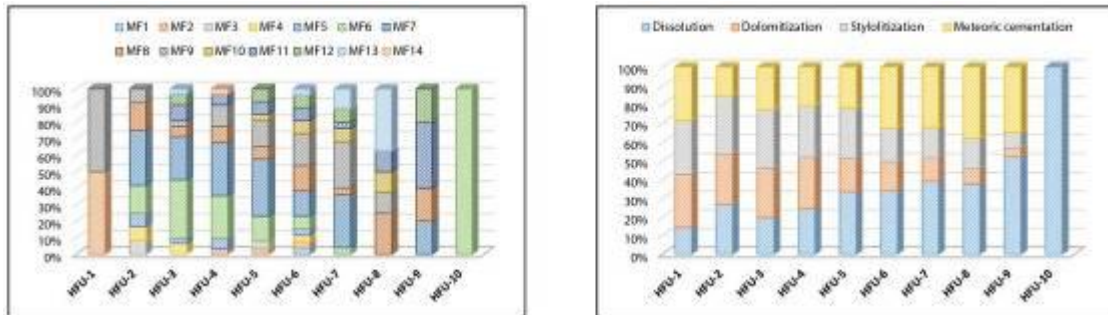
جدول ۱. میانگین مقادیر نمودارهای چاه پیمایی در هریک از رخساره‌های الکتریکی شناسایی شده به همراه میزان فراوانی رخساره‌های الکتریکی شناسایی شده در چاه‌های مورد مطالعه.

EFAC	FREQUENCY (%)	DT (US/F)	NPHI (V/V)	RHOB (G/C3)	SWE (V/V)
1	1.11	72.19	0.18	2.67	0.99
2	12.78	58.69	0.07	2.64	0.99
3	18.37	52.34	0.01	2.68	1.00
4	5.33	48.03	0.00	2.74	0.96
5	17.19	51.23	0.01	2.69	0.76
6	10.28	55.00	0.05	2.64	0.65
7	6.34	63.77	0.13	2.53	0.46
8	10.62	56.77	0.07	2.62	0.43
9	4.69	55.89	0.06	2.63	0.27
10	11.53	61.18	0.10	2.56	0.26
11	1.75	69.79	0.18	2.44	0.09

#### بحث

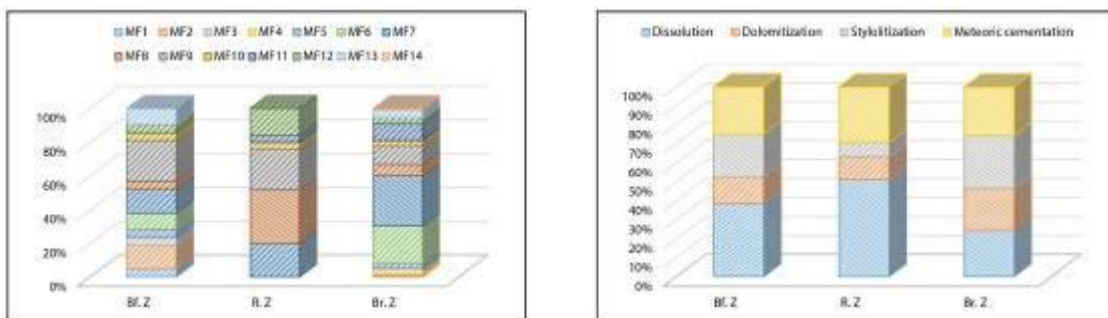
به منظور بررسی توزیع رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی مشخص شده در توالی مطالعه شده از سازند سروک در چاه B-1، در هریک از واحدهای جریان هیدرولیکی، نمودار فراوانی میله‌ای آن‌ها رسم گردیده است (شکل ۵). همانطور که ملاحظه- میگردد ارتباطات معناداری بین رخساره‌های رسوبی و عوارض دیاژنزی با واحدهای جریان هیدرولیکی دیده می‌شود. به طوری که در واحدهای جریان هیدرولیکی با کیفیت مخزنی بالا نظیر HFU-7 تا HFU-10 عمدتاً رخساره‌های وکستونی تا مادستونی بایوکستی (ریزرخساره شماره ۶)، پکستونی تا وکستونی همراه با روزن‌داران کفزی و شناور (ریزرخساره شماره ۷)، فلوتستونی تا رودستونی (ریزرخساره شماره ۸)، رودستونی/باندستونی (ریزرخساره شماره ۹)، وکستونی حاوی خرده‌های رودیست و روزن‌داران بزرگ (ریزرخساره شماره ۱۱) و گرینستونی پلوئیدی-روزن‌دار (ریزرخساره شماره ۱۳) فراوانی بالایی دارند. در این واحدها عارضه دیاژنزی انحلال نسبت به واحدهای با کیفیت مخزنی پایین به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و فراوانی بالایی دارند. در مقابل فراوانی عوارض دیاژنزی استیلولیتی شدن و دولومیتی شدن در این واحدهای مخزنی نسبت به

واحدهای غیرمخزنی کاهش می‌یابد. در واحدهای جریان هیدرولیکی با کیفیت مخزنی پایین رخساره‌های مادستونی تا وکستونی روزن‌داران شناور (ریزرخساره شماره ۲)، وکستونی تا مادستونی بایوکستی (ریزرخساره شماره ۶) و پکستونی تا وکستونی همراه با روزن‌داران کفزی و شناور (ریزرخساره شماره ۷) و رودستونی/باندستونی (ریزرخساره شماره ۹) از فراوانی بیش‌تری برخوردار هستند و عوارض دیاژنزی استیلولیتی شدن و دولومیتی شدن در این واحدهای غیرمخزنی فراوان هستند، در صورتی که عارضه دیاژنزی انحلال از فراوانی کم‌تری برخوردار می‌باشند.



شکل ۱۱. توزیع ریزرخساره‌های رسوبی و مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در واحدهای جریانی شناسایی شده با استفاده از روش نشانگر زون جریان.

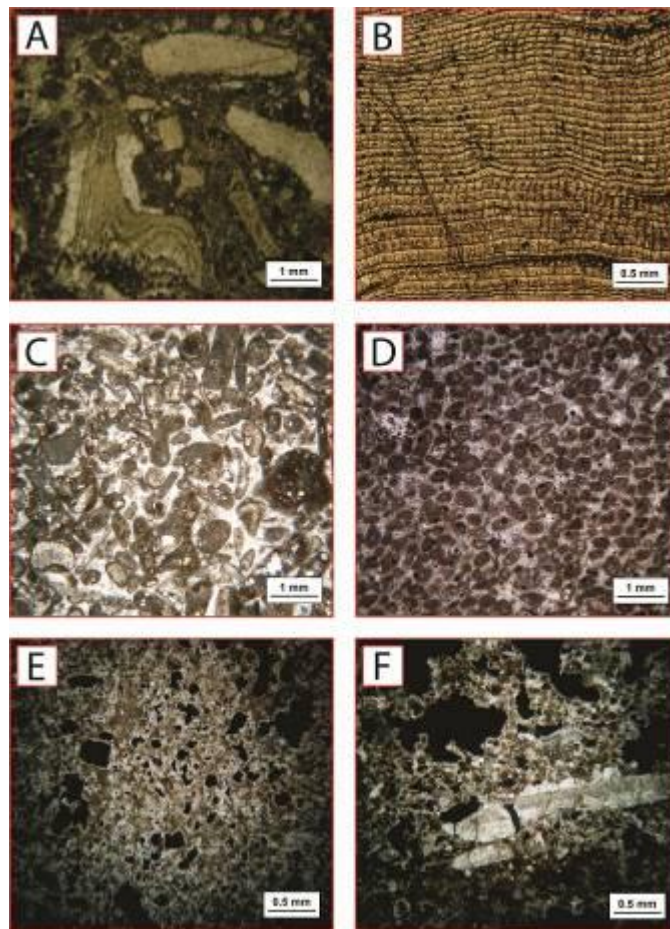
همچنین به منظور بررسی توزیع رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی مشخص شده در توالی مورد مطالعه از سازند سروک در چاه B-1 در هریک از واحدهای مختلف جریانی (بافلی، مخزنی و سدی)، نمودار فراوانی آن‌ها رسم گردیده است (شکل ۶). همانطور که ملاحظه می‌گردد در این بخش نیز ارتباطات معناداری بین رخساره‌های رسوبی و عوارض دیاژنزی با واحدهای جریانی دیده می‌شود. به طوری که در واحدهای مخزنی رخساره‌های فلوتستونی تا رودستونی بایوکستی (ریزرخساره شماره ۸) و رودستونی/باندستونی (ریزرخساره شماره ۹) فراوان‌تر هستند و عارضه دیاژنزی انحلال نیز فرایند غالب این واحد مخزنی می‌باشد. در مقابل در واحدهای سدی (غیرمخزنی) رخساره‌های وکستونی تا مادستونی بایوکستی (ریزرخساره شماره ۶) و پکستونی تا وکستونی همراه با روزن‌داران کفزی و شناور (ریزرخساره شماره ۷) از فراوانی بیش‌تری برخوردار هستند و عوارض دیاژنزی استیلولیتی شدن، دولومیتی شدن و نیز سیمانی شدن در واحدهای غیرمخزنی فراوان هستند و کیفیت مخزنی را کنترل کرده است.



شکل ۱۲. توزیع ریزرخساره‌های رسوبی و مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در واحدهای جریانی تفکیک شده با استفاده از نمودار چینه‌ای اصلاح شده لورنز.

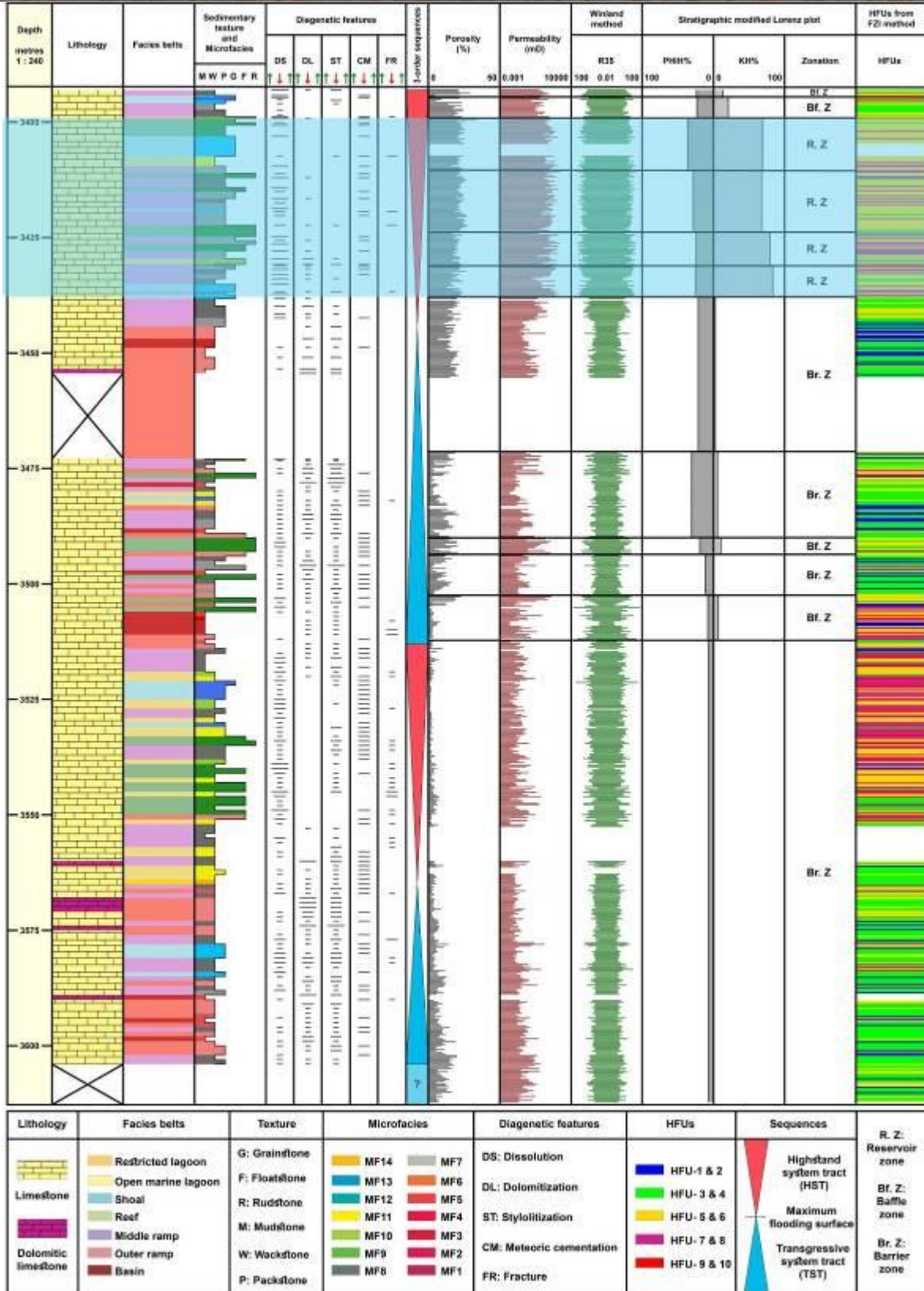
با تعریف رخساره‌های رسوبی و عوارض دیاژنزی و سپس تطابق آن‌ها با نتایج حاصل از داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی در چارچوب چینه‌نگاری سکansı، ضمن آن که قابلیت پیش‌بینی تغییرات کیفیت مخزنی مهیا می‌شود و منجر به ارائه مدل دو بعدی تغییرات کیفیت مخزنی می‌گردد، مشخص‌کننده نقش هریک از فرایندهای اولیه (عوامل رسوبی) و فرایندهای ثانویه (دیاژنزی و عوارض مربوطه سطوح ناپیوستگی) در کنترل کیفیت مخزنی واحدهای پتروفیزیکی تعیین شده (رخساره‌های

الکتریکی) می‌باشند. از همین رو، خصوصیات رسوبی-دیاژنزی رخساره‌های الکتریکی تعیین شده در چاه‌های مورد مطالعه در چارچوب چینه‌نگاری سکansı مورد بررسی قرار گرفته است، که ارتباطات معناداری نیز بین رخساره‌های رسوبی و عوارض دیاژنزی با رخساره‌های الکتریکی دیده می‌شود. به طوری که رخساره‌های الکتریکی با کیفیت مخزنی متوسط تا بالا عمدتاً با رخساره‌های پکستونی تا گرینستونی بایوکلستی-پلوئیدی (ریزرخساره شماره ۱۲) و گرینستونی پلوئیدی-روزن‌داران (ریزرخساره شماره ۱۳) و با عارضه دیاژنزی انحلال منطبق هستند، در مقابل، رخساره‌های الکتریکی با کیفیت مخزنی پایین تا متوسط عمدتاً با رخساره‌های وکستونی تا مادستونی بایوکلستی (ریزرخساره شماره ۶) پکستونی تا وکستونی همراه با روزن-داران کفزی و شناور (ریزرخساره شماره ۷) و با عوارض دیاژنزی سیمانی شدن و استیلولیتی شدن منطبق هستند. در مطالعه حاضر با توجه به محدودیتی که وجود دارد، از بین چاه‌های مورد مطالعه که در آن‌ها رخساره‌های الکتریکی تعیین شده است، تنها چاه C-1 برای مثال به نمایش درآمده است (شکل ۹).



شکل ۱۳. تصاویر میکروسکوپی از رخساره‌های رسوبی و عوارض دیاژنزی غالب در واحدهای مخزنی چاه‌های B-1 و C-1 ارائه شده است. A: ریزرخساره شماره ۸ (فلوتستون تا رودستون بایوکلستی)، B: ریزرخساره شماره ۹ (رودستون/باندستون)، C: ریزرخساره شماره ۱۲ (پکستون تا گرینستون بایوکلستی-پلوئیدی)، D: ریزرخساره شماره ۱۳ (گرینستون پلوئیدی-روزن-دارانی)، E: انحلال به صورت انتخاب‌کننده بافتار، F: انحلال به صورت غیرانتخاب‌کننده بافتار.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran

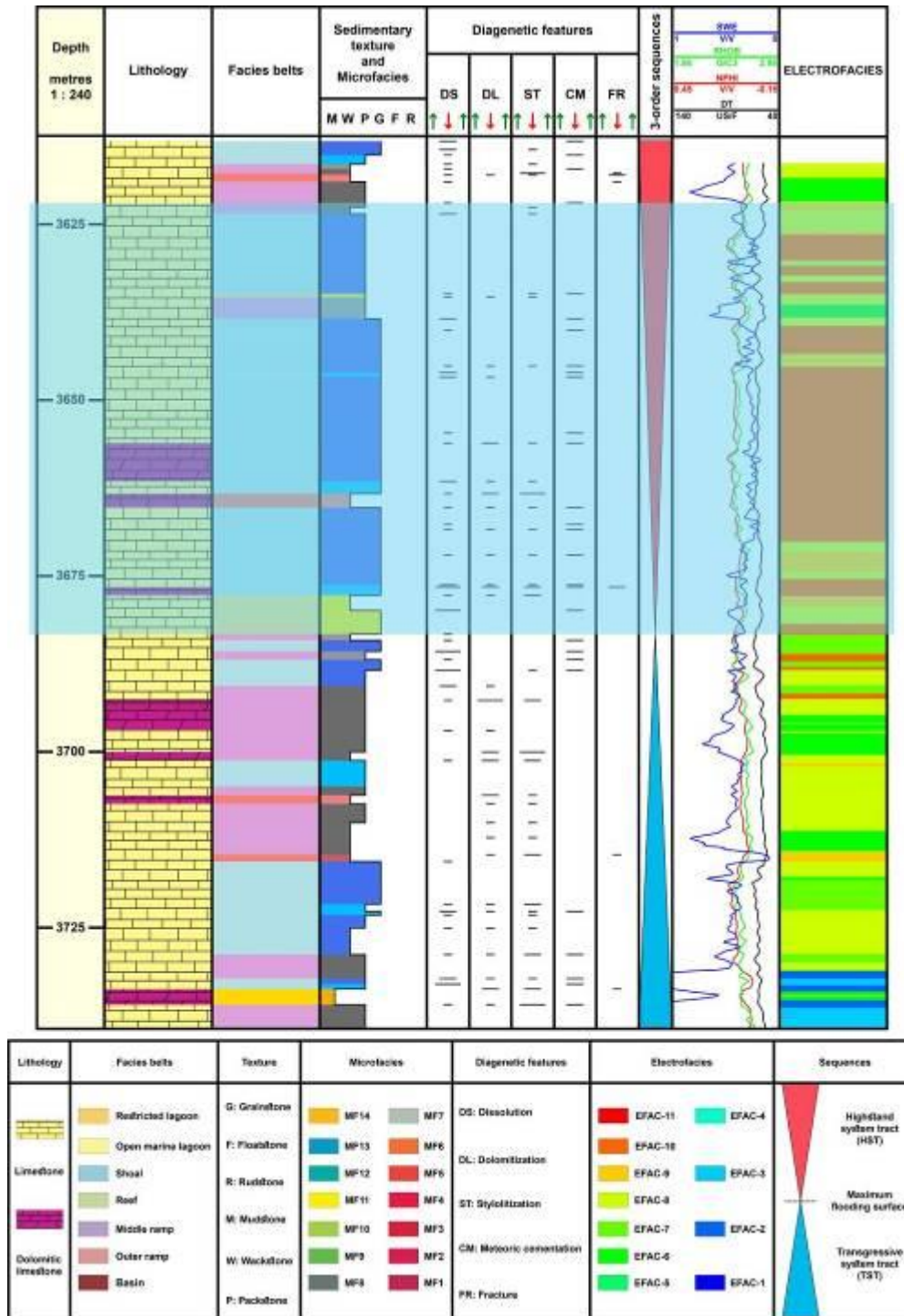


شکل ۱۴. مقایسه نتایج حاصل از توزیع واحدهای مختلف مخزنی شناسایی شده براساس روش های نشانگر زون جریان (FZI)، نمودار چینه‌ای اصلاح شده لورنز (SMLP) و مقادیر شعاع گلوگاه‌های منافذ در اشباع ۳۵٪ جیوه (R35)، به همراه توزیع

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



تخلخل و تراوایی مغزه و ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی در توالی مطالعه‌شده از سازند سروک در چاه B-1 انطباق به‌نسبت بالایی بین روش‌ها و توزیع خصوصیات زمین‌شناسی (نظیر عوارض دیاژنزی و رخساره‌های رسوبی) دیده می‌شود.



شکل ۱۵. نمایش توزیع رخساره‌های الکتریکی به‌دست‌آمده از روش خوشه‌سازی MRGC همراه با نمودارهای پتروفیزیکی (صوتی، نوترون، چگالی و اشباع آب) و ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی در توالی مطالعه‌شده از سازند سروک در چاه C-1 نتیجه‌گیری

در یک نگاه کلی، کیفیت مخزنی سازند سروک در بخش‌های واقع در زیر مرزهای سکانشی (در بسته‌های رسوبی تراز پیش-رونده (HST)) بیشتر از بخش‌های دیگر است، که دلیل اصلی آن رخنمون‌های تحت‌الجوی (تحت شرایط اقلیمی گرم و

مرطوب استوایی) ناشی از پایین آمدن سطح نسبی آب دریا در زمان‌های سنومانین پسین-تورونین پیشین و تورونین میانی بوده است، که موجب بروز انحلال‌های گسترده جوی (ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای مجزا و مرتبط بهم) و توسعه شبکه‌های کارستی در این بخش‌ها شده است. هرچند تحت تأثیر حرکات زمین‌ساختی در منطقه فروافتادگی دزفول، ارتفاع ساختاری میدان‌ها متفاوت گشته و اینکه مدت زمان رخنمون‌یافتن طی سنومانین پسین-تورونین پیشین و تورونین میانی نیز متفاوت بوده که همین عوامل سبب شده تا اثرات مهم حاصل از رخنمون‌یافتن با شدت وضع‌های متفاوت ایجاد گردد و نهایتاً باعث بهبود یا کاهش کیفیت مخزنی در بخش‌های واقع در زیر مرزهای سکانسی شود.

از طرفی دیگر، آنچه که در مورد توزیع رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی در واحدهای جریان هیدرولیکی که به روش‌های نشانگر زون جریان و نمودار چینه‌ای اصلاح‌شده لورنز تعیین شده‌اند، شرح داده شد، به نظر می‌رسد که هم عوامل رسوبی یعنی رخساره‌های رسوبی و هم عوارض دیاژنزی کنترل‌کننده کیفیت مخزنی بوده‌اند. چراکه رخساره‌هایی که ماهیتاً کیفیت مخزنی بهتری دارند نظیر رخساره‌های متعلق به زیرمحیط‌های ریف و واریزه‌های آن و پشته‌های زیرآبی در واحدهای جریان که کیفیت مخزنی بالایی دارند نسبت به سایر رخساره‌ها، فراوان‌تر هستند. درمقابل رخساره‌هایی که ماهیتاً از نظر کیفیت مخزنی قابل توجه نیستند نظیر رخساره‌های متعلق به بخش‌های انتهایی رمپ میانی و بخش‌های ابتدای رمپ بیرونی (مانند ریزرخساره‌های شماره ۶ و ۷) در واحدهای جریان که کیفیت مخزنی پایینی دارند، غالب‌تر هستند. این روندهای معنادار هم در مورد فرایندهای ثانویه مشاهده گردید. به طوری که اثراتی از انحلال‌های جوی (در مقیاس‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی) که منجر به ایجاد تخلخل‌های قلبی و حفره‌ای (مجزای از هم و مرتبط بهم) در رخساره‌های سازند سروک شده است، در واحدهای با کیفیت مخزنی بالا و اثراتی از سیمانی‌شدن و استیلولیتی‌شدن در رخساره‌های سازند سروک در واحدهای جریان با کیفیت مخزنی پایین، از فراوانی بالایی برخوردار هستند.

بنابراین باتوجه به توضیحات فوق، هم فرایندهای اولیه نظیر رخساره‌های رسوبی و هم فرایندهای ثانویه نظیر عوارض دیاژنزی و اثرات ناشی از ناپیوستگی فرسایشی، هر کدام نقش بسزایی در توزیع و گسترش واحدهای مختلف جریان در سازند سروک در میداین نفتی فروافتادگی دزفول داشته‌اند.

#### منابع

- Ahr, W., 2008. *Geology of Carbonate Reservoirs*. John Wiley and Sons, Chichester, 296.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1, 108-121.
- Embry, A.F., Klován, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island. *Canadian Journal of Petroleum Geology*, 19, 51.
- Embry, A.F., 2002. Transgressive-regressive (T-R) sequence stratigraphy. Program and abstracts—society of economic paleontologists. *Gulf Coast Sect Res Conf*, 22, 151-172.
- Esfarajli-Dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Afshin, S., Kiani Harchegani, F., Shahverdi, N., 2015. Characterization of rudist-dominated units as potential reservoirs in the middle Cretaceous Sarvak Formation, SW Iran. *Facies*, 61, 14.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer Verlag, New York, 976.
- Gomes, J.S., Ribeiro, M.T., Strohmenger, C.J., Negahban, S., Kalam, M.Z., 2008. Carbonate Reservoir Rock Typing – The Link between Geology and SCAL, *SPE 118284*, 1-1.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., and Coniglio, M., 2017 Diagenetic history and reservoir properties of the Cenomanian-Turonian carbonates in southwestern Iran and the Persian Gulf. *Marine and Petroleum Geology*, 88, 845-857.
- Lucia, F.J., 2007. *Carbonate reservoir characterization*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 341.
- Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., 2014. Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian-early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. *Facies*, 60, 147-167.

- Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Hajikazemi, E., Jamalian, A., 2015. Controls on depositional facies in Upper Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros area and the Persian Gulf, Iran. *Facies*, 61(4), 1-24.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A. H., Omidvar, M., 2012. Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a mid-Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran. *Cretaceous Research*, 37, 15–34.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Izadi-Mazidi, E., 2012. Flow unit distribution and reservoir modelling in cretaceous carbonates of the sarvak formation, abteymour oilfield, dezful embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 35(3), 213–236.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Omidvar, M., Enayati-Bidgoli, A. H., Sonei, R., Izadi-Mazidi, E., 2013. Palaeo-exposure surfaces in Cenomanian - Santonian carbonate reservoirs in the dezful embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 36(4), 335–362.

## کنترل رخساره‌های رسوبی بر خصوصیات مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان

### واقع در بخش مرکزی خلیج فارس

محمدحسین دهاقین<sup>۱\*</sup>، حسین رحیم‌پور بناب<sup>۲</sup>، حمزه مهرابی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه تهران، تهران

<sup>۲</sup> دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

آدرس ایمیل نویسنده مسئول: Dahaghin@ut.ac.ir

#### چکیده:

در این مطالعه با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مغزه‌های حفاری، مقاطع نازک میکروسکوپی و تلفیق آن‌ها با داده‌های تخلخل-تراوایی، رخساره‌های عضو دالان بالایی و سازند کنگان در یکی از چاه‌های مورد مطالعه واقع در بخش مرکزی خلیج فارس مشخص شده است. هدف از این مطالعه، درک ارتباطات موجود میان رخساره‌های رسوبی و خصوصیات مخزنی آنها در سازندهای مورد اشاره می‌باشد. ریزرخساره‌های موجود بر اساس مطالعات پتروگرافی خصوصیات رخساره‌ای (بافت رسوبی) تعیین شده و سپس فرآیندهای دیاژنزی و نوع حفرات غالب در آنها مشخص گردید. بدین ترتیب تعداد ۱۲ ریزرخساره در ۷ زیرمحیط شناسایی شد که رخساره‌های مجموعه شول دارای بالاترین میزان تخلخل-تراوایی و رخساره‌های انیدریت محیط سوپراتایدال دارای کمترین میزان تخلخل-تراوایی می‌باشند. همچنین نتایج این مطالعات مبین آن است که مخازن رسوبات دالان بالایی و کنگان، تاریخچه دیاژنزی پیچیده را تجربه کرده‌اند. این تاریخچه دیاژنزی، ویژگی‌های مخزنی (یعنی مقادیر تخلخل-تراوایی) این توالی‌ها به طرز چشمگیری تغییر کرده است.

کلیدواژه: خلیج فارس، دالان بالایی و کنگان، ریزرخساره‌ها، خصوصیات مخزنی

## Control of sedimentary facies on reservoir characteristics of Upper Dalan and Kangan formations in the central Persian Gulf

Mohammad Hossein Dahaghin<sup>1\*</sup>, Hossein Rahimpour-Bonab<sup>2</sup>, Hamzeh Mehrabi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M. Sc., student sedimentology and sedimentary rocks, University of Tehran, Tehran

<sup>2</sup> Professor, School of Geology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran

<sup>2</sup> Assist. Prof., School of Geology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran

#### Abstract

In this study, using various data from drilled cores, microscopic thin sections and their integration with porosity-permeability data depositional facies of Upper Dalan member and Kangan formation in one of the studied wells in the central Persian Gulf, are determined. The purpose of this study is to investigate the relationships between sedimentary facies and their reservoir characteristics in these formations. Main microfacies have been determined based on petrographic analysis of facies characteristics (sedimentary texture) and their diagenetic history along with the dominant porosity type are determined. Twelve microfacies were identified in 7 sub-environments in which the shoal complex facies shows the highest porosity- permeability but the anhydrite facies of the supratidal environment have the lowest porosity- permeability values. The results of sedimentary studies also showed that the upper Dalan and Kangan reservoirs have experienced a complex diagenetic history, during which the reservoir properties of these sequences have changed significantly.

Keywords: Persian Gulf, Upper Dalan and Kangan, Microfacies, Reservoir characteristics

مقدمه:

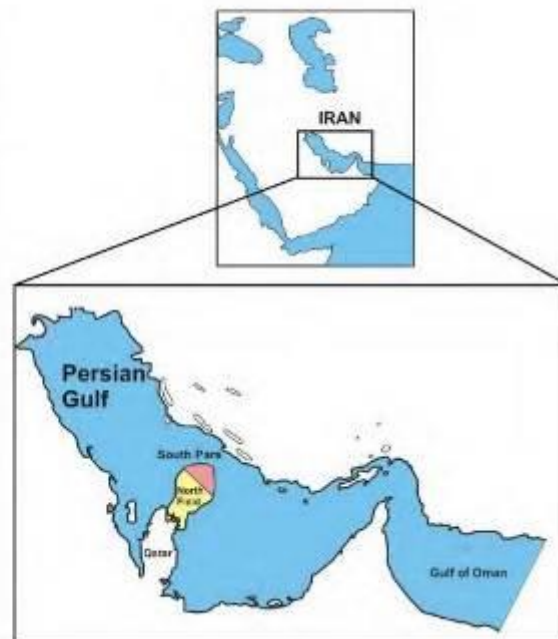


در مخازن کربناته به دلیل ناهمگنی بالا و پیچیدگی‌های زمین‌شناسی و تغییرات زیاد در مقیاس کوچک، مدل‌سازی مخزن پیچیده است (Moore, 2001). عموماً در این مخازن، خصوصیات مخزنی از خصوصیات رسوبی سنگ‌های آن‌ها به ارث رسیده است. ویژگی رخساره‌های رسوبی مانند بافت‌های رسوبی و توزیع جانبی آن‌ها در پلاتفرم کربناته، کنترل‌کننده اصلی بر کیفیت نهایی و معماری مخازن کربناته است (Ahr, 2008). تجزیه و تحلیل پتروگرافی اولین و اساسی‌ترین گام در توصیف توالی‌های کربناته به حساب می‌آید (Lucia, 2007). در این توالی‌ها، تمام خصوصیات مخزن (استاتیک و دینامیک) با ارتباط بین خصوصیات رخساره‌های رسوبی، تغییرات دیاژنتیکی و شکستگی کنترل می‌شوند (Ahr, 2008). توزیع اولیه مقادیر تخلخل-تراوایی و در اکثر موارد، توزیع نهایی آن‌ها توسط ویژگی رخساره‌ها کنترل می‌گردد. در این مطالعه، کنترل رخساره‌های رسوبی بر خصوصیات مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان در بخش مرکزی خلیج فارس بررسی شده است. برای ارزیابی کنترل‌ها، کراس پلات‌های تخلخل-تراوایی برای گروه‌های مختلف رخساره‌ای و بافت‌های رسوبی رسم گردید (شکل ۲). بر اساس پلات‌ها، چندین روند معنادار در روابط بین تخلخل-تراوایی و بافت‌های رسوبی سازندهای مورد مطالعه وجود دارد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### موقعیت جغرافیایی:

سازندهای دالان بالایی و کنگان به دلیل خاصیت مخزنی خوبی که دارند، مخازن زیادی در زاگرس و خلیج فارس تشکیل داده‌اند. در بخش مرکزی خلیج فارس میدان گازی پارس جنوبی، یکی از میداین جنوب ایران در حوضه رسوبی زاگرس است (موحد و همکاران، ۱۳۹۰). این میدان به همراه بخش قطری، بزرگترین میدان گازی جهان را تشکیل می‌دهند. وسعت میدان گازی پارس جنوبی به همراه بخش قطری حدود ۹۷۰۰ کیلومتر مربع است. این میدان عظیم از نظر ساختمانی، بخشی از بالآمدگی قطر-فارس بوده که در قسمت شمالی این بالآمدگی قرار دارد و جهت امتداد آن شمال شرق-جنوب غرب می‌باشد. مهم‌ترین سازندهای مخزنی این میدان سازندهای دالان و کنگان (بخشی از گروه دهرم) می‌باشند که شامل چهار واحد مخزنی K1، K2، K3 و K4 هستند (Rahimpour-Bonab et al., 2010). شکل شماره (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی خلیج فارس را نشان می‌دهد.

	CHRONOSTRATIGRAPHY		FORMATIONS		RESERVOIR	
	STANDARD	TETHYS	North	South		
TRIASSIC	Early	?	Aghar Shale	Sudar Shale	K1	
		Induan	Kangan	Upper Khuff		K2
	Late (Lopingian)	Changhsingian	Dorashamian	Upper Dasan	K3	
		Wuchapingian	Ozhuflian		K4	
PERMIAN	Middle (Guadalupian)	Capitanian	Midan	Nar Anhydrite	Middle Anhydrite	K5-7
		Wordian	Murgabian	Lower Dasan	Lower Khuff	
	?Roadian	?	?	Faraghan	Haushi-Unayzsh	
		?	?			
?	?					



شکل (۱) موقعیت مکانی میدان پارس جنوبی و واحدهای مخزنی در سازندهای دالان بالایی و کنگان (رحیم‌پوربناب و همکاران، ۱۳۹۷).

روش مطالعه:

**بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران**  
**۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)**  
**24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran**



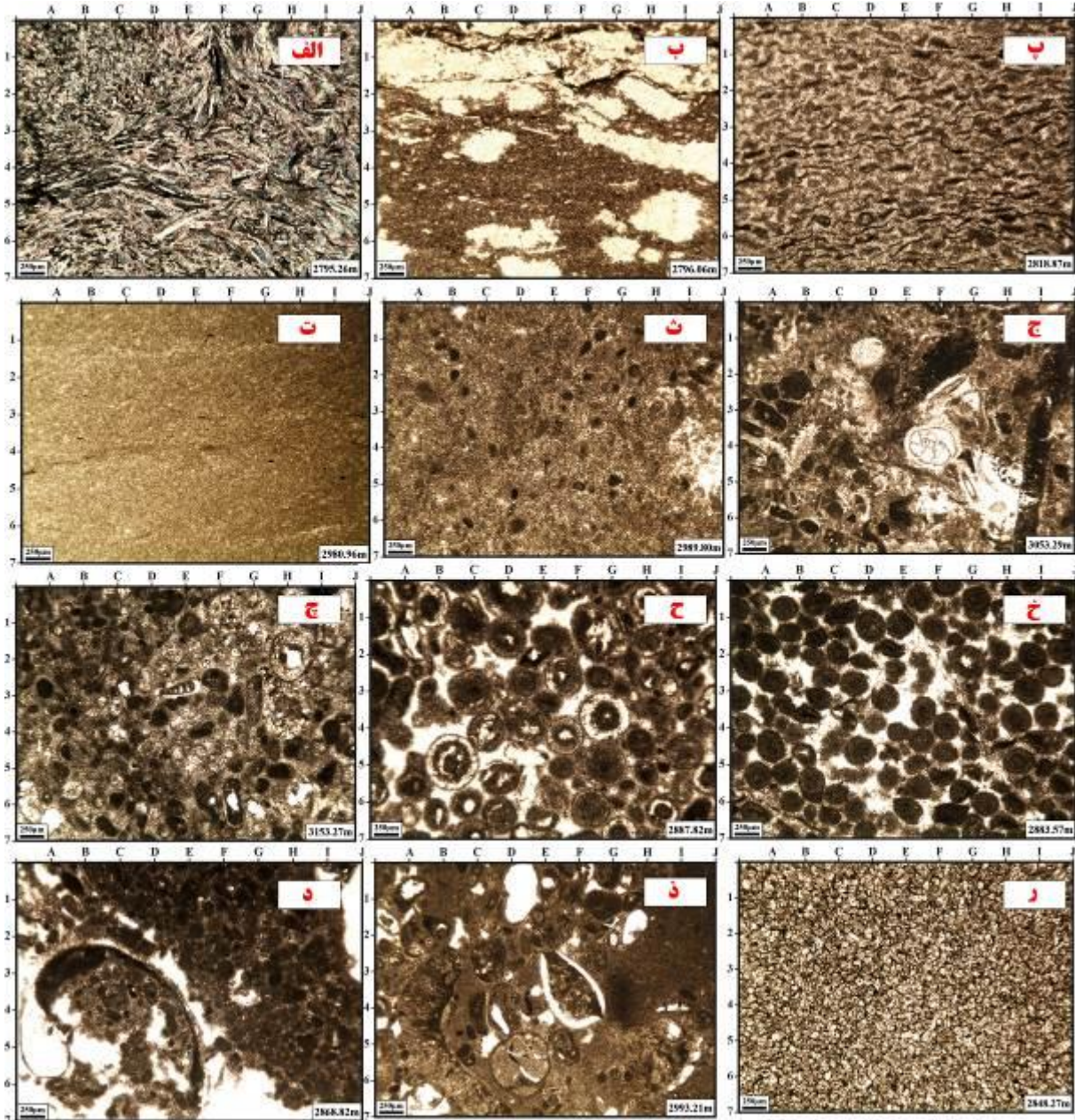
به منظور مطالعه و بررسی کنترل رخساره‌ها بر روی خصوصیات مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان واقع در بخش مرکزی خلیج فارس، مطالعات پتروگرافی بر روی ۲۵۰ متر از مغزه‌های حفاری و ۱۳۰۰ مقطع نازک تهیه شده از آن‌ها در سازندهای دالان بالایی و کنگان در یکی از میداین بخش مرکزی خلیج فارس صورت گرفته است. علاوه بر این از داده‌های تخلخل-تراوایی از حدود ۲۵۰ نمونه پلاگ مغزه جهت ارزیابی مخزن مورد استفاده قرار گرفته است. مقاطع نازک توسط آلیزارین رنگ‌آمیزی شده‌اند و از هر یک متر مغزه تعداد ۳ مقطع نازک (با فواصل حدود ۳۰ سانتیمتر) تهیه گردیده است. جهت نامگذاری رخساره‌ها از روش دانهام (Dunham, 1962) و امری کلوان (Embry and Klovan, 1971) استفاده شده و تفسیر رخساره‌ها با کمک مدل استاندارد فلوگل (Flügel, 2010) صورت پذیرفته است.

**بحث:**

مطالعات رخساره‌ای چاه مورد مطالعه منجر به شناسایی تعداد ۱۲ ریزرخساره در سازندهای دالان بالایی و کنگان گردید. خلاصه‌ای از ویژگی‌های این ریزرخساره‌ها در جدول ۱ ارائه گردیده است. از آنجایی که مشخصات رخساره‌ای و محیط‌رسوبی این سازندها مورد بحث مطالعات متعدد پیشین (Enayati-Bidgoli, 2006; Tavakoli et al., 2011; Insalaco et al., 2006; and Rahimpour-Bonab, 2016; Mehrabi et al., 2015) قرار گرفته است، در اینجا از تکرار آن‌ها خودداری می‌گردد.

جدول (۱) رخساره‌های رسوبی سازندهای دالان بالایی و کنگان در چاه مورد مطالعه.

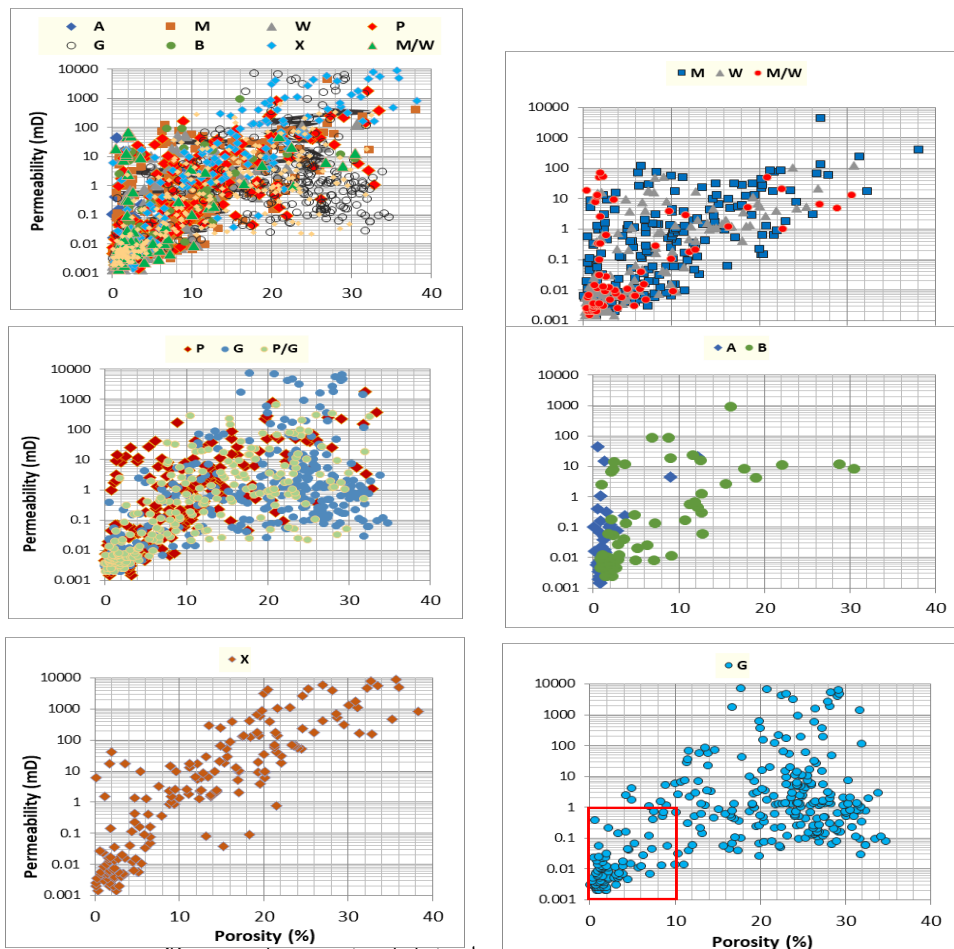
کد رخساره	عنوان رخساره	محیط رسوبی
FG1	انیدریت	بالای جزرومدی
FG2	مادستون دولومیتی شده (ندولار و فنسترال)	بین جزرومدی
FG3	باندستون استروماتولیتی	بین جزرومدی
FG4	مادستون	بین جزرومدی
FG5	مادستون تا وکستون حاوی فرامینیفرای بنتیک و پلوئید	لاگون
FG6	وکستون حاوی خرده‌های اسکلتی	لاگون
FG7	وکستون حاوی آنکوئید و اینتراکلت	لاگون
FG8	پکستون حاوی پلوئید و آنکوئید	پشت شول
FG9	پکستون تا گرینستون حاوی اوئید و بایوکلت	شول رو به دریا
FG10	گرینستون تا پکستون حاوی آنکوئید و اینتراکلت	شول رو به دریا
FG11	وکستون تا مادستون حاوی خرده‌های ریز اسکلتی (میکروباپوکلت)	جلوی شول
FG12	کربنات بلورین (کریستالین)	غیر قابل تشخیص



شکل ۲) تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی از ریزرخساره‌های شناسایی شده سازندهای دالان بالایی و کنگان، الف) انیدریت، ب) مادستون دولومیتی شده، پ) باندستون استروماتولیتی، ت) مادستون، ث) مادستون تا وکستون حاوی فرامینیفرهای بنتیک و پلوئید، ج) وکستون حاوی خرده‌های اسکلتی، چ) وکستون حاوی آنکوئید و اینتراکلت، ح) پکستون حاوی پلوئید و آنکوئید، خ) پکستون تا گرینستون حاوی اوئید و بایوکلست، د) گرینستون تا پکستون حاوی آنکوئید و اینتراکلت، ذ) وکستون تا مادستون حاوی خرده‌های اسکلتی، ر) کربنات بلورین.

با توجه به مطالعات گذشته، رخساره‌های گل غالب (مادستون‌ها و وکستون‌ها) از کیفیت مخزنی ضعیفی برخوردار هستند. با این حال، در مواردی که در آن‌ها انحلال رخ داده یا دولومیتی شده‌اند، کیفیت مخزنی متوسطی را نشان می‌دهند. در چنین مواردی، آن‌ها بیش از ۲۰ درصد تخلخل و حتی نفوذپذیری بیشتر از 10mD دارند (شکل ۳). از این نظر، آن‌ها می‌توانند به عنوان رخساره‌های مخزنی گازی در نظر گرفته شوند که از دولومادستون و دولووکستون‌های محیط اینترتایدال تا پشت شول‌ها ایجاد می‌شوند. بدیهی است که چنین رخساره‌هایی می‌توانند به عنوان رخساره‌های مخزنی درجه ۲ یا ۳ در سازندهای دالان بالایی و کنگان طبقه بندی شوند. در مقابل، دولومیتی شدن بیش از حد و تراکم (به خصوص تراکم شیمیایی) دو تغییر

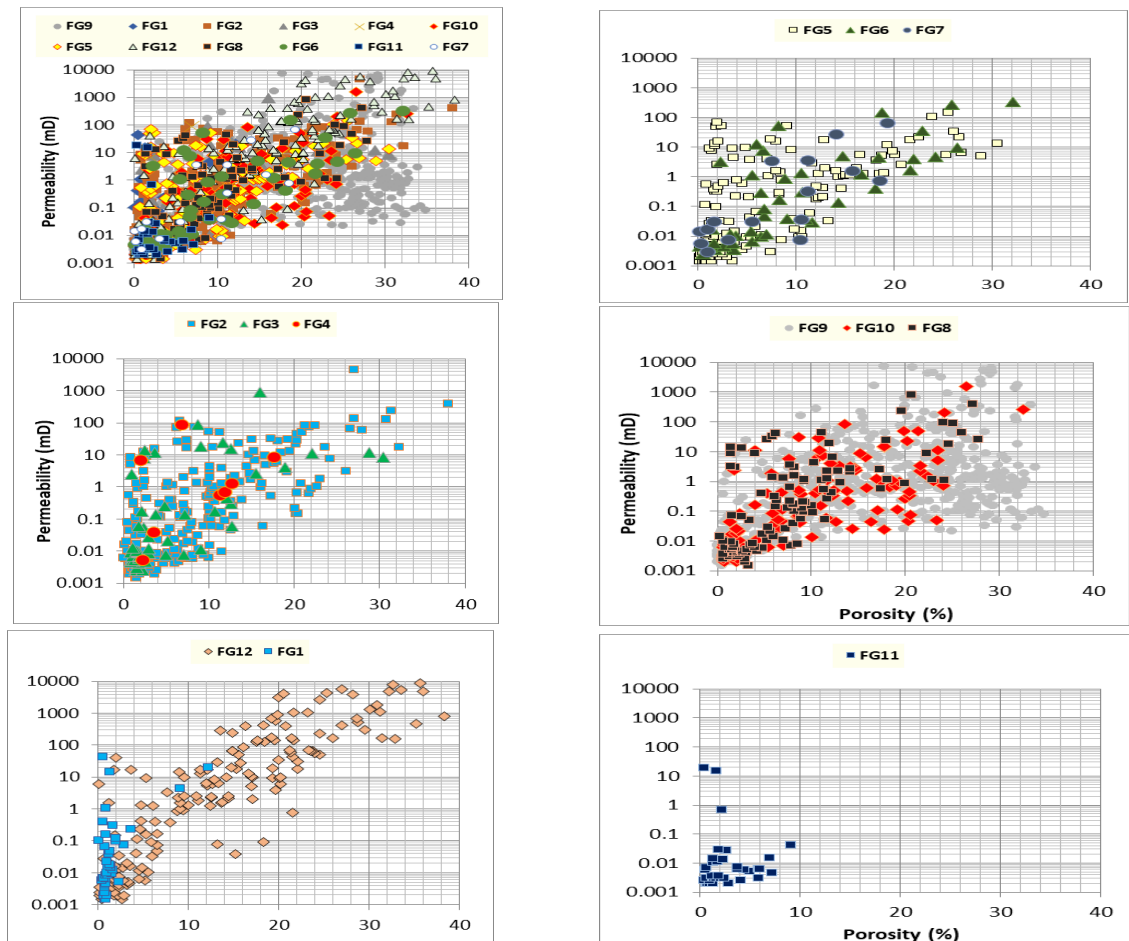
دیاژنزی هستند که کیفیت مخزنی را در این رخساره‌ها مختل می‌کنند. در مخازن مورد مطالعه، رخساره‌های غالب (پکستون و گرینستون) مجموعه شول (FGs 8,9,10) بالاترین مقدار تخلخل-تراوایی را نشان می‌دهند. تغییرات قابل توجهی نیز در مقادیر تخلخل-تراوایی از این رخساره‌ها که بیشتر ناشی از تغییرات پس از رسوبگذاری است ثبت شده است. به عنوان مثال، انحلال شدید رخساره‌های پر انرژی شول (پکستون‌ها و گرینستون‌های اووید بیوکلاست) مقدار زیادی تخلخل (بیش از ۳۵ درصد) و نفوذپذیری (بیش از ۱۰۰ mD) را در برخی از فواصل مخازن پرمو-تریاس فراهم کرده است. آن‌ها بهترین اینتراوال‌های مخزنی این مخازن هستند. در مقابل، سیمانی شدن فراگیر انیدریت و رخساره‌های دانه غالب مقادیر تخلخل-تراوایی را کاهش داده و فواصل غیر مخزنی را ایجاد می‌کند. سیمانی شدن به وسیله انیدریت به طور معمول در رخساره‌های شول leeward جایی که رخساره‌های دانه غالب تحت تاثیر آب‌های هیپرسالین قرار گرفته‌اند، رخ داده است. طیف وسیعی از کاهش و افزایش کیفیت مخزنی در رخساره‌های دانه غالب ثبت شده است که به نوع تغییرات دیاژنزی آن‌ها وابسته است. رخساره‌های انیدریت محیط سوپراتایدال (FG1) و رخساره‌های میکروبیال (باندستون‌های استروماتولیتی و ترومبولیتی) از موقعیت اینترتایدال (FGs 3,4) هر دو رخساره مخزنی ضعیفی هستند. به دلیل نفوذناپذیری (tightness) طبیعی، مقادیر اولیه تخلخل-تراوایی آن‌ها پایین است. وجود منافذ فنسترال و دولومیتی شدن رخساره‌های میکروبی می‌تواند تا حدودی کیفیت مخزنی آن‌ها را بهبود بخشد (شکل ۳). بنابراین، بهتر است برای تفسیر دقیق‌تر کراس پلات تخلخل-تراوایی و درک روند مناسب در مخازن مورد مطالعه، ترکیبی از حوادث رسوبی و پس از رسوبگذاری در نظر گرفته شود. کشف چنین روندهایی برای کاهش پیچیدگی و ابهام در مخازن کربناته اجتناب ناپذیر است. کراس پلات‌های تخلخل-تراوایی از مخازن مورد مطالعه نیز بر اساس گروه‌های رخساره‌های رسوبی و محیط‌های رسوبی به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱) کراس پلات تخلخل - تراوایی ریزرخساره‌های شناسایی شده در چاه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری:

در این مطالعه گروه‌های رخساره‌ای مربوط به محیط‌های بالای جذرومدی، بین جذرومدی، لاگون، شول و جلوی شول بر روی کراس پلات تخلخل-تراوایی به طور جداگانه ترسیم شده‌اند (شکل ۴). همانطور که نشان داده شده است، رخساره‌های رسوبی محیط‌های کم انرژی (مانند محیط‌های بین جذرومدی، لاگون و جلوی شول؛ FG2 تا FG7 و FG11) با بافت‌های مادستون و وکستون دارای کیفیت مخزنی ضعیف هستند. گفتنی است، بسته به تغییرات دیاژنزی، برخی از تکامل‌های کیفیت مخزنی در کراس پلات‌های تخلخل-تراوایی قابل ردیابی هستند. بهترین نمونه در مورد رخساره‌های با بافت کریستالین (FG12) است. این گروه رخساره‌ای شامل انواع رخساره‌های رسوبی است که به طور کامل دولومیتی شده‌اند و بافت‌های اصلی رسوبی آن‌ها قابل تشخیص نبودند. بسته به برخی از عوامل از جمله بافت‌های اولیه رخساره‌های دولومیتی شده، درصد دولومیتی شدن و ویژگی‌های بافتی بلورهای دولومیت (به عنوان مثال شکل و اندازه کریستال)، درجه‌های مختلفی از کیفیت مخزنی در این رخساره‌ها ثبت می‌شود. در مقابل، رخساره‌های پر انرژی دانه غالب مجموعه‌های شول (FG7, FG8, FG9) بهترین خواص مخزنی را در بین مجموعه رخساره‌های مخازن پرمو-تریاس در چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد، چنین رخساره‌هایی دارای پتانسیل مخزنی اولیه خوبی هستند. علاوه بر این، برخی از تغییرات دیاژنزی، از جمله انحلال هایپرسالین / متئوریک و سیمان دریایی اولیه، باعث افزایش کیفیت در خصوصیات مخزنی آن‌ها شده است. توالی‌های نسبتاً ضخیم از رخساره‌های شول پراثری انحلال یافته، مهم‌ترین واحد مخزنی را در چندین سطح چینه‌شناسی سازندهای دالان بالایی و کنگان تشکیل داده‌اند. موقعیت این رخساره‌ها در قسمت میانی واحد K1، قسمت‌های میانی تا بالای واحد K2، قسمت‌های فوقانی واحد K3 و تقریباً تمام قسمت‌های واحد K4 قرار دارند. رخساره‌های انیدریت (FG1) در محی بالای جذرومدی کمترین کیفیت مخزنی را در سازندهای مورد بررسی دارد. در مواردی که آن‌ها متراکم شده و لایه‌های نسبتاً ضخیمی تشکیل داده‌اند، می‌توانند به عنوان موانع موثر داخل مخزن در چاه مورد مطالعه قرار گیرند.

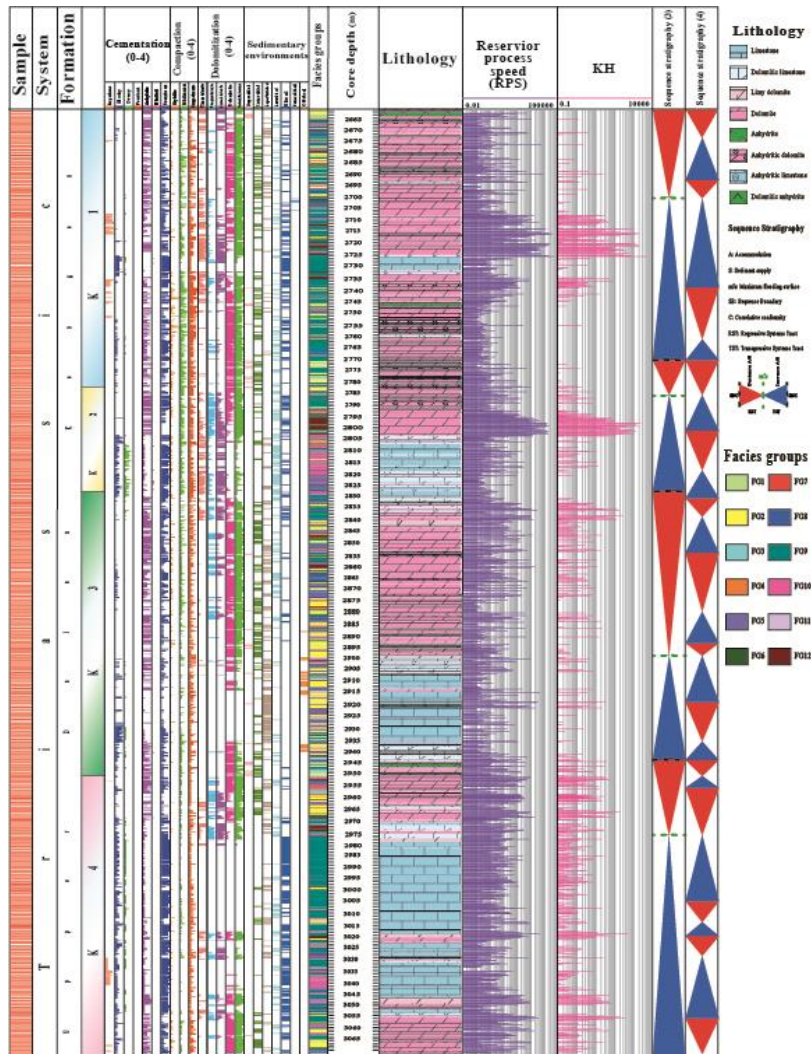


بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شکل ۴) کراس پلات تخلص - تراوایی ریزرخساره‌های شناسایی شده در چاه مورد مطالعه

نتایج مطالعات سنگشناسی نشان داد که مخازن سازنده‌های دالان بالایی و کنگان، تاریخچه دیاژنزی پیچیده را تجربه کرده‌اند که شامل عبور از محیط‌های دریایی، هایپرسالین/متئوریک و محیط‌های دفنی کم عمق است. در هر محیط دیاژنزی تغییرات مختلفی را تحمل کرده‌اند که به درجات و شدت‌های مختلف بر خصوصیات مخزنی آن‌ها تأثیر گذاشته است. در طول چنین تاریخچه دیاژنزی، ویژگی‌های مخزنی (یعنی مقادیر تخلص-تراوایی) این توالی‌ها به طرز چشمگیری تغییر کرده است.



شکل ۵) ستون ریزرخساره‌های شناسایی شده و انطباق آن‌ها با داده‌های تخلص-تراوایی در چاه مورد مطالعه

منابع:

- رحیم‌پور بناب، ح.، طاوسی ایرج، پ.، ۱۳۹۷. تفکیک سدهای تراوایی مخزنی در سازندهای مخزنی کنگان و دالان بالایی. بیست و یکمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۷ صفحه.
- موحد، ب.، کهنسال قدیم‌وند، ن.، زمان‌نژاد، م.ر.ف. ۱۳۹۰. ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای کنگان و دالان فوقانی - چاه Sp.x در میدان گازی پارس جنوبی. فصلنامه زمین، ۶ (۲۱)، ۱۸۵-۱۶۹.
- Ahr, W., (2008). *Geology of Carbonate Reservoirs*. John Wiley and Sons, Chichester, 296 p.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1: 108-121.
- Embry, A. F., and Klovan, J. E (1971) A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island: Canadian Journal of Petroleum Geology, 19: 51 p.

- Enayati-Bidgoli, A. H., and Rahimpour-Bonab, H (2016) A geological based reservoir zonation scheme in a sequence stratigraphic framework: A case study from the Permo-Triassic gas reservoirs, Offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 73: 36-58.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*, second ed. Springer, Berlin, 984 p.
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M., and Monibi, S (2006) Upper Dalan/Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *GeoArabia*, 11, 2: 75-176.
- Lucia, F.J., 2007. *Carbonate Reservoirs Characterization: an integrated approach*. Springer-Verlag, Berlin, 341 p.
- Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A. H., and Esrafil-Dizaji, B (2015a) Impact of contrasting paleoclimate on carbonate reservoir architecture: Cases from arid Permo-Triassic and humid Cretaceous platforms in the south and southwestern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 126: 262-283.
- Moore, C.H., (2001). *Carbonate porosity: evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework*. Elsevier, Amsterdam 444 pp
- Motamedi H, Sepehr M, Sherkati S, Pourkermani M (2011) Multi-phase Hormuz salt diapirism in the southern Zagros, SW Iran. *J Petrol Geol* 34(1):29–44
- Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B (2011) Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach. *Comptes Rendus Geoscience*, 343: 55–71.

## ژئوشیمی رسوبات آواری برش کلاته نو در شمال بیرجند با تأکید بر منشأ، هوازدهی و شرایط آب و هوای دیرینه

مریم مرتضوی مهریزی<sup>۱\*</sup>، عاطفه البرز<sup>۲</sup>، سید ناصر رئیس السادات<sup>۳</sup>

\*<sup>۱</sup> استادیار گروه زمین شناسی، گرایش رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه بیرجند

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد گروه زمین شناسی، گرایش رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه بیرجند

<sup>۳</sup> استاد گروه زمین شناسی، گرایش چینه شناسی و فسیل شناسی، دانشگاه بیرجند

Mmortazavi@birjand.ac.ir

### چکیده:

مطالعه ژئوشیمی رسوبات آواری برش کلاته نو (شمال بیرجند) به منظور بررسی منشأ، شرایط آب و هوای دیرینه و نرخ هوازدهی انجام گرفته است. بدین منظور ۱۹ نمونه شیلی برای آنالیز XRF آماده شده است. نتایج حاصل از مطالعات نشان می دهد که منشأ این رسوبات، سنگ آذرین اسیدی تا حدواسط می باشد. رابطه مثبت میان  $Al_2O_3$  در مقابل  $SiO_2$ ،  $Na_2O$ ،  $K_2O$ ،  $TiO_2$ ،  $MnO$  نشان دهنده حضور این عناصر در کانی های رسی و میکاها بوده و نسبت  $SiO_2/Al_2O_3$  رسیدگی رسوبی پایین در این منطقه را نشان می دهد. تعیین آب و هوای دیرینه بر اساس عناصر اصلی نشان دهنده شرایط آب و هوایی گرم و خشک می باشد همچنین اندیس های هوازدهی CIA، PIA و CIW محاسبه شده، بیانگر نرخ متوسط هوازدهی است. کلیدواژه: ژئوشیمی سنگ های آواری، منشأ، شرایط آب و هوای دیرینه، کلاته نو، شمال بیرجند

## Geochemistry of detrital sediments of Kalateh Now section in northern Birjand with emphasis on provenance, weathering and paleoclimatic conditions

Maryam Mortazavi Mehrizi; Atefe Alborz; Seyed Naser Raisosadat

### Abstract

Geochemical study of detrital sediments of Kalateh No section (north of Birjand) has been done to investigate the provenance, paleoclimatic conditions and weathering rate. For this purpose, 19 shale samples have been prepared for XRF analysis. The results of studies show that the provenance of these sediments is moderate to acidic igneous rock. The positive correlation between  $Al_2O_3$  versus  $SiO_2$ ،  $Na_2O$ ،  $K_2O$ ،  $TiO_2$ ، and  $MnO$  indicates the presence of these elements in clay minerals and mica and the  $SiO_2/Al_2O_3$  ratio shows low sediment maturity in this area. Determination of the paleoclimatic conditions based on the major elements indicates warm and arid conditions. Also, the weathering indices of CIA، PIA and CIW are calculated, indicating the average weathering rate.

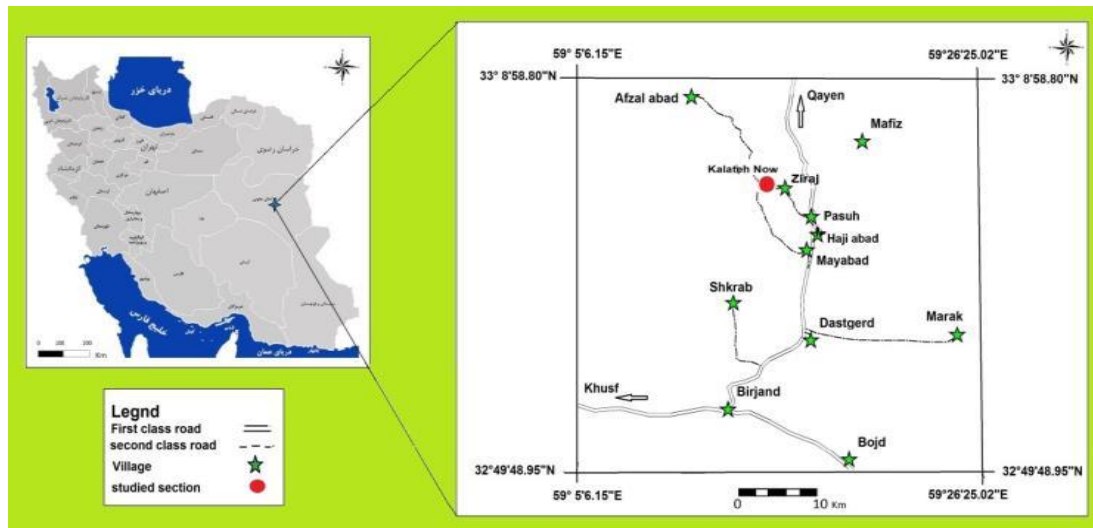
Key word: Detrital rocks geochemistry, Provenance, Paleoclimatic condition, Kalateh Now, North of Birjand

### مقدمه:

ترکیب سنگ های سیلیسی آواری معمولاً توسط عوامل متعددی در ناحیه منشأ مانند هوازدهی فیزیکی و شیمیایی، پستی و بلندی، اقلیم، فعالیت تکتونیکی و ترکیب شیمیایی و فرآیندهای انتقال، رسوبگذاری و پس از رسوبگذاری کنترل می شود. لذا از این داده ها می توان در تعبیر و تفسیر آب و هوای ناحیه منشأ و شرایط رسوبگذاری استفاده کرد (Condie et al., 1995). رسوبات آواری دانه ریز برای مطالعه منشأ و برخاستگاه مفیدتر از سایر سنگ های رسوبی هستند (Taylor and McLennan, 1985). شیل ها به عنوان فراوان ترین سنگ های رسوبی در سطح زمین، از آن جا که دانه ریز بوده و نفوذپذیری بسیار کمی دارند میتوانند ترکیب کانی شناسی سنگ منشأ را به خوبی در خود حفظ کرده و بدین سبب در بررسی های برخاستگاهی از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند (Hessler and Lower, 2006). هدف از این مقاله ارائه اطلاعاتی از سنگ منشأ، نرخ هوازدهی رسوبات، آب و هوای دیرینه در توالی رسوبی مورد مطالعه است که بدین منظور از آنالیز اکسیدهای اصلی استفاده شده است.



موقعیت محدوده مورد مطالعه در شمال شرق روستای کلاته نو واقع در ۳۵ کیلومتری شمال شهر بیرجند می باشد (شکل ۱). ضخامت این توالی رسوبی آواری ۵۸۰ متر و واحدهای سنگی آن شامل شیل، ماسه سنگ، سیلتستون و میکروکنگلومرا با سن ائوسن میانی می باشد.



شکل ۱: نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار Google earth و GIS.

#### روش مطالعه:

در این مطالعه تعداد ۱۴۳ نمونه شیلی، ماسه سنگی، سیلتستونی و میکروکنگلومرای از توالی مورد نظر برداشت شده که ۱۹ نمونه شیلی آن جهت آنالیز عناصر اصلی و فرعی توسط اشعه ایکس XRF انتخاب شده است. دستگاه XRF با سرعت عمل بسیار زیاد عناصر بسیاری را بصورت کیفی و کمی مورد آنالیز قرار می دهد. آنالیز نمونه های مورد مطالعه در شرکت آمیتیس شرق مشهد صورت گرفته که بر مبنای روش Ahmedali (1989) و توسط دستگاه Philips PW (Uniquant- Software) XRF Spectrometer به همراه نرم افزار And X40 می باشد.

#### بحث:

درصد فراوانی اکسید عناصر اصلی نمونه های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. در این نمونه ها،  $SiO_2$  ۴۹/۶۶ تا ۵۴/۹۹ درصد (به طور میانگین ۵۲/۴۲ درصد)،  $Al_2O_3$  ۱۵/۳ تا ۱۲/۷۲ درصد (به طور میانگین ۱۴/۱۳ درصد)،  $CaO$  ۴/۰۱ تا ۷/۷۱ درصد (به طور میانگین ۵/۹۶ درصد)،  $Fe_2O_3$  ۵/۱۶ تا ۱۰/۱۵ درصد (به طور میانگین ۶/۹۷ درصد) و سایر عناصر اصلی ( $MnO$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ) دارای مقادیر ناچیز کمتر از ۵ درصد می باشند. عناصر فرعی نظیر  $Ba$ ,  $Rb$ ,  $Sr$ ,  $Zr$  دارای بیشترین فراوانی و عناصر  $Nb$ ,  $Th$ ,  $Pb$ ,  $Mo$ ,  $U$  کمترین فراوانی هستند.

از آن جا که  $Al_2O_3$  در طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی تقریباً بدون تغییر باقی می ماند، می تواند به عنوان عاملی برای مقایسه با دیگر عناصر اصلی به کار رود در حالی که اکسیدهای  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$  بیشترین تغییرات را در سنگ ها نشان می دهند (Gateneh, 2000). در نمونه های شیلی مورد مطالعه، عناصر اصلی نظیر  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$  در مقابل  $Al_2O_3$  قرار گرفته و ضریب انطباق آن به ترتیب  $(R= +0.67, +0.16, +0.24, +0.23, +0.29)$  می باشد که همبستگی مثبت نشان می دهد. این رابطه مثبت نشان دهنده حضور کانی های رسی و میکاها می باشد. این در حالی است که عناصر  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  در مقابل  $Al_2O_3$  به ترتیب دارای ضریب انطباق  $(R=-0.66, -0.65, -0.04)$  هستند که همبستگی منفی نشان می دهند. ارتباط منفی  $Al_2O_3$  با  $CaO$  نشان دهنده حضور سیمان و خرده سنگ های کربناته در  $CaO$  می باشد. نسبت  $Al_2O_3/TiO_2$  نیز در شیل ها نشانگر خوبی برای تفسیر سنگ منشأ شیل ها در مقایسه با دیگر عناصر اصلی است. نسبت  $Al_2O_3/TiO_2$  در نمونه های مورد مطالعه از ۱۴/۵۷ تا ۲۱/۶۲ متغیر می باشد که بیان کننده فراوانی بالای آلومینیوم است، بنابراین احتمالاً سنگ منشأ از نوع آذرین اسیدی تا حدواسط می باشد. نسبت  $SiO_2/Al_2O_3$  به عنوان یک

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



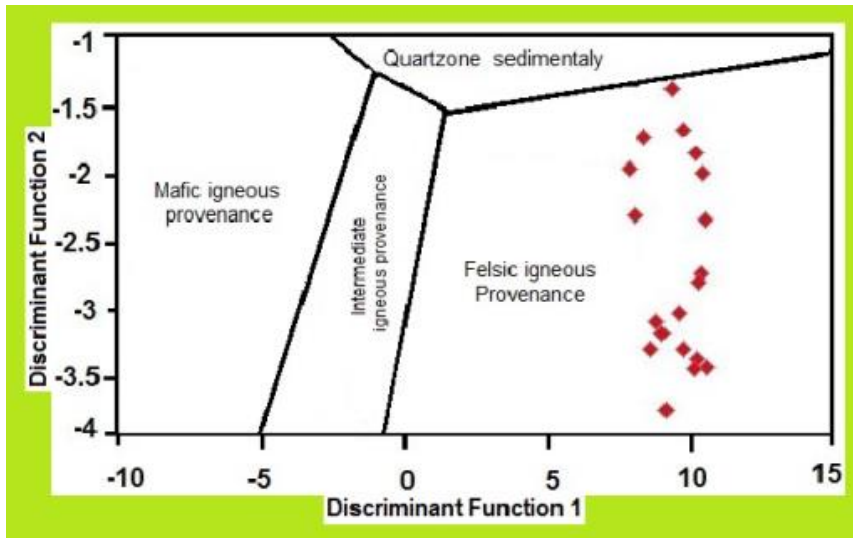
اندیس جهت تعیین رسیدگی رسوبی کاربرد دارد (Potter, 1978). این میزان در طی هوازدگی، حمل و نقل و چرخه مجدد، در نتیجه افزایش کوارتز نسبت به اجزای ناپایدار مثل فلدسپار و قطعات افزایش می‌یابد. در صورتی که این نسبت در سنگ های رسوبی بیشتر از ۵-۶ باشد، نشان دهنده رسیدگی رسوبی بالا است (Roser et al., 1996). میانگین این نسبت  $SiO_2/Al_2O_3$  در سنگ های مورد مطالعه ۳/۷ می‌باشد که نشان دهنده رسیدگی رسوبی پایین است.

جدول ۱: نتایج آنالیز عنصری (عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی wt%) در نمونه های شیلی برش کلاته نو

Sample N.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	LOI
K8	50.86	13.62	0.78	4.45	3.72	0.67	0.09	5.12	0.11	7.3	0.09	12.97
K14	49.46	14.58	0.91	3.51	2.74	0.74	0.08	7.23	0.13	6.83	N	13.57
K22	52.42	14.61	0.8	3.95	3.89	0.72	0.07	4.32	0.11	7.84	N	11.07
K28	51.98	14.26	1.19	3.53	3.42	0.72	0.06	5.81	0.1	5.57	2.24	10.9
K36	52.76	14.29	0.85	3.69	3.38	0.68	0.08	6.14	0.11	5.47	N	12.37
K42	51.92	14.57	0.98	3.5	3.33	0.07	0.07	5.83	0.12	7.22	N	11.56
K48	52.53	14.27	1.34	3.04	2.53	0.66	0.09	7.71	0.12	5.42	N	12.15
K54	53.66	15.3	2.15	2.97	3.09	1.05	0.06	4.01	0.15	10.15	N	7.22
K65	52.95	13.87	1.35	3.74	2.5	0.79	0.08	5.98	0.14	7.22	N	11.22
K72	49.65	12.72	1.14	4.2	3.49	0.59	0.1	5.99	0.1	7.59	0.11	13.88
K80	52.82	13.73	1.79	3.64	2.5	0.86	0.09	5.29	0.14	8.35	N	10.64
K86	53.75	14.63	1.09	3.72	3.19	0.72	0.11	4.86	0.11	6.75	N	10.89
K93	53.48	13.68	1.46	3.71	2.55	0.84	0.07	5.5	0.13	7.76	N	10.67
K98	53.27	13.29	1.23	3.78	2.99	0.81	0.06	5.43	0.12	7.28	N	11.57
K106	52.18	14.01	1.35	3.19	2.57	0.72	0.08	7.61	0.13	6.16	N	11.84
K112	51.26	13.89	1.15	3.29	2.91	0.94	0.08	5.31	0.13	9.21	N	11.67
K117	54.99	14.32	0.83	2.34	2.2	0.69	0.07	7.14	0.13	5.18	N	11.93
K134	52.22	14.48	1.72	3.2	2.09	0.72	0.1	7.08	0.12	6.06	N	12.07
K142	53.96	14.49	1.84	3.36	1.75	0.67	0.09	6.99	0.12	5.16	N	11.41

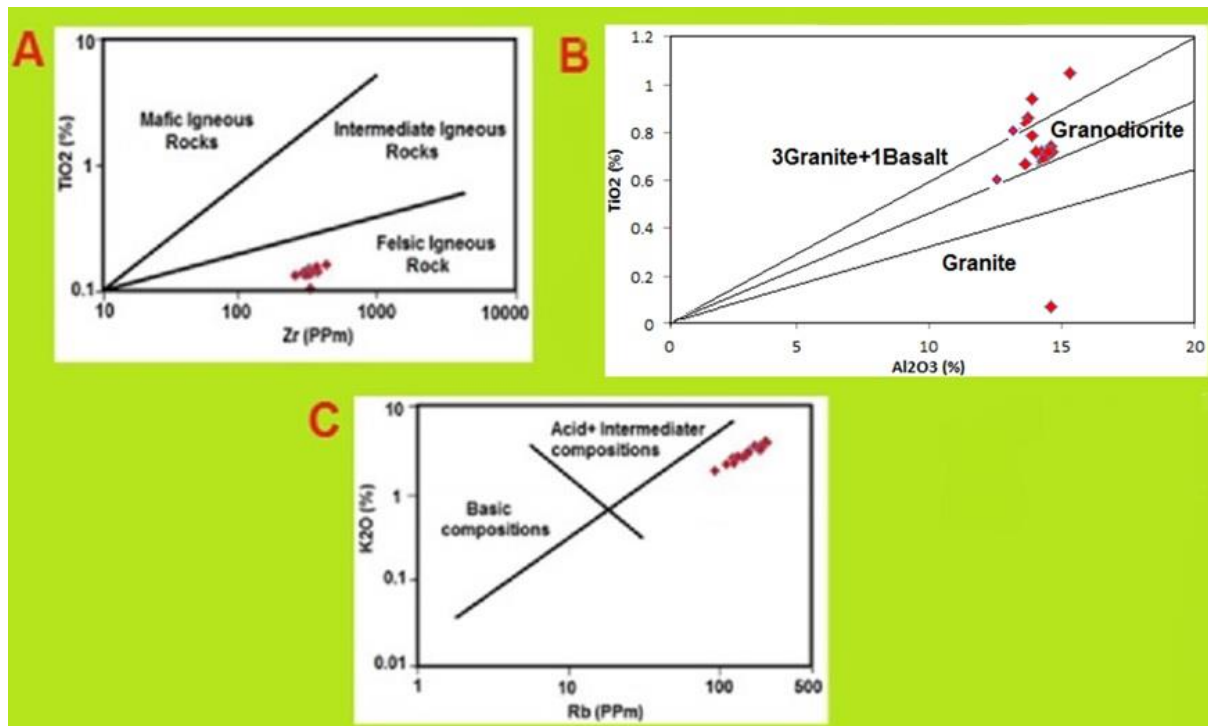
**سنگ منشأ:** بسیاری از پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی سیلیسی آواری در ارتباط با نواحی منشأ آنها هستند (Asiedu et al., 2000; Nagarajan et al., 2007; Jafarzadeh et al., 2008). از آن جایی که نهشته‌های شیلی دانه‌ریز بوده و نفوذپذیری بسیار کمی دارند می‌توانند ترکیب کانی‌شناسی سنگ منشأ را در خود حفظ کرده که بدین سبب در بررسی‌های بر خاستگاهی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (Hessler and Lower, 2006).

Roser and Korsch (1988) دیاگرام دو تابع تمایزی را برای شناسایی رسوباتی که منشأ اولیه آن‌ها سنگ های آذرین مافیک، حدواسط، فلسیک و رسوبی کوارتزی است، ارائه نموده‌اند. در این نمودار تفکیکی از اکسیدهای  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  برای تفکیک بین منشأهای چهارگانه استفاده شده است. داده های مربوط به اکسیدهای عناصر اصلی نمونه های مورد مطالعه، در دیاگرام تفکیکی، در ناحیه با منشأ آذرین اسیدی قرار می‌گیرند (شکل ۲). برای تعیین منشأ دقیق تر، از دیاگرام های دو بعدی (Floyd et al., 1989)،  $Ti$  در برابر  $Zr$  استفاده شده است که منشأ آذرین اسیدی را نشان می‌دهد (شکل ۳ A). نمودار پراکندگی  $K_2O$  در مقابل  $Rb$  که توسط Shaw (1968) ارائه شده است، منشأ اسیدی تا حدواسط را نشان می‌دهد (شکل ۳ C). همچنین نمودار  $TiO_2/Al_2O_3$  که توسط McLennan et al. (1980) ارائه شده است، نشان می‌دهد که شیل های منطقه مورد مطالعه اکثراً در محدوده گرانودیوریت و تعدادی در محدوده ۳ گرانیت + (بازالت قرار گرفته‌اند (شکل ۳ B). این نمودار نیز تأیید کننده نتایج سایر نمودارها می‌باشد.



شکل ۲: نمودار تفکیک منشا برای نمونه های منطقه مورد مطالعه (با اقتباس از Roser and Korsch, 1988)

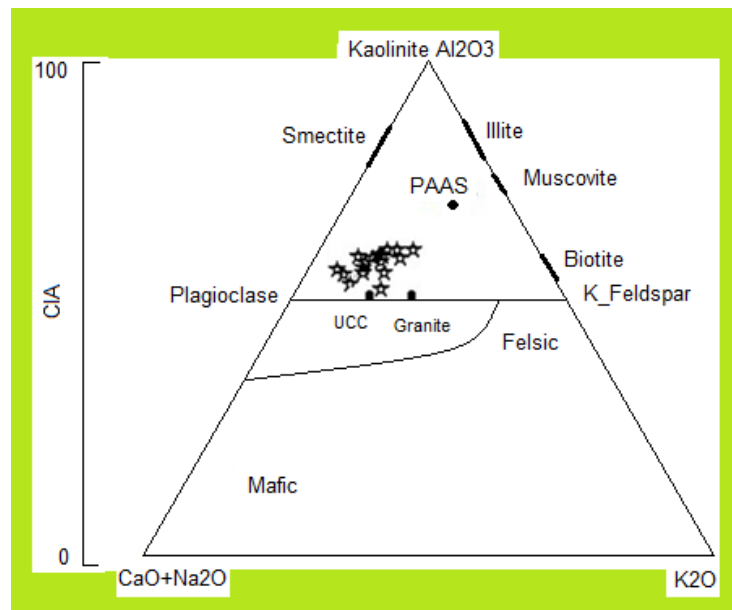
Na<sub>2</sub>O - Discrimination function 1 = -1.773 TiO<sub>2</sub> + 0.607 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0.76 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1.5 MgO + 0.616 CaO + 0.509  
 1.224 K<sub>2</sub>O - 9.09  
 Na<sub>2</sub>O Discrimination function 2 = 0.445 TiO<sub>2</sub> + 0.07 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0.25 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1.142 MgO + 0.438 CaO + 1.475  
 + 1.426 K<sub>2</sub>O - 6.861



شکل ۳: ترسیم دیاگرام های دو متغیره (A) در برابر Zr (اقتباس از Floyd et al., 1989)، (B) در مقابل Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (اقتباس از Shaw, 1968) و (C) در مقابل K<sub>2</sub>O (McLennan et al., 1980) در نمونه های شیلی منطقه مورد مطالعه.

**هوازدگی:** ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی و کانی شناسی رسوبات سیلیسی آواری می توانند توسط فرآیندهای هوازدگی دچار تغییر شوند (Nesbitt and Young, 1982; McLennan, 1993). تاریخچه هوازدگی رسوبات و سنگ های آواری می تواند از

روی نسبت تغییرات اکسیدهای بی تحرکی نظیر  $Al_2O_3$  نسبت به اکسیدهای متحرکی نظیر  $K_2O$ ,  $CaO$  و  $Na_2O$  ارزیابی شود (Nesbitt and Young, 1984). در نمودار A-CN-K مراحل آغازین هوازگی، روندی موازی ضلع A-CN را خواهند داشت. زیرا در طول مراحل اولیه هوازگی یون‌های سدیم و پتاسیم با تخریب فلدسپات‌ها (پلاژیوکلازها)، انجام می‌شود. با ادامه روند هوازگی فلدسپات پتاسیم دار، یون‌های پتاسیم آن نیز کاهش یافته و روند هوازگی به سمت ترکیب  $Al_2O_3$  تغییر مکان می‌دهد (Paikaray et al., 2008). در این نمودار سنگ‌های غیرهوازده در زیر خط پلاژیوکلاز-فلدسپات قرار می‌گیرند (Nesbitt & Young, 1984; Akarish & El-Gohary, 2008). این مثلث برای نمونه‌های شیلی منطقه مورد مطالعه رسم شده و هوازگی شیمیایی آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمونه‌های آنالیز شده به خط A-CN نزدیک بوده و همچنین در بالای خط پلاژیوکلاز-فلدسپات قرار گرفته اند که نشان‌دهنده پیشروی هوازگی و تخریب پلاژیوکلازهای سنگ منشأ می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴: نسبت‌های مولکولی  $Al_2O_3$ - $(CaO+Na_2O)$ - $K_2O$  نمونه‌های شیلی مورد مطالعه، در نمودار مثلثی A-CN-K (اقتباس از Nesbitt & Young, 1984).

شاخصی که در رابطه با هوازگی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص دگرسانی شیمیایی (Chemical Index of Alteration: CIA) است (معادله ۱). CIA متوسط و بالا، با انتقال کاتیون‌های متحرک و باقی ماندن تشکیل دهنده‌های (Al, Ti) با تحرک کمتر مرتبط است (Nesbitt and Young, 1982).

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

در معادله بالا همه اکسیدها بر حسب نسبت مولی است و  $CaO^*$  مقدار  $CaO$  وارد شده به کسر سیلیکات می‌باشد به عبارت دیگر منظور از  $CaO$  در این رابطه، کلسیم حاضر در اجزای سیلیکاته سنگ است و در نمونه‌های که  $CaO$  بالای آنها مربوط به سیمان‌های دیاژنتیکی می‌باشد، این میزان باید تصحیح گردد. برای تعیین این مقدار، روش غیر مستقیمی توسط (McLennan, 1993) ارائه شده است. این روش شامل تفریق نسبت مولی  $P_2O_5$  از نسبت مولی  $CaO$  می‌باشد و در صورتی که تعداد مول‌های باقی مانده کمتر از نسبت مولی  $Na_2O$  باشد، این تعداد را به عنوان  $CaO$  کسر سیلیکات در نظر می‌گیرند اما اگر تعداد مول‌های باقی مانده بیشتر از نسبت مولی  $Na_2O$  باشد، همان نسبت مولی  $Na_2O$  را به عنوان نسبت مولی  $CaO$  کسر سیلیکات در نظر می‌گیرند (McLennan, 1993; Fedo et al., 1995). محدوده CIA از ۵۰ تا ۱۰۰ متغییر است. میزان بالای CIA منعکس کننده حذف کاتیون‌های ناپایدار (مانند  $Na^+$ ,  $K^+$  و  $Ca^{2+}$ ) نسبت به اجزای باقیمانده پایدار ( $Al^{3+}$  و  $Ti^{4+}$ ) در طی هوازگی و میزان کم CIA نشان دهنده نبود دگرسانی شیمیایی و منعکس کننده شرایط سرد و

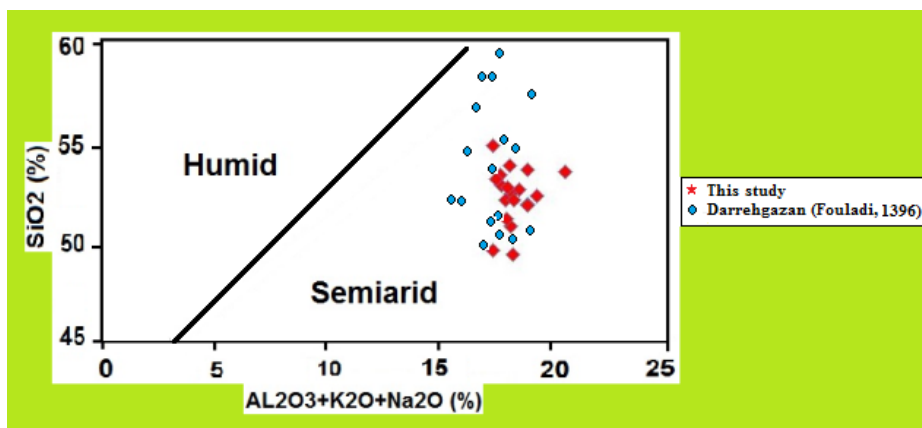
یا خشک می‌باشد (Nesbitt and Young, 1984). مقدار CIA برای نمونه های مورد مطالعه از ۵۴ تا ۶۲ متغیر است که هوازگی با درجه متوسط را نشان می دهد. CIA بالا در نمونه های شیلی نشان دهنده تمرکز بیشتر محصول های هوازگی به کانی های رسی در شیل ها است (Paikaray et al., 2008).  
 اندیس آلتراسیون پلاژیوکلاز (PIA) (Fedo et al., 1995) نیز در تعیین شرایط هوازگی پیشین سنگ های رسوبی آواری کاربرد زیادی دارد (معادله ۲).

$$PIA = \frac{(Al_2O_3 - K_2O)}{(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O)} \times 100 \quad \text{معادله (۲)}$$

میزان اندیس دگرسانی پلاژیوکلاز برای سنگ های غیر هوازده و تازه در حدود ۵۰ و برای تبدیل کامل فلدسپارها به کانی های رسی آلومینیوم دار ثانویه (از قبیل کائولینیت، ایلیت، و ژپسیت) نزدیک به ۱۰۰ می باشد (Fedo et al., 1995). این اندیس در نمونه های مورد مطالعه بین ۵۶ تا ۷۵ متغیر است که بر هوازگی شیمیایی قابل توجه در پلاژیوکلاز موجود در رسوبات و تبدیل آن به کانی های رسی دلالت می نماید و شدت هوازگی متوسط تا بالایی را نشان می دهد.  
 اندیس هوازگی شیمیایی (CIW) (Harnois, 1988) نیز برای تعیین درجه هوازگی سنگ منشأ کاربرد گسترده ای دارد (معادله ۳).

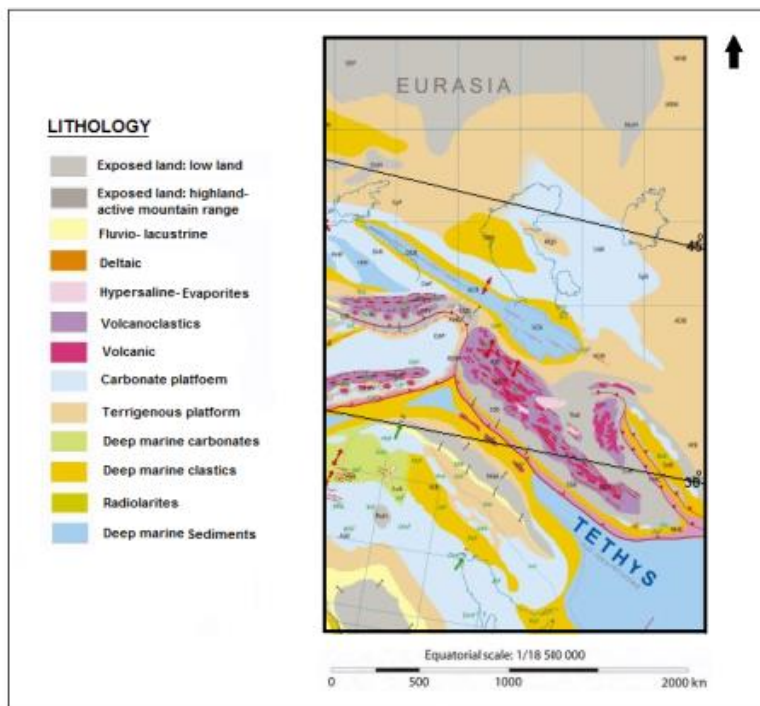
$$CIW = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O} \times 100 \quad \text{معادله (۳)}$$

مقادیر این اندیس برای شیل های منطقه مورد نظر ۶۰ تا ۷۴ است که بیانگر شدت هوازگی متوسط تا بالایی می باشد.  
 ارتباط داده های ژئوشیمی با شرایط آب و هوایی منطقه در زمان رسوبگذاری: آب و هوا با فرآیندهای هوازگی، نقش مهمی در ترکیب نهایی واحدهای سنگی و در نتیجه تفسیرهای خاستگاه دارد (Suttner & Dutta, 1986; Cavazza & Ingersoll, 2005). جهت تعیین آب و هوای منشأ نهشته های برش مورد مطالعه از نمودار (Dutta & Suttner, 1986) استفاده شده که بر مبنای  $SiO_2$  در برابر  $Al_2O_3 + K_2O + Na_2O$  می باشد و قرار دادن داده های ژئوشیمی شیلی در آن نشان دهنده آب و هوای گرم و خشک این منطقه است (شکل ۵). از طرفی هوازگی یکسان سنگ ها، اندازه ریز فلدسپات ها و گردشگری آن ها تایید کننده این نوع آب و هوا می باشد. همچنین داده های ژئوشیمی ماسه سنگ های برش دره گزان نیز بیانگر آب و هوای گرم و خشک در دوره ائوسن میانی می باشد (شکل ۵).



شکل ۵: دیاگرام دو متغیره  $SiO_2$  در مقابل  $Al_2O_3 + K_2O + Na_2O$  نمونه های منطقه مورد مطالعه (با اقتباس از Suttner and Dutta (1986))

نقشه جغرافیای دیرینه (شکل ۶) نیز نشان دهنده قرارگیری زون سیستان در دوران ائوسن میانی در عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی است که نشان دهنده آب و هوای گرم و خشک می باشد و نتایج حاصل از داده های ژئوشیمی را تایید می کند.



شکل ۶: نقشه جغرافیای دیرینه زون سیستان در دوران ائوسن میانی (Barrier et al., 2008)

#### نتیجه گیری:

مطالعات ژئوشیمی رسوبات برش کلاته نو واقع در شمال بیرجند گویای فراوانی بالایی عناصر  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  می باشند. با تحلیل داده های ژئوشیمی در بررسی سنگ منشأ، منشأ رسوبات سیلیسی آواری منطقه مورد مطالعه سنگ های آذرین اسیدی و حدواسط می باشد. اندیس هوازگی شیمیایی (CIV) و دگرسانی پلاژیوکلاز (PIA) هوازگی درجه متوسط در سنگ منشأ را نشان می دهد که با تفسیر شرایط آب و هوایی گرم و خشک منطقه در زمان ائوسن میانی بر اساس داده های ژئوشیمیایی سازگار می باشند.

#### منابع:

- Ahmedali, S.T., 1989. X-Ray Fluorescence Analysis in the Geological Sciences. Advances in Methodology 7, Geological Association of Canada, Short Course, 308 pp.
- Akarish, A.I.M., El-Gohary, 2008. Petrography and geochemistry of lower Paleozoic sandstones, East Sinai, Egypt: Implications for provenance and tectonic setting. Journal of African Earth Sciences 52, 43–54.
- Asiedu, D.K., Suzui, S., Shibata, T., 2000. Provenance of sandstones from the Lower Cretaceous Sasayama Group, inner zone of southwest Japan. Sedimentary Geology 131, 9–24.
- Cavazza, W., Ingersoll, R., 2005. Detrital modes of the Ionian forearc basin fill (Oligocene-Quaternary) reflect the tectonic evolution of the Calabria– Peloritani terrane (southern Italy). Journal of Sedimentary Research 75, 268–279.
- Condie, K. C., Noll, P. D., Conway, C. M., 1993. Geochemical and detrital mode evidence for two sources of Early Proterozoic sedimentary rocks from the Tonto Basin Supergroup, central Arizona. Sedimentary Geology 77(1-2), 51-76.
- Dutta, P.K., Suttner, L.J., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, II. Authigenic mineralogy. Journal of Sedimentary Petrology 56, 346- 358.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W., Young, G. M., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. Geology, 23(10), 921-924.
- Floyd, P., Winchester, J., Park, R., 1989. Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the Early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, NW Scotland. Precambrian Research, 45(1-3), 203-214.

- Gateneh, W., 2000. Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences* 35, 185-198.
- Harnois, L., 1988. The CIW index: A new chemical index of weathering: *Sedimentary Geology* 55, 319-322.
- Hessler, A. M., Lower, D. M., 2006. Weathering and sediment generation in the Archean: An integrated study of the evolution of siliciclastic sedimentary rocks of the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research* 151, 185-210.
- Jafarzadeh, M., Hosseini-Barzi, M., 2014. Petrography and geochemistry of Ahwaz Sandstone Member of Asmari Formation, Zagros, Iran: implications on provenance and tectonic setting. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 25(2), 247-260.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., Kroner, A., 1980. Geochemical evolution of Archean shales from South Africa: I. the Swaziland and Pongola Supergroups. *Precambrian Research* 22, 93-124.
- McLennan, S.M., 1993. Weathering and global denudation. *Journal of Geology* 101, 295-303.
- Nagarajan, R., Madhavaraju, J., Nagendra, R., Armstrong-Altrin, J.S., Moutte, J., 2007. Geochemistry of Neoproterozoic shales of the Rabanpalli Formation, Bhima Basin, Northern Karnataka, southern India: implications for provenance and paleoredox conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24, 150-160.
- Nesbitt, H., Young, G., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299(5885), 715-717.
- Nesbitt, H., Young, G., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48(7), 1523-1534.
- Paikaray, S., Banerjee, S., Mukherji, S., 2008. Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications provenance, tectonics and paleoweathering. *Journal of Asian Earth Sciences* 32, 34-48.
- Potter, P. E., 1978. Petrology and chemistry of modern big river sands. *The Journal of Geology* 86(4), 423-449.
- Roser, B., Korsch, R., 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical geology* 67(1-2), 119-139.
- Roser, B.P., Cooper, R.A., Nathan, S., Tulloch, A.J., 1996. Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand. *Journal of Geol. Geophys.* 39, 1-16.
- Shaw, D.M., 1968. A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 32, 573-601.
- Suttner, L. J., Dutta, P. K., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology* 56, 329-345.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 312 p.

## بررسی تاریخچه رسوبگذاری نهشته های سیلیسی آواری ائوسن برش دره گزان،

### شمال بیرجند

مریم مرتضوی مهریزی<sup>۱\*</sup>، هانی فولادی تالاری<sup>۲</sup>، سید ناصر رئیس السادات<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>\*استادیار گروه زمین شناسی، گرایش رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه بیرجند

<sup>۲</sup>کارشناس ارشد گروه زمین شناسی، گرایش رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه بیرجند

<sup>۳</sup>استاد گروه زمین شناسی، گرایش چینه شناسی و فسیل شناسی، دانشگاه بیرجند

mmortazavi@birjand.ac.ir

#### چکیده:

جهت مطالعه تاریخچه رسوب گذاری نهشته های سیلیسی آواری ائوسن شمال بیرجند یک برش به ضخامت ۵۰۰ متر واقع در روستای دره گزان، شمال بیرجند مورد مطالعه قرار گرفته است. آنالیز رخساره های سنگی رسوبات سیلیسی آواری مورد مطالعه سبب تشخیص ۷ رخساره سنگی شده است که در سه مجموعه رخساره های کنگلومرایی، ماسه سنگی و گل سنگی طبقه بندی می شود. این رخساره ها شامل Gcm, Sh, Sl, Sm, St Sr, Fl هستند که از این میان رخساره های Sm, Sh, Fl بیشترین گسترش را دارا می باشند. تفسیر محیط رسوبگذاری نهشته های سیلیسی آواری در ناحیه مورد مطالعه نشان می دهند این رسوبات در محیط های قاره ای و حدواسط بر جای گذاشته شده اند.

کلیدواژه: رخساره های سنگی، محیط رودخانه ای، محیط دلتایی، نهشته های آواری ائوسن، شمال بیرجند

## Investigation of depositional history of Eocene siliciclastic deposits in the Dareh-Gazan section, north of Birjand

Maryam Mortazavi Mehrizi; Hani Fouladi Talari; Seyed Naser Raisosadat

#### Abstract

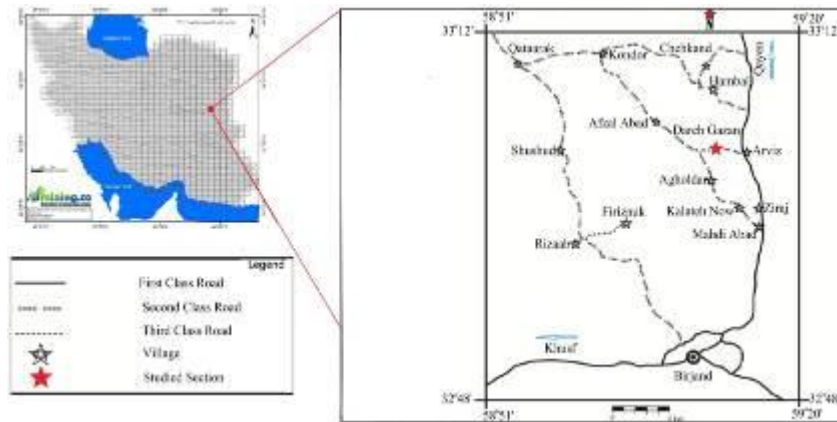
In order to study of depositional and post depositional history of siliciclastic deposits of Eocene, North of Birjand, a 500 meter thick section in the village of Dareh-Gazan, has been studied. The analysis of the studied siliciclastic lithofacies identified seven lithofacies, which are classified into three groups of conglomerate, sandstone and mudstone lithofacies. These facies are including Gcm, Sh, Sl, Sm, St, Sr, Fl, which Sm, Sh, Fl lithofacies are the most expanded. The interpretation of the sedimentary environment of siliciclastic sediments in the study area indicates that these sediments are deposited in continental and intermediate environments.

Key word: Lithofacies, Fluvial environment, Deltaic environment, Eocene siliciclastic deposits, North of Birjand

#### مقدمه:

رسوبات در محیط های رسوبی مختلفی که بر اساس اختصاصات ژئومورفولوژیکی خود قابل تعریف هستند، تجمع می یابند. فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، اختصاصات رسوبات نهشته شده در موقعیتهای رسوبی مختلف را تعیین می کنند. یک بخش اصلی از علم رسوب شناسی، به تفسیر سنگهای رسوبی بر حسب فرآیندهای حمل و نقل و رسوبگذاری و تعیین نوع محیط رسوبی دیرینه بر می گردد. بازسازی شرایط رسوبگذاری دیرینه نیازمند جمع آوری اطلاعات رسوب شناسی (رخساره های سنگی) و فسیل شناسی (رخساره های زیستی و آثار فسیلی) می باشد (Posamentier and Walker, 2006; Nichols, 2009). برش دره گزان در ۴۰ کیلومتری شمال بیرجند و در محدوده ۳ کیلومتری شمال غربی روستای آرویز قرار دارد. این





شکل ۱: نقشه راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه. برگرفته از نقشه عمومی راه های ایران

ناحیه در مختصات جغرافیایی  $33^{\circ} 5' 34/3''$  عرض شمالی و  $59^{\circ} 14' 41/1''$  طول شرقی قرار گرفته است. بهترین راه دسترسی به برش مورد نظر از طریق جاده بیرجند- مشهد است (شکل ۱). توالی رسوبی مورد مطالعه به سن ائوسن و حدود ۵۰۰ متر ضخامت داشته و از طبقات ماسه سنگی، شیلی و سیلتستونی تشکیل شده است. مرز تحتانی این توالی با واحدهای توفی ائوسن به صورت تدریجی و مرز بالایی آن با واحدهای میکرودیوریت و داسیت الیگوسن-میوسن به صورت مشخص می باشد. هدف از این مطالعه، بررسی اختصاصات رسوب شناسی و تفسیر شرایط رسوبگذاری نهشته های سیلیسی آواری برش مورد مطالعه است.

#### روش مطالعه:

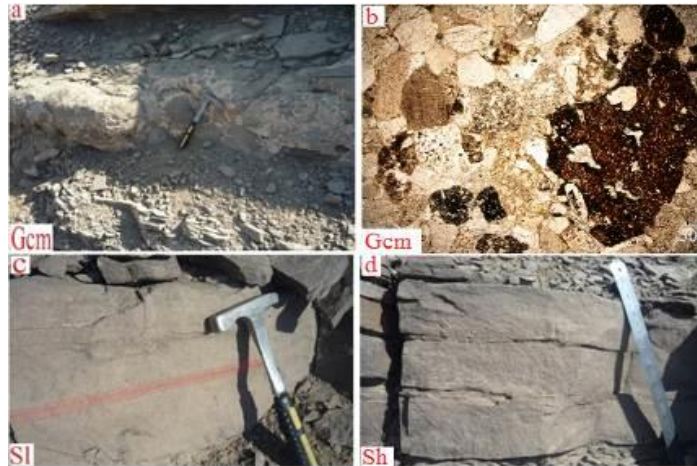
برش چینه شناسی مورد نظر با توجه به کامل بودن رخنمون سطحی و دسترسی آسان به آن انتخاب، برداشت و اندازه گیری شده است. برداشت نمونه ها بر اساس تغییرات سنگ شناسی، بافتی و ساختمان های رسوبی صورت گرفته است. طبق این روش تعداد ۱۵۴ نمونه سنگی جمع آوری و شماره گذاری شده و جهت تهیه مقطع نازک میکروسکوپی به آزمایشگاه منتقل شده است. نمونه برداری تعیین رخساره های سنگی سیلیسی آواری در صحرا و کدهای استفاده شده براساس طبقه بندی Miall (2006) انجام شده است. این معیار بر اساس اندازه دانه ها، ساختمان های رسوبی، شکل هندسی توده های رسوبی و سطوح محصور کننده آنها است.

#### بحث:

یک رخساره سنگی بر اساس ویژگی های سنگ شناسی همانند ترکیب، اندازه ذرات، نوع لایه بندی و ساختارهای رسوبی تعریف می شود که عواملی همچون سرعت جریان، عمق و نرخ حمل رسوب، حرارت و ویسکوزیته در تشکیل رخساره های سنگی نقش مهمی ایفا می کنند (Miall, 2006). تشخیص رخساره های سنگی در نهشته های سیلیسی آواری توالی مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی Miall (1996, 2006) انجام گردیده که در نهایت منجر به تشخیص یک رخساره سنگی کنگلومرای (Gcm)، پنج رخساره های سنگی ماسه سنگی (St و Sr, Sm, Sl, Sh) و یک رخساره سنگی گل سنگی (Fl) شده است.

**رخساره کنگلومرای دانه پشتیبان توده ای<sup>۲۵</sup>(Gcm):** این رخساره بیشتر در قسمت بالایی توالی مورد مطالعه دیده شده است. اندازه دانه ها از ۲ میلیمتر تا ۸ سانتی متر است (متوسط ۴ سانتی متر). اکثر پیل ها از نوع آشفشانی و سیلتستونی بوده،

که از جورشدگی و گردشدگی خوبی برخوردارند. هیچ گونه آثار جهت یافتگی (ایمبریکاسیون) یا روند ریز شونده و درشت شونده در پیل‌ها دیده نمی‌شود. بین این ذرات سیمان کربناته و ماتریکس رسی قرار دارد. شکل هندسی طبقه به صورت صفحه‌ای و کنتاکت تحتانی و فوقانی این رخساره با لایه‌های ماسه‌سنگی بصورت تدریجی است. ضخامت واقعی این رخساره



شکل ۲: رخساره سنگی شناسایی شده در نهشته‌های سیلیسی آواری برش مورد مطالعه، a و b: تصویر میکروسکوپی (XPL) و صحرایی رخساره گراول دانه پشتیبان توده ای (Gcm)، c: رخساره ماسه سنگی با لامیناسیون افقی و مورب کم زاویه (SI)، d: رخساره ماسه ای با لایه بندی افقی (Sh).  
 ۳۰ سانتیمتر است (شکل a۲).

**رخساره ماسه سنگی بالابه بندی موازی<sup>۲۶</sup> (Sh):** رخساره سنگی Sh دومین رخساره فراوان در برش مورد مطالعه است که به طور پراکنده از ابتدا تا انتهای توالی وجود دارد. مهمترین ساختار رسوبی در این رخساره لایه بندی و لامیناسیون موازی یا مسطح است. اندازه دانه ها در این رخساره ۰/۲۵ تا ۰/۱۲۵ (متوسط اندازه دانه ها ۰/۱۲۵) میلی متر است که از جورشدگی متوسطی برخوردار هستند. ممکن است ذرات دانه درشت‌تر مانند پیل همراه این رسوبات دیده شود. ضخامت این رخساره ها متفاوت بوده به طوری که از چند سانتیمتر تا ۲ متر در تغییر است (شکل d۲).

**رخساره ماسه ای با لامیناسیون مورب کم زاویه<sup>۲۷</sup> (SI):** اگر طبقات مورب با زوایای شیب کمتر از ۱۰ درجه قرار گرفته باشند، رخساره ماسه ای با لامیناسیون مورب کم زاویه (SI) تشکیل می شود که بسیار شبیه به رخساره Sh است و در اغلب اوقات همراه با یکدیگر دیده می شوند. به طور متوسط اندازه دانه ها در این رخساره در ۰/۶۲۵ میلی متر است. سطح زیرین این رخساره غالبا فاقد آثار فرسایشی است. گاهی اوقات تشکیل این رخساره به علت شیب منطقه است به طوری که لایه ها به تبعیت از شیب توپوگرافی زاویه دار می شوند (شکل c۲).

**رخساره ماسه سنگی با لامیناسیون ریبلی<sup>۲۸</sup> (Sr):** این رخساره در ماسه سنگ های بسیار دانه ریز و اغلب ریبیل مارک ها در مقاطع میکروسکوپی دیده شده است. دانه ها در این رخساره سنگی در اندازه ماسه بسیار ریز (کوچکتر از ۰/۱ میلی متر) بوده و از جورشدگی ضعیفی برخوردار هستند (شکل b۴).

**رخساره ماسه سنگی توده ای<sup>۲۹</sup> (Sm):** این رخساره در نهشته های مورد مطالعه فراوان ترین رخساره بوده و دارای گسترش زیادی هستند که از ابتدا تا انتهای توالی دیده می شود. اندازه دانه ها در این رخساره ۰/۱۲۵ تا ۰/۵ (میانگین اندازه دانه ها ۰/۲۵) میلی متر بوده، جورشدگی دانه ها خوب تا متوسط می باشد. این رخساره به حالت توده ای و فاقد لایه بندی و ساختمان

<sup>26</sup> Horizontally bedded sand

<sup>27</sup> Low angle x-laminated sand

<sup>28</sup> Ripple x-laminated sand

<sup>29</sup> Massive sand



شکل ۳: رخساره‌های سنگی شناسایی شده در نهشته های سیلیسی آواری برش مورد مطالعه. a: رخساره (FI) دارای لامیناسیون افقی، b: رخساره ماسه سنگ توده ای (Sm)، c: ماسه سنگ دارای لایه بندی مورب عدسی شکل (St).

رسوبی است. این رخساره به طور عمودی به رخساره سنگی Sh تبدیل می‌شود. این رخساره در برخی لایه‌ها دارای فرسایش اسفروئیدی یا کروی است (شکل b۳).

**رخساره ماسه سنگی با طبقه بندی مورب عدسی شکل (St)**<sup>۳۰</sup>: رخساره سنگی St از ماسه سنگ‌های دانه متوسط تا دانه درشت با طبقه بندی مورب عدسی شکل تشکیل شده است (شکل c۳). رخساره سنگی ماسه سنگ با لایه بندی افقی (Sh) همراه با این رخساره سنگی مشاهده شده است. ضخامت هر سری طبقه بندی مورب عدسی شکل ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر و ضخامت یک Coaset ممکن است به ۱ متر برسد. کنتاکت قاعده‌ای این رخساره سنگی تدریجی و شکل هندسی طبقات به صورت عدسی شکل است.

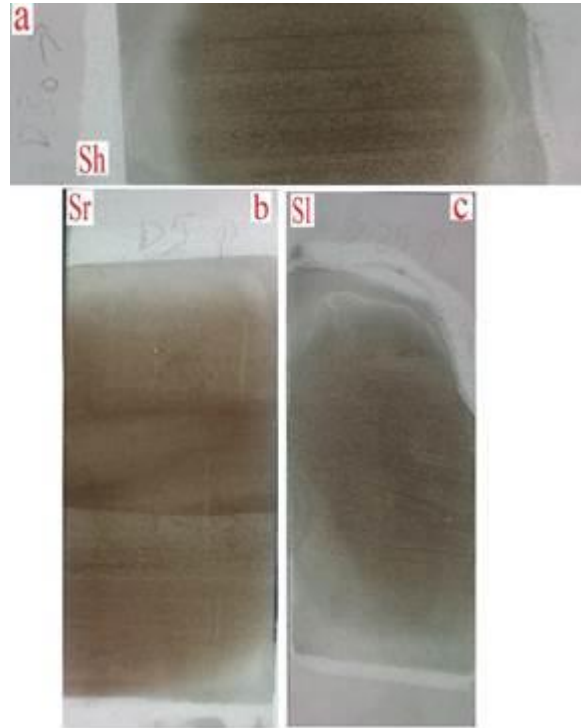
**رخساره ماسه، سیلت و گل لامینه ای (FI)**<sup>۳۱</sup>: یکی از فراوان ترین رخساره‌های سنگی در توالی مورد مطالعه بوده که حجم نسبتا وسیعی از رسوبات را شامل می‌شود. ذرات تشکیل دهنده آن از لحاظ خصوصیات بافتی در اندازه‌های ماسه، سیلت و رس بوده به طوری که میزان سیلت به نسبت فراوان تر است. لامیناسیون مسطح از مهمترین ساختارهای رسوبی این رخساره به شمار می‌روند. علاوه بر این می‌توان به آثار ترک های گلی و آشفستگی های زیستی در سطح بالای این لایه ها اشاره کرد. ضخامت این رخساره از ۵ تا ۱۰ سانتیمتر در تغییر است، که به طور جانبی به رخساره های ماسه سنگی تبدیل می‌شود (شکل a۳).

**تفسیر مجموعه رخساره‌های سنگی مشاهده شده:** در این برداشت ضخامت نهشته‌ها و شکل هندسی آنها، سطوح لایه بندی، ساختارهای رسوبی، اثر فسیل ها و میزان زیست آشفستگی، تغییرات اندازه دانه ها و همچنین ارتباط لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (برای مثال، MacEachern et al., 2005). بر این اساس و با توجه به تغییرات عمودی و جانبی رخساره های

<sup>30</sup> Trough Cross-stratified Sandstone

<sup>31</sup> Laminated sand, silt and mud

سنگی در توالی رسوبی مورد مطالعه، بنظر می رسد که این نهشته ها در دو محیط قاره ای (رودخانه ای) و حد واسط (دلتایی) بر جای گذاشته شده اند. رخساره های رودخانه ای در زیر محیط های کروس پهن و دشت سیلابی و رخساره های دلتایی در زیر محیط های دشت دلتایی (کروس پهن) و کانال های شاخه ای نهشته شده اند.



شکل ۴: رخساره های سنگی مشاهده شده در سطح مقاطع میکروسکوپی توالی مورد مطالعه. a: رخساره ماسه سنگی با لامیناسیون موازی (Sh)، b: رخساره ماسه سنگی با لامیناسیون ریپلی (Sr)، c: رخساره ماسه سنگی با لامیناسیون مورب کم زاویه (Sl).  
**مجموعه رخساره های سنگی محیط رودخانه ای:** در توالی مورد مطالعه نهشته های رودخانه ای شامل رخساره های سنگی مربوط به دو زیر محیط کروس پهن و دشت سیلابی است که هر دو زیر محیط شامل نهشته های خارج از کانال رودخانه می باشند. این بخش شامل قاعده توالی ائوسن (واحد ۱) می باشد.

**۱- رخساره های کروس پهن:** این بخش از نظر حجمی بیشتر از نهشته های ماسه سنگی و رسوبات دانه ریز شیلی و سیلتستونی تشکیل ند. رخساره های سنگی ماسه سنگی شامل رخساره های Sh و Sr و رخساره های سنگی گلی شامل رخساره سنگی Fl است. الگوهای رسوبی و بافتی نظیر تناوب لایه های شیلی و سیلتستونی با لامیناسیون موازی با لایه های ماسه سنگی با لامیناسیون های ریپلی و لامیناسیون موازی که فاقد قاعده فرسایشی می باشند، موید تاثیر جریان های آشفته با چگالی پایین است. در توالی عمودی رخساره ای افزایش اندازه دانه ها به سمت بالا به صورت سیکل های کوچک به سمت بالا درشت شونده قابل مشاهده است. در این مجموعه، رخساره سنگی Sh به صورت سطوح مسطح در رژیم جریانی بالا و رخساره سنگی Sr در اثر مهاجرت اشکال ریپلی نامتقارن با خط الرأس پیچیده و در رژیم جریانی پایین شکل می گیرد و هر دو رخساره به صورت نهشته های کروس های پهن در نواحی دشت سیلابی رودخانه بر جای گذاشته شده اند (برای مثال، Miall, 2006; Higgs et al., 2012). تناوب رخساره های سنگی شیلی و سیلتستونی (رخساره سنگی Fl) با دو رخساره سنگی ماسه ای فوق نشان دهنده نهشته های سیلابی مربوط به کروس های پهن است که رسوبات خاکریز طبیعی را شکسته و وارد دشت سیلابی رودخانه می گردد (برای مثال، Miall, 2006; Ghazi and Mountney, 2009). این رسوبات دانه ریز رسوبگذاری وسیع بار معلق در بخش های فوقانی اشکال لایه ای ماسه ای در دشت سیلابی را نشان می دهند (برای مثال، Miall, 2006; Higgs et al., 2012).

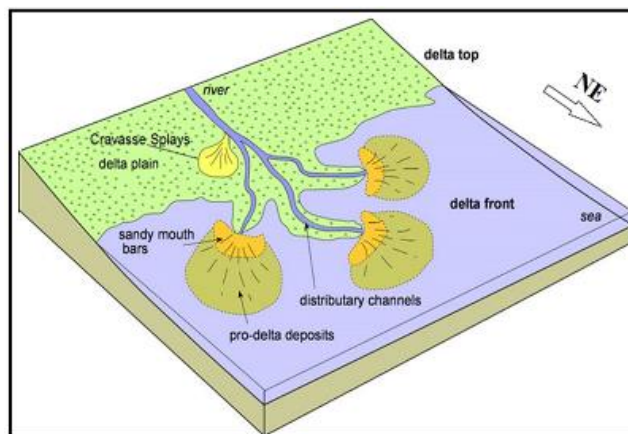
۲- **رخساره‌های دشت سیلابی:** وجود لایه‌های شیلی و سیلتستونی حاوی لامیناسیون موازی (رخساره سنگی FI) در این مجموعه شاهدی از تاثیر جریان های با چگالی کمتر در تشکیل آنها است. ماهیت دانه‌ریز این نهشته‌ها حاکی از وجود جریان های گلی و رقیق با چگالی پایین است که محدود نبودن چنین جریان‌هایی به کانال، موجب کاهش سرعت جریان و ایجاد رسوبات دانه‌ریز حاصل از جریان معلق در نواحی خارج کانال به فرم پهن و گسترده می‌گردد (برای مثال، Deptuck et al., 2007). شستشوی نمونه های شیلی این بخش مؤید عدم وجود فسیل های دریایی و رنگ این رسوبات نشان دهنده شرایط اکسیدی محیط رسوبگذاری است که نهشته شدن این رسوبات در محیط قاره ای رودخانه ای را تأیید می‌کند.

**مجموعه رخساره های سنگی محیط دلتایی:** با توجه به شرایط ماکروسکوپی و میکروسکوپی (رخساره های رسوبی، اثر فسیل ها، بلوغ بافتی و اندازه دانه ها)، نبود قطعات فسیلی دریایی، وجود ساختمان‌های رسوبی مربوط به بخش های کم عمق و نبود ساختمان‌های مربوط به تاثیر امواج، این نهشته‌ها احتمالاً در محیط دلتایی تحت نفوذ رودخانه نهشته شده‌اند. نهشته‌های حدواسط توالی مورد مطالعه اغلب از نوع نهشته‌های سیلیسی آواری دشت ساحلی (Coastal Plain) است که شامل دو مجموعه رخساره‌ای دشت دلتایی و نهشته‌های پرکننده کانال های شاخه‌ای می‌باشد. این مجموعه رخساره‌ای قسمت میانی (واحد ۲) و قسمت فوقانی (واحد ۳) توالی رسوبی مورد مطالعه را شامل می‌شود. مجموعه دشت دلتایی (کروس پهن) شامل دو رخساره ماسه‌سنگی با لامیناسیون افقی (Sh) و سیلتستون لامینه‌ای (FI) است و رخساره‌های نهشته‌های پرکننده کانال‌های شاخه ای شامل کنگلومرای غنی از قطعه توده ای (Gcm)، ماسه سنگ توده‌ای (Sm)، ماسه‌سنگ با لایه بندی افقی (Sh)، ماسه سنگ با طبقه بندی مورب عدسی شکل (St)، ماسه سنگ با لامیناسیون مورب کم زاویه (SI) و ماسه سنگ با لامیناسیون مورب ریپلی (Sr) می‌باشد.

۱- **مجموعه رخساره‌های سنگی دشت دلتایی (کروس پهن):** مجموعه دشت دلتایی شامل دو رخساره ماسه‌سنگی با لامیناسیون افقی (Sh) و سیلتستون لامینه (FI) است. رخساره سنگی Sh احتمالاً به صورت ورقه های ماسه ای در کروسهای پهن (در خارج از کانال شاخه ای و در محیط دشت ساحلی) تشکیل شده است. مشابه چنین رخساره هایی توسط افراد مختلف (Dill et al., 2005; Khalifa and Catuneanu, 2008; Uroza and Steel, 2008; Higgs et al., 2012) در دیگر نقاط جهان گزارش شده است. این مجموعه رخساره‌ای شامل ورقه‌های مسطح ماسه‌سنگ ریزدانه با لامیناسیون موازی، سیلتستون و شیل‌های سیلنتی است که دارای قاعده مشخص می‌باشد. ساختمان رسوبی اصلی این مجموعه رخساره‌ای، لامیناسیون افقی است. سیکل‌های رسوبی روند درشت شونده به سمت بالا داشته و طبقات شیلی سیلنتی معمولاً رسوبگذاری خارج از کانال را نشان می‌دهند. در برخی از رخساره های ماسه سنگی این بخش اثر فرسایش‌های جلبکی و قالب ترک‌های گلی مشاهده می‌شود. شکل هندسی ورقه‌ای و افزایش در اندازه دانه‌ها به سمت بالا نشان می‌دهد که این رسوبات بقایای یک کروس پهن باشند (برای مثال، Capuzzo and Wetzel, 2004).

۲- **مجموعه رخساره‌های سنگی پرکننده کانال‌های شاخه‌ای:** مجموعه رخساره‌ای کانال رودخانه شامل سیکل‌های به سمت بالا ریز شونده از رخساره‌های سنگی کنگلومرای غنی از قطعه توده‌ای (Gcm)، ماسه سنگ توده‌ای (Sm)، ماسه‌سنگ با لایه‌بندی افقی (Sh)، ماسه‌سنگ با طبقه‌بندی مورب عدسی شکل (St)، ماسه‌سنگ با لامیناسیون مورب کم زاویه (SI) و ماسه سنگ با لامیناسیون مورب ریپلی (Sr) می‌باشد. در بخش‌هایی از توالی که تناوب رخساره‌های پرکننده کانال های شاخه ای و رسوبات دانه ریز تر دشت دلتایی مشاهده می‌شود، در قاعده این رخساره‌های ماسه‌سنگی قالب‌های وزنی دیده شده است. الگوهای رسوبی و بافتی طبقات ماسه سنگی و کنگلومرای این بخش، حمل و نقل این رسوبات به فرم بار بستر توسط جریان های با سرعت و انرژی بالا و به صورت نهشته‌های پرکننده کانال را نشان می‌دهد. به طور کلی، وجود طبقات کنگلومرای موجود در کف کانال، کاهش تدریجی اندازه دانه ها به سمت بالا، وجود لایه بندی مورب عدسی بزرگ مقیاس در لایه های ماسه سنگی، لایه بندی افقی، لامیناسیون مورب ریپلی در قسمت فوقانی هر سیکل نشان‌دهنده تشکیل این رسوبات در کانال های شاخه‌ای محیط دلتایی است. علاوه بر این، وجود آثار فسیلی نظیر اسکولایتوس، پلنولیتس و افیومورفا (که هر سه مورد به ایکنوفاسیس اسکولایتوس متعلق هستند) در رخساره‌های ماسه سنگی این بخش مؤید رسوبگذاری این نهشته‌ها در یک محیط پرنرژی ساحلی نظیر کانال های شاخه‌ای است. تأثیر بار رسوبی حمل شده به وسیله کانال‌های رسوبی رودخانه در محیط‌های

دشت ساحلی دلتایی موجب ایجاد شرایط نامتعادل زیستی از دید شرایط فیزیکوشیمیایی می‌شود. مهمترین عوامل دخیل در این تغییر شرایط، بالا بردن نرخ رسوبگذاری، آشفته‌گی جریان، تغییرات شوری و اکسیژن است. این عوامل موجب کاهش گوناگونی، فراوانی و شدت زیست آشفته‌گی همراه با ایجاد مجموعه اثر فسیل‌های محدود می‌شود (Gingras et al., 1998; Coates & MacEachern, 1999; Bann & Fielding, 2004; MacEachern et al., 2005). گوناگونی و فراوانی کم اثر فسیل‌ها، شدت زیست آشفته‌گی خیلی کم رخساره‌ها، اندازه کوچک‌تر اثر فسیل‌ها، وجود اثر رخساره‌های محدود شده اسکولایتوس، نبود ساختارهای گریزینگ و فراوانی خیلی کم ساختارهای تغذیه کننده از مواد معلق یا وجود فراوانی بالای بسترهای ماسه‌ای در توالی رخساره ای مورد مطالعه نشان از ته نشینی در شرایط ناپایدار زیستی در محیط‌های دلتایی دارد. نرخ بالای رسوبگذاری در نتیجه تخلیه بالای بار رسوبی کانال‌های شاخه ای در دلتا، نشان‌دهنده آشفته بودن جریان است (MacEachern et al., 2005). در نواحی که تأثیر نوسان‌های موجسار دیده می‌شود، گوناگونی و فراوانی اثر فسیل‌ها خیلی بیشتر است؛ چرا که این نوسان‌ها موجب ایجاد تغییرات در بسترهای رسوبی، الگوی توزیع مواد غذایی، میزان سرعت رسوبگذاری، اکسیژن و دمای موجود می‌شود. به طوری که در چنین محیط‌هایی، جانداران سازنده اثر (trace-marker) با تغییر استراتژی رفتاری، طرح زیستی خود را با تغییرات محیطی سازگار می‌کنند. به همین دلیل تغییرات زیاد استراتژی رفتاری جانداران سازنده اثر فسیل‌ها، موجب گوناگونی رفتاری متغیر و به همراه آن بالا رفتن گوناگونی اثر فسیل‌ها می‌شود. با توجه به شواهد بررسی شده، توالی رخساره‌های دلتایی مورد مطالعه تحت تأثیر نوسانهای امواج قرار نگرفته است. در نتیجه تأثیر نداشتن نوسان‌های موجسار در نهشته‌های دلتایی مورد مطالعه موجب شده است که تغییرات استراتژی رفتاری اثر فسیل‌ها کمتر و در نتیجه گوناگونی اثر فسیل‌ها نسبت به دلتاهای تحت تأثیر امواج پایین‌تر باشد. وجود اثر فسیل‌های با ساختار ساده نظیر *Planolites* و *Ophiomorpha* و نبود اثر فسیل‌های با ساختار پیچیده (همانند گریزینگ، خزشی، همزیست شیمیایی، معلق خوار تغذیه کننده از رسوبات) همراه با فراوانی بالای بسترهای ماسه‌ای در توالی رخساره‌ای دلتایی مورد مطالعه نشان از آشفته بودن آب و نرخ بالای رسوبگذاری در کانال‌های شاخه‌ای می‌باشد (Gingras et al., 1998; Coates & MacEachern, 2009; Hansen & MacEachern, 2009). در پایان، مدل رسوبی پیشنهادی برای توالی رسوبی مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵: مدل رسوبی رخساره‌های آواری توالی سیلیسی آواری مورد مطالعه.

#### نتیجه‌گیری:

تفسیر محیط رسوبگذاری نهشته‌های سیلیسی آواری در ناحیه مورد مطالعه بر مبنای تفکیک رخساره‌های سنگی و بررسی تغییرات عمودی و جانبی رخساره‌ای و نیز اختصاصات پتروگرافی آنها صورت گرفته است. آنالیز رخساره‌های سنگی رسوبات سیلیسی آواری مورد مطالعه سبب تشخیص ۷ رخساره سنگی شده است که در سه دسته کنگلومرای، ماسه‌سنگی و گل سنگی طبقه بندی می‌شود. بررسی شرایط تشکیل رخساره‌های سنگی فوق نشان می‌دهد که این رسوبات در دو محیط قاره ای (رودخانه‌ای) و حدواسط (دلتایی) بر جای گذاشته شده‌اند.

منابع:

- Bann, K. L., Fielding, C. R., 2004. An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia. Geological Society, London, Special Publications 228(1), 273-310.
- Capuzzo, N., Wetzel, A., 2004. Facies and basin architecture of the Late Carboniferous Salvan-Dorénaz continental basin (Western Alps, Switzerland/France). Sedimentology 51(4), 675-697.
- Coates, L., MacEachern, J. A., 1999. The ichnological signature of wave-and river-dominated deltas: Dunvegan and Basal Belly River formations, West-Central Alberta.
- Deptuck, M. E., Sylvester, Z., Pirmez, C., O'Byrne, C., 2007. Migration-aggradation history and 3-D seismic geomorphology of submarine channels in the Pleistocene Benin-major Canyon, western Niger Delta slope. Marine and Petroleum Geology 24(6), 406-433.
- Dill, H., Ludwig, R.-R., Kathewera, A., Mwenelupembe, J., 2005. A lithofacies terrain model for the Blantyre Region: implications for the interpretation of palaeosavanna depositional systems and for environmental geology and economic geology in southern Malawi. Journal of African Earth Sciences 41(5): 341-393.
- Ghazi, S., Mountney, N. P., 2009. Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: The Permian Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan. Sedimentary Geology 221(1), 99-126.
- Gingras, M. K., MacEachern, J. A., Pemberton, S. G., 1998. A comparative analysis of the ichnology of wave-and river-dominated allomembers of the Upper Cretaceous Dunvegan Formation. Bulletin of Canadian Petroleum Geology 46(1), 51-73.
- Hansen, C. D., Maceachern, J. A., 2009. Application of the asymmetric delta model to along-strike facies variations in a mixed wave-and river-influenced delta lobe, Upper Cretaceous Basal Belly River Formation, Central Alberta.
- Higgs, K., King, P., Raine, J., Sykes, R., Browne, G., Crouch, E., Baur, J., 2012. Sequence stratigraphy and controls on reservoir sandstone distribution in an Eocene marginal marine-coastal plain fairway, Taranaki Basin, New Zealand. Marine and Petroleum Geology 32(1), 110-137.
- Khalifa, M., Catuneanu, O., 2008. Sedimentology of the fluvial and fluvio-marine facies of the Bahariya Formation (early Cenomanian), Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences 51(2), 89-103.
- Miall, A.D., 2006, The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology (4th printing). Springer-Verlag, New York, 582 p.
- Maceachern, J. A., Bann, K. L., Bhattacharya, J. P., Howell Jr, C. D., 2005. Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storms, and tides.
- Nichols, G., 2009. Sedimentology and Stratigraphy. Wiley-Blackwell, Chichester, 419p.
- Posamentier, H.W., Walker, R.G., 2006. Facies Models Revisited. Society for Sedimentary Geology (SEPM) Special Publication 84, 527pp.
- Uroza, C. A., Steel, R. J., 2008. A highstand shelf-margin delta system from the Eocene of West Spitsbergen, Norway. Sedimentary Geology 203(3), 229-245.

## تعیین محیط رسوبی بخش (k4) سازند دالان در میدان پارس جنوبی با استفاده از

### نگاره‌ی تصویری (FMI)

\*زکیه میرزاییان

کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه تهران

[zakie.mirzaeian@ut.ac.ir](mailto:zakie.mirzaeian@ut.ac.ir)

#### چکیده:

بسیاری از چاه‌ها به دلایل مختلف بسیاری یا فاقد مغزه هستند و یا مغزه‌ی آن‌ها به دلیل درصد بازیافت پایین، قابل استفاده نمی‌باشد. فناوری تصویربرداری از دیواره‌ی چاه، با ایجاد تصاویری دقیق از خصوصیات ساختمانی، بافت رسوبی و دیاژنز، امروزه نقش مهمی را در ارزیابی مطلوب‌تر مخزن نسبت به مغزه‌ها ایفا می‌کند. تلفیق این تصاویر با سایر روش‌های موجود، می‌تواند در بازسازی محیط رسوبی سازند، تعیین خصوصیات سنگ و سیال و نحوه‌ی توزیع آن در سازند کمک موثری نماید. در این مطالعه، به کمک تصاویر حاصله از ابزار FMI (نگاره‌ی تصویری) مربوط به بخش K4 از سازند دالان در دو چاه از میدان پارس جنوبی، آنالیز و سپس تلفیق آن‌ها با مطالعات و گزارشات قبلی، داده‌های مغزه و لاگ‌های چاه‌پیمایی، محیط رسوبی این بخش تعیین گردید.

کلیدواژه: مخزن، محیط رسوبی، دالان، تصاویر FMI، مغزه

## Determining the sedimentary environment of the k4 section of Dalan Formation in the South Pars using image log (FMI)

Zakie.mirzaeian

#### Abstract

Many wells for many reasons either have no core or their core can not be used due to low recycling percentage. Well wall imaging technology, by providing accurate images of structural properties, sediment texture and diagenesis, today plays an important role in a more favorable assessment of the reservoir than the cores. Combining these images with other available methods can help in the reconstruction of the sedimentary environment of the formation, determining the characteristics of rock and fluid and how it is distributed in the formation. In this study, with the help of images obtained from tools FMI (image drawing) related to section (K4) of Dalan Formation in two wells from South Pars field and their analysis and then combined with previous studies and reports, core data And well surveying logs, sedimentary environment of this section were determined.

#### مقدمه:

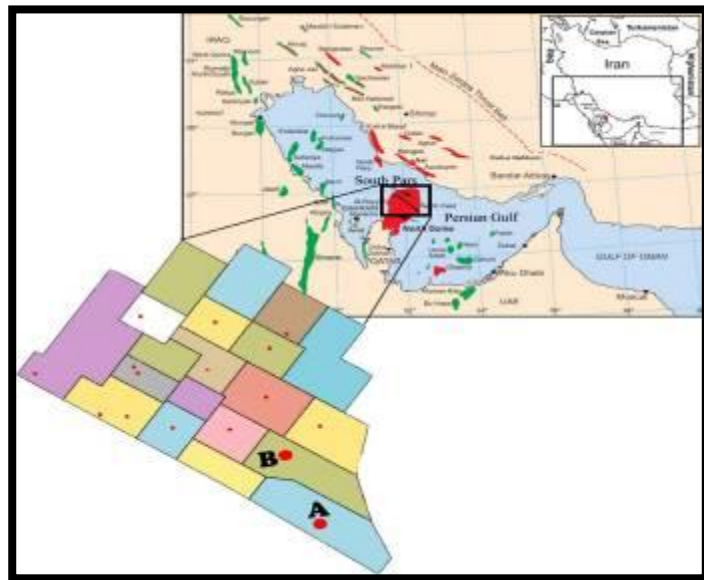
در حدود دو سوم ذخایر نفت و گاز جهان در سنگ‌های کربناته قرار دارد. در آسیا و خاورمیانه، این مخازن نقش مهمی در تولیدات سالیانه‌ی نفت و گاز جهان بر عهده دارند. لذا درک هر چه بیشتر زمین‌شناسی مخازن کربناته دارای اهمیت بسیاری در این صنعت می‌باشد. کاربردی ترین منابع شناسایی مخزن، مغزه‌ها هستند. هزینهی بالای مغزه‌گیری، طولانی بودن زمان رقومی کردن اطلاعات مغزه، شکستن و خرد شدگی آن در حین مغزه‌گیری، ناتوانی این منبع در تشخیص ساخت‌های کوچک



مقیاس و یا خیلی وسیع و درصد بازیافت پایین مغزه‌ها از اصلی ترین عللی است که در بسیاری موارد، زمین‌شناسان و مهندسان مخزن را در دستیابی به اهداف مخزنی خود ناکام می‌گذارد. (منصوری هفشجانی، ۱۳۹۲) اما مغزه‌ها تنها منابع در دسترس نیستند. از جدید ترین روش‌ها که جهت رفع نواقص مغزه‌ها و سایر منابع ابداع شده است، ایجاد تصاویری مجازی و در عین حال دقیق از دیواره‌ی چاه است. هدف از ایجاد چنین فناوری، تسریع شناسایی مخزن و تکمیل نواقص سایر منابع می باشد. امروزه این تصاویر توانسته‌اند درکی کامل و روشن از خصوصیات مخازن هیدروکربوری در اختیار کارشناسان قرار دهند. در این مطالعه سعی شده با تکیه بر تصاویر موجود از دو چاه در میدان پارس جنوبی - به عنوان ابزار تکمیلی - در کنار سایر منابع همچون مغزه‌ها و لاگ‌های چاه پیمایی، اطلاعاتی جامع از شرایط و رخساره‌های رسوبی و در نهایت محیط‌رسوبی بخش k4 از سازند دالان تعیین و این تصاویر، در شناخت زمین‌شناسی مخازن هیدروکربوری، کاربردی تر گردد.

#### روش مطالعه:

در این مطالعه، ابتدا چاه A را به دلیل کامل بودن اطلاعات آن اعم از گزارشات، توصیفات مغزه، نگاره‌های چاه‌پیمایی و تصویری، به عنوان چاه کلیدی در نظر گرفته شد. عوارض قابل تشخیص، چه ساختمان‌های رسوبی در زمان و یا بعد از نهشته شدن و چه پدیده‌های دیاژنزی، بر روی نگاره‌ی تصویری چاه کلیدی معرفی گردید. از روی تطبیق آن‌ها با اطلاعات در دسترس شامل گزارش‌های زمین‌شناسی، نگاره‌ها و ...، رخساره‌های سنگی تعیین، و الگوهای گرافیکی از روی نگاره‌ی تصویری چاه A به صورت شماتیک برای هر رخساره ترسیم شد. از روی شباهت‌های ظاهری نگاره‌ی تصویری چاه مجهول B با الگوهای تعیین شده در هر عمق، رخساره‌های رسوبی آن، پیش بینی گردید. در انتها با توجه به اصل والتز و موقعیت رخساره‌ها نسبت به یکدیگر، الگوی محیط رسوبی چاه B به تصویر درآمد. موقعیت این دو چاه نسبت به هم در میدان در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱- موقعیت میدان پارس جنوبی در نقشه. چاه‌های مورد مطالعه در تصویر نشان داده شده است.

بحث:

عوارض ساختمانی و دیاژنزی همچون لایه بندی، لایه بندی مورب، رگه های نارسانا و رسانا، استیلولایت و لایه بندی مورب، از روی ویژگی های منحصر به فرد خود در نگاره ی تصویری شناسایی شده و شیب و امتداد هر کدام از آن ها نیز بر روی تصاویر مشخص گردید. مهم ترین این عوارض شامل موارد زیر است:

لایه بندی: وجود لامینه های فراوان و تغییرات ناگهانی مقاومت روی تصاویر استاتیک به راحتی روی نگاره ی تصویری قابل تشخیص هستند. (شکل ۴)

رگه های رسانا و نارسانا: به صورت خطوط تیره تر (رسانا) و روشن تر (نارسانا) نسبت به زمینه، مشخص می شوند. (شکل ۴)

استیلولایت: به صورت خطوط مضرس و ناهماهنگ و تیره رنگ در تصاویر، هستند. (شکل ۴)

لایه بندی مورب: دسته خطوط با انحنای سینوسی شکل و با جهت امتداد و شیب تقریباً یکنواخت، ویژگی اصلی تشخیص آن روی نگاره ی تصویری است. (شکل ۳)

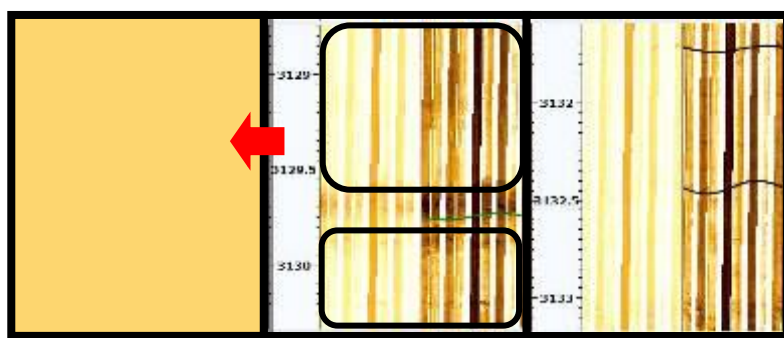
با مطالعه ی نگاره ی جامع رسوب شناسی چاه A و گزارش چاه، ویژگی هر بخش از عمق را با نگاره ی تصویری هم ارز آن مقایسه کرده و چهار رخساره ی سنگی جامع به شرح زیر تعریف گردید. (جدول ۱)

جدول ۱: معرفی رخساره های سنگی جامع از روی نگاره ی تصویری

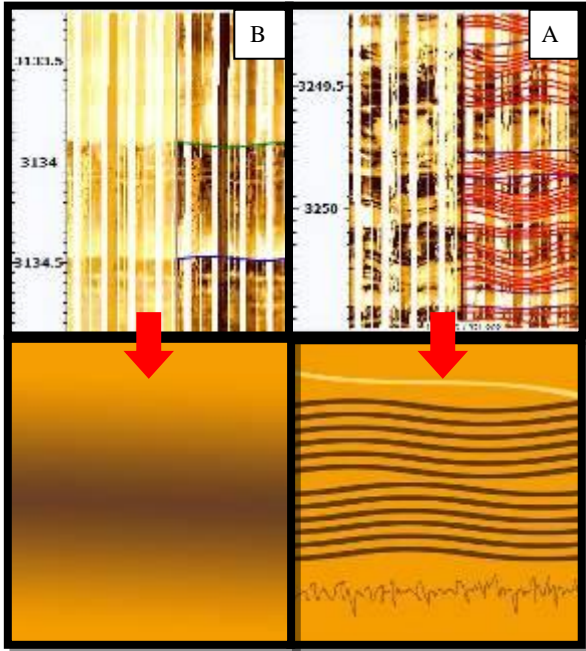
نام رخساره	توصیف	محیط رسوبی
رخساره سنگی یک LF1	انیدریت توده ای یا نودولار	سابخا
رخساره سنگی دو LF2	مادستون تا پکستون آهکی - دولومیتی با گاهی آشفته گی زیستی	پهنه جزر و مدی تا لاگون
رخساره سنگی سه LF3	گرینستون آهکی - دولومیتی توده ای یا با طبقه بندی مورب	شول
رخساره سنگی چهار LF4	مادستون تا وکستون آهکی - دولومیتی با آشفته گی زیستی بالا	لاگون تا دریای باز

با استفاده از رخساره های سنگی تعیین شده و طرح نگاره ی تصویری مربوط به هر رخساره، الگوی گرافیکی برای هر یک از آنها تعیین شد. (اشکال ۲ تا ۵)

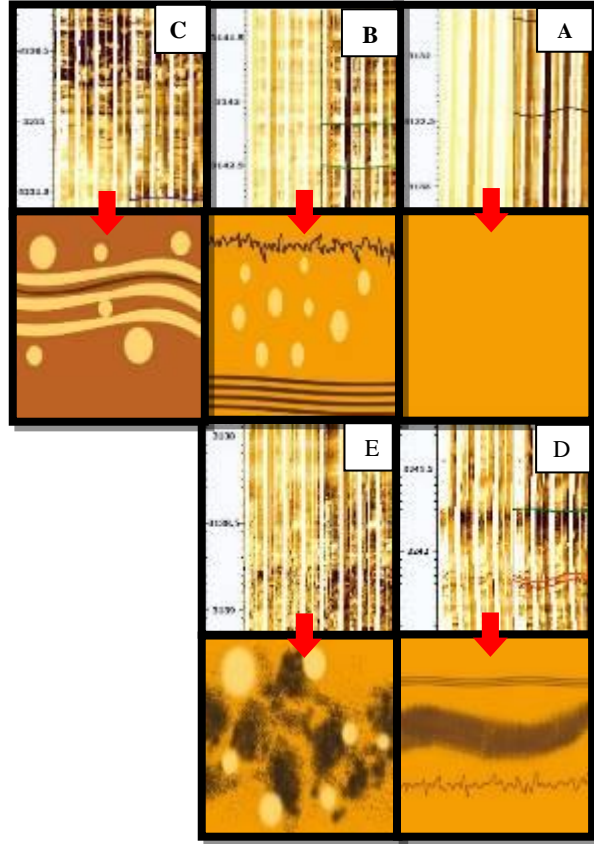
با تعیین رخساره های سنگی از روی مطالعات قبلی، گزارشات و مغزه های چاه کلیدی A و ترسیم الگوهای گرافیکی از روی نگاره ی تصویری هر رخساره، تنها از روی شباهت ظاهری هر یک از بخش های نگاره ی تصویری چاه B با الگوی گرافیکی ایجاد شده، نوع رخساره ی هر بخش تشخیص داده شد. (اشکال ۶ تا ۱۰)



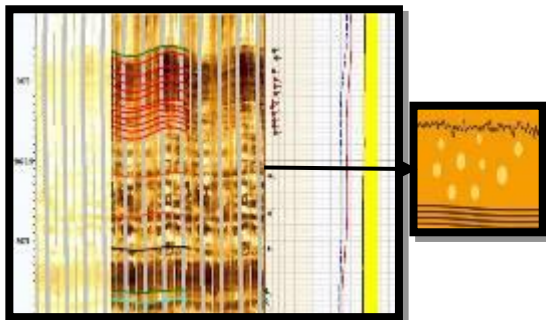
شکل ۲- الگوی رخساره سنگی (LF1) (سمت چپ) بر اساس نگاره تصویری



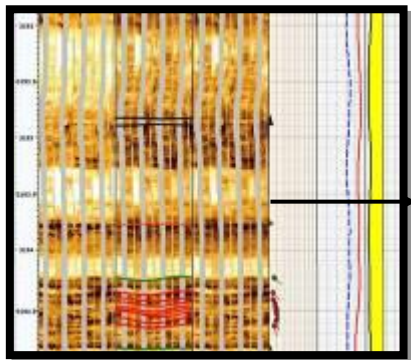
شکل ۳- الگوی رخساره سنگی رخساره‌ی سنگی (LF3).  
 A- خطوط سینوسی، نشان دهنده ی لایه بندی مورب هستند. B- الگوی سایه روشن نشان دهنده ی نوع دیگری از رخساره ی شول می باشد.



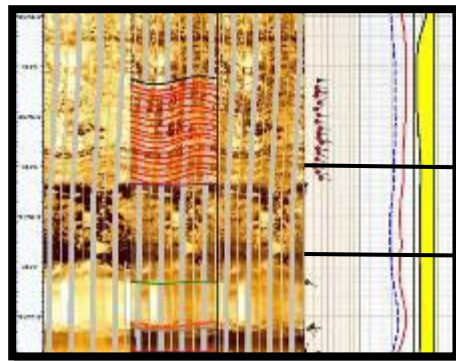
شکل ۴- الگوهای رخساره سنگی (LF2) بر اساس نگاره های تصویری این بخش. به علت وجود شکل های متفاوت درنگاره ی تصویری، الگوهای متفاوتی دارد: A- ساده با رنگی تیره تر از رخساره ی (LF1). B- نودول های انیدریت پراکنده ولایه های روشن. C- لایه های انیدریتی و رگه های رسانا. D- لایه های تیره رنگ(عوارض میکروبی) و استیلولایت و E- لخته های تیره (آشفنگی زیستی) و نودول های انیدریت.



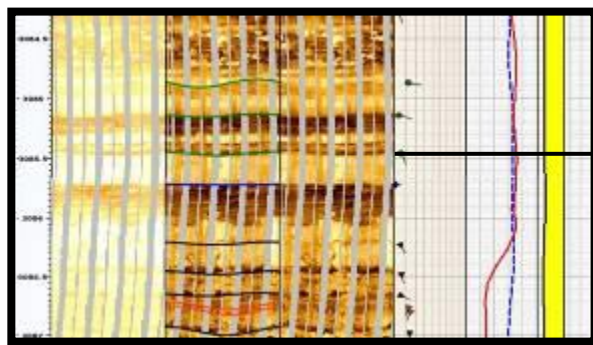
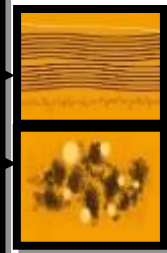
شکل ۷- نمونه ای از تطابق عمقی از چاه (B) با الگوی رخساره ی سنگی (LF2)



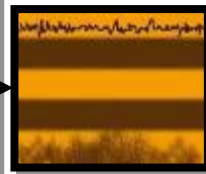
شکل ۹- نمونه ای از تطابق اعماقی از چاه (B) با الگوی سایه- روشن رخساره ی سنگی (LF3)



شکل ۸- نمونه ای از تطابق اعماقی از چاه (B) با الگوی رخساره های سنگی (LF3) در بالا و (LF2) در پایین.



شکل ۱۰- نمونه ای از تطابق اعماقی از چاه (B) با الگوی رخساره ی سنگی (LF4)



### نتیجه گیری:

طبق نگاره ی تصویری و تطابق الگوهای تعیین شده با آن، بررسی شواهد (مطالعات پیشین چاه مجهول) و با توجه به توالی رخساره ها از سابخه، تا دریای باز، موقعیت جغرافیایی میدان پارس جنوبی و نزدیکی رخساره های پرانرژی (شول) به خط ساحلی، محیط رسوبی رمپ برای این بخش انتخاب گردیده است. پیشروی و پسروی دریا و تداوم هر یک منجر به افزایش ضخامت بخش های مختلف رخساره در زمان های مختلف شده است. تصویر شماتیک مدل رسوبی چاه مجهول B آورده شده است. (شکل ۱۱)

معایب و مزایای استفاده از نگاره ی تصویری به عنوان داده ای مستقل برای تعیین محیط رسوبی شامل موارد زیر است:

- معایب نگاره ی تصویری
- ۱- در اعماقی که محیط های پر انرژی شول وجود دارد به علت مشابهت الگوی تصویری آن ها، جداسازی و تشخیص شول مرکزی، روبه دریا و رو به خشکی امکان پذیر نیست.
- ۲- در قسمت هایی که رسوبات در محیط دریای باز نهشته شده اند، در گزارشات، دو رخساره وجود دارد که از روی آلوکم ها و نوع آشفنگی زیستی آن ها، از یکدیگر تفکیک می شوند، اما در نگاره ی تصویری امکان تفکیک این دو رخساره ممکن نیست و لذا هر دوی آن ها به محیط دریای باز نسبت داده شده است.
- ۳- در بخش هایی از چاه به دلیل مناسب نبودن کیفیت و وضوح تصویر، امکان تعیین محیط وجود ندارد که در این بخش ها لاجرم، از روی رخساره های بالا و پایین این بخش ها، محیط مجهول پیش بینی شده است. (شکل ۱۲)

۴- نگاره‌ی تصویری در شناسایی آلوکم های تعیین کننده محیط های خاص ناتوان است.

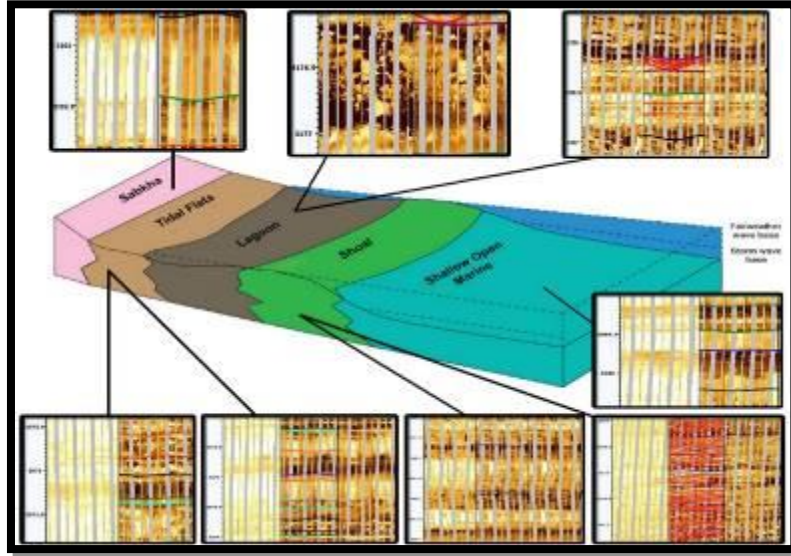
- مزایای نگاره‌ی تصویری

۱- تشخیص سریع رخساره های پر انرژی از کم انرژی

۲- تشخیص آسان رخساره های تراوا از غیرتراوا

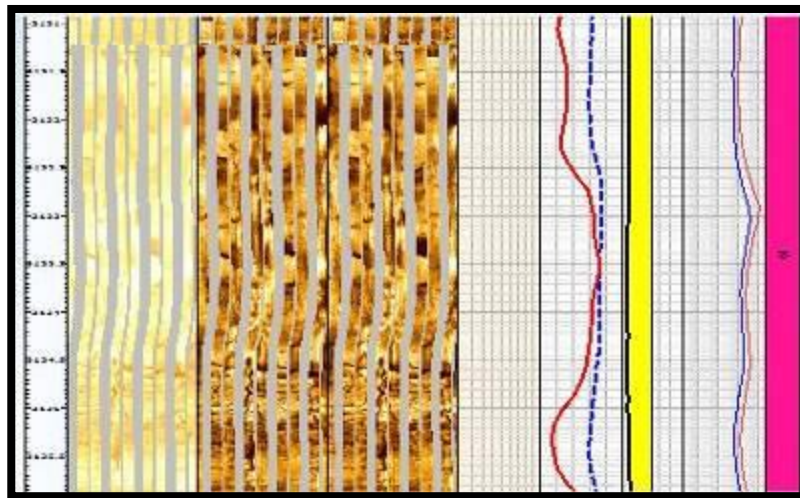
۳- تمییز سریع شکستگی ها ، استیلولایت ها و رگه های تراوا

۴- واضح بودن رخساره های انیدریتی شده



شکل ۱۱- محیط رسوبی چاه (B) با استفاده از نگاره‌ی تصویری

بطور خلاصه می‌توان گفت، لاگ های تصویری را می‌توان ابزاری بسیار مهم، در جهت تسریع تشخیص رخساره‌های مخزنی، بخش‌های پوش‌سنگی و همچنین سنگ مادر به حساب آورد، خصوصا در قسمت‌هایی که سایر اطلاعات به علت نبود مغزه و خرده‌های حفاری، سایر نگاره های چاه‌پیمایی و ... در دسترس نیست. همچنین می‌توان از روی این تصاویر، راستای مخزنی شدن را در یک میدان از روی جهت شیب و راستای شکستگی‌ها، لایه بندی ها و ... پیش‌بینی نمود.



شکل ۱۲- بخشی از چاه (B) که تعیین رخساره و محیط آن به علت ریختگی و شکستگی‌های ناشی از حفاری ممکن نیست.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



منابع:

میرزاییان، ز، ۱۳۹۸. تعیین محیط رسوبی و جهت جریان قدیمه در بخش (K4) سازند دالان به منظور بررسی اثرات آن بر روی جهت جریان سیالات مخزنی. پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه تهران، ۹۷ صفحه.  
منصوری هفشجانی، م، ۱۳۹۲. مطالعه‌ی ویژگی‌های رسوبی و مخزنی سازند دالان در میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از لاگ تصویری (FMI)، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه تهران.  
رحیم پور بناب، حسین. (۱۳۸۹). سنگ شناسی کربناته: با نگرشی بر کیفیت مخزنی. (چاپ دوم). تهران: انتشارات دانشگاه تهران

## بررسی موقعیت چینه‌شناسی نهشته‌های قرمز نئوژن در منطقه اشتهارد، جنوب غرب

### استان البرز

معصومه ظاهری<sup>۱</sup>، بهروز رفیعی<sup>۲\*</sup>، رضا علیپور<sup>۳</sup>

۱- دکترای رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (b\_rafiei@basu.ac.ir).

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

#### چکیده:

ویژگی‌های تکتونیکی و رسوب‌شناسی نهشته‌های نئوژن منطقه اشتهارد (استان البرز) به دلیل گسترش زیاد، نبود اطلاعات کافی و نامشخص بودن سن این رسوبات مورد مطالعه قرار گرفت. این رسوبات قرمز رنگ به دلیل مشخص نبودن مرز زیرین و نبود سازند قم در منطقه تعیین سن نشده و به نئوژن منتسب شده‌اند. این نهشته‌های قاره‌ای تخریبی-تبخیری در چهار برش شمال اشتهارد، مردآباد، معدن نمک و رود شور براساس تفاوت‌های رخساره‌ای و سنگ‌شناسی به پنج واحد رسوبی مجزا ( $M_1$  تا  $M_5$ ) تفکیک شدند. مطالعات سنگ‌شناسی نشان داد که ترکیب رسوبات چهار واحد زیرین ( $M_1$  تا  $M_4$ ) با واحد  $M_5$  تفاوت‌های زیادی دارد. مشاهدات میدانی یک ناپیوستگی فرسایشی در مرز بین واحدهای  $M_4$  و  $M_5$  را آشکار کرده است. با مقایسه واحدهای نئوژن منطقه اشتهارد با نهشته‌های رسوبی معادل آن‌ها در منطقه آوج به نظر می‌رسد که نهشته‌های ۴ واحد زیرین منطقه اشتهارد معادل سازند قرمز بالایی بوده و واحد  $M_5$  مربوط به پلیوسن می‌باشد و پیشنهاد می‌شود که تحت عنوان سازند جدیدی در نظر گرفته شود.

کلیدواژه: (چینه‌شناسی، نهشته‌های قرمز نئوژن، بازنگری سازند، اشتهارد)

## Investigation of stratigraphic position of the Neogene red deposits in the Eshtehard area, southwest of Alborz Province

Masoomeh Zaheri, Behrouz Rafiei, Reza Alipoor

#### Abstract

Tectonic and sedimentological characteristics of the Neogene deposits of the Eshtehard area (Alborz Province) were studied because of the great extent, lack of information about them and their age uncertainty. The red sediments' age was not already determined in the study area due to the unclear lower boundary and absence of the Qom Formation. Then they were attributed to Neogene. Clastic-evaporitic continental deposits in the north of Eshtehard, Mard Abad, Salt Mine and Rud Shur sections were divided into five stratigraphic units ( $M_1$  to  $M_5$ ) based on facies and lithological characteristics. Lithological studies showed that the composition of  $M_1$  to  $M_4$  sediments is different from that of  $M_5$ . Field observations have revealed an erosional unconformity at the boundary between  $M_4$  and  $M_5$  units. Comparing the Neogene units of the Eshtehard area and the Avaj redbeds, the  $M_1$  to  $M_4$  units in the Eshtehard area are equivalent to the Upper Red Formation, and the  $M_5$  unit belongs to the Pliocene. We suggest the  $M_5$  unit could be considered as a new formation. Keywords: Stratigraphy, Neogene red beds, Formation revision, Eshtehard

#### مقدمه:

فلات ایران شامل ۹ پهنه ساختاری البرز، کپه‌داغ، سنندج-سیرجان، زاگرس، زاگرس مرتفع، پیش‌ژرف زاگرس، زابل-بلوچ، مکران و ایران مرکزی است (Berberian and King, 1981). نهشته‌های قرمز نئوژن در پهنه

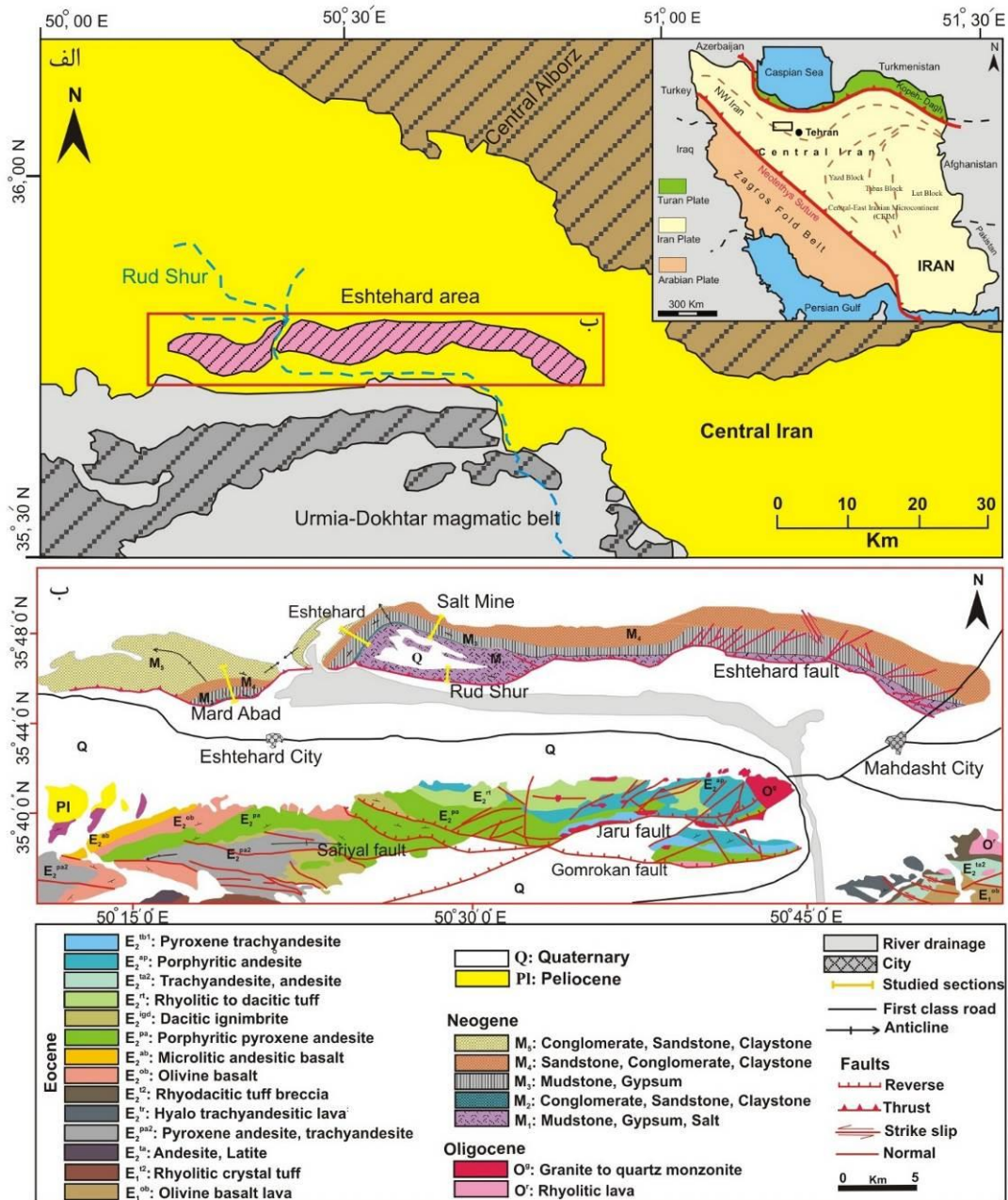
ساختاری ایران مرکزی دارای گسترش زیادی می‌باشند. رسوبات سنوزوئیک در ایران مرکزی با کنگلومرا و ماسه-سنگ‌های پالئوسن شروع می‌شود و با سنگ‌های آتشفشانی و آهکی ائوسن ادامه می‌یابد. پس از آن رسوبات قاره-ای الیگوسن (سازند قرمز پایینی) و سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌آهک‌های دریایی الیگومیوسن (سازند قم) رسوبگذاری کرده‌اند که رسوبات قاره‌ای سازند قرمز بالایی به سن میوسن بالایی به صورت دگرشیب بر روی آن‌ها نهشته شده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳؛ آقائاتی، ۱۳۸۵). پلیوسن در ایران مرکزی نیز شامل رسوبات کنگلومرای، آتشفشانی و سنگ‌آهک‌های دریاچه‌ای است (Stocklin, 1968; Bolourchi, 1978). منطقه اشتهارد در استان البرز، یکی از مناطق کمتر شناخته‌شده پهنه ساختاری ایران مرکزی است. رسوبات قاره‌ای قرمز رنگ در این منطقه رخنمون وسیعی دارند. بر اساس مطالعات اولیه، این نهشته‌ها به واحدهای Msc, Mm, Mmss و Msc تقسیم شده و به نئوژن نسبت داده شده‌اند (مهدی‌زاده، ۱۳۷۴؛ یوسفی، ۱۳۷۹). همچنین این نهشته‌های قاره‌ای از دیدگاه خاستگاه تکتونیکی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکاسی نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (ظاهری، ۱۳۹۸؛ Zaheri et al., 2021). این رسوبات از نظر سنی و موقعیت چینه‌شناسی تاکنون مورد بررسی دقیق قرار نگرفته‌اند. بنابراین ویژگی‌های واحدهای رسوبی نهشته‌های نئوژن منطقه اشتهارد مورد بررسی قرار گرفت تا با استفاده از این خصوصیات و نیز با مقایسه آنها با رسوبات شناخته شده قرمز بالایی در منطقه آوج، استان قزوین، موقعیت چینه‌شناسی آنها مشخص گردد.

#### موقعیت زمین‌شناسی:

گستره مورد مطالعه با وسعت حدود ۱۲۰ کیلومتر مربع در ۶۳ کیلومتری جنوب‌باختری کرج، در بخش‌های شمال و خاور شهرستان اشتهارد واقع شده است (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در حاشیه شمال‌باختری پهنه ایران مرکزی و جنوب پهنه البرز مرکزی قرار دارد. در این محدوده نهشته‌های قرمز نئوژن توسط گسل راندگی شمال اشتهارد، به شکل ناپیوسته بر روی واحدهای آتشفشانی ائوسن قرار می‌گیرند (مهدی‌زاده، ۱۳۷۴؛ یوسفی، ۱۳۷۹). سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب بازالت تا آندزیت (توف‌های سبز، گاهی متمایل به آبی و کرم رنگ با ترکیب ریولیتی، داسیتی تا آندزیتی) نیز ارتفاعات جنوبی منطقه مورد مطالعه را که بخشی از کمر بند آتشفشانی ارومیه-دختر می‌باشد، پدید آورده است به طوری که سازندهای قدیمی‌تر از ائوسن در اطراف منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود (مهدی‌زاده، ۱۳۷۴؛ یوسفی، ۱۳۷۹). در سنوزوئیک ایران مرکزی دو سری از لایه‌های قرمز وجود دارد. سری اول مربوط به الیگوسن بوده و تحت عنوان سازند قرمز پایینی یاد می‌شود و سری دوم مربوط به میوسن - پلیوسن بوده که آن را سازند قرمز بالایی نامیده‌اند. این لایه‌ها از نظر محتوای فسیلی فقیر بوده و در صورت نبود سازند قم این لایه‌ها را با عنوان لایه‌های قرمز نئوژن نام‌گذاری کرده‌اند (آقائاتی، ۱۳۸۵).

توالی‌های نئوژن منطقه مورد مطالعه با رخساره‌های قاره‌ای تخریبی و تبخیری با ضخامت کمی بیش از هزار متر تشخیص داده شدند که بر اساس بیشترین فراوانی به ترتیب از نهشته‌های گل‌سنگی (خاکستری روشن تا تیره) / رس‌سنگی (قرمز تا قهوه‌ای) همراه با ژپس و رس‌سنگ‌های قرمز و قهوه‌ای با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای تشکیل شده‌اند. برای سهولت در تفکیک و تحلیل نهشته‌های مورد مطالعه، بخش‌های دارای سنگ‌شناسی متفاوت با عنوان واحدهای  $M_1$  تا  $M_5$  نام‌گذاری شده‌اند. به طوری که واحدهای  $M_1$  و  $M_3$  به ترتیب شامل رس‌سنگ‌های قهوه‌ای تا قرمز و گل‌سنگ‌های خاکستری روشن تا تیره ژپس‌دار بوده و واحدهای  $M_2$ ،  $M_4$  و  $M_5$  نیز شامل تناوبی از نهشته‌های کنگلومرای - ماسه‌سنگی در تناوب با رس-سنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای می‌باشند (شکل ۲).



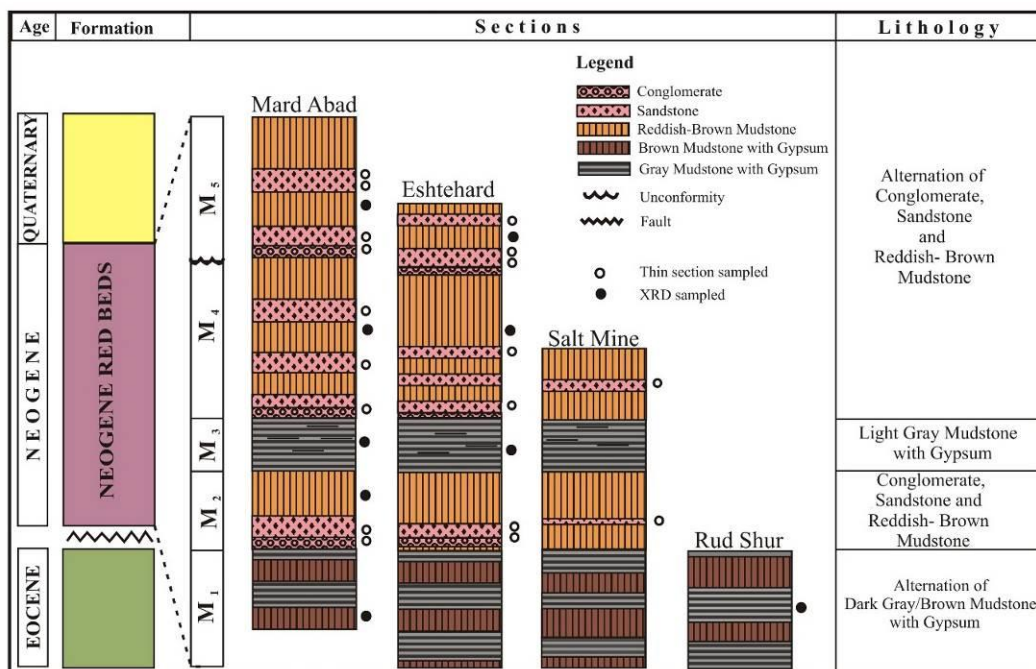


شکل ۱: الف) نقشه ساده شده از پهنه‌های ساختاری ایران (Aghanabati, 1998) همراه با محدوده ساختاری شمال-باختری ایران مرکزی که با چهارگوش مشکلی مشخص شده است، ب) پهنه‌های ساختاری شمال-باختری ایران، واقع در بخش‌های شمالی و جنوبی گستره مورد بررسی (Stocklin, 1968). بخش‌های هاشور خورده بلندی‌ها را مشخص می‌کند و چهارگوش قرمز نیز منطقه اشتهداد را نشان می‌دهد. ج) نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده (ترسیم مجدد با اقتباس از مهدی‌زاده، ۱۳۷۴ و یوسفی، ۱۳۷۹) همراه با موقعیت چهار برش مورد مطالعه.

### روش مطالعه:

طی بررسی و مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی اشتهداد و کرج و تصاویر هوایی منطقه، چهار برش مناسب انتخاب شدند. ساختار گسل‌ها و چین‌ها توسط تصاویر ماهواره‌ای و جمع‌آوری اطلاعات صحرایی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری با توجه به تغییر رخساره‌ها انجام شد. سنگ‌های آواری دانه‌درشت (کنگلومرها) براساس طبقه‌بندی پتی‌جان (۱۹۷۵)، به روش شمارش در صحرا (جهت تعیین جنس و بافت دانه‌ها) توصیف شدند. مطالعه ۳۰ مقطع نازک تهیه‌شده از نمونه‌های ماسه‌سنگی (ریز،

متوسط و درشت‌دانه) توسط میکروسکوپ پلاریزان، جهت تعیین شاخص‌های ترکیبی و بافتی، صورت گرفت. تعداد ۳۰۰-۵۰۰ دانه بر روی ۱۸ مقطع نازک به روش نقطه‌شماری گزی-دیکینسون شمارش گردید (Ingersoll et al., 1984). سپس ماسه-سنگ‌های مورد مطالعه با تعیین درصد فراوانی اجزای اصلی تشکیل‌دهنده، توسط طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) نام‌گذاری شدند. جهت مطالعه کانی‌شناسی رس‌ها (به تعداد ۹ نمونه)، ۳۰ گرم نمونه گل‌سنگی پس از حذف ژئوپس (چندین مرحله شستشو با آب مقطر)، توسط الک تر جدا شدند و پس از آماده‌سازی (Moore and Reynolds, 1997)، بخش رسی جدا شده و از آنها مقاطع رسی جهت‌یافته تهیه گردید. سپس بر روی هر نمونه رسی خشک‌شده در دمای معمولی، تیمار اشباع با کلریدمنیزیم و اتیلن‌گلیکول انجام شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا با دستگاه XRD مدل Italstructures و تحت شرایط (Cu  $\alpha$ , 40 kV, 30 mA, 2-70° 2 $\theta$ ) مورد آنالیز پراش اشعه ایکس قرار گرفتند.

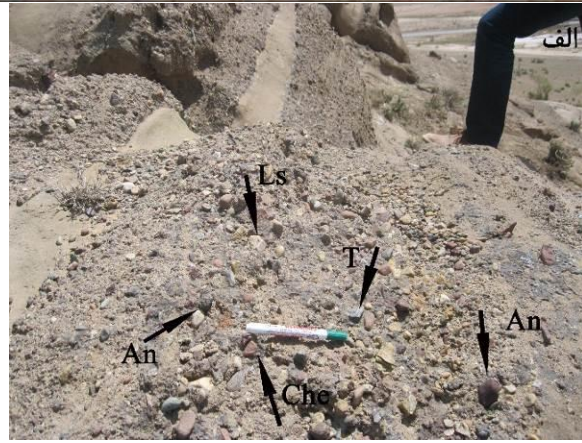
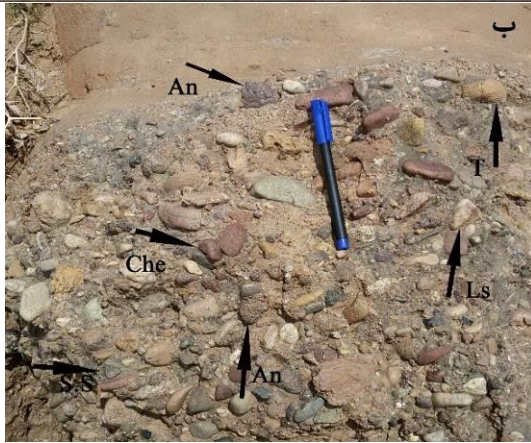


شکل ۲: ستون چین‌نگاری سنگی ساده شده از توالی‌های نتوژن در چهار برش مورد مطالعه (ضخامت بدون مقیاس) همراه با پراکندگی نهشته‌های کنگلومرای، ماسه‌سنگی و گل‌سنگی/رس‌سنگی در پنج واحد سنگ‌شناسی مجزا (M<sub>1</sub> تا M<sub>5</sub>). موقعیت هر چهار برش در شکل ۱، نشان داده شده است.

## نتایج

### سنگ‌شناسی کنگلومراها

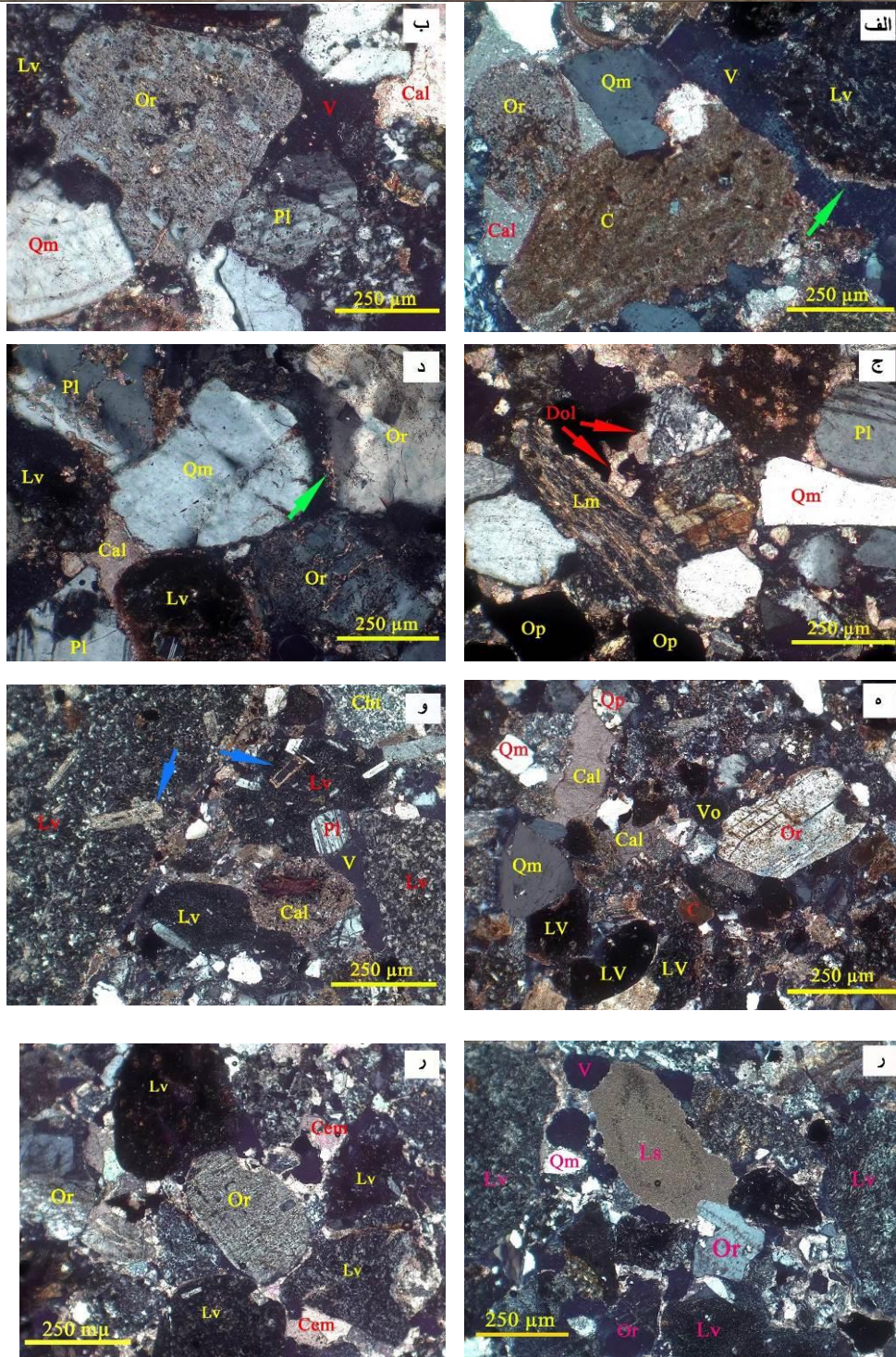
به دلیل ماهیت کنگلومراها، قطعات تشکیل‌دهنده موجود در این سنگ‌ها در صحرا مورد بررسی قرار گرفت. اندازه قطعات تشکیل‌دهنده نهشته‌های کنگلومرای منطقه اشتهداد از چند میلی‌متر تا حداکثر ۸ سانتی‌متر تغییر می‌کنند. نهشته‌های کنگلومرای مورد مطالعه از نوع پلی‌میکتیک بوده و شامل خرده‌های آتشفشانی (آندزیت و توف آهکی)، رسوبی (ماسه‌سنگ، آهک و چرت) و کوارتز چندبلورین هستند (شکل الف، ب). قابل ذکر است که نهشته‌های کنگلومرای خاکستری رنگ واحد M<sub>5</sub>، با مقادیر بالاتری از آندزیت و توف در برش‌های مردآباد و اشتهداد و نهشته‌های قرمز رنگ کنگلومرای واحد M<sub>2</sub> با مقادیر بالایی از آندزیت و چرت مشخص می‌شوند (شکل ۳ الف، ب).



شکل ۳: جنس و ویژگی‌های بافتی کنگلومراهای واقع در منطقه مورد مطالعه. الف) برش مردآباد کنگلومرای واحد M<sub>5</sub> و ب) برش مردآباد، کنگلومرای واحد M<sub>2</sub> (An: آندزیت، T: توف، Ls: خرده آهکی، Che: چرت).

### سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌ها

براساس شواهد سنگ‌نگاری و تحلیل مدال، ماسه‌سنگ‌های منطقه اشتهارد به ترتیب فراوانی از خرده‌سنگ‌های آذرین بیرونی (آندزیت و توف)، رسوبی (خرده آهکی، ماسه‌سنگ و چرت)، فلدسپات (ارتوکلاز و پلاژیوکلاز)، خرده‌سنگ دگرگونی (اسلیت)، کوارتز (تک‌بلورین و چندبلورین)، کانی‌های سنگین تیره (مگنتیت و هماتیت) و سیمان‌های کربناته (کلسیتی و دولومیتی) تشکیل شده است (جدول ۱) (شکل ۴ الف تا ز). تخلخل در نمونه‌ها بیشتر ثانویه بوده که توسط انحلال سیمان کلسیتی-دولومیتی (وجود بقایایی از سیمان انحلال یافته در فضاهای خالی) و نیز تجزیه دانه‌های ناپایدار ایجاد شده‌اند (شکل ۴ الف، ب، ه، و، ز). نتایج دانه‌شماری (مدال) نمونه‌های ماسه‌سنگی نئوژن منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته کاملاً مجزا دسته‌بندی نمود. مبنای این دسته‌بندی، تفاوت بارز در مقادیر ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها است. به طوری که نمونه‌های ۱ الی ۷ مربوط به واحد M<sub>5</sub> و نمونه‌های ۸ الی ۱۸ مربوط به واحدهای M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> می‌باشند. در نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد M<sub>5</sub> مقادیر کوارتز تک‌بلورین بین ۳/۵۲ تا ۹/۳۳ درصد، کوارتز چندبلورین بین ۱/۱۷ تا ۸ درصد، ارتوکلاز بین ۱۵/۵۷ تا ۲۹/۷ درصد، پلاژیوکلاز بین ۸ تا ۱۴/۱۱، خرده‌سنگ آتشفشانی بین ۲۲/۳۵ تا ۵۲/۳۸ درصد، خرده‌سنگ رسوبی بین ۱/۱۷ تا ۹/۴۱ درصد، خرده‌سنگ دگرگونی بین ۱ تا ۲۱/۱۷ درصد، کانی‌های تیره بین ۱ تا ۳ درصد و سیمان کربناته بین ۲ و ۷ درصد مشخص است (جدول ۱). در نمونه‌های واحد M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> نیز مقادیر کوارتز تک‌بلورین بین ۱/۲۳ تا ۵ درصد، کوارتز چندبلورین بین ۱/۱۷ تا ۲/۷۱ درصد، ارتوکلاز بین ۴/۸۴ تا ۷/۸۹ درصد، پلاژیوکلاز بین ۳/۵۲ تا ۷/۵۱، خرده‌سنگ آتشفشانی بین ۶۶/۲۵ تا ۸۲/۵۵ درصد، خرده‌سنگ رسوبی بین ۱/۱ تا ۷/۵۶ درصد، خرده‌سنگ دگرگونی بین ۱/۱۷ تا ۱/۷۴ درصد، کانی‌های تیره بین ۱ تا ۳ درصد، سیمان کربناته بین ۲/۶ و ۱۲ درصد در تغییر است (جدول ۱). براساس داده‌های دانه‌شماری (جدول ۱) مشخص گردید که متوسط ترکیب نمونه‌های ماسه-سنگی واحد M<sub>2</sub> (Q<sub>5</sub>F<sub>10</sub>RF<sub>85</sub>) و M<sub>4</sub> (Q<sub>5</sub>F<sub>11</sub>RF<sub>84</sub>) دارای مقادیر فراوان خرده‌سنگ‌های آتشفشانی، مقادیر کم فلدسپات و کوارتز بوده در حالی که در نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد M<sub>5</sub> (Q<sub>10</sub>F<sub>35</sub>RF<sub>55</sub>) مقدار خرده‌سنگ کاهش زیادی داشته و کوارتز و فلدسپات افزایش نسبتاً زیادی را نشان می‌دهند.

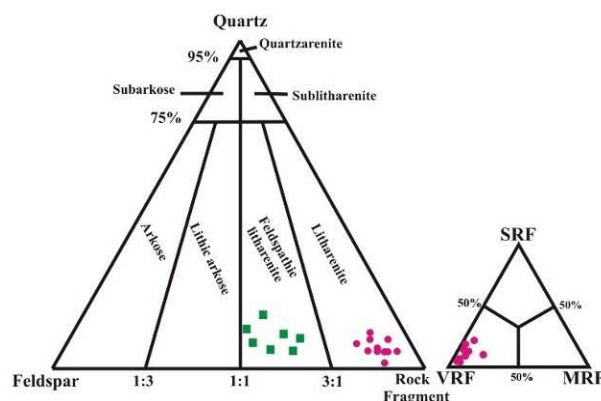


شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ‌های نئوژن منطقه اشتهارد. شکل‌های الف تا د، از نمونه‌های واحد M<sub>5</sub> و شکل‌های ه تا ز نیز از نمونه‌های واحد M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> می‌باشد. (خرده آتشفشانی (Lv) خرده رسوبی آهکی (Ls)، چرت (Chl)، خرده دگرگونی (Lm)، کوارتز تک‌بلور (Qm)، کوارتز چندبلور (Qp)، پلاژیوکلاز (Pl) و ارتوکلاز (Or) همراه با هوازدهی شیمیایی (سرسیتی شدن)، خرده کربناته (C)، کانی‌های تیره (Op)، سیمان‌های آهکی (Cal) (پیکان سبز) و دولومیتی (Dol) (پیکان قرمز)، تخلخل (V) همراه با آثار سیمان انحلال یافته (پیکان سبز)، پلاژیوکلازهای در حال تجزیه در داخل خرده‌های آتشفشانی (پیکان آبی).

جدول ۱: نتایج نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌های متوسط تا درشت‌دانه به روش گزی- دیکینسون (Ingersoll et al., 1984). مقادیر اجزای اصلی بر حسب درصد بیان شده‌اند.

Unit	Qm	Qp	K	P	Ls		Lv	Lm	Op	Cem	Qt%	F%	RF%	Lt%
					Lss	Lc								
M <sub>5</sub>	7.00	5.77	32.94	8.23	1.17	1.17	22.35	21.17	2.00	2.00	13.00	41.00	46.00	51.77
	5.95	3.59	15.57	11.90	3.47	3.57	52.38	3.57	3.00	3.00	9.54	27.47	62.99	66.58
	3.52	2.35	21.17	14.11	9.41	12.94	34.11	2.35	1.00	5.00	5.87	35.28	58.81	61.16
	5.60	4.20	22.20	9.62	4.31	6.72	44.53	2.82	0.00	3.00	9.80	31.82	58.38	62.58
	6.12	1.76	18.89	10.37	4.81	9.24	47.81	1.00	2.00	7.00	7.88	29.26	62.86	64.62
	9.33	8.00	25.33	8.00	6.66	8.00	25.39	2.60	0.00	4.00	17.00	35.00	48.00	56.00
	4.59	3.29	29.70	11.49	4.49	5.74	34.48	6.89	0.00	4.00	7.88	41.19	51.57	54.86
<b>Mean</b>	<b>6.01</b>	<b>4.13</b>	<b>23.68</b>	<b>10.53</b>	<b>4.90</b>	<b>6.76</b>	<b>37.29</b>	<b>5.77</b>	<b>2.00</b>	<b>4.00</b>	<b>10.13</b>	<b>34.43</b>	<b>55.51</b>	<b>59.65</b>
M <sub>4</sub>	5.00	2.50	5.00	7.50	7.50	6.25	66.25	0.00	1.00	6.00	7.50	12.50	80.00	82.50
	3.52	2.35	5.88	3.52	3.61	4.70	76.44	0.00	0.00	7.00	5.87	9.40	84.75	87.10
	1.23	2.46	6.17	7.40	11.11	3.74	66.66	1.23	2.0	5.00	3.69	13.57	82.74	85.20
	2.50	0.00	7.79	5.35	4.97	4.13	75.26	0.00	3.00	6.00	2.50	13.14	84.36	84.36
	4.15	1.68	5.80	3.94	7.56	5.31	69.82	1.74	2.00	3.00	5.83	9.74	84.43	88.58
	2.39	2.27	4.84	3.76	5.94	2.57	74.80	0.00	1.00	2.60	4.66	9.60	85.55	87.97
M <sub>2</sub>	2.32	0.00	5.81	4.65	3.48	1.19	82.55	0.00	0.00	4.00	2.32	10.46	87.22	87.22
	5.26	1.31	7.89	5.26	1.31	6.61	72.36	0.00	2.00	12.00	6.57	13.15	80.28	81.59
	2.69	2.71	6.50	5.61	4.92	2.37	76.63	1.17	0.00	7.00	5.40	12.11	83.92	86.63
	4.00	1.17	6.00	7.51	1.10	0.00	80.30	0.00	1.00	10.00	5.17	11.51	81.40	85.40
	3.10	1.37	5.66	4.15	3.96	2.37	77.49	0.00	1.00	4.00	4.47	10.81	84.82	86.19
<b>Mean</b>	<b>3.28</b>	<b>1.62</b>	<b>6.12</b>	<b>5.33</b>	<b>5.04</b>	<b>3.92</b>	<b>74.41</b>	<b>1.38</b>	<b>1.62</b>	<b>6.05</b>	<b>4.90</b>	<b>11.45</b>	<b>83.58</b>	<b>85.70</b>

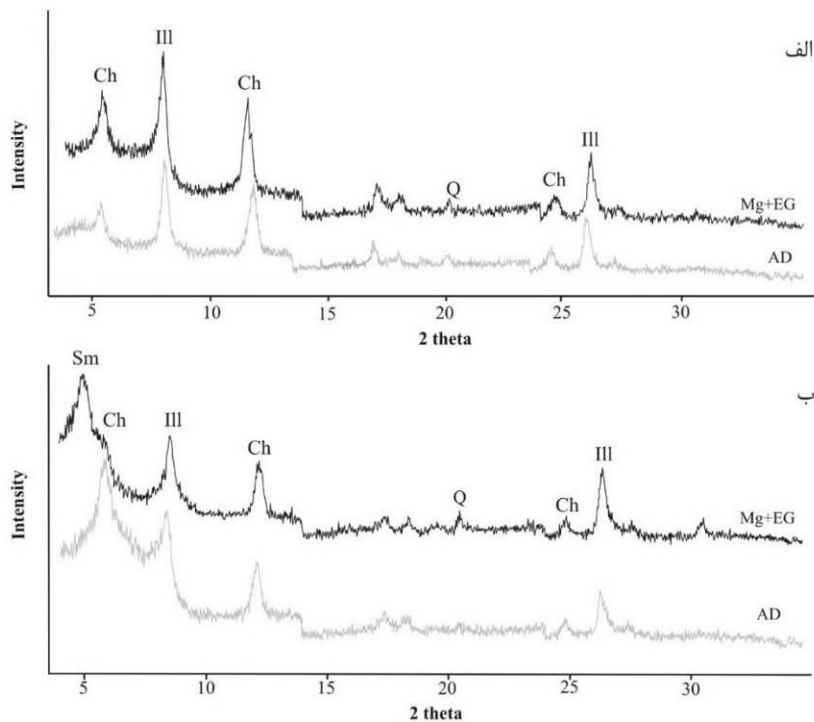
بنابراین بر پایه داده‌های جدول ۱ و استفاده از نمودار مثلثی فولک (۱۹۷۴)، نمونه‌های ماسه‌سنگی واحدهای M<sub>4</sub> و M<sub>2</sub> در محدوده ولکارنایت و نمونه‌های واحد M<sub>5</sub> در محدوده فلدسپاتیک لیتارنایت و با توجه به فراوانی خرده‌سنگ‌های آتشفشانی با عنوان فلدسپاتیک ولکارنایت نام‌گذاری شدند (شکل ۵).



شکل ۵: ترکیب نمونه‌های ماسه‌سنگی در واحدهای M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> (مربع سبز) و واحد M<sub>5</sub> (دوایر قرمز) براساس نمودار سه‌تایی (QFR) (Folk, 1974).

### کانی‌شناسی رس‌ها

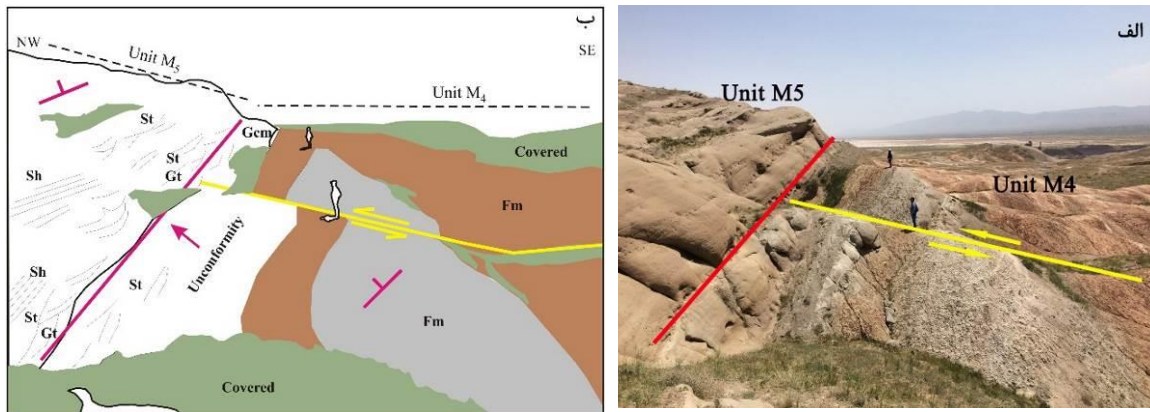
گل‌سنگ‌ها و رس‌سنگ‌ها دارای بیشترین فراوانی در نهشته‌های مورد مطالعه هستند (شکل ۲). نتایج آنالیز XRD مقاطع رسی جهت‌یافته بدون تیمار و تیمار شده با کلرید منیزیم و اتیلن گلیکول برداشت‌شده از واحدهای M<sub>1</sub> تا M<sub>5</sub>، از نظر محتوای رسی تفاوت نشان می‌دهند. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، کانی‌رسی اصلی در نمونه‌های واحدهای M<sub>1</sub> تا M<sub>4</sub> شامل ایلیت و کلریت است در حالی که در نمونه واحد M<sub>5</sub> کانی‌رسی‌های ایلیت، کلریت و اسمکتیت حضور دارند (شکل ۶ الف و ب).



شکل ۶: الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های رسی جهت‌یافته، الف) رس سنگ واحد M<sub>4</sub> و ب) رس سنگ واحد M<sub>5</sub>. (اختصارات: AD: بدون تیمار، Mg+EG: تیمار اشباع با کلرید منیزیم+ اتیلن گلیکول).

#### ارتباط واحدها

نهشته‌های نئوژن منطقه اشتهارد به ۵ واحد رسوبی تقسیم‌بندی شده است که بیشترین ضخامت آن در برش مردآباد حدود ۱۰۸۰ متر اندازه‌گیری شده است. مرز بین واحدها همگی مشخص بوده و تغییر سنگ‌شناسی به وضوح قابل مشاهده است. هیچ نبود رسوب‌گذاری عمده بین واحدهای M<sub>1</sub> تا M<sub>4</sub> مشاهده نشده است. واحد رسوبی M<sub>5</sub> بیشترین ضخامت را نسبت به سایر واحدهای رسوبی دارا بوده و رخنمون آن از برش مردآباد به سوی برش‌های اشتهارد و معدن نمک (روند جنوب‌باختری-شمال‌خاوری) به علت پوشیدگی و فرسایش کاهش می‌یابد (شکل ۱ ب). به طوری که در برش شمال اشتهارد این واحد در محل طاقدیس اشتهارد فرسایش یافته و در برش معدن نمک یا با نهشته‌های کواترنری به طور کامل پوشیده شده یا کلاً وجود ندارد. واحد رسوبی M<sub>5</sub> همانند واحدهای رسوبی M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> در قاعده شامل نهشته‌های کنگلومرای-ماسه‌سنگی با ضخامت و گسترش جانبی زیاد بوده اما با مرز ناپیوستگی بر روی واحد رسوبی M<sub>4</sub> رسوبگذاری کرده است (شکل ۷ الف و ب). این ناپیوستگی به دلیل شیب تقریباً یکسان لایه‌های واحد M<sub>5</sub> و لایه‌های زیرین به خوبی مشاهده نمی‌شود. گسل‌های کوچک چپگرد تقریباً عمود بر امتداد لایه‌ها مشاهده می‌شوند که لایه‌های قدیمی (واحد M<sub>4</sub> و قدیمی‌تر از آن) را قطع نموده و آن‌ها را تا سطح ناپیوستگی جابجا کرده‌اند. با وجود شیب (NE) و امتداد (NW) تقریباً مشابه لایه‌های رسوبی واحدهای M<sub>4</sub> و قدیمی‌تر و واحد M<sub>5</sub>، این گسل‌ها به سمت لایه‌های بالاتر (واحد M<sub>5</sub>) ادامه پیدا نکرده‌اند (شکل ۷ الف و ب).



شکل ۷: تصویر صحرایی از مرز ناپیوستگی مابین واحدهای رسوبی M4 و M5، الف) واحد رسوبی M5 که توسط یک مرز ناپیوستگی فرسایشی (خط قرمز) بر روی رس سنگهای (Fm) واحد رسوبی M4 ته‌نشست یافته است (دید به سمت جنوب خاور). و ب) تصویر شماتیک از عکس صحرایی الف.

### بحث:

سنگ‌های آواری حاصل هوازدگی و فرسایش سنگ‌های قدیمی‌تر هستند و ترکیب آن‌ها توسط عوامل مختلفی نظیر سنگ‌شناسی ناحیه منشأ، تکتونیک، آب و هوا، توپوگرافی، حمل و نقل و محیط رسوبگذاری کنترل می‌شود. از این رو پتروگرافی می‌تواند به عنوان ابزاری قدرتمند در بررسی و تفسیر عوامل کنترل‌کننده ترکیب رسوبات آواری و بازسازی تکامل حوضه‌های رسوبی محسوب شود (Garzanti et al., 2007; Hulka and Heubeck, 2010; Ghazi and Mountney, 2011). به منظور بررسی و بازنگری یک سازند یا واحد، بایستی تمام شواهد رسوب‌شناسی و تکتونیکی آن را مد نظر قرار داد (Nichols, 2009). با توجه به نتایج سنگ‌شناسی و تکتونیکی به دست آمده از بررسی نهشته‌های نفوژن منطقه اشتهارد به نظر می‌رسد تفاوت اساسی بین ۴ واحد زیرین (M1 تا M4) با واحد فوقانی (M5) وجود داشته باشد. حضور یک مرز ناپیوسته نشان از یک وقفه رسوبگذاری پس از تشکیل ۴ واحد زیرین داشته و پس از اعمال فرآیندهای تکتونیکی مانند چین‌خوردگی احتمالی و گسل‌خوردگی، واحد M5 با اختلاف زمانی زیاد بر روی واحد زیرین رسوب‌گذاری نموده است. تغییر در نوع جنس گراول‌های موجود در کنگلومراها، تفاوت در مقدار اجزای اصلی تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها و تفاوت در کانی‌شناسی رسی واحد M5 با واحدهای زیرین همگی شواهدی در تأیید این اتفاقات و تغییر سنگ‌شناسی می‌باشند. تفاوت در سنگ منشأ و نیز تفاوت آب و هوایی در زمان ته‌نشست هر بخش عامل اصلی ایجاد این اختلاف‌ها می‌تواند باشد.

در واحدهای M2 و M4، نهشته‌های کنگلومرایی با رنگ قرمز تیره با مقادیر فراوان خرده‌سنگ‌های آندزیتی و توف و با مقدار کم خرده‌های رسوبی و کوارتز مشخص است. در حالی که در واحد M5، نهشته‌های کنگلومرایی به رنگ خاکستری بوده که علاوه بر فراوانی خرده‌های آندزیتی، دارای مقادیر بیشتری از خرده‌های رسوبی و کوارتز می‌باشند. همچنین طبق شواهد پتروگرافی و استفاده از طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) رخساره‌های ماسه‌سنگی واحدهای M2 و M4 و لکارنایتی بوده ولی نهشته‌های ماسه‌سنگی واحد M5 از نوع فلدسپاتیک لیتارنایت هستند (شکل ۴ الف تا ز). نتایج آنالیز XRD و کانی‌شناسی رس‌ها نیز تفاوتی را بین محتوای کانی‌های رسی در واحدهای پایین ناپیوستگی (واحد M4 و قدیمی‌تر) با واحد بالایی (واحد M5) نشان می‌دهد (شکل ۶ الف و ب). نمونه‌های رسی واحد M5 دارای کانی‌های رسی ایلپیت، کلریت و اسمکتیت بوده در حالی که در واحدهای پایین ناپیوستگی (واحدهای M1 تا M4)، تنها کانی‌های رسی ایلپیت و کلریت مشاهده گردید (شکل ۶). قابل ذکر است که تفاوت در نوع کانی رسی ممکن است بر اثر تغییر منشأ رسوبی یا تغییر در شرایط آب و هوایی به وجود آید (Chamley, 1989). حضور

کانی‌های رسی ایلیت و کلریت در نمونه‌های گل‌سنگی واحدهای  $M_1$  تا  $M_4$  و ایلیت، کلریت و اسمکتیت در نمونه‌های گل-سنگی واحد  $M_5$ ، نتیجه را از شرایط آب و هوایی خشک به نیمه‌خشک سوق می‌دهد. کانی رسی اسمکتیت شاخص شرایط آب و هوایی خشک با فصول مرطوب می‌باشد (Chamley, 1989) که احتمالاً با شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک در زمان رسوب-گذاری واحد  $M_5$  مطابقت دارد. با توجه به تیزی پیک‌های نمودار اشعه ایکس نیز تغییر شرایط قابل مشاهده است. در نمونه رسی واحدهای قدیمی‌تر (شکل ۶ الف)، پیک ایلیت و کلریت کشیده‌تر و تیز تر می‌باشد و بیانگر درجه تبلور بیشتری است. اما در نمونه رسی متعلق به واحد  $M_5$ ، پایه پیک مربوط به این کانی‌ها بازتر شده که نشان‌دهنده هوازدگی بیشتر و درجه تبلور کمتر هستند.

در مطالعات انجام شده بر روی سازند قرمز فوقانی در منطقه آوج، جنوب استان قزوین، مشخص گردید که هر دو واحد  $M_1$  و  $M_2$  که برای این سازند توسط بلورچی (۱۳۷۸a و ۱۳۷۸b) تشخیص داده شده، متعلق به زمان میوسن بالایی نیستند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). حضور یک دگرشیبی بین دو واحد، وجود یک گنبد نمکی در منطقه که واحد  $M_1$  را به وضوح قطع کرده و به مرز واحد  $M_2$  رسیده اما هیچ گونه تغییری در این واحد ایجاد نکرده، تفاوت‌های کاملاً مشخص در کانی‌شناسی دو واحد مذکور و حتی تغییر جریان دیرینه از واحد زیرین به واحد بالایی از جمله شواهد ذکر شده برای تفکیک این سازند به دو سیستم رسوبی با زمان تشکیل متفاوت شده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) واحد  $M_1$  را با توجه به فرارگیری بر روی سازند قم، معادل قرمز فوقانی دانسته و واحد  $M_2$  را با توجه به شواهد ارائه شده به پلیوسن نسبت داده و پیشنهاد کردند تا واحد  $M_2$  به عنوان سازند جدید معرفی شود (احمدی، ۱۳۹۷).

سازند قرمز بالایی طی فعالیت کوهزایی آتیکان چین خورده و تحت تأثیر گسل‌ها، بریده شده است. پس از فاز کوهزایی آتیکان و قبل از پاسادینین از فرسایش شدید بلندی‌ها، حجم قابل توجهی از نهشته‌های کنگلومرایی تشکیل که به طور هم شیب یا دگرشیب، سازندهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند. در این نهشته‌ها فسیل کمیاب بوده ولی به دلیل داشتن مرز مشخص و ناگهانی با دگرشیبی خیلی ملایم با سازند قرمز بالایی (میوسن بالایی) و چین‌خوردگی قابل توجه، می‌توان آن را به سن پلیوسن دانست (آقانباتی، ۱۳۸۵). منطقه آوج شاهد خوبی برای فعالیت این فازهای کوهزایی می‌باشد. واحد  $M_1$  مربوط به سازند قرمز بالایی توسط فعالیت کوهزایی آتیکان چین خورده، سپس رسوبات واحد  $M_2$  به صورت ناپیوسته روی آن قرار گرفته‌اند. با توجه به شباهت‌های بین رسوبات منطقه آوج و ناحیه اشتهارد که در نزدیکی یکدیگر قرار دارند، می‌توان گفت که نهشته‌های  $M_1$  تا  $M_4$  احتمالاً معادل سازند قرمز بالایی هستند که در بیشتر قسمت‌های پهنه ایران مرکزی گسترش دارند. واحد  $M_5$  که با طور ناپیوسته بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند معادل واحد  $M_2$  منطقه آوج در نظر گرفته شده است. از طرفی نفوذ توده‌های نمکی به صورت گنبد در سازند قرمز بالایی از مناطق مختلف مانند آوج، قم و سمنان گزارش شده است (آقانباتی، ۱۳۸۵). در منطقه اشتهارد نیز گنبد‌های نمکی رسوبات واحدهای  $M_1$  تا  $M_4$  را بریده و به سطح رسیده‌اند اما اثری از این گنبد‌ها در واحد  $M_5$  دیده نمی‌شود. شاید این پدیده نیز بتواند در معادل سازی نهشته‌های قرمز نئوژن اشتهارد و سازند قرمز بالایی منطقه آوج کمک موثری نماید. همچنین جهت جریان دیرینه در تمام برش‌ها اندازه‌گیری شده که همگی جهت شمال-خاور را نشان می‌دهند (ظاهری، ۱۳۹۸) و از این رو تفاوت عمده‌ای بین واحدهای رسوبی این نهشته‌ها در منطقه اشتهارد وجود ندارد. بنابراین با توجه به نبود داده‌های سن‌سنجی و با تکیه بر شواهد تکتونیکی (وجود مرز ناپیوستگی بین واحدهای  $M_4$  و  $M_5$ ) و رسوب‌شناسی (تفاوت در ترکیب کنگلومرها، ماسه‌سنگ‌ها و نوع کانی‌های رسی) می‌توان احتمال داد که واحد رسوبی  $M_5$  در برش مردآباد، پس از کوهزایی آتیکان و در زمان پلیوسن رسوب‌گذاری کرده باشد.



## نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، واحد رسوبی M<sub>5</sub> در برش اشتهارد از نظر سنی با بقیه واحدهای رسوبی متفاوت بوده که از جمله شواهد این ادعا می تواند به موارد زیر اشاره کرد:

- بر اساس نتایج مطالعه سنگ شناسی نهشته های مورد مطالعه، نوع و فراوانی گراولها در کنگلومرای موجود در واحدهای M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> با کنگلومرای واحد M<sub>5</sub> متفاوت بوده؛ نمونه های ماسه سنگی واحدهای M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> از نوع ولکارنایت و نمونه های واحد M<sub>5</sub> از نوع فلدسپاتیک لیتارنایت هستند؛ نوع و فراوانی کانی های رسی واحد M<sub>1</sub> تا M<sub>4</sub> با واحد M<sub>5</sub> متفاوت می باشد.

- طبق شواهد تکتونیکی در مرز واحدهای M<sub>4</sub> و M<sub>5</sub> (تاثیر گسلها بر واحدهای قدیمی و نبود هیچ اثری از فعالیت گسل در واحد M<sub>5</sub>) چنین به نظر می رسد که سن رسوبات واحدهای M<sub>4</sub> و قدیمی تر مربوط به میوسن بالایی بوده و رسوبات واحد M<sub>5</sub> به سن پلیوسن باشند.

- نفوذ گنبد های نمکی در واحدهای M<sub>1</sub> تا M<sub>4</sub> و عدم مشاهده این گنبد ها در واحد M<sub>5</sub> گواهی بر اختلاف زمانی این واحدها می باشد.

- واحد رسوبی M<sub>5</sub> در برش مردآباد، پس از کوهزایی آتیکان و در احتمالاً زمان پلیوسن رسوب گذاری کرده است.

## منابع:

احمدی قمی، ف.، رفیعی، ب.، صدر، الف. ح.، ۱۳۹۷. بازنگری سازند قرمز بالایی به سن میوسن در منطقه آوج-آبگرم، غرب ایران، مجله رسوب شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۲، صفحه ۴۰-۶۱.

آقانباتی، س.ع.، ۱۳۸۵. زمین شناسی ایران. نشر سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.

درویش زاده، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۴۳۴ صفحه.

مهدی زاده، س.، ۱۳۷۴. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یوسفی، م.، ۱۳۷۹. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اشتهارد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Aghanabati, A., 1998. Major sedimentary and structural units of Iran (map), *Geosciences*, 7, 29-30.

Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeographic and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Science*, 18, 210-265.

Bolourchi, M.H., 1978a. Etude geologique de la region d'Avaj (NW de Iran), stratigraphie et tectonique. Ph.D. thesis, Geological Survey of Iran.

Bolourchi, M.H., 1978b. Geological map of Iran, 1/100000 series, No. 5861, Avaj. Geological Survey of Iran, Tehran.

Chamley, H., 1989. *Clay sedimentology*, Springer, Verlag, 623 P.

Folk, E., 1974. *Petrography of sedimentary rocks*, Hemphill Publishing Company, 182 P.

Folk, R.L., 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 P.

Garzanti, E., Doglioni, C., Vezzoli, G., and Andò, S., 2007. Orogenic belts and orogenic sediment provenance. *The Journal of Geology*, 115, 315-334.

Ghazi, S., and Mountney, N.P., 2011. Petrography and provenance of the Early Permian Fluvial Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan. *Sedimentary Geology*, 233, 88-110.

Hulka, C., and Heubeck, C., 2010. Composition and provenance history of Late Cenozoic sediments in southeastern Bolivia: Implications for Chaco Foreland Basin evolution and Andean Uplift. *Journal of Sedimentary Research*, 80, 288-299.

Hyžný, M., Šimo, V., and Starek, D., 2015. Ghost shrimps (Decapoda: Axiidea: Callianassidae) as producers of an Upper Miocene trace fossil association from sublittoral deposits of Lake Pannon (Vienna Basin, Slovakia). *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 425, 50-66.

Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D., and Sares, S.W., 1984. The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point - contouring method. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 103-116.

Moore, D.M., and Reynolds, R.C., 1997. *X-ray Diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. Second Ed, Oxford University Press, 400 P.

Nichols, G., 2009. *Sedimentology and stratigraphy*. 2nd ed, Wiley-Blackwell, 419 P.

- Pettijohn, F.J., 1975. Sedimentary rocks. 3rd edition. Harper and Row, New York, 628 P.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonic of Iran; a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52, 1229-1258.
- Udden, J.A., 1914. Mechanical composition of clastic sediments. Geological Society of America Bulletin, 25, 655-744.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 30, 377-392.

## بررسی روش‌های اصلاحی بار رسوب ورودی به سد گلستان

علی رادکانی<sup>۱\*</sup>، سید مرتضی سیدیان<sup>۲</sup>، ابولحسن فتح‌آبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس. نویسنده مسئول، پست الکترونیکی:

<sup>۲</sup>استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس.

Radkaniali@gmail.com

### چکیده

یکی از راهکارهای موثر، توجه به پدیده رسوب‌گذاری بر عملکرد تاسیسات پروژه‌های آبی و به خصوص مخازن سدها می‌باشد که تأثیرات مخربی را به همراه دارد. اکثر سدها در مسیر رودخانه‌ها احداث می‌شوند و رودخانه‌ها رسوبات را حمل می‌کنند و مقداری از رسوبات را در مسیر ته‌نشین می‌کنند و مقدار زیادی از رسوبات در مخازن سدها ته‌نشین می‌کنند سالانه حجم زیادی از این رسوبات وارد مخزن سد می‌شوند و ظرفیت ذخیره مخازن سدها کاهش پیدا می‌کند یکی از راه‌های مقابله با تجمع رسوب تخلیه آن می‌باشد و اما محققین و پژوهشگران از اهمیت این موضوع باخبر هستند و روش‌های را برای پیش‌بینی و تخمین میزان حجم رسوب ورودی به مخزن ارائه کرده‌اند و ما در این تحقیق برای برآورد رسوب ورودی به مخزن سد گلستان از داده‌های پانزده ساله تهیه شده از سازمان آب منطقه‌ای گرگان برای پنج ایستگاه ورودی به سد گلستان محاسبه شد و با استفاده از چهار فاکتور اصلاحی (CF2، CF1، USBR، FAO) برآورد هر یک از این ایستگاه‌ها بهینه سازی شد و برای هر یک از این روش‌ها در همه ایستگاه‌ها روابط معیارهای ارزیابی با استفاده از چهار مدل سنجش صحت و دقت (ME، RMSE، R<sup>2</sup>، PBIAS) مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت در نتیجه بهترین معادله دبی-رسوب برای هر یک از ایستگاه‌های حاجی‌قوشان روش CF2، برای اوغان روش CF2، قره‌شور روش CF1، پل کوسه روش USBR و قوچمز روش CF2 مشخص شد و هر کدام با کمترین RMSE نسبت به سایر روش‌ها و عملکرد سایر مدل‌ها ارزیابی مورد بررسی قرار گرفتند و به عنوان بهترین معادله دبی-رسوب انتخاب شدند.

کلید واژه: رسوب‌گذاری، فاکتورهای اصلاحی، توزیع رسوب، شاخص ارزیابی، منحنی سنجش رسوب

## Investigation of methods for correcting the input sediment load to Golestan dam

Ali Radkani <sup>1\*</sup>, Seyed Morteza Seyedian <sup>2</sup> Abolhasan Fathabadi <sup>3</sup>

### Abstract

One of the most critical factors is the Sedimentation phenomenon which can play a crucial role in water infrastructure projects operation, particularly dam reservoirs, which have destructive effects. Most of the dams are constructed on rivers paths. Rivers are carried sediments and deposit a part of them in the path, then most of the sediments are deposited in dam reservoirs, which can cause a reduction in dam reservoir capacity. The sediment letting out is a great solution to confront sediment accumulation issues. Nowadays, researchers have investigated the importance of this phenomenon and have found some solutions for predicting the amount of sediment inflow. In this report, we utilize the data prepared by the regional water company of Gorgan for fifteen years to predict the inflow of sediment for the Golestan dam in five inlet stations. By using four corrective factors (FAO, USBR, CF1, CF2), the measurements of each station have been optimized and the equations evaluated by four comparative models including (RMSE, ME, R<sup>2</sup>, PBIAS). Finally the best flow rate-sediment equation

for all station including Haji Qoushan(CF2), Oqan(CF2), Qareshour(CF1), Pol-e-kouse(USBR), Qouchmez(CF2). The flow rate-sediment equations with the less RMSE have compared with other models then the best flow rate-sediment equation recognized.

#### مقدمه

امروزه یکی از عوامل تهدیدکننده پروژه‌های آبی، پدیده فرسایش رسوب می‌باشد که مقدار زیادی از رسوبات در مسیر هیدرولوژیک رودخانه حمل می‌شوند و سالانه مقدار زیادی خاک از سطح حوزه‌های آبخیز به وسیله آب شسته شده و از محل اصلی خود جابجا می‌شود. حجم زیادی از این رسوبات در پشت سدها، یا دریاها و اقیانوس‌ها ته نشین می‌گردد. بخش عمده‌ای از این رسوبات در اثر فرسایش خاک حاصلخیز سطحی ایجاد می‌شود(رفاهی ۱۳۷۸).

رسوب گذاری یک پارامتر مهم جهت ارزیابی عمر مخزن می‌باشد ۷۸ سال پیش کوک نخستین فردی بود که سه پارامتر موثر بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز مخزن را شناسایی کرد. از آنجایی که رسوب وابسته به بار رسوب و بار رسوب وابسته به فرسایش خاک می‌باشد در نتیجه پیش بینی هر سه پارامتر جهت تخمین عمر مخزن ضروری است (دوتا ۲۰۱۶). منحنی نرخ رسوب معمولاً جهت تخمین بار رسوب معلق رودخانه و زهکشی حوزه آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (خالقی و همکاران ۲۰۱۵). بار رسوبی عبارت است از کل رسوب خروجی از یک حوزه که مقدار آن در یک نقطه مرجع در یک دوره زمانی خاص قابل اندازه گیری باشد (وانونی ۱۹۷۵). روش اندازه‌گیری بار معلق رسوب که وابسته به غلظت رسوب و دبی جریان است، روشی مطمئن ولی لازمه اصلی آن اندازه‌گیری پیوسته است که اکثراً برای رودخانه‌های مهم و دائمی مقدور است(تلوری ۱۳۸۱). منحنی سنج رسوب یکی از رایج ترین روش‌های برآورد بار رسوب معلق در رودخانه می‌باشد اما برآوردهای آن همیشه با مقداری خطا همراه است (Asselman, 2000).

عمل نمونه‌برداری از دبی جریان و رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری انجام می‌شود ولی برای تمامی دبی‌های جریان، نمونه برداری رسوب انجام نمی‌شود، بلکه میزان رسوب آن‌ها برآورد می‌گردد(دستورانی و همکاران ۱۳۸۶). به دلیل کارایی بهتر روش‌های منحنی سنج، محققین و کارشناسان روش‌های متنوعی را ارائه کرده‌اند و ضرایب اصلاحی زیادی طراحی نموده‌اند (قمشی و ترابی پوده ۱۳۸۱). برای ارزیابی صحت و دقت فاکتورهای اصلاحی از شاخص‌های سنجش استفاده می‌شود تا عملکرد هر از فاکتورهای اصلاحی را مورد ارزیابی قرار دهد(Najafinejad et al., 2011).

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

استان گلستان یکی از استان‌های سیل‌خیز کشور بشمار می‌رود که با مساحت ۲۰۴۳۸ کیلومتر مربع در شمال ایران و در جنوب شرق دریای خزر واقع شده است. این استان دارای ۵ حوزه آبریز اصلی می‌باشد. حوزه گرگانرود از ارتفاعات شرق و جنوب شرقی استان گلستان شروع و در نهایت به دریای خزر ختم می‌شود که حوزه گرگانرود از نظر مساحت و آبدهی در رتبه اول استان قرار دارد.

این استان بین ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه و ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. ارتفاعات این حوزه از حدود ۲۹۷۷ متر واقع در زیرحوضه قره‌چای تا ۲۶- متر از سطح دریا متغیر می‌باشد. سدهای بوستان، گلستان و وشمگیر بر روی رودخانه گرگانرود قرار گرفته است (شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۳).



موقعیت منطقه مورد مطالعه

از آنجایی که معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنجه با تبدیل لگاریتمی آمار دبی جریان و رسوب معلق به دست می‌آید با اریب زیادی همراه است. و برای بر طرف کردن این اریب و به منظور بهبود نتایج برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها از روش‌های ضرایب اصلاحی استفاده می‌کنیم.

که روش‌های (FAO)، (USB)، (CF1)، (CF2) برای این ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه داده‌های همزمان دبی رسوب معلق دبی جریان به مدت (15) سال از سال‌های آماری (1380) تا (1395) در ایستگاه‌های هیدرومتری (حاجی‌قوشان، اوغان، پل کوسه، قره‌شور، قوچمز) از شرکت سهامی آب منطقه (استان گلستان) جمع‌آوری گردید.

(USB) روش اداره عمران ایالات متحده، در روش منحنی رسوب روش USB داده‌های موجود از اندازه‌گیری  $Q_s$  و  $Q_w$  و بعد از آن یک رابطه رگرسیونی به صورت معادله توانی خارج گردید که به آن منحنی سنجه رسوب یک خطی هم می‌گویند. برای  $a$  و  $b$  ضرایب ثابت معادله هستند. (Jansson, 1996)

$$Q_s = aQ_w^b \quad (1)$$

که در معادله (1)  $Q_s$  دبی بار رسوبی (تن در روز)،  $Q_w$  دبی جریان ( $m^3/s$ ) و  $a$  و  $b$  پارامترهای ثابت می‌باشند. (FAO) روش سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی، جونز و همکاران در سال ۱۹۸۱ جای معادله توانی سنجه از روش فائو که در معادله (1) به جای  $a$  از  $a'$  می‌باشد، استفاده کردند (Jones, et.al, 1981).

$$a' = \frac{\overline{Q_s}}{\overline{Q_w}^b} \quad (2)$$

در معادله (2)  $a'$  ضریب فائو،  $\overline{Q_s}$  متوسط بار رسوب روزانه (تن بر روز)،  $\overline{Q_w}$  متوسط دبی جریان روزانه (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد.

روش QMLE یا همان روش تخمین گر شبه بیشینه درست نمایی، معادله آن به صورت زیر می‌باشد. که این روش به نام روش پارامتری CF1 نیز گزارش شده است (Duan, N., 1983; Ferguson, R.I., 1987).

$$L_{QMLE} = L_{RC} \times \exp\left(\frac{S^2}{2}\right) \quad (3)$$

در رابطه 3  $L_{QMLE}$  رسوب برآورد شده از روش QMLE می‌باشد،  $L_{RC}$  رسوب برآورد شده با استفاده از منحنی سنجه یک خطی و  $S^2$  مجذور میانگین اشتباه رگرسیون می‌باشد که برای محاسبه آن از فرمول 4 استفاده می‌کنیم.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\log c_o - \log c_e)}{n-1} \quad (4)$$

روش اصلاح گر، این روش به عنوان یک روش غیر پارامتری محسوب می شود که برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می شود (توماس ۱۹۸۵).

$$L_S = \frac{\sum_{i=1}^n \exp(e_i)}{N} \quad (5)$$

$$e_i = (\log c_o - \log c_e) \quad (6)$$

در رابطه ۵ که به عنوان روش CF2 نیز گزارش شده است (خالقی و وارانی ۲۰۱۸) پارامتر  $L_S$  رسوب برآورد شده با استفاده از روش Smearing می باشد و  $e_i$  باقی مانده حداقل مربعات معادله منحنی سنجه بوده و در واقع تفاوت لگاریتم طبیعی رسوب مشاهده شده و برآورد شده می باشد. که برای معادله ۶ پارامتر  $c_o$  مقادیر مشاهداتی و  $c_e$  مقادیر محاسباتی هستند.

ارزیابی روش های محاسبه رسوب معلق:

مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s_i} - Q'_{s_i})^2}{n}} \quad (7)$$

فاکتور کفایت مدل (معیار ناش، ساتکلیف) (نجفی نژاد و همکاران ۲۰۱۱).

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (8)$$

ضریب تبیین

$$R^2 = \frac{(\sum (\log Q_{sic} - \log \bar{Q}_{sic}) (\log Q_{sio} - \log \bar{Q}_{sio}))^2}{\sum (\log Q_{sic} - \log \bar{Q}_{sic})^2 \sum (\log Q_{sio} - \log \bar{Q}_{sio})^2} \quad (9)$$

ضریب انحراف (نجفی نژاد و همکاران ۲۰۱۱).

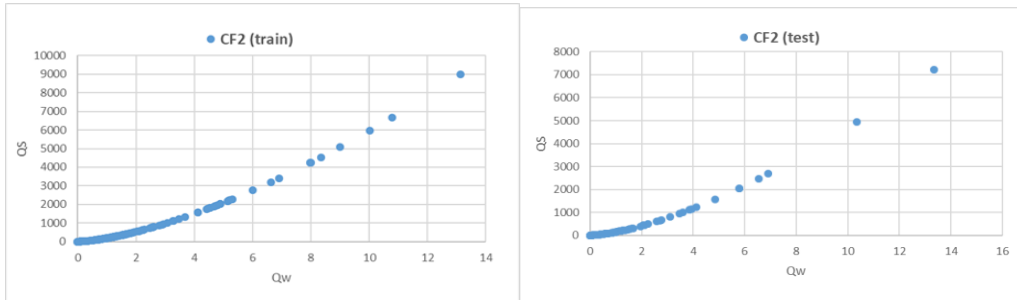
$$pbias = \%100 * \frac{|\bar{Q}_s - \bar{Q}_o|}{\bar{Q}_o} \quad (10)$$

نتایج و بحث

روش های اصلاحی بار رسوب

باتوجه به اهمیت مطالعات رسوب دهی آبخیزها، برای برآورد غلظت رسوب معلق جریان از منحنی سنجه استفاده می شود. اما این منحنی سنجه در اکثر مواقع نمی تواند به درستی رسوب دبی های بالا را بدست آورند که با اریبی همراه می شود که ناشی از تبدیل لگاریتمی می باشد. از آن جایی که این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار است، در این پژوهش با بهینه سازی منحنی سنجه رسوب و بهترین رابطه دبی- رسوب، برای پنج ایستگاه ورودی (حاجی قوشان، اوغان، قوچمز، پل کوسه، قره شور) به سد گلستان واقع در رودخانه گرگانرود تعیین می شود. که از فاکتورهای اصلاحی (FAO, USBR, CF1, CF2) استفاده می کنیم.

۱- ایستگاه حاجی قوشان

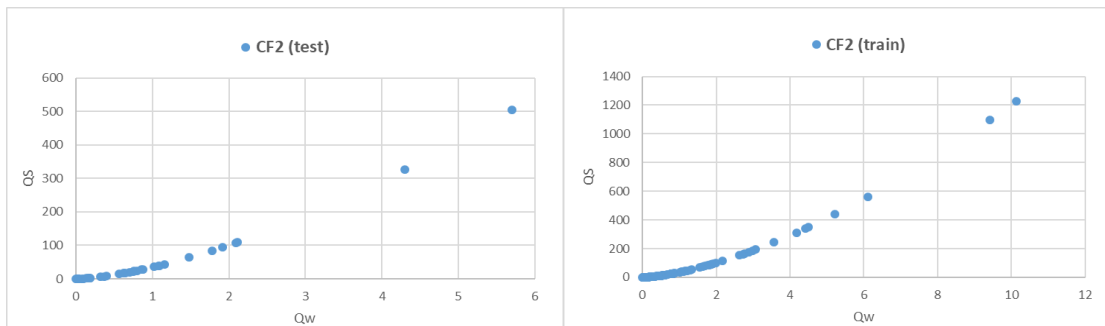


شکل شماره ۱: مقایسه داده‌های (train-test) بهترین روش برای ایستگاه حاجی قوشان

جدول شماره ۱: مقادیر معیارهای ارزیابی روش‌های اصلاحی برای ایستگاه حاجی قوشان

معیار ارزیابی	Train				Test			
	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS
FAO	۰٫۵۹	۱۸۲۴۸۲	-۴۰٫۲۸	۵۰۴۵۸۸۳۱	۰٫۷۰	۱۹۳۳۲۷	-۴۱۸۸	۴۸۴۹۵۳۱۷
USBR	۰٫۵۹	۲۶۸۷٫۳	۰٫۱۲	۶۲۹٫۵	۰٫۷۰	۲۷۵۳٫۲	۰٫۱۵	۷۶۰٫۵
CF1	۰٫۵۹	۲۴۶۱٫۶	۰٫۲۶	۱۲۶۶٫۱	۰٫۷۰	۲۴۳۳٫۶	۰٫۳۳	۱۲۹۹٫۱
CF2	۰٫۵۹	۲۳۸۳٫۹	۰٫۳۱	۲۰۲۸٫۹	۰٫۷۰	۲۳۰۶٫۱	۰٫۴۰	۲۰۶۵٫۶

۲- ایستگاه اوغان ورودی

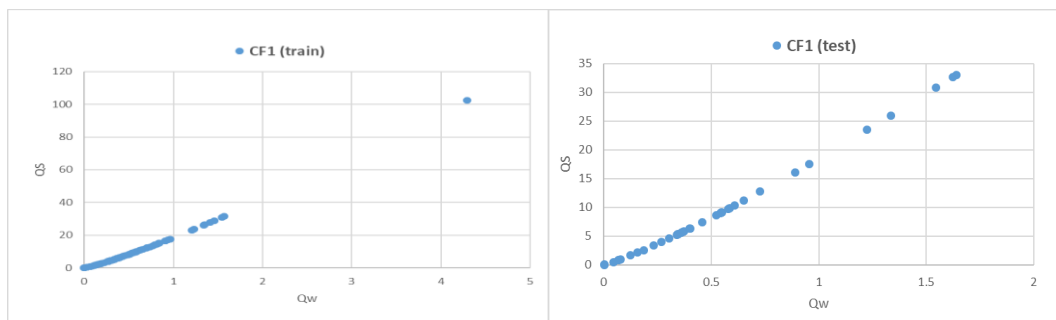


شکل شماره ۲: مقایسه داده‌های (train-test) بهترین روش برای ایستگاه اوغان

جدول شماره ۲: مقادیر معیارهای ارزیابی روش‌های اصلاحی برای ایستگاه اوغان

معیارهای ارزیابی	Train				Test			
	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS
FAO	۰٫۸۴	۷۴۱۲٫۱	-۱۷۰٫۴	۲۳۷۳۴۴	۰٫۳۵	۳۸۴۷٫۷	-۱۸۶٫۱	۷۸۸۳۲۲
USBR	۰٫۸۴	۵۱۱٫۹	۰٫۱۸	۹۷٫۳	۰٫۳۵	۲۷۸٫۶	۰٫۰۱	۹۷٫۳
CF1	۰٫۸۴	۴۲۹٫۵	۰٫۴۲	۱۲۰٫۵	۰٫۳۵	۲۶۶٫۹	۰٫۰۹	۴۵۷٫۵
CF2	۰٫۸۴	۴۲۲٫۳	۰٫۴۴	-۴٫۲۸	۰٫۳۵	۲۶۶٫۳	۰٫۱۰	-۴۵۰٫۸

۳- ایستگاه قره‌شور

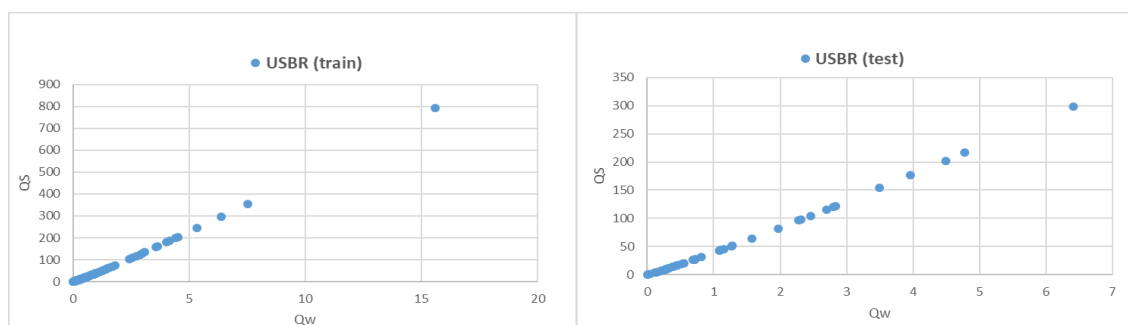


شکل شماره ۳: مقایسه داده‌های (train-test) بهترین روش برای ایستگاه قره‌شور

جدول شماره ۳: مقادیر معیارهای ارزیابی روش‌های اصلاحی برای ایستگاه قره‌شور

معیارهای ارزیابی	TRAIN				TEST			
	R <sup>2</sup>	RSME	ME	PBIAS	R <sup>2</sup>	RSME	ME	PBIAS
FAO	۰,۸۵	۱۵۳,۹	-۵,۴۴	۵۹۳۲,۹	۰,۶۳	۱۳۰,۳۷	-۴,۱۳	۷۶۵۲,۹
USBR	۰,۸۵	۵۷,۱۴	۰,۱۱	۱۳,۱۸	۰,۶۳	۵۶,۷۸	۰,۰۲	۱۸,۲۳
CF1	۰,۸۵	۵۰,۵۶	۰,۳۰۳	۳۳,۲۸	۰,۶۳	۵۲,۸۸	۰,۱۵۵	۴۵,۷۴
CF2	۰,۸۵	۵۰,۶۹	۰,۳۰۰	۳۲,۵۲	۰,۶۳	۵۲,۹۵	۰,۱۵۳	۴۴,۶۷

۴- ایستگاه پل کوسه



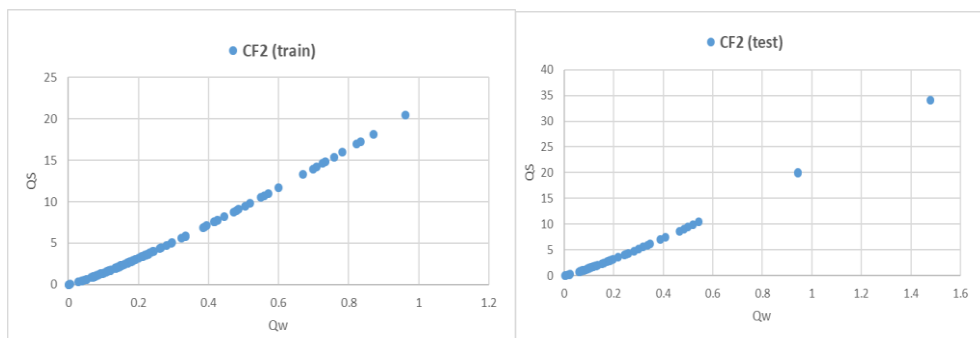
شکل شماره ۴: مقایسه داده‌های (train-test) بهترین روش برای ایستگاه پل کوسه

جدول شماره ۴: مقادیر معیارهای ارزیابی روش‌های اصلاحی برای ایستگاه پل کوسه

معیارهای ارزیابی	TRAIN				TEST			
	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS
FAO	۰,۸۶	۸۷۳۵,۱	-۵۳۵,۹	۷۳۵۷۲۷,۲	۰,۵۹	۷۱۲۴,۹	-۷۵۰۳,۴	۶۰۰۹۲۵
USBR	۰,۸۶	۳۰۵,۹۸	۰,۳۴	۹۶,۱۳	۰,۵۹	۷۱,۸۲	۰,۲۳	۶۰,۷۵
CF1	۰,۸۶	۲۰۱,۷	۰,۷۱	۹۰۷,۲۷	۰,۵۹	۲۰۵,۶	-۵,۲۵	۶۲۰,۹۲
CF2	۰,۸۶	۲۰۹,۰۹	۰,۶۹	۵۶۸,۵۴	۰,۵۹	۱۵۳,۵	-۲,۴۸	۳۶۸,۴۳



۵- ایستگاه قوچمز



شکل شماره ۵: مقایسه داده‌های (train-test) بهترین روش برای ایستگاه قوچمز

جدول شماره ۵: مقادیر معیارهای ارزیابی روش‌های اصلاحی برای ایستگاه قوچمز

معیارهای ارزیابی	TRAIN				TEST			
	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	PBIAS
FAO	۰,۶۰	۷۶,۳۶	-۲۶,۴۳	۲۲۳۳,۵	۰,۷۷	۸۰,۷۵	-۱۰,۲۳	۲۴۹۷,۱
USBR	۰,۶۰	۱۳,۷۷	۰,۱۰	۳,۲۶	۰,۷۷	۲۳,۰۲	۰,۰۸	۵,۰۹
CF1	۰,۶۰	۱۲,۵۳	۰,۲۶۰	۸,۷۵	۰,۷۷	۲۰,۶۵	۰,۲۶۴	۱۳,۶۶
CF2	۰,۶۰	۱۲,۴۵	۰,۲۷۲	۹,۴۵	۰,۷۷	۲۰,۴۶	۰,۲۷۸	۱۴,۶۲

نتیجه گیری

با استفاده از چهار روش فاکتور اصلاحی (FAO, USBR, CF1, CF2) غلظت رسوب برای هر پنج ایستگاه ورودی سد گلستان برآورد شد و داده‌های پانزده ساله هر ایستگاه بهینه سازی شد. عملکرد داده‌های تست و ترین هر ایستگاه مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد که در همه ایستگاه همان‌طور که می‌بینید روش FAO، حداکثر بار رسوبی در قسمت تست را خیلی بیش‌تر از سایر روش‌ها نشان می‌دهد.

برای انتخاب بهترین معادله در این پنج ایستگاه ابتدا همان‌طور که در این تحقیق گفته شد با استفاده از معیارهای ارزیابی و با توجه به مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای غلظت رسوب برای هر ایستگاه معادله بهینه دبی-رسوب مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی از روش‌های مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE)، ضریب انحراف (PBIAS)، فاکتور کفایت مدل (معیار ناش-ساتکلیف) (ME)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) استفاده شد.

طبق بررسی مقادیر معیار ارزیابی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در ایستگاه حاجی‌قوشان بهترین معادله در روش اصلاحی CF2 می‌باشد، چونکه (RMSE) کمتر نسبت سایر روش‌ها دارد و مقدار (ME) آن (۰,۳۱) که به عدد یک نزدیک‌تر می‌باشد. در ایستگاه اوغان ورودی روش اصلاحی CF2 بهترین معادله دبی-رسوب را تعیین می‌کند زیرا (RMSE) کمتری نسبت به دیگر روش‌های دارد و مقدار (ME) آن برابر با (۰,۴۴) می‌باشد.

در ایستگاه قره شور با (RMSE) پایین‌تر نسبت به روش‌های دیگر و (ME) آن برابر است با (۰,۳۰) که این مقدار معقول‌تر می‌باشد با بررسی این مقادیر روش اصلاحی CF1 معادله بهینه دبی-رسوب را بهتر تعیین می‌کند.

در ایستگاه پل کوسه با بررسی مقادیر ارزیابی هر روش به ما نشان می‌دهد که روش اصلاحی USBR با (RMSE) کمتر و (ME) برابر با (۰,۷۱) عمل کرد بهتری دارد.

و در ایستگاه قوچمز با (RMSE) کمتر و مقدار (ME) آن برابر است با (۰,۲۷) که به عدد یک نسبت به سایر روش‌ها نزدیک‌تر می‌باشد معادله بهینه را روش CF2 با دقت بیشتری تعیین می‌کند.

#### منابع

- دستورانی، ج، بابائی، ا، و رضایی راد، ن، ۱۳۸۶. کاربرد آمار دبی جریان و رسوب در بررسی اثر زمین‌لرزه بر رسوبزایی (حوزه آبخیز سفید رود، خلاصه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج)
- رفاهی، ح، ۱۳۷۸. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران صفحه ۵۵۱.
- تلوری، ع، ۱۳۸۱. "رابطه رسوبدهی معلق با برخی از ویژگی‌های آبخیز در سرشاخه‌های کرخه و در استان لرستان." ۶۱-۵۶.
- قمشی، م و ترابی پوده، ح، ۱۳۸۱. ارزیابی کاربرد معادله‌های بار رسوبی در رودخانه‌های خوزستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ششم.
- Dutta, S., 2015. "Soil erosion, sediment yield and sedimentation of reservoir: a review." *Modeling Earth Systems and Environment* 2.3 (2016): 123.
- Khaleghi, M.R., Varvani, J., Kamyar, M., Gholami, V., & Ghaderi, M., 2015. An evaluation of bias correction factors in sediment rating curves: A case study of hydrometric stations in Kalshor and Kashafroud watershed, Khorasan Razavi Province, Iran. *Int. Bul. Water. Resour. Dev.*, 3.
- Vanoni, V.A., 1975. *Sedimentation Engineering. Asce Manuals and Reports on Engineering Practices*. Vol. 54.
- Najafinejad, A., Mardian, M., Varvani, J., & Sheikh, V. B., 2011. Performance evaluation of correction factors in optimization of sediment rating curve (Case Study: Kamal Saleh Dam Watershed, Markazi Province, Iran).
- Jansson, M.B., 1996. Estimating a sediment rating curves of the Reventzon River at Palomo using logged mean loads within discharge classes, *Journal of Hydrology*, 183:4, PP: 227-241.
- Jones, K.R., Berney, O., Carr, D.P., and Barret, E.C., 1981. Arid zone hydrology for agricultural development. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. 37: 271.
- Duan, N., 1983. Smearing estimate, a nonparametric retransformation method: *Journal of the American Statistical Association*, 78, 383, pp: 605-610.
- Ferguson, R.I., 1987. Accuracy and precision of methods, for estimating river loads, *Earth Surface Processes and Land Forms*, 12, PP: 95-104.
- Thomas, R.B., 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. *Water Resources Research*. 21: 1381-1388.
- Khaleghi, M. R., & Varvani, J., 2018. Simulation of relationship between river discharge and sediment yield in the semi-arid river watersheds. *Acta Geophysica*, 66(1), 109-119.
- Asselman, N.E.M., 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*. 234(3-4): 234-248.

## مقایسه روش های افزایش سطح و کاهش سطح برای پیش بینی حجم رسوب مخزن سد گلستان

علی رادکانی<sup>۱\*</sup>، سید مرتضی سیدیان<sup>۲</sup>، ابولحسن فتح آبادی<sup>۳</sup>  
<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس  
<sup>۲</sup>استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس.

Radkaniali@gmail.com

### چکیده

امروزه یکی از دغدغه های اصلی مهندسين در سدسازی پدیده رسوبگذاری می باشد، که سالانه مقدار زیادی از این رسوبات فرسایش یافته توسط رودخانه وارد مخازن سدها می شوند این پدیده مخرب اثرات منفی در هدف اصلی مخزن سد می گذارد و از این رو محققین روش های زیادی برای پیش بینی این حجم رسوبات انباشته شده در مخزن ارائه کردند روش های تجربی توسط برلند و میلر پیشنهاد شد که این روش ها از رایج ترین روش ها برای تخمین و پیش بینی توزیع رسوب در مخازن می باشند. در این تحقیق ما به دو روش افزایش سطح و کاهش سطح حجم رسوبات وارد شده به مخزن سد گلستان که در نزدیکی شهر گنبد کاووس که وظیفه عمده این سد ذخیره و تامین آب شرب و مصارف دیگر این شهر می باشد را پیش بینی کرده ایم، مخزن سد گلستان از نوع یک می باشد و با داده های اندازه گیری شده (نقشه برداری) مقایسه و بررسی شده اند، نتایج نشان می دهند که دو روش افزایش سطح و کاهش سطح که سطح مخزن را در بالاترین تراز در روش افزایش سطح ۷۷۰ هکتار و روش کاهش سطح ۱۷۰۰ هکتار تخمین زده اند اختلاف زیادی باهم دارند و نرخ حجم را در دو روش افزایش سطح ۷۶ میلیون متر مکعب و در روش کاهش سطح ۳۷ میلیون متر مکعب پیش بینی کرده است که محاسبات این دو روش با حجم رسوب کل ۳۶ میلیون متر مکعب انجام شد و روش افزایش سطح روند مشابهی با داده ها اندازه گیری شده (نقشه برداری) دارد و در نتیجه روش افزایش سطح شرایط مطلوب تری نسبت به روش کاهش سطح دارد تا برآورد نرخ رسوبگذاری در مخزن سد گلستان را بهتر و دقیق تر تخمین بزند.

کلید واژه: رسوبگذاری، فرسایش، روش کاهش سطح، روش افزایش سطح، منحنی سنج رسوب.

## Comparison of increase -Area and reduction -Area methods to predict the sediment volume Golestan dam reservoir

Ali Radkani <sup>1\*</sup>, Seyed Morteza Seyedian <sup>2</sup>, Abolhasan Fathabadi <sup>3</sup>

### Abstract

Today, one of the main concerns of engineers in dam construction is sedimentation phenomenon, which annually a large amount of these eroded sediments enter the dam reservoirs by the river. This destructive phenomenon has negative effects on the main purpose of the dam reservoir and therefore researchers have many ways to predict this volume. Accumulated sediments in the reservoir presented experimental methods by Borland and Miller. These methods are one of the most common methods

for estimating and predicting sediment distribution in reservoirs. In this research, we have predicted two methods of increasing the level and decreasing the volume of sediments entering the Golestan Dam reservoir near Gonbad Kavous, which is the main task of this dam to store and supply drinking water and other uses of this city. Is one and is compared and analyzed with the measured data (mapping), The results show that the two methods of increasing the level and decreasing the level, which have estimated the reservoir level at the highest level in the method of increasing the area of 770 hectares and the method of decreasing the area of 1700 hectares, are very different. In the level reduction method, 37 million cubic meters has been predicted that the calculations of these two methods were performed with a total sediment volume of 36 million cubic meters and the method of increasing the level has a similar trend with the measured data (mapping), As a result, the surface increase method has more favorable conditions than the surface reduction method to estimate the sedimentation rate in the Golestan dam reservoir better and more accurately.

#### مقدمه

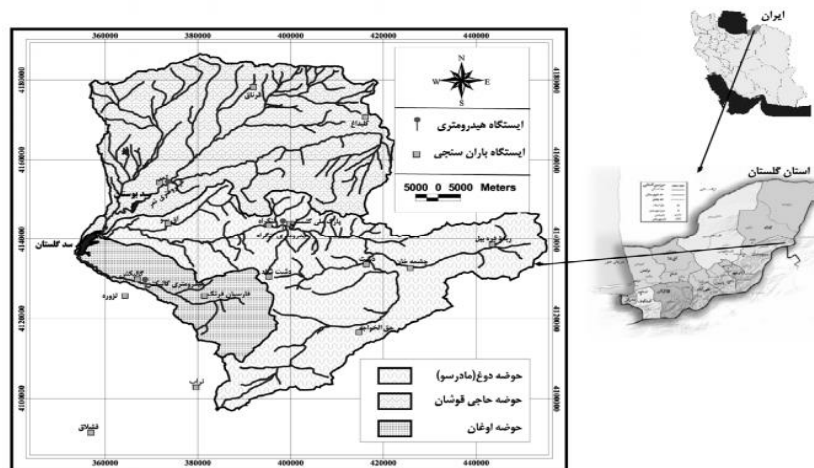
پیش‌بینی توزیع رسوبگذاری در مخازن یک موضوع مهم برای طراحان سد می‌باشد که ظرفیت ذخیره‌سازی فعال مخزن را تعیین کنند. از روش‌های پیشنهاد شده نتیجه گرفته شد توزیع رسوبات متنوع می‌باشند و به طور عمده تجربی هستند. در میان همه‌ی روش‌ها در دسترس در حال حاضر تنها روش کاهش سطح و افزایش سطح مانند روش‌های اصلی برای پیش‌بینی توزیع رسوب در نظر گرفته شده‌اند (Hosseinjanzadeh et al., 2015).

یکی از بزرگترین مشکلات در سد ساختمان سدها هستند که علت آن هم مشکل رسوبگذاری در مخزن می‌باشد. استفاده بهینه از حجم آب انباشته شده در پشت سدها با مشکل‌های جدی مواجه هستند. این مراحل در مدیریت سیل مهم هستند زیرا حجم آب در باران‌های شدید برای ذخیره‌سازی نیاز به کنترل سیلاب و دقیق پیش‌بینی کردن کاهش حجم مخزن دارد، که بسیار مهم هستند. همچنین سیل و حمله حجم زیادی رسوب به مخزن سدها یک مسله حیاتی است که باید در نظر گرفته شود. روشی که در روش تجربی و آنالیز عددی رسوبگذاری در مخازن باشد که بتواند در زمان و هزینه کم انجام شود (Movahedi et al., 2019). بدین گونه باید به انتخاب مناسب و روش‌های دقیق برای پیش‌بینی رژیم کاهش حجم مخزن سد به وسیله رسوبگذاری توجه شود که همچنان یکی از بیش‌ترین چالش‌های مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد. (سازمان مدیریت منابع آب ۲۰۱۲). یک مخزن عموماً در انتهای یک حوضه آبخیز بزرگ قرار دارد و ورودی‌های همه رودخانه‌ها که عامل اصلی انتقال رسوب می‌باشند را دریافت می‌کنند (Jørgenson, 2005). از طرف دیگر مخزن، زمان پایداری کوتاه‌تری دارد در حوضه آبخیز بسیار بزرگ و کنترل آن دشوارتر است (Randolph, 2004). ته‌نشینی و انتقال رسوب فرسایشی و در نتیجه رسوبگذاری در مخازن در بحث کیفیت آب و مدیریت منابع آب در حوضه‌های آبخیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Chen and Chau, 2016). برای پیش‌بینی رسوبگذاری در مخازن روش‌های زیادی وجود دارد از جمله روش کاهش سطح و افزایش سطح که رایج‌ترین آن روش تجربی کاهش سطح برای توزیع رسوب در مخازن می‌باشد (Emadi et al., 2012). روش‌های دیگر مثل استفاده از ماهواره‌های سنجش از دور برای ارزیابی رسوبگذاری در مخزن سد وجود دارد که مناطق پخش آب مخزن در ارتفاعات مختلف در حال کاهش که ناشی از رسوبگذاری را نشان می‌دهد، این روش به ما در برآورد رسوبگذاری در یک دوره زمانی بالا به کمک بیش‌تری می‌کند (Pandey et al., 2016). یکی از روش‌ها برای پیش‌بینی رفتارهای پدیده رسوبگذاری با استفاده از روش هوش مصنوعی می‌باشد که داده جدید با بکارگرفتن داده تجربی و داده‌های قبل را پیدا می‌کند، مدل تجربی کاهش سطح یک روش برای توزیع رسوب در مخازن می‌باشد که امکان تخمین زدن مناسب را از شبکه هوش مصنوعی در کاهش حجم مخزن در حالت داده کم را پیش‌بینی می‌کند (Iraji et al., 2020). مخازن سدها

عموماً مهمترین نقشی که در سیستم‌های منابع آب دارند و بکارگیری بهینه آن‌ها در زمینه اقتصادی و اجتماعی امری ضروری است. رسوبگذاری در مخازن منجر به کاهش حجم کاربردی مخزن می‌شوند و همچنین بر عملکرد و تاسیسات اثرات منفی می‌گذارد. روش کاهش سطح رایج ترین روش تجربی جهت اندازه گیری توزیع رسوب در مخازن می‌باشد. در این روش مخازن از لحاظ هندسی به چهار گروه تقسیم می‌شوند پارامترهای بدست آمده برای هر گروه بر مبنای تعداد محدودی از سدهای انتخاب شده می‌باشد از این رو نتایج بدست آمده با خطای زیادی مواجه می‌باشد به همین دلیل انتخاب پارامترهای مناسب می‌تواند در رسیدن به جواب صحیح تر تأثیر گذار باشند (Torabi et al., 2015). در دو روش افزایش سطح و کاهش سطح که در این پژوهش با هم مقایسه می‌شوند با استفاده از داده‌های ارتفاع-سطح-حجم اولیه استفاده می‌شود.

### منطقه مورد مطالعه

استان گلستان به عنوان یک استان سیل‌خیز کشور محسوب می‌شود که با مساحت ۲۰۴۳۸ کیلومتر مربع در شمال ایران و در جنوب شرق دریای خزر واقع شده است. از جمله اقدامات انجام شده جهت کنترل سیل در این استان احداث سدهای گلستان و بوستان بر روی رودخانه گرگانود می‌باشد. این استان دارای ۵ حوزه آبریز اصلی می‌باشد. حوزه گرگانود از ارتفاعات شرق و جنوب شرقی استان گلستان شروع و در نهایت به دریای خزر ختم می‌شود که حوزه گرگانود از نظر مساحت و آبدهی در رتبه اول استان قرار دارد.



شکل ۱ موقعیت مکانی و حوضه‌های بالا دست سد گلستان

اطلاعات مقادیر ارتفاع، سطح، حجم مخزن تهیه شد و با استفاده از روش‌های کاهش سطح و افزایش سطح حجم رسوبگذاری پیش‌بینی شد.

برای پیش‌بینی رسوب در سال‌های آینده برای مخازن سد از دو روش افزایش سطح و کاهش سطح استفاده می‌کنیم در این دو روش ابتدا داده‌های سه پارامتر ارتفاع، حجم و سطح را جمع‌آوری می‌کنیم و با روابط مربوط به هر روش نرخ رسوبگذاری را پیش‌بینی می‌کنیم.

### روش افزایش سطح

در روش افزایش سطح باید ابتدا به روش آزمون خطا صفر جدید را پیدا کنیم و بعد اعداد در سطر صفر جدید را در فرمول زیر قرار می‌دهیم.

رابطه ریاضی این روش به صورت زیر می‌باشد.

$$V_s = A_0(H - h_0) + V_0 \quad (1)$$

مقادیر  $h_0$  با استفاده از آزمون خطا انتخاب می گردد:

از آنجای که سه پارامتر ارتفاع، حجم و سطح را با استفاده از منحنی داریم در یک جدول با سه ستون یادداشت می کنیم و در ادامه برای ستون فاکتور تصحیح سطح باید صفر جدید را از فرمول شماره (۱) بدست آوریم. برای  $h_0$  باید ارتفاع آن تراز را منهای رقوم کف کانال کنیم و مقدار  $H$  را هم با کم کردن حداکثر رقوم سطح آب از رقوم کف بدست می آوریم و برای مقادیر  $A_0$  و  $V_0$  همان پارامترهای سطح و حجم که داریم در فرمول شماره (۱) جای گذاری می کنیم و مقدار  $V_s$  را بدست می آوریم.

### روش کاهش سطح

روش کاهش سطح یکی از رایج ترین روش های تجربی تعیین توزیع رسوبات در مخازن سدها می باشد. این روش اولین بار توسط برلند و میلر بر پایه نتایج واقعی برآورد شده است و سپس توسط مودی اصلاح شد. در این روش مخازن به ۴ نوع تقسیم می شوند که برای هر یک از آنها پارامترهای ( $n$  و  $m, C$ ) در نظر گرفته می شود (عمادی و همکاران ۱۳۹۱). معادله اصلی این روش به صورت رابطه زیر می باشد (آناندال ۱۹۸۷):

$$(2) \quad S = \int_0^{y_0} A dy + \int_{y_0}^H K dy$$

قسمت اول در این معادله برابر با حجم رسوبات ته نشین شده تا تراز  $y_0$

و جمله دوم معادل حجم رسوبات در بین تراز  $y_0$  نرمال سد می باشد.

در معادله بالا پارامترهای بکار رفته به صورت زیر می باشد.

$S$ : کل رسوبات ورودی به مخزن سد -  $0$ : تراز اولیه بستر رودخانه در محل احداث

$y_0$ : تراز بستر رودخانه در محل احداث سد بعد از انباشت رسوبات معادل عمق رسوب ته نشین شده -  $A$ : سطح مخزن در

ارتفاعات مختلف -  $dy$ : جزیی از ارتفاع -  $H$ : ارتفاع مخزن در تراز نرمال -  $a$ : سطح نسبی رسوب -  $K$ : ضریب تناسب به منظور تبدیل

سطح نسبی رسوب به سطح واقعی

برای یک مخزن مشخص این ضریب از تقسیم سطح واقعی مخزن در تراز  $y_0$  بر سطح نسبی مخزن در همان تراز به صورت

معادله زیر بدست می آید (اداره احیای اراضی ایالات متحده ۱۹۶۲).

$$K = \frac{A_0}{a_0}$$

پس از انتگرال گیری و ساده کردن معادله شماره (۲) به صورت زیر خواهد شد.

$$\frac{1 - v_0}{a_0} = \frac{S - V_0}{H \times A_0} \quad (3)$$

در رابطه ۳:

$v_0$  و  $V_0$  = حجم نسبی و واقعی مخزن در تراز  $y_0$ ،  $a_0$  و  $A_0$  = سطح نسبی و واقعی مخزن در تراز  $y_0$

در معادله شماره (۳) فقط در ازای  $y = y_0$  صادق خواهد بود و در روش پیشنهادی مودی هدف، محاسبه  $y_0$  یعنی عمق رسوبات

ته نشین شده در مخزن سد است.

در این روش مخازن به ۴ نوع تقسیم می‌شوند. مبنای این تقسیم بندی عامل  $m$  می‌باشد. عامل  $m$  از عکس ضریب زاویه بهترین خط نمایش ترسیمی ارتفاع مخزن بر حسب ظرفیت مخزن که روی کاغذ تمام لگاریتمی می‌باشد که عمق در محور قائم و حجم در محور افقی رسم شده باشد (برلند و میلر ۱۹۷۱).

جدول ۱ تیپ استاندارد مخازن (برلند و میلر ۱۹۵۸)

تیپ استاندارد	نوع مخزن	M پارامتر
I	Lake دریاچه معمولی	۳,۵-۴,۵
II	Flood Plain سیلاب دشت تپه‌ای	۲,۵-۳,۵
III	Hill کوهپایه‌ای	۱,۵-۲,۵
IV	Gorge کوهستانی	۱-۱,۵

برای حل معادله شماره (۳) ابتدا باید توابع را به صورت زیر تعریف کنیم.

$$h_{(p)} = \frac{1 - V_{(p)}}{a_{(p)}} \quad (4)$$

$$h'_{(p)} = \frac{S - V_{(y)}}{H \times A_{(y)}} \quad (5)$$

در رابطه بالا  $V_{(y)}$  و  $A_{(y)}$  از ارتفاع مخزن مورد نظر و پارامترهای  $V_{(p)}$  و  $a_{(p)}$  توابعی از عمق نسبی  $(P)$  هستند. و به صورت زیر قابل تعریف می‌باشند.

جدول ۲ مقادیر  $C, M, N$  که در جدول زیر می‌بینید

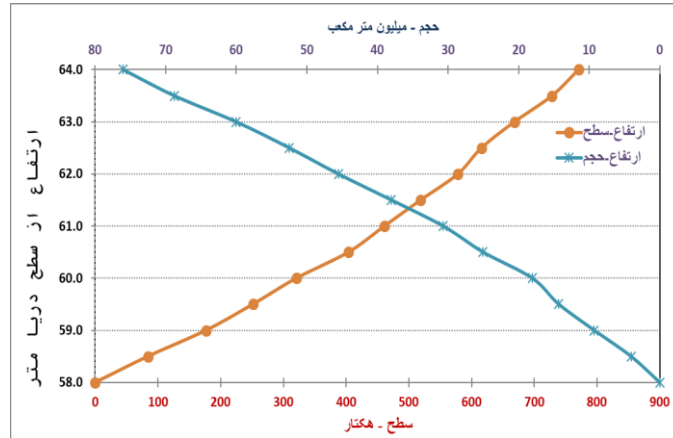
نوع مخزن	C	M	N	حدانباشت رسوبات
I	۵,۰۷۴	۱,۸۵	۰,۳۶	بالا
II	۲,۴۸۷	۰,۵۷	۰,۴۱	بالا تراز حدوسط
III	۱۶,۹۶۷	-۱,۱۵	۲,۳۲	پایین تراز حدوسط
IV	۱,۴۸۶	-۰,۲۵	۱,۳۴	پایین

$$a = CP^m(1 - p)^n \quad (6)$$

$$V_{(p)} = a_{(p)} d_p \quad (7)$$

در رابطه (۶) و (۷)  $a$ : مساحت نسبی رسوب در ارتفاع نسبی  $P$ ،  $P$ : عمق نسبی مخزن از کف رودخانه  
 $n, m, C$ : ضرایب ثابتی هستند. با توجه به جدول (۲)

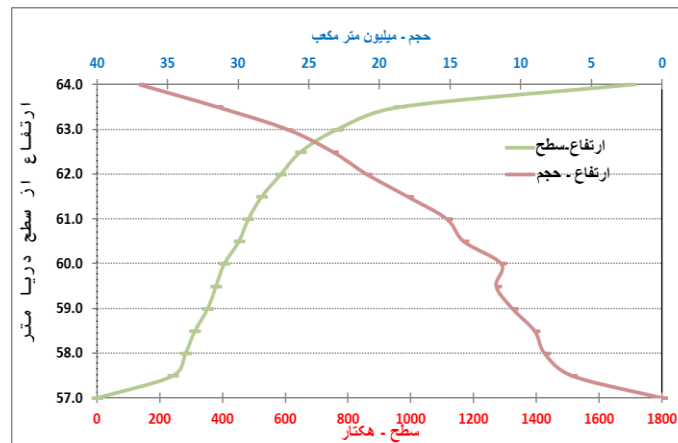
نتایج و بحث  
 روش افزایش سطح



شکل ۴ منحنی‌های ارتفاع سطح و ارتفاع حجم روش افزایش سطح

شکل ۴ نتایج نشان می‌دهند در ارتفاع ۶۴ مقدار سطح را ۷۷۰ هکتار پیش‌بینی کرده است، رسوبات هم به طور متوسط در تراز ۵۸ متر در مخزن انباشته شده‌اند یا همان صفر جدید این روش تراز ۵۸ متر می‌باشد و مقدار تخمین زده شده در این روش در تراز ۶۴ متر همانطور که در شکل ۴ می‌بینید ۷۶ میلیون مترمکعب می‌باشد.

روش کاهش سطح

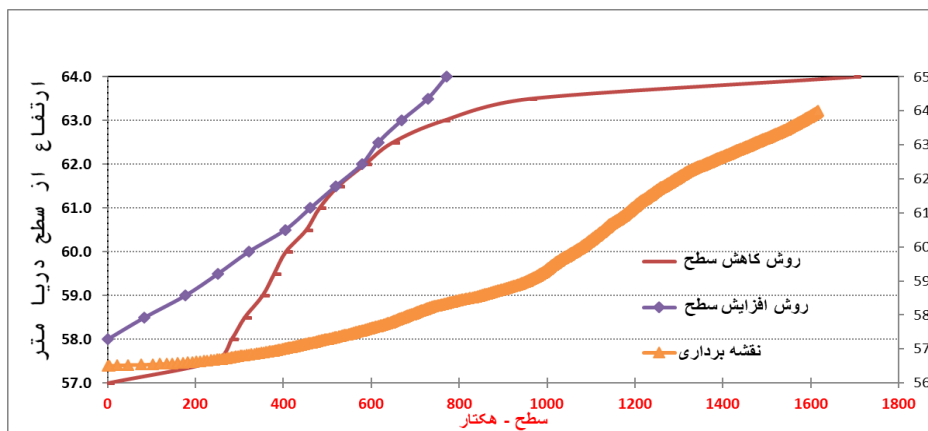


شکل ۵ منحنی‌های ارتفاع سطح و ارتفاع حجم روش کاهش سطح

شکل شماره ۵ با بررسی این نمودار می‌بینید که در ارتفاع ۶۴ متر، مقدار سطح را ۱۷۰۰ هکتار تخمین زده‌است و حجم مخزن در تراز ۶۴ متر ۳۷ میلیون مترمکعب پیش‌بینی شده‌است. در این روش رسوبات به طور متوسط در تراز ۵۷ متر انباشته شده‌است. نوع سد مخزن سد گلستان از نوع یک می‌باشد.

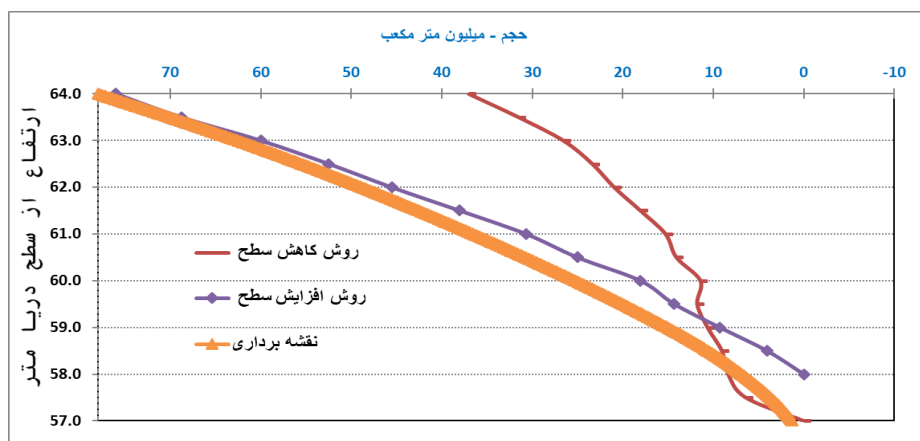


منحنی‌های ارتفاع-سطح دو روش افزایش سطح و کاهش سطح به همراه نقشه برداری



شکل ۶ منحنی‌های ارتفاع-سطح دو روش افزایش سطح و کاهش سطح به همراه نقشه برداری

منحنی‌های ارتفاع-حجم دو روش افزایش سطح و کاهش سطح به همراه نقشه برداری



شکل ۷ منحنی‌های ارتفاع-حجم دو روش افزایش سطح و کاهش سطح به همراه نقشه برداری

نتیجه گیری

به طور کلی مخازن سدها یکی از مهم‌ترین قسمت سد بشمار می‌روند که هدف اصلی آن جمع آوری حجم زیادی از آب و ذخیره کردن آن‌ها برای مصارف شرب و کشاورزی و... می‌باشد که سالانه رودها در مسیر هیدرولوژیکی خود مقدار زیادی از رسوبات فرسایش یافته را با خود حمل می‌کنند و در انتها وارد مخازن سد می‌کنند و خسارات زیادی را به تاسیسات سد و از همه مهم‌تر اشغال حجم زیادی از مخزن و اختلال در هدف اصلی سد وارد می‌کنند. سد گلستان از این قاعده مثنسنا نیست و سالانه حجم زیادی از رسوبات از حوضه‌های حاجی‌قوشان، اوغان، قره‌شور، پل کوسه، قوچمز وارد سد گلستان می‌کنند. از این رو روش‌های برای پیش‌بینی حجم توزیع رسوب در مخازن توسط محققین و کارشناسان ارائه شده است. که روش‌های افزایش سطح و کاهش سطح رایج‌ترین این روش‌ها در تخمین حجم رسوب انباشته شده در مخازن سدها می‌باشد. در این تحقیق نیز از دو روش افزایش سطح و کاهش سطح برای پیش‌بینی رسوبگذاری در مخزن سد گلستان استفاده شد که نتایج باهم بررسی

شدند و همچنین دو روش افزایش سطح و کاهش سطح با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه شد نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که دو روش افزایش سطح و کاهش سطح هر کدام به ترتیب در تراز صفر جدید ۵۸ متر و ۵۷ متر رسوبات را انباشته می‌کنند و مقدار سطح در بالاترین تراز در روش افزایش سطح ۷۷۰ هکتار و در روش کاهش سطح ۱۷۰۰ هکتار تخمین زده شده است. و مقدار حجم در تراز ۶۴ متر در روش افزایش سطح ۷۶ میلیون متر مکعب و در روش کاهش سطح ۳۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. نتایج دو روش افزایش سطح و کاهش سطح با داده‌های نقشه برداری مقایسه شد و نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش کاهش افزایش سطح با داده‌های اندازه‌گیری شده روند مشابه تری دارد نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که روش افزایش سطح حجم رسوبات مخزن سد گلستان را بهتر از روش کاهش سطح پیش‌بینی می‌کند.

#### منابع

- Hosseinjanzadeh, H., Hosseini, K., Kaveh, K., & Mousavi, S. F., (2015). New proposed method for prediction of reservoir sedimentation distribution. *International Journal of Sediment Research*, 30(3), 235-240.
- Movahedi A, Kavianpour M, Aminoroayaie Yamini O., (2019). Experimental and numerical analysis of the scour profile downstream of flip bucket with change in bed material size. *ISH J Hydraulic Eng* 25(2):188–202.
- Iran Water Resource Management Organization, Water Engineering Standard Office, 2012. Determining sediment volume and its distribution in reservoir. Issue 221, National Planning and Management.
- Jørgenson, S.E., (Ed.), (2005). *Lake and reservoir management* (1st ed.). Boston, MA: Elsevier.
- Randolph, J., (2004). *Environmental land use planning and management*. Washington D.C.: Island Press.
- Chen, XY., Chau, KW., (2016). A hybrid double feedforward neural network for suspended sediment load estimation. *Water Resour Manage* 30(7):2179–2194.
- Emadi, A. R., Khademi, M., & Mohammadiha, A., (2012). Application of simulated annealing algorithm in calibration of area reduction method in sediment distribution of dams reservoir (case study: Karaj Dam).
- Pandey, A., Chaube, U. C., Mishra, S. K., & Kumar, D., (2016). Assessment of reservoir sedimentation using remote sensing and recommendations for desilting Patratu Reservoir, India. *Hydrological Sciences Journal*, 61(4), 711-718.
- Iraji, H., Mohammadi, M., Shakouri, B., & Meshram, S. G., (2020). Predicting reservoir volume reduction using artificial neural network. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(17), 1-13.
- Torabi, S., Yonesi, H. A., & Shahinejad, B., (2015). Calibration the area-reduction method in sediment distribution of Ekbatan reservoir dam using genetic algorithms. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1(3), 1-9.
- Borland, W.M., and Miller, C.R., 1971. *River mechanics*. Chapter B29: Reservoir sedimentation, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, USA, 42p.
- Annandale, G.W., 1987. *Reservoir Sedimentation*. Development in Water Science, No. 29, Elsevier, Amsterdam, 221 p.
- Borland, W. M. and Miller, C.R., 1958. Distribution of sediment in large reservoirs. *J. Hydraul. Div., ASCE* 84(2): 1587.1–1587.9.
- United States Bureau of Reclamation. 1962. Revision of the procedure to compute sediment distribution in large reservoirs. Sedimentation Section, Hydrology Branch.

## مقایسه نوع هیدروکربن در سازند گرو در مناطق مختلف لرستان و در حوضه ی

### زاگرس

شکوفه موری\*<sup>۲۲</sup>، امید جوان<sup>۳۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، چینه شناسی و فسیل شناسی، دانشگاه لرستان

<sup>۲</sup>مهندس اکتشاف نفت، کارشناس فنی و HSE، شرکت موج گستران بسیط

Geologist1232@gmail.com

#### چکیده:

سازند گرو، یکی از سازندهایی است که توسط تعدادی از زمین شناسان و ژئوشیمیست ها در منطقه غرب ایران شناسایی و به عنوان سنگ منشا مطرح شد. این سازند بیشترین گسترش را در زون زمین شناسی لرستان دارد. بنابراین بررسی این سازند در نواحی و مقاطع مختلف زمین شناسی به دلیل اهداف اکتشافی واجد اهمیت است. هدف از این تحقیق مقایسه ی نوع هیدروکربن در نتایج به دست آمده از مطالعات مختلف در تاقدیس خرم آباد، تنگ هفت لرستان، تنگ شنک واقع در جنوب الیگودرز، تاقدیس انجیر و کبیرکوه در جنوب غرب لرستان است.

کلیدواژه: سازند گرو، لرستان، حوضه ی زاگرس، نوع هیدروکربن، غرب ایران

## Comparison of hydrocarbon type in Garau Formation in different regions of Lorestan and Zagros Basin

#### Abstract:

Garau Formation is one of the formations that was identified by a number of geologists and geochemists in the western region of Iran and was considered as the source rock. This formation has the most expansion in Lorestan geological zone. Therefore, the study of this formation in different geological areas and sections is important due to exploration goals. The purpose of this study is to compare the type of hydrocarbons in the results obtained from different studies in Khorramabad anticline, Lorestan Haft Strait, Shank Strait located in the south of Aligudarz, Fig and Kabirkuh anticline in the southwest of Lorestan.

Keywords: Garau Formation, Lorestan, Zagros Basin, Hydrocarbon Type, West of Iran

#### مقدمه:

حوضه زاگرس یکی از حوضه های رسوبی-ساختاری ایران است که در بخش های غربی و جنوب غربی کشور گسترش داشته و در برگیرنده تعداد زیادی از میداین عظیم نفتی ایران است. بخش غالب تجمع هیدروکربوری در این ناحیه (کمرند چین خورده زاگرس) که خود بخشی از کمرند کوهزائی آلپ هیمالیا به شمار می رود را وابسته به حضور چین خوردگی ها به عنوان یکی از نتایج تغییر شکل ساختمانی سیستم پروفورلند زاگرس می دانند (Alavi, 2004). توالی های کرتاسه زیرین در حوضه زاگرس شرایط ته نشست یکسانی نداشته و به همین دلیل رخساره سنگی همسانی نیز ندارند. در ناحیه ی لرستان، این توالی ها از شیل های تیره رنگ پلاژیک شکل گرفته، در حالیکه در ناحیه ی فارس رخنمون های کرتاسه ی پایین نشانگر کربنات های

سکویی است. لذا در ناحیهی لرستان، دریای کرتاسه بیشترین ژرفا را داشته و تغییرات رخساره‌ای به کربنات‌های سکویی فارس، نشانگر کاهش ژرفا در آن امتداد است (آقناباتی، ۱۳۸۳). توالی‌های کرتاسه ی زیرین ناحیه ی لرستان شامل شیل های سیاه رنگ پیریت دار، شیل‌های کربناته، آهک های تیره رنگ رسی، چرتی و رادیولردار است که به نام سازند گرو شناخته می شوند. نام این سازند از تنگ گرو در کبیرکوه لرستان گرفته شده که برش الگوی آن در ۱۰ کیلومتری شمال شرق روستای قلعه دره (یال شمالی تاقدیس کبیرکوه) قرار دارد. سازند گرو که یکی از سازندهای مهم کرتاسه زیرین در حوضه زاگرس است، سنگ منشأ نفت با پتانسیل تولید بالا به شمار می‌رود (James and Wynd, 1965). گسترش بستر اقیانوس‌ها و تغییرات اقلیمی فراگیر در زمان آپتین پیشین-آلبین پسین، منجر به رسوب‌گذاری نهشته‌های غنی از مواد آلی در طی حوادث بی‌هوازی اقیانوسی شد. شیل‌های سیاه رنگ این زمان به عنوان شاخص‌های بی‌هوازی اقیانوسی تلقی می‌شوند که در نتیجه ایجاد شرایط گلخانه‌ای و تهویه کم بستر حوضه‌ها تشکیل شده‌اند. هم‌زمان با سایر نواحی دنیا، در لرستان توالی شیل‌های تیره و سنگ آهک‌های رسی بیتومینه سازند گرو از بریازین تا آپتین و گاهی تا کنیاسین نهشته شده است (Okada and Mateer, 2000).

#### روش مطالعه:

یکی از مهمترین ابزارهای مورد استفاده در مطالعات ژئوشیمیایی، دستگاه پیرولیز راک-اول است که از آن در مقیاسی بسیار وسیع برای اکتشاف نفت و گاز در حوضه‌های رسوبی سراسر جهان استفاده می‌شود (Behar et al., 2001; Nyilas et al., 2009). با استفاده از دستگاه پیرولیز راک-اول می‌توان نوع هیدروکربن، بلوغ مواد آلی و پتانسیل تولید هیدروکربن‌زایی در مناطق مختلف یک میدان نفتی را ارزیابی کرد و ریسک حفاری را کاهش داد (Espitalie et al., 1985; Espitalie et al., 1984). با استفاده از روش پیرولیز راک-اول می‌توان توانایی هیدروکربن‌زایی سنگ مادر را با اندازه‌گیری پارامترهای مربوط مشخص کرد (Behar et al., 2001; Barker et al., 1974). در این مطالعه تعداد ۱۰ نمونه سطحی از سازند گرو در تاقدیس خرم آباد، ۱۲ نمونه در برش تنگ هفت لرستان، ۱۴ نمونه در برش تنگ شنک واقع در جنوب الیگودرز، همچنین ۲۸ نمونه از سازند گرو در بخش جنوبی ناحیه لرستان (۱۲ نمونه از خرده‌های حفاری مربوط به تاقدیس انجیر و ۱۱ نمونه از خرده‌های حفاری و ۵ نمونه سطحی از تنگ گرو مربوط به تاقدیس کبیرکوه) به ترتیب توسط موری و همکاران در سال ۱۳۹۹، یوسفی و نظری بدیع در سال ۱۳۹۴، امیدوارعسکری و همکاران در سال ۱۳۹۴ و محبوبی پور و همکاران در سال ۱۳۹۴، جمع‌آوری و توسط دستگاه پیرولیز راک-اول آنالیز شده، در نهایت نتایج حاصل از آنالیز راک-اول بصورت نمودار رسم شده و نمودارها تفسیر شده‌اند. در مطالعه حاضر، مطالعاتی که روی نمونه‌های سازند گرو در زون لرستان انجام شده بود به لحاظ نوع هیدروکربن تولیدی مقایسه شده‌اند.

#### بحث:

سازند گرو در تاقدیس خرم آباد ۱۳۷٫۵ متر ضخامت دارد، نمونه‌های این سازند در تاقدیس خرم آباد دارای کروژن غالب نوع III بوده و در مرحله ی نابالغ تا بلوغ حداکثری قرار دارند. شاخص هیدروژن نمونه‌های سازند گرو در تاقدیس خرم آباد بین ۲۵۰-۵۰ mgHc/gTOC است. بنابراین به نظر می‌رسد توان و پتانسیل سازند گرو در این نمونه‌ها بیشتر معطوف به تولید هیدروکربن‌های سبک (گازی) باشد. کربن آلی کل نمونه‌های این منطقه در حدود ۱٫۲۸-۰٫۲۴ و مقادیر Tmax نمونه‌ها نیز در حدود ۴۱۶ - ۴۴۵ °C می‌باشد و پتانسیل ضعیفی جهت تولید هیدروکربن دارند (موری و همکاران، ۱۳۹۹). این سازند در ناحیه ی تنگ هفت لرستان ۷۰۳ متر ضخامت دارد. مرز زیرین آن سازند گوتینیا قرار دارد و مرز بالایی آن با سازند سروک پیوسته است و عمدتاً از تناوب سنگ آهک شیلی، شیل و مارن تشکیل شده است. ۶۰ درصد کروژن موجود از

نوع III و ۴۰ درصد نوع II می باشد که به ترتیب توانایی گاززایی و نفت زایی دارند. نمونه های با شاخص هیدروژن کمتر از ۱۵۰ mgHc/gTOC، مستعد تولید گاز و نمونه های با شاخص هیدروژن در محدوده ی ۱۵۰-۳۰۰، مستعد تولید نفت و گاز و در نهایت نمونه هایی که شاخص هیدروژن در آنها بیش از ۳۰۰ mgHc/gTOC است توانایی تولید نفت را دارند. اکثر نمونه ها در این منطقه دارای شاخص هیدروژن کمتر از ۱۰۰ mgHc/gTOC بوده و ظاهراً در محدوده ی کروژن نوع III قرار گرفته و دارای مقدار متوسط Tmax، ۵۰۲ °C می باشند و منجر به تولید گاز می شوند، همچنین نتایج حاصل از محاسبه ی تخمینی ضریب انعکاس ویتترینایت پنجره ی گاززایی را نشان می دهد. (یوسفی و نظری بدیع، ۱۳۹۴).

سازند گرو در برش تنگ سنگ در جنوب الیگودرز از نظر غنا و محتویات مواد آلی بسیار خوب بوده و پتانسیل هیدروکربن زایی خوبی دارد. TOC نمونه ها در محدوده ی ۰.۸۸-۵.۷۱ درصد است و کیفیت مواد آلی از نظر شاخص هیدروژن (۲۹۸-۶۱۰) mgHc/gTOC موجود در نمونه ها بسیار خوب بوده، خصوصیات کروژنی با کیفیت خوب، غالباً از نوع II و به مقدار کمتری کروژن نوع I با کیفیت بهتر را به نمایش می گذارد. میزان بلوغ مواد آلی در این سازند بر اساس پارامتر Tmax بین ۴۲۱-۴۴۳ درجه ی سانتی گراد است. این سازند در مقطع مورد مطالعه با ورود به پنجره ی نفت زایی (مرحله کاتائونز)، پتانسیل خوبی برای تولید هیدروکربن (نفت) نشان می دهد (امیدوار عسکری و همکاران، ۱۳۹۴).

نمونه های این سازند در تقادیس های انجیر و کبیرکوه در جنوب غرب ناحیه لرستان دارای میانگین کل کربن آلی به ترتیب ۱.۷۵ و ۲.۵۵ درصد و میانگین Tmax به ترتیب ۴۴۵ و ۴۷۵ درجه ی سانتی گراد و میانگین انعکاس ویتترینایت به ترتیب ۰.۸۹۵ و ۰.۹۷۴ درصد در این دو تقادیس می باشد. بنابراین این نمونه ها نشان دهنده ی سنگ منشا با توان هیدروکربن زایی خوب تا بسیار خوب با درجه پختگی اواخر پنجره نفت زایی و شروع گاززایی است. نوع کروژن نمونه ها غالباً ترکیبی از نوع II/III و نوع III می باشند. سازند گرو در تقادیس انجیر در اواخر زون تولید نفت قرار دارد و دارای کروژن II/III می باشد، این سازند در تقادیس کبیرکوه بیشتر در زون تولید کندانسیت و گاز خشک قرار دارد و دارای کروژن نوع III می باشد (محبوبی پور و همکاران، ۱۳۹۴).

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۱: مقایسه نتایج آنالیز مواد آلی سازند گرو در تاقدیس خرم آباد، تنگ هفت لرستان، تنگ شنک در جنوب الیگودرز، تاقدیس های انجیر و کبیرکوه

	سازند گرو در تاقدیس خرم آباد	سازند گرو در تنگ هفت لرستان	سازندگرو در تنگ شنک در جنوب الیگودرز	سازند گرو در تاقدیس های انجیر و کبیرکوه در جنوب غرب لرستان
TOC	۰٫۲۶-۱٫۲۸٪	۰٫۷۲-۲٫۸۹٪	۰٫۸۸-۵٫۷۱٪	۱٫۷۵٪ (تاقدیس انجیر) ۲٫۵۵٪ (تاقدیس کبیرکوه)
Tmax	416-445 °C	۵۰۲ °C	۴۲۱-۴۴۳ °C	۴۴۵ °C (تاقدیس انجیر) ۴۷۵ °C (تاقدیس کبیرکوه)
نوع کروژن	کروژن III	۶۰ درصد نوع III ۴۰ درصد نوع II	نوع II به ندرت نوع I	II/III (تاقدیس انجیر) III (تاقدیس کبیرکوه)
پتانسیل هیدروکربن زایی	ضعیف	ضعیف	خوب	خوب تا بسیار خوب
هیدروکربن احتمالی	گاز، به ندرت نفت	گاز و نفت	نفت	نفت و گاز (تاقدیس انجیر) گاز خشک (تاقدیس کبیرکوه)

**نتیجه گیری:**

نمونه های سازند گرو در تاقدیس خرم آباد و تنگ هفت لرستان پتانسیل ضعیفی جهت تولید هیدروکربن دارند، در صورتی که نمونه های این سازند در مناطقی مثل تنگ شنک در جنوب الیگودرز و تاقدیس های انجیر و کبیرکوه در جنوب غرب لرستان نسبت به مناطق ذکر شده از پتانسیل بهتری برخوردار هستند. با توجه به مطالعات مختلفی که روی سازند گرو در لرستان صورت گرفته است، به نظر می رسد که نهشته های آلی این سازند تنها گاززا نیستند بلکه توان تولید نفت را نیز دارند.

**منابع:**

آقا نباتی، ع، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، انتشارات زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۵۸۶.  
 امیدوار عسکری، س، معماربانی، م، کاظم زاده، ع، ۱۳۹۴. ارزیابی ژئوشیمیایی سازند گرو در برش تنگ شنک واقع در جنوب الیگودرز، نشریه ژئوشیمی، شماره ۲، صفحات ۱۵۴-۱۶۵.  
 محبوبی پور، ح، کمالی، م، سلگی، ع، ۱۳۹۴. ارزیابی ژئوشیمی آلی سازند گرو در طاقدیس های انجیر و کبیرکوه در جنوب غرب ناحیه لرستان، نشریه پژوهش نفت، شماره ۸۵-۲، صفحات ۱۴۵-۱۵۹.

موری، ش.، مغفوری مقدم، ا.، عبدی، ی.، دارابی ظفری، ق.، ۱۳۹۹. بررسی ریزرخساره ها، مدل رسوبی و خصوصیات ژئوشیمی آلی سازند گرو در تاقدیس خرم آباد، نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۳، صفحات ۴۳۹-۴۵۴.  
یوسفی، م.، نظری بدیع، ا.، ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات ژئوشیمیایی مواد آلی سازند گرو (کرتاسه پیشین) در جنوب لرستان، نشریه رسوب شناسی کاربردی، شماره ۵، صفحات ۱-۱۱.

- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and its proforeland evolution: American Journal of Science 304, 1-20.
- Barker, C., 1974, Pyrolysis Techniques for Source-Rock Evaluation: The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 58, 2349-2361.
- Behar, F., Beaumont, V., 2001, Penteado Rock-Eval technology, performances and developments Oil Gas Sci. Technology 56, 111-134.
- Espitalie, J., Deroo, G. & Marquis, F., 1985, La pyrolysis Rock-Eval: Institut France Du Petroleum, Part I, 40, 563-578, Part II, 40, 755-784, Part III, 41, 73-89.
- Espitalie, J., Marquis, F. & Barsony, I., 1984, Geochemical logging: analytical Pyrolysis, Techniques and Application. London 276-304.
- James, G., Wynd, J., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area: The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 12, 2182-2245.
- Nyilas, T., Imre, M., 2009, Rock-Eval pyrolysis as tool for characterization of organic matter in soil samples: Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara 4, 25-28.
- Okada, H. and Mateer, N. J (2000) Cretaceous Enviroments of Asia: Elsevier, 269.

## تعیین پارامترهای مخزنی میدان نفتی هنگام، سازند ایلام - سروک با استفاده

### از کراس پلات‌ها و مدل سازی Multimin

لیلا حسینی\*<sup>۱</sup>، علی چهارزی<sup>۲</sup>، سید محمدرضا امامی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>مدرسه زمینیه، اداره آموزش و پرورش چهاردانگه (کیاسر)، شهرستان ساری

<sup>۲</sup>شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران

<sup>۳</sup>گروه زمین شناسی، دانشگاه لرستان، خرم اباد

[hosseinilei99@gmail.com](mailto:hosseinilei99@gmail.com)

#### چکیده

اساساً استخراج اطلاعات پتروفیزیکی جهت تعیین پارامترهای مخزنی انجام می‌گیرد. در این مطالعه برای تعیین پارامترهای پتروفیزیکی در دو حلقه چاه حفر شده در سازند ایلام-سروک از روش ارزیابی پتروفیزیکی احتمالی نرم افزار ژئولاگ استفاده شده است. با کمک این روش می‌توان در نهایت لیتولوژی مخزن را همراه با پارامترهای دیگری مثل حجم شیل، نوع کانی های رسی، ریزش دیواره و تخلخل محاسبه کرد. برای این کار از نگارهای Full Set شامل نگارهای تخلخل (DT, NPHI)، (RHOB)، نگارهای مقاومت (RT و RXO)، نگار کالیپر (CALI)، نگار فوتو الکتریک (PE) و نگارهای گاما (GR و CGR) استفاده شد که با فرمت LAS در نرم افزار ژئولاگ بارگذاری شدند. پس از تصحیحات و محاسبات لازم در نهایت کراس پلات‌ها و مدل ساخته شد. با این روش، پارامترهایی مانند حجم شیل، لیتولوژی، نوع کانی‌های رسی و پارامتر پایداری دیواره چاه طبق ارزیابی مدل ساخته شده و کراس پلات‌ها به دست آمد. لیتولوژی غالبی که در دو حلقه چاه مشخص شد آهک بود که همراه با آن مقادیر کمی ماسه‌سنگ و دولومیت نیز مشاهده شد. به‌طور کلی میانگین حجم شیل به‌دست‌آمده برای چاه‌ها کم تخمین زده شد. کانی‌های رسی در هر دو حلقه چاه شامل ایلیت و کائولینیت بود. علی‌رغم وجود ناپیوستگی در بالای سازند سروک اثری از این ناپیوستگی در چاه‌های مورد مطالعه دیده نشد.

واژه‌های کلیدی: لیتولوژی، ایلام-سروک، مدل سازی MULTIMIN، حجم شیل، ریزش

## Determination of Reservoir Parameters of the Hengam Oil Field, Ilam-Sarvak Formation by use of Cross-Plots and Multimin Modeling.

### Abstract

Petrophysical information is basically extracted to determine reservoir parameters. In this study, to determine the petrophysical parameters in two drilled- wells in Ilam-Sarvak Formation, the possible petrophysical evaluation method of Geolog software has been used. With the help of this method, the lithology of the reservoir can be calculated along with other parameters such as shale volume, type of clay minerals, wall collapse, and porosity. For this purpose, Full Sets logs including porosity logs (NPHI, DT, RHOB), resistance logs (RT, RXO), caliber logs (CALI), photoelectric logs (PE) and gamma logs (GR, CGR) were used, which were loaded in Las format in Geolog software. After the necessary corrections and calculations, Cross-plots and models were finally made. With this method, parameters such as shale volume, lithology, type of clay minerals and well-wall stability parameters were made according to the model evaluation and Cross-plots were obtained. The predominant lithology found in the two wells was lime, along with small amounts of sandstone and dolomite. In general, the average volume of shale obtained for wells was underestimated. Clay minerals in two wells included Illite and kaolinite. Despite the discontinuity at the top of Sarvak formation, no trace of discontinuity was observed in the studied wells. Well-wall collapse was seen in some parts of both wells due to shale in the well-wall.

Key words: Lithology, Ilam-Sarvak, Multimin modeling, Shale volume, Collapse

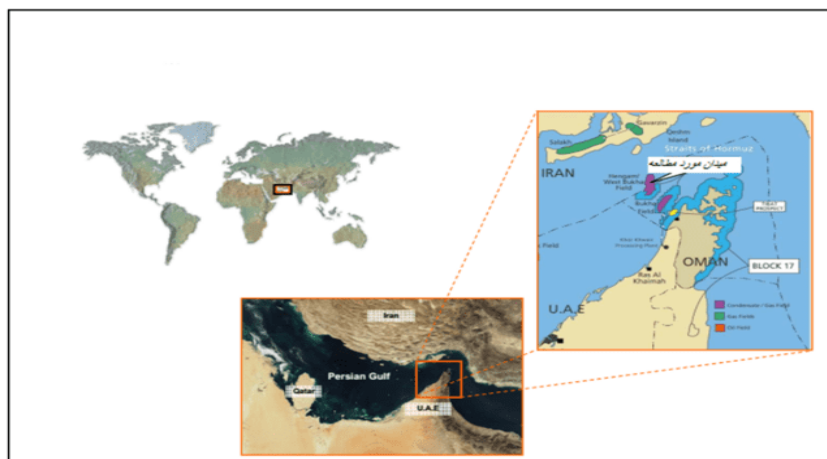


#### مقدمه

ساختمان مورد مطالعه در خلیج فارس قرار دارد که تقریباً در ۴۰ کیلومتری جنوب جزیره قشم و ۳۰ کیلومتری جزیره هنگام در تنگه هرمز واقع شده است. این ساختمان بین کشورهای ایران و عمان مشترک است، که تقریباً ۸۰ درصد آن در آبهای ایران و مابقی آن در مناطق دریایی عمان است. ساختمان مورد مطالعه در ۷۰ کیلومتری خط ساحلی ایران واقع شده است. این ساختمان یک ساختار فرابوم با ابعادی حدود ۲۴ در ۱۲ کیلومتری، در افق بنگستان با روند شمالی-جنوبی است که با روند کلی در کوههای عمان مشابه است. در سال ۱۹۷۵ حضور هیدروکربن با حفاری چاه A، در سازندهای کرتاسه ایلام و سروک ثابت شد. پس از چاه A دو چاه دیگر حفاری شد سپس به دنبال این سه حلقه چاه در سال ۱۹۹۳ لرزهنگاری سه بعدی صورت گرفت. در نهایت در سال ۲۰۰۶ چاه B به عنوان چاه مشاهده‌ای حفر که به وسیله آن ثابت شد در سازندهای ایلام و سروک نفت وجود دارد.

گزارش و اطلاعات سنگ-چینه شناسی مربوط به این میدان ناقص هستند اما بررسی‌های دقیق‌تر بر روی مخازن معادل در میداین و کشورهای نزدیک به‌ویژه در عمان و امارات باعث درک و تعیین کمی مشخصات زمین‌شناسی این سازندها شد. سازند سروک مهم‌ترین سازند این میدان از جهت مخزنی است. ضخامت این سازند در طول چاه‌های مختلف، متغیر بوده است که علت آن عمدتاً فرسایش حاصل از دگرشیبی تورنین می‌باشد.

سازند سروک در خلیج فارس با واحدهای معادل در گروه واسیا به سن کرتاسه میانی در نام‌گذاری عربی شباهت دارد و به همین دلیل به سه ممبر تقسیم شده است. در خلیج فارس این سازند دارای سه واحد می‌باشد که از پایین به سمت بالا مودود، ختیا و میشریف نام دارند. در سازند سروک یک ناپیوستگی مشخص شده است که باعث شده این سازند به دو بخش بالایی و زیرین تقسیم شود. لیتولوژی غالب سازند سروک سنگ‌آهک است که در برخی عمق‌ها میان لایه‌های شیلی نیز در آن دیده می‌شود. سازند سروک در مرز زیرین با سازند شیلی کژدمی به صورت تدریجی و در مرز بالایی با سازند شیلی لافان، ناپیوسته است. سن این سازند از آلبین تا سنومانین و در بعضی جاها تا اوایل تورونین حد زده شده است. بخش مخزنی دیگر این میدان، سازند ایلام است که به وسیله شیل‌های لافان از سازند سروک جدا شده است. از آنجایی که ضخامت میان‌لایه شیلی لافان کم است سازندهای ایلام و سروک را همراه باهم و به صورت ایلام-سروک می‌شناسند که مخزن اول این میدان است (حیدری و همکاران، ۱۳۸۶).



#### اهداف و روش کار

هدف نهایی این پژوهش تعیین پارامترهای زمین‌شناسی مخزن شامل تشخیص لیتولوژی سازند، وجود شیل (و تعیین نوع کانی‌های رسی)، ارزیابی میزان حجم شیل و پایداری دیواره چاه می‌باشد. با توجه به اهداف پژوهش ابتدا داده های خام مربوط به دو حلقه چاه مورد مطالعه در سازند ایلام-سروک جمع آوری و به فرمت مناسب نرم افزار ژئولاگ تبدیل شد. روش استفاده شده در نرم افزار ژئولاگ مدل سازی احتمالی است. پس از انتخاب

روش مطالعاتی به ترتیب بارگذاری داده ها، کنترل کیفی، محاسبات مقدماتی و تصحیحات محیطی انجام شد. سپس با ساخت کراس پلات ها و مدل پتروفیزیکی، لیتولوژی و سایر پارامترهای مخزنی مورد نظر از آن ها استخراج شد. در نهایت برای راستی آزمایی مدل ساخته شده داده های مغزه بارگذاری شد و مقایسه ها انجام گرفت.

### بحث و بررسی

نرم افزار ژئولاگ، جهت استفاده ی حرفه ای در حوزه ی اکتشاف و استخراج ذخایر هیدروکربوری طراحی شده است. عمده ترین توانایی و کاربرد تخصصی این نرم افزار، در ارزیابی پتروفیزیکی است و بخش های مختلف این نرم افزار، امکان رسیدن به نتایج دقیق و مفید را برای زمین شناسان نفت و پتروفیزیست ها فراهم می کنند. ژئولاگ به کمک دو بخش اصلی مدل سازی قطعی و احتمالی امکان استفاده از هر یک از شیوه های یادشده را به کاربران تخصصی خود می دهد. روش احتمالی مدل سازی بر پایه احتمالات است (فضلی و همکاران 1392). در این مطالعه از مدل سازی احتمالی استفاده شد. پارامترهای زمین شناسی مانند لیتولوژی، وجود شیل و حجم آن به همراه تعیین کانی های رسی موجود و در نهایت پایداری دیواره چاه و میزان تخلخل با استفاده از پلات ها و مدل ساخته شده به دست آمد و در نهایت با داده های مغزه با استفاده از نرم افزار ژئولاگ مقایسه شد.

### - تعیین لیتولوژی با کراس پلات ها

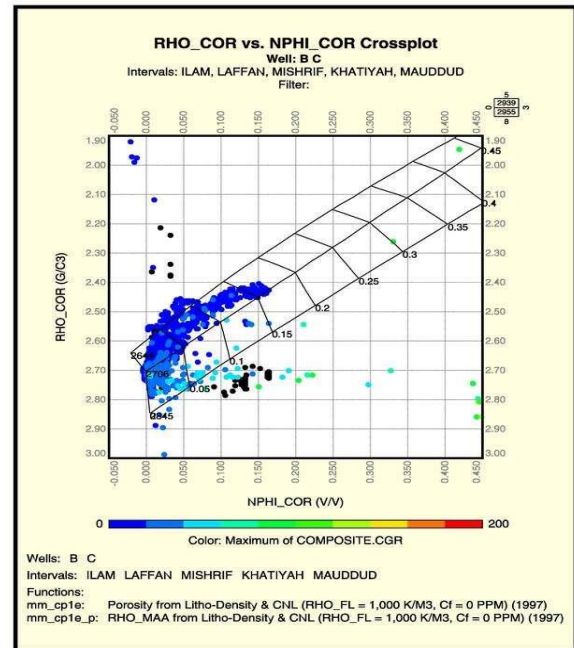
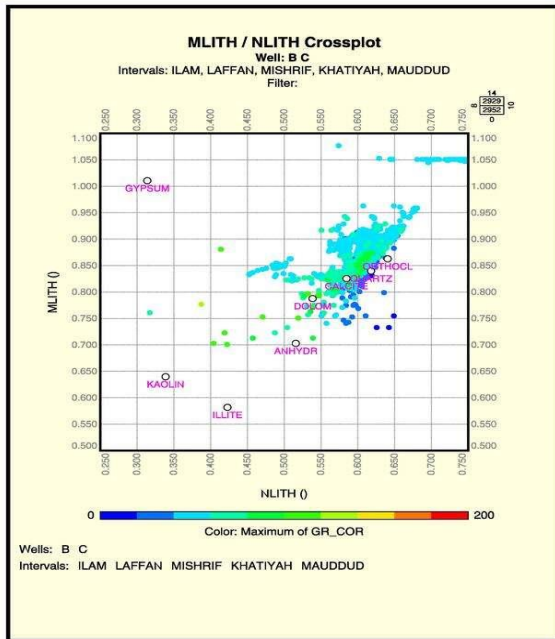
یکی از کاربردهای مهم نگارها، تشخیص کانی شناسی و ترکیب لیتولوژی سازند مخزنی است (Hearst et al., 2000). روش های مختلفی برای تعیین لیتولوژی وجود دارند که کاربرد آن ها تابع فراهم بودن، تعداد و نوع نگارهای حساس به لیتولوژی است. به طور کلی حداقل دو نگار لازم است تا بتوان برآوردی از لیتولوژی را انجام داد (رضایی و چهارزی، 1385). کراس پلات ها با مقابل هم قرار دادن نگارها برای تشخیص لیتولوژی به کار برده می شوند که با تفسیر آن می توان علاوه بر لیتولوژی وجود سیالات هیدروکربوری و سایر ویژگی های مخزنی را نیز تشخیص داد (Okoli et al., 2018). کراس پلات های مختلفی وجود دارد که برای تعیین لیتولوژی استفاده می شوند از جمله: نوترون-چگالی، نوترون-سونیک، چگالی-سونیک، چگالی-فوتوالکتریک، پلات M-N، کراس پلات MID، چگالی-فوتوالکتریک، کراس پلات  $\Delta t_p - \Delta t_s$ ، کراس پلات توریم-پتاسیم در این مطالعه از کراس پلات های نوترون-چگالی، M-N PLOT و NPHI-CGR استفاده شد.

### - کراس پلات نوترون-چگالی

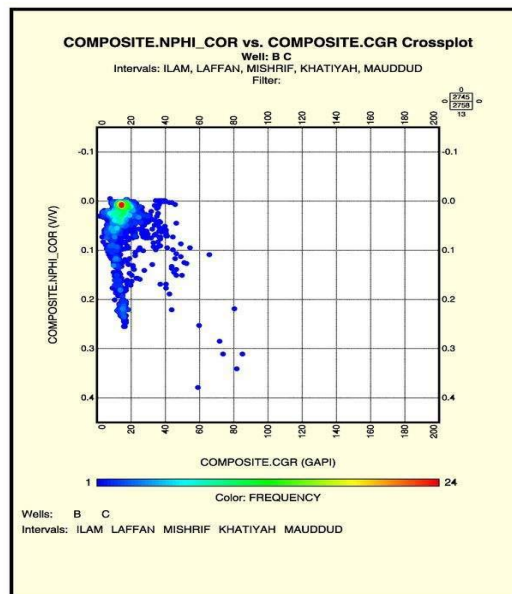
در این کراس پلات ها سه منحنی مربوط به لیتولوژی های آهک، ماسه و دولومیت ترسیم شده اند که به آن ها خطوط ماتریکس گفته می شود. جدادگی خطوط ماتریکس در این کراس پلات ها قابل ملاحظه بوده و از این رو برای تعیین لیتولوژی مطلوب اند. با استفاده از این پلات حداقل سه ترکیب کانی شناسی مختلف را می توان به دست آورد (چهارزی و همکاران، 1381). در این مطالعه داده های نگارهای نوترون (NPHI) و چگالی (RHOB) هر دو حلقه چاه در این کراس پلات قرار داده شدند (شکل 2). لیتولوژی غالب مخزن آهک هست که همراه با آن مقداری ماسه سنگ و کمی دولومیت هم دیده می شود. در بخشی که تجمع داده است تخلخل حدوداً ۹ درصد است و احتمال اینکه نقاط زیر خط دولومیت، شیل باشند بالاست، که با رنگ روشن نمایش داده شده اند.

### - کراس پلات M-N

این کراس پلات برای حذف اثر تخلخل و به دست آوردن ترکیب کانی شناسی سه تایی به کار می رود (چهارزی و همکاران، 1381). طبق اطلاعات دو پارامتر M و N در هر دو چاه، لیتولوژی غالب برای مخزن آهک همراه با مقداری ماسه سنگ و کمی دولومیت به دست آمد (شکل 3). همچنین مقداری ارتوکلاز و انیدریت نیز تشخیص داده شد که انیدریت مربوط به بخش بالای مخزن است که نقش پوش سنگ را دارد. همراه با سایر لیتولوژی های فوق مقداری کانی های رسی از نوع ایلیت و کائولینیت نیز وجود دارد.



شکل ۳. کراس پلات M-N برای تعیین لیتولوژی در دو چاه



شکل ۴. کراس پلات NPHI-CGR برای به دست آوردن تخلخل نوترون شیل مخزن

به منظور محاسبه حجم شیل از نگارهای SGR، CGR و GR استفاده می‌شود که با آن میزان تخلخل شیل نیز محاسبه می‌شود (وفایی و پیروی ۱۳۹۴). در این مطالعه از CGR استفاده شد. در این کراس پلات به حداکثر میزان CGR شیل توجه می‌شود (شکل ۴). به‌عنوان مثال، مقدار تخلخل نوترون شیل برای هر دو چاه (مخزن) حدود ۰٫۳۳ و از کراس پلات‌های دیگر (شکل ۴) و هر پارامتر دیگر وابسته به شیل که برای مدل‌سازی لازم بود از نگارها گرفته شود را برای هر چاه به‌طور جداگانه استخراج کرده و در مدل‌سازی استفاده شد.

- تخمین حجم شیل

برای شناسایی شیل‌ها و تعیین حجمشان می‌توان از نمودارهای چاه پیمایی استفاده کرد. برای این منظور از یک نگار یا ترکیبی از نگارها استفاده می‌شود (Kamel & Mabrouk, 2003). به‌طور معمول برای تخمین حجم شیل در مطالعات پتروفیزیکی از نمودار گاما (SGR و CGR) استفاده می‌شود. نگار گاما میزان رادیو اکتیویته سازند را اندازه‌گیری می‌کند و برای شناسایی لیتولوژی و مقدار شیل سازند استفاده می‌شود (رضایی و چهرازی، 1385). در این مطالعه برای محاسبه حجم شیل از نگار CGR، با فرمول محاسباتی

$$V_s = \frac{(CGR - CGR_{min})}{(CGR_{max} - CGR_{min})} \quad (1)$$

طی مدل سازی پتروفیزیکی احتمالی استفاده شد که نتایج حاصل از آن برای دو حلقه چاه مورد مطالعه در جدول 1، آورده شده است.

جدول 1. تخمین حجم شیل در چاه‌های مورد مطالعه به روش ارزیابی پتروفیزیکی احتمالی

چاه مورد مطالعه	عمق چاه (متر)	حداقل حجم شیل (%)	میانگین حجم شیل (%)	حداکثر حجم شیل (%)
B	۳۷۳۱/۳-۳۹۳۷/۴۲	۰	۴/۵۱%	۸۶%
C	۳۸۱۸/۶۹-۴۰۷۲	۰	۴/۰۷%	۷۵%

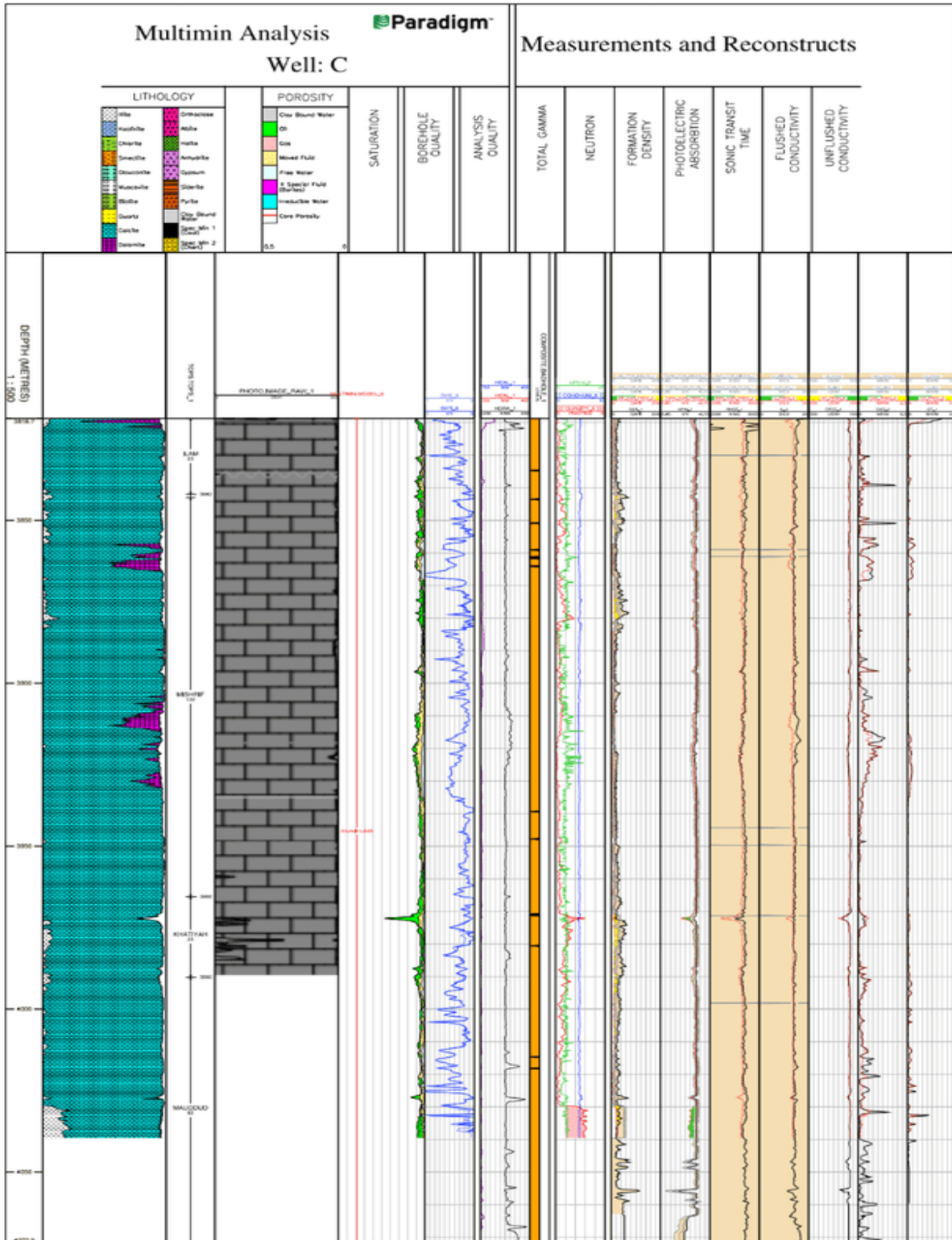
- ارزیابی چاه B طبق مدل پتروفیزیکی احتمالی ساخته شده

این چاه با ضخامت ۲۰۶/۱۲ متر در فاصله عمقی ۳۷۳۱/۳ تا ۳۹۳۷/۴۲ حفر شده است. لیتولوژی غالب آن آهک است که مقداری دولومیت و کانی‌های رسی نیز همراه با آن دیده شد. متوسط، حداکثر و حداقل حجم شیل در چاه B به ترتیب 51/4، ۸۶ و ۰ درصد تخمین زده شد. در مدل ساخته شده جاهایی که میزان تخلخل بالاست حجم هیدروکربور هم قابل قبول است. ریزش دیواره چاه باعث پایین آمدن کیفیت نمودارها در برخی فواصل عمقی شده است. این ریزش‌ها متأثر از حضور کانی‌های رسی است که با نگار کالیپر و تصحیح چگالی از جمله در فواصل عمقی ۳۷۴۴/۴۷ تا ۳۷۴۵/۲۴ متر، ۳۷۴۸/۳۹ تا ۳۷۵۰ متر، ۳۷۵۴/۱۹ تا ۳۷۵۴/۸۳ متر، ۳۷۶۸/۴۹ تا ۳۷۶۹/۵۵ متر، ۳۸۴۱/۱۲ تا ۳۸۴۱/۸۸ متر تشخیص داده شد. برای اعتبار سنجی از داده‌های لیتولوژی مغزه استفاده شد که صحت مدل ساخته شده را نشان می‌دهد به طوری که تقریباً در اعماق مختلف لیتولوژی مدل با لیتولوژی مغزه مطابقت داشت (شکل 5).

- ارزیابی چاه C طبق مدل پتروفیزیکی احتمالی ساخته شده

این چاه با ضخامت ۲۵۳/۳۱ متر در فاصله عمقی ۳۸۱۸/۶۹ تا ۴۰۷۲ متر حفر شده است. لیتولوژی غالب آن آهک است که مقداری دولومیت و کانی‌های رسی نیز همراه با آن دیده شد. متوسط، حداکثر و حداقل حجم شیل در چاه C به ترتیب 07/4، ۷۵ و ۰ درصد تخمین زده شد. در مدل ساخته شده جاهایی که میزان تخلخل بالاست حجم هیدروکربور هم قابل قبول است. ریزش دیواره چاه باعث پایین آمدن کیفیت نمودارها در برخی فواصل عمقی شده است. این ریزش‌ها متأثر از حضور کانی‌های رسی است که با نگار کالیپر و تصحیح چگالی از جمله در فواصل عمقی ۳۸۱۹/۸۲ تا ۳۸۲۳/۸۸ متر، ۳۸۳۷/۳۶ تا ۳۸۳۹/۷۱ متر، ۳۸۴۸/۰۷ تا ۳۸۴۹/۰۷ متر، ۳۸۵۵/۲۵ تا ۳۸۵۶/۳۷ متر، ۳۸۹۰/۸۶ تا ۳۸۹۶/۲۸ متر، ۳۹۰۷/۲۸ تا ۳۹۲۵/۲۳ متر، ۳۹۷۰/۳۸ تا ۳۹۷۳/۸۵ متر، ۳۹۸۱/۶۲ تا ۳۹۸۵/۱۵ متر تشخیص داده شد (شکل 6).





شکل ۶. مدل MULTIMIN ساخته شده برای چاه C

### نتیجه گیری

طبق ارزیابی زمین شناسی که روی دو حلقه چاه صورت گرفت بر اساس مدل سازی احتمالی و با استفاده از کراس پلات ها، لیتولوژی غالب مخزن سنگ آهک به همراه مقادیر کم ماسه سنگ و دولومیت است. مقدار حجم شیل در هر دو چاه ها به طور جداگانه محاسبه شد به طوری که میانگین آن برای دو حلقه چاه به صورت  $B = 4/51\%$  و  $C = 4/07\%$  تخمین زده شد که بر اساس آن ها می توان گفت که میزان حجم شیل در سازند مخزنی ایلام-سروک بسیار کم است که بیانگر کیفیت بالای این مخزن است. نوع کانی های رسی موجود ایلیت و کائولینیت است که در برخی از قسمت های چاه ها به علت حضور کانی های رسی ریزش دیواره دیده شد. به طور کلی طبق مدل های ساخته شده میانگین تخلخل مؤثر نیز کم است.

### منابع

- حیدری، ا.، اسماعیلی، ف.، ابوالقاسمی، ب.، ۱۳۸۶. گزارش زمین شناسی شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران
- فضلی، ل.، و باقری، ح.، ۱۳۹۲. ارزیابی پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری به روش قطعی و احتمالی، انتشارات ستایش، ۱۹۶ ص.
- رضایی، م.ر.، و چهارزی، ع.، ۱۳۸۵. اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۹۹ ص.
- چهارزی، ع.، رضایی، م.ر.، امینی، ع.، اخروی، ر.، و رحیم پور، ح.، ۱۳۸۱. برنامه نویسی کامپیوتری جهت آنالیز لاگ ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، ۳۲۰ ص.
- وفایی، ح.، و پیروی، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی کیفیت مخزنی سازند کنگان دریکی از چاه های میدان گازی کیش با استفاده از نرم افزار ژئولاگ، مجله علوم زمین، سال ۲۵، شماره ۹۸، ۲۹-۳۶.

- Hearst, J.R., Nelson, P.H., and Paillet, F.L., 2000. Well Logging For Physical Properties, John Wiley & Sons, Ltd, Chilchester
- Okoli, E.A., Agbasi, O.E., Onyekuru, S., Sunday, E.E., 2018. Cross plot Analysis of Rock Properties from Well Log Data for gas detection in Soku Field, Coastal Swamp Depobelt, Niger Delta Basin, Journal of Geoscience, Environment, and Technology, 180-186.
- Kamel, M., Mabrouk, W., 2003. Estimation of shale volum using a combination of the three porosity logs, Journal of petroleum science and engineering, V. 40, P. 145-157.

## تحلیل و بررسی رخساره الکتریکی سازند سفیدزاکور با استفاده از روش MRGC

فرشید رومیانی\*<sup>۱</sup>، محمدحسین صابری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشگاه سمنان، سمنان

<sup>۲</sup>استادیار، عضو هیأت علمی، دانشگاه سمنان، سمنان

Farshid86853@gmail.com

### چکیده

برای دستیابی به حداکثر برداشت از یک مخزن تلفیق داده های زمین شناسی و پتروفیزیکی امری ضروری است. هدف اصلی این تحقیق شناسایی رخساره های الکتریکی و تعیین بهترین مدل برای میدان سفیدزاکور است. در مطالعه حاضر به منظور تعیین رخساره های الکتریکی از نمودارهای LLD, RHOB, NPHI, CGR, DT و PEF به عنوان داده های مدل انتخاب شدند. روش خوشه بندی چند متغیره بر پایه گراف (MRGC) به عنوان روش خوشه بندی و فاصله بین بردار داده ها با استفاده از روش اقلیدسی تعیین شد. با استفاده از روش MRGC از ماژول Facimage نرم افزار ژئولاگ و اطلاعات نمودارهای پتروفیزیکی، تعداد ۱۰ رخساره الکتریکی در توالی مورد مطالعه تعیین گردید. مقایسه نتایج لیتولوژی، تخلخل، حجم شیل و آب اشباع شدگی با رخساره های شناسایی شده نشان داد که رخساره های شماره ۱ و ۲ بهترین کیفیت مخزنی و رخساره شماره ۹ و ۱۰ بدترین کیفیت مخزنی را دارا هستند. علاوه بر این با در نظر گرفتن توسعه رخساره های شناسایی شده لیتولوژی سازند آهک و آهک دولومیتی می باشد. **کلیدواژه:** سازند سفیدزاکور، رخساره الکتریکی، خوشه سازی، ژئولاگ، لیتولوژی

## Analysis of electrofacies of Sefidzakhor Formation using MRGC method

Farshid Roomiani\*<sup>1</sup>, Mohammedhussain Saberi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate of Petroleum Engineering, Semnan University, Iran

<sup>2</sup>Petroleum Engineering Department, Assistant Professor, Semnan University, Iran

### Abstract

Combining geological and petrophysical data is essential to achieve maximum harvesting from a reservoir. The main purpose of this research is to identify electricofacies and determine the best model for Sefidzakhor field. In the present study to determine the electrical facies of the logs DT, CGR, NPHI, RHOB, LLD and PEF Were selected as model data. MRGC as a clustering method and the distance between the data vector using it was determined by Eudidian method. Using MRGC method from Facimage module of Geolag software and information of petrophysical logs, 10 electricofacies were determined in the study sequence. Comparison of lithology results, porosity, shale volume and saturated water with identified facies that facies No. 1 and 2 have the best reservoir quality and facies No. 9 and 10 have the worst reservoir quality. In addition, considering the development of the identified facies, the lithology of the formation is limestone and dolomitic limestone.

**Keyword:** Sefidzakhor Formation, electricofacies, clustering method, Geolag, lithology

### مقدمه

مطالعه رخساره های الکتریکی مخزن در حال حاضر یکی از موضوعات مهم در آنالیز نهایی مخازن هیدروکربنی است، چرا که تعیین زون های با کیفیت مخزنی بالا می تواند در بحث تولید از مخازن و توسعه میادین مفید باشد (محسنی پور و همکاران، ۱۳۹۵). به دلیل هزینه بالای مغزه گیری از تمامی چاه های یک میدان، استفاده از رخساره های الکتریکی برای تعیین کیفیت



مخزن و نیز دیگر مطالعات مخزن مانند مدل سازی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تعیین رخساره‌های مخزنی نقش مهمی در ارزیابی پتروفیزیکی زونهای یک مخزن دارد.

واژه الکتروفاسیس برای نخستین بار توسط سراء و ابوت (Serra and Abbot, 1980) معرفی شد. هدف آنالیز خوشه‌ای اندازه-گیری شباهت و عدم شباهت بین داده‌ها و قرار دادن آنها در گروه‌های است که از لحاظ داخلی همگن و از لحاظ خارجی متمایز از گروه‌های دیگر است یا به عبارتی خوشه‌بندی روشی برای ارزیابی شباهت و عدم شباهت بین داده‌ها است. در تعریف الکتروفاسیس عبارت است از مجموعه‌های از پاسخ لاگ که مشخص کننده یک لایه یا چینه بوده و باعث تفکیک آن از لایه-های (چینه‌های) دیگر می‌گردد (Serra, 1986). در چاه‌های بدون مغزه رخساره‌های رسوبی بصورت مستقیم قابل تفکیک و تشخیص نیستند و رخساره‌ها از داده‌های پتروفیزیکی استنباط می‌شوند (Euzen and Power, 2014).

برخی از نمودارهای پتروفیزیکی مانند طیف گاما، صوتی، چگالی و نوترون که به تغییرات لیتولوژی حساس می‌باشند شاخص خوبی برای تشخیص رخساره الکتریکی هستند (Tang and H, 2006).

در مطالعات رخساره الکتریکی، به جای یک لاگ از مجموعه لاگ‌ها استفاده می‌گردد و همزمان خصوصیات بیشتری به یک رخساره خاص تعلق می‌گیرد، در این حالت پاسخ‌های مجموعه لاگ‌ها به مراتب پیچیده‌تر می‌گردد تا آنجا که چشم انسان قادر به تقسیم‌بندی رخساره‌ها نخواهد بود به همین دلیل از روش‌های مختلف خودکار یا نیمه خودکار برای دسته‌بندی لاگ‌ها، به رخساره‌های الکتریکی استفاده می‌شود (Holland, 2006). هر روش می‌بایست خصوصیات مناسبی از قبیل قدرت شناسایی گروه‌های طبیعی داده‌های لاگ، عدم داشتن دانش قبلی در ارتباط با داده‌ها، پیشنهاد بهترین تعداد خوشه‌ها به صورت خودکار، استفاده از دسته داده‌هایی با ترکیبات بسیار پیچیده، استفاده از کمترین پارامترها و عدم حساسیت به تغییرات آنها و عدم محدودیت در نوع و تعداد داده‌ها و خوشه‌ها برای تعیین عملیات رخساره‌های الکتریکی را داشته باشد (Rabiller, 2011).

#### داده‌ها و روش مطالعه

تاکنون روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی داده‌ها ارائه شده است. از مهمترین روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها می‌توان به روش-های ۱- شبکه عصبی خود سازمان ده<sup>۳۴</sup> که این روش اکثراً در مرحله اکتشافات میدان در مناطقی که چاه‌های اکتشافی به تعداد زیادی وجود ندارد بکار می‌رود (Lippmann, 1989). ۲- طبقه‌بندی سلسله مراتبی<sup>۳۵</sup> که به ما اجازه می‌دهد که تصمیم بگیریم کدام سطح یا مقیاس از خوشه‌سازی برای موضوع مورد نظر مناسب‌تر است (Lukas, 2009). ۳- خوشه‌سازی بر پایه نمودار چند بعدی<sup>۳۶</sup> به دلیل قابلیت‌های ساختاری قدرت تفکیک پذیری و خوشه‌سازی هوشمندانه و قابل قبول تری نسبت به روش‌های دیگر دارد.

در این مطالعه از اطلاعات پتروفیزیکی چاه شماره ۱ میدان سفیدزاور به عنوان اطلاعات مینا برای مدل‌سازی رخساره‌های الکتریکی استفاده گردیده است. به منظور تعیین رخساره‌های الکتریکی، در ابتدا بهترین داده‌های ورودی با استفاده از نرم-افزار (Paradigm<sup>TM</sup> Geolog 8) انتخاب می‌شوند، به طوری که بیشترین شباهت (همگن بودن) در یک گروه و بیشترین اختلاف بین گروه‌ها، نشان دهنده بهترین حالت خوشه‌سازی می‌باشد. با توجه به تنوع لاگ‌های برداشت شده در چاه مذکور و به منظور کسب نتیجه بهتر از لاگ‌های مشترک موجود CGR، DT، RHOB، NPHI، LLD و PEF به عنوان مجموعه داده مینا برای ساخت مدل استفاده شد. سپس برای صحت، این داده‌ها مورد آزمون قرار گرفتند و در نهایت با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC ارتباط منطقی بین داده‌ها برقرار شد و داده‌ها در بهترین دسته‌ها قرار گرفتند.

#### روش خوشه‌سازی

رخساره الکتریکی بر اساس خوشه‌بندی داده‌ها تعریف می‌شود (Sh and Rabiller, 2000). در روش خوشه‌بندی بر پایه نمودار چند بعدی، در ابتدا با استفاده از تراکم داده‌ها تعداد بهینه خوشه‌ها از طریق شاخص همجواری تعیین می‌گردد. این

<sup>34</sup>SOM: Self-Organizing Map

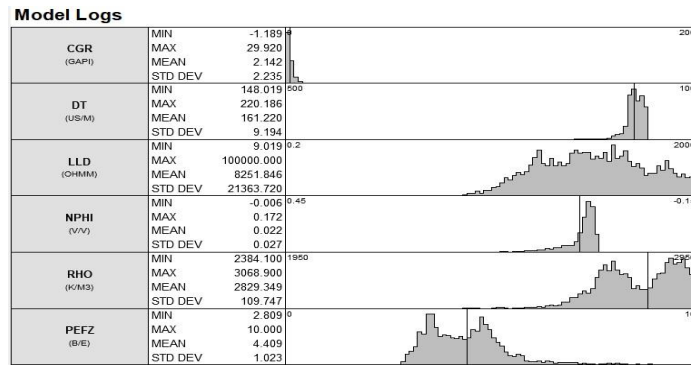
<sup>35</sup>AHC: Ascendant Hierarchical Clustering

<sup>36</sup>MRGC

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran

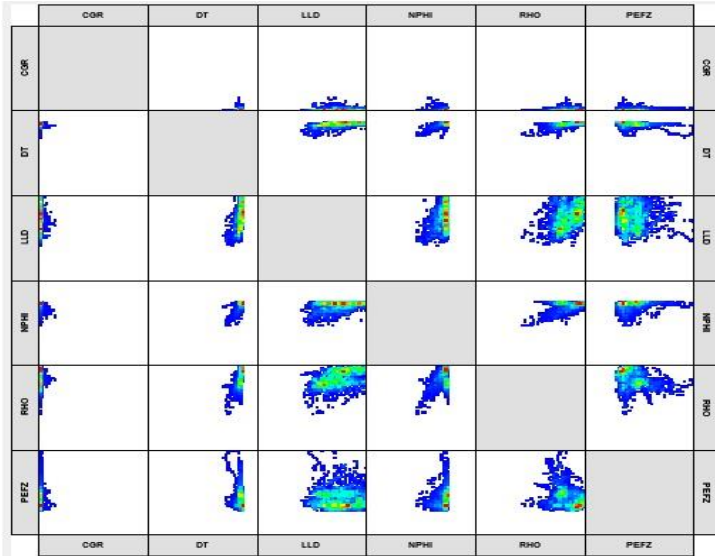


روش در برابر تغییرات اساسی نمودارهای پتروفیزیکی که نشان دهنده کاهش یا افزایش کیفیت مخزنی می باشد حساسیت نشان داده و رخساره الکتریکی جداگانه ای برای زون های مخزنی ساخته است. الگوریتم MRGC با روش های هوشمند، تعداد رخساره های الکتریکی را (خروجی) با توجه به داده های اولیه و محدود (ورودی) در هر چاه بدون دخالت ناظر ارائه می کند. این در حالی است که در روشهای دیگر خوشه سازی کاربر با در نظر گرفتن پارامترهایی از جمله مطالعات پتروگرافی و رخساره های رسوبی تعداد الکتروفاسیس ها را به نرم افزار ارائه کرده و نرم افزار براساس اطلاعات وارد شده الگوی پیشنهادی را معرفی می کند (Teh, W. J. 2006). تفاوتی که روش MRGC با دیگر روش های خوشه سازی دارد این است که نرم افزار تعداد خوشه های مشخصی را به عنوان خروجی به ناظر معرفی خواهد کرد و کاربر با در نظر داشتن پیش زمینه علمی و مطالعاتی در این راستا بهترین خوشه را شناسایی و انتخاب می کند. اما در دیگر روش های خوشه سازی، در ابتدا کاربر تعداد خوشه ها را برای نرم افزار تعریف کرده و بر این اساس نرم افزار طی محاسبات الگوهای پیشنهادی خود را ارائه می نماید. پس از آن کاربر از بین الگوهای ارائه شده توسط نرم افزار الگویی که معرف بهترین خوشه است را انتخاب می کند (Gill and Fligelman 1993). در این مطالعه ابتدا مرحله آمون داده ها برای تصدیق و آنالیز آماری استفاده می شود. این آمون نشان می دهد داده های مدل معتبر هستند و معرف خوبی از داده ها به منظور بدست آوردن رخساره های صحیح می باشند.



شکل ۱: آمون توزیع نمودارهای انتخاب شده برای ایجاد مدل رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه

برای خوشه بندی داده ها با توجه به تنوع رخساره های رسوبی در چاه مورد مطالعه حد بالا و پایین دسته ها به ترتیب ۳ و ۲۸ با حداکثر ۳ مدل رخساره ای در نظر گرفته شد. با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی در چاه مورد مطالعه ۱۰ رخساره الکتریکی تعیین گردید. در این مرحله نمودارهایی که در قسمت Facimage بارگذاری شده اند، دو به دو در نمودارهای متقاطع با یکدیگر یک ماتریس ۴\*۴ را ایجاد میکنند که قطر اصلی این ماتریس، صفر می باشد. (شکل ۲).



شکل ۲: نمودار پراکندگی توزیع نمودارهای انتخاب شده در مقابل یکدیگر در ماژول Facimage

در این تحقیق با استفاده از تراکم داده ها تعداد بهینه خوشه ها، از طریق شاخص همجواری (NI) تعیین شد. شاخص همجواری از رتبه هر داده نسبت به داده های مورد نظر (X) بدست می آید. به عنوان مثال رتبه داده y نسبت به داده X برابر است با (معادله ۱-۲):

$$\sigma(y) = \exp(-m/k) \quad \text{معادله ۱-۲}$$

که در آن m شماره نقطه به ترتیب فاصله (نزدیکترین نقطه به نقطه شماره یک و دو نیز به همین ترتیب)، K تعداد نقاط مورد بررسی می باشد بنابراین NI با توجه به معادله ۲-۲ تعیین می شود.

$$s(X) = \sum K_n \sigma(x) \quad \text{معادله ۲-۲}$$

$$\{(X_i)\} \{(X_i)\}, S_{max} = \max = S_{min} = \min$$

$$S_{max} - S_{min} / S(x) - S_{min} \quad NI(x) =$$

(X) یک واحد از مجموعه S می باشد و (y) نزدیکترین همسایه n ام آن در میان واحدهای S می باشد. و با توجه به اینکه در روش MRGC به جای استفاده از قدرمطلق فاصله از رتبه سایر داده ها استفاده می گردد، بر اساس شاخص همجواری (KRI) برای دو خوشه با استفاده از معادله ۳-۲ تعریف می شود.

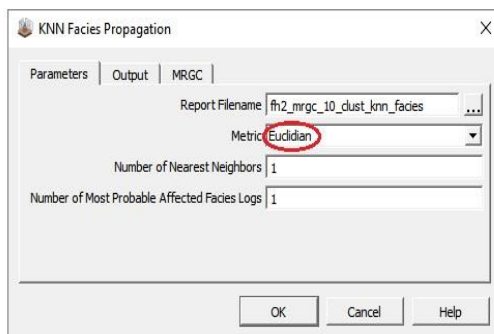
$$KRI(x) = m * NI(x) * D(x,y) \quad \text{معادله ۳-۲}$$

که در آن D(x,y) فاصله بین دو نقطه X و y در داخل خوشه ها است. در مرحله بعد فاصله بین متغیرهای داده ای محاسبه می شود. بطور کلی در خوشه بندی داده ها، فاصله به عنوان مبنای شباهت می باشد که در برخی مواقع به جای فاصله می توان از واریانس که عکس فاصله شباهت های بین داده ها است استفاده کرد. برای این کار توابع مختلفی از قبیل تابع اقلیدسی، تابع مینکووسکی و تابع منهن وجود دارد.

یکی از فراوانترین روش های بکار رفته برای محاسبه فاصله بین بردارهای ورودی و یا به عبارت دیگر فاصله بین تمام زوج داده ها، محاسبه فاصله اقلیدسی بین داده ها می باشد، که به صورت مجموع مربع تفاضل بین داده ها و یا متغیرها تعریف می شود. در صورتیکه دو زوج داده (y1 ، x1) و (y2 ، x2) داشته باشیم فاصله اقلیدسی آنها طبق فرمول زیر محاسبه میشود:

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad \text{معادله ۳-۲}$$

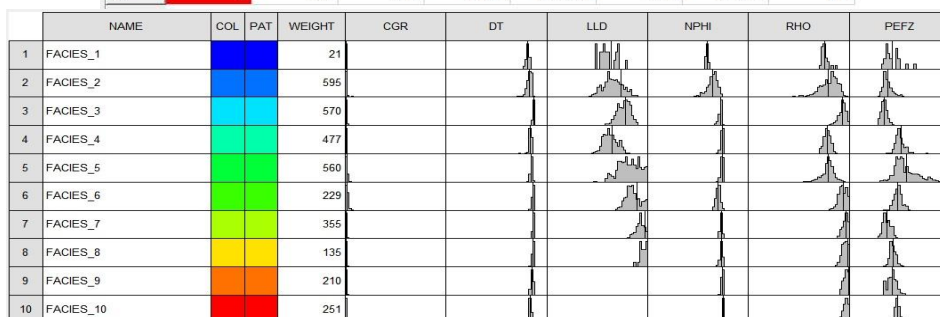
بنابراین در این مطالعه از روش اقلیدسی برای محاسبه فاصله بین بردار داده‌های ورودی انتخاب شد (شکل ۳).



شکل ۳: انتخاب روش اقلیدسی برای محاسبه فاصله بین بردار داده‌ها

با توجه به اینکه مقدار CGR به مقدار رس و شیل سازند وابسته است، بنابراین هر کدام از این دسته‌ها می‌توانند تا حدودی کیفیت مخزنی نزدیک به یکدیگر داشته باشند. هر کدام از رخساره‌های شناسایی شده از لحاظ میزان تخلخل، چگالی، نوترون، اشباع آب و غیره با یکدیگر تفاوت دارند که باعث تمایز میان آنها می‌شود.

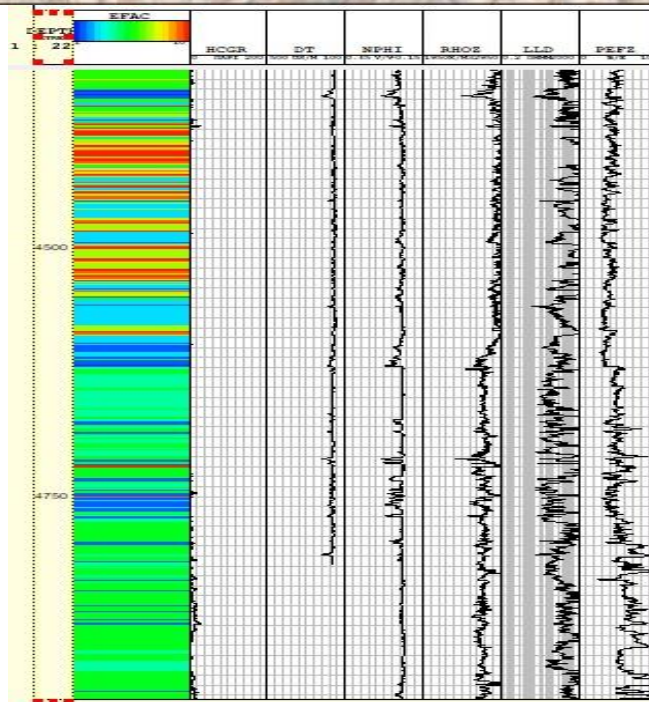
	FACIES	WEIGHT	CGR	DT	LLD	NPHI	RHO	PEFZ
1	1	21	1.84	176.87	53.15	0.10	2704.41	4.26
2	2	591	2.80	170.97	88.32	0.07	2742.02	3.84
3	3	574	1.66	153.44	221.26	0.02	2877.50	3.44
4	4	476	1.39	166.04	64.50	0.01	2730.21	5.09
5	5	561	3.08	161.97	718.31	0.01	2738.25	5.63
6	6	229	3.82	155.77	566.50	0.03	2888.10	4.81
7	7	355	1.82	153.87	1216.90	0.01	2912.83	3.73
8	8	135	1.40	155.31	3210.97	0.01	2932.81	4.32
9	9	210	1.63	158.22	23472.63	0.01	2946.62	4.23
10	10	251	0.80	164.99	67607.36	-0.00	3001.48	4.75



شکل ۴: رده بندی رخساره‌های الکتریکی به دست آمده با روش MRGC از نظر کیفیت مخزنی

### بحث

پس از تفکیک توالی چاه مورد مطالعه به خوشه‌های مختلف، این بخش‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هر خوشه یا رخساره که در توالی مخزن مورد مطالعه با استفاده از دسته بندی قرائت داده‌های ورودی تفکیک شده است نمایانگر بخشی از توالی با شرایط زمین شناسی و مخزنی تقریباً مشابه می‌باشد. همانطور که در شکل ۴ مشخص است برای تعیین رخساره‌های الکتریکی از لاگ‌های گامای تصحیح شده (CGR)، صوتی (DT)، نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB)، مقاومت (LLD) و فوتوالکتریک (PEF) استفاده شد.



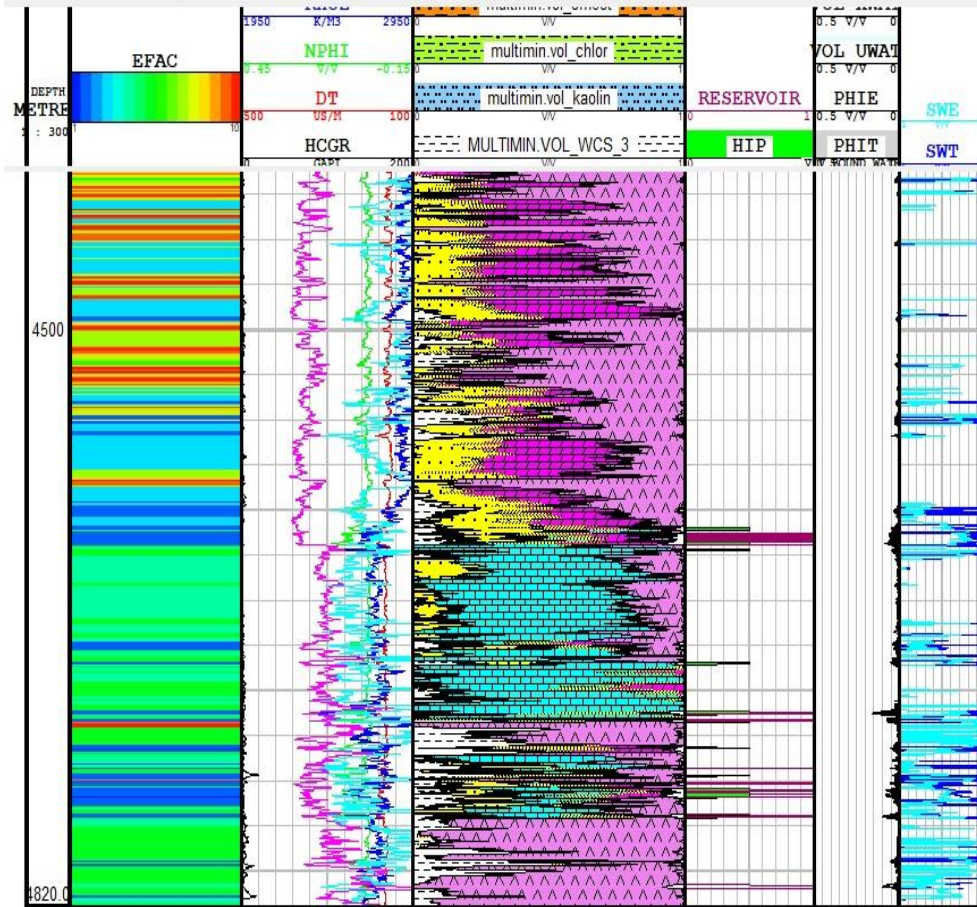
شکل ۵- تفکیک رخساره های الکتریکی مخزن بر اساس قرائت نمودارهای وردی مدل MRGC

بطور کلی میزان نمودار گامای تصحیح شده (CGR) نشان دهنده میزان شیل می باشد. روند کاهشی این نمودار نشان دهنده کاهش مقدار شیل و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی در سنگ می باشد. نمودار نوترون (NPFI) و نمودار صوتی (DT) از جمله نمودارهایی هستند که میزان تخلخل را مشخص می کند. روند افزایشی این نمودارها نشان دهنده افزایش کیفیت مخزنی است.

پس از تعیین رخساره های الکتریکی توسط روش MRGC در سازند مورد مطالعه، برای اطمینان از دقت شناسایی رخساره های بدست آمده به تفسیر هر یک از این رخساره ها براساس پارامترهای پتروفیزیکی نظیر تخلخل کل و موثر، حجم شیل، حجم هیدروکربن و حجم آب اشباع شده کل و موثر پرداخته شد.

براساس اطلاعات استخراج شده از نمودارهای پتروفیزیکی و با توجه به مقدار فراوانی (Weight) هر نگاره در رخساره ها، هرچه میزان پرتو گاما کمتر بوده و در مقابل هر چه زمان سیر امواج و تخلخل موثر بیشتر باشد، نشان دهنده کیفیت مخزنی بهتر می باشد. از این رو مهم ترین رخساره سازند شماره های ۱ و ۲ به دلیل داشتن تخلخل بهینه و حجم شیل پایین اصلی ترین رخساره مخزنی بوده و از لحاظ سنگ شناسی از جنس آهک و آهک دولومیتی می باشند.

شکل ۶ توالی مخزن مورد مطالعه را نشان می دهد که لیتولوژی و پارامترهای مخزنی (تخلخل و حجم سیالات) در توالی آن نشان داده شده است. Trak1 الکتروفاسیس های شناسایی شده، Trak2 نمودارهای ورودی مدل (CGR, DT, RHOB, PEF, LLD, NPFI) لیتولوژی بدست آمده از روش مالتی مین، Trak4 زون های مخزنی چاه، Trak5 حجم تخلخل کل و موثر، حجم سیالات مخزن، Trak6 حجم آب اشباع شدگی کل و موثر.



شکل ۶- نمایش گرافیکی پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در ماژول مالتی مین (حجم تخلخل کل و موثر، حجم آب اشباع شده کل و موثر، زون های مخزنی) همراه با رخساره الکتریکی میدان

### نتیجه گیری

در این مطالعه به دلیل تنوع لیتولوژیکی وسیع سازند مورد مطالعه از روش خوشه سازی چند تفکیکی گرافیکی MRGC که کارایی خوبی نسبت به دیگر روش های خوشه سازی دارد، استفاده شد. با توجه به قرائت نمودارهای الکتریکی معرفی شده به عنوان ورودی مدل (PEF, LLD, NPHI, RHOB, DT, CGR) تعداد خوشه های حاصل شده از طریق روش MRGC در ۱۰ دسته قرار گرفتند. نتایج حاصل شده از رخساره های الکتریکی نشانگر تطابق قابل قبول آنها با لیتولوژی پتروفیزیکی سازند است. رخساره های بدست آمده دارای خواص پتروفیزیکی منحصر به فرد بوده که آنها را از هم متمایز میکند و می توان به کمک آنها رخساره ها را در سایر چاه های مجاور دنبال کرد و عمل تطابق بین چاه ها را با استفاده از آنها انجام داد. نمودار CGR نشان دهنده میزان شیل و رس مخزن است و از طرف دیگر شیل کیفیت مخزنی را از طریق پایین آوردن تراوایی کاهش می دهد. بنابراین به منظور تعیین کیفیت مخزنی رخساره های الکتریکی، آنها را براساس مقادیر نمودار CGR مورد بررسی قرار داده شد. نتایج نشان داد که میزان فراوانی نمودار CGR در رخساره های ۱ و ۲ کمترین مقدار را دارد و در رخساره های ۹ و ۱۰ بیشترین مقدار CGR مشاهده شد. انتظار می رود رخساره های ۱ و ۲ با محیط های پر انرژی گذشته در ارتباط باشند که باعث شده میزان CGR به پایین ترین حد خود برسد.

#### منابع

- محسنی پور، ا، ابهرک پور، ا، سلیمانی، ب، ۱۳۹۵. تجزیه و تحلیل گونه های سنگی الکتریکی مخزن بنگستان (کرتاسه) در میدان نفتی مارون (خاور اهواز)، نشریه زمین شناسی نفت، دوره ۶، شماره ۱۲، صفحات ۴۵-۵۹.
- Holland., m., s., 2006. Cluster analysis. Department of geology, university of georgia, athens, ga 30602-2501 january. 1-7
- Rabiller., p., 2005. Facies prediction and data modeling for reservoir characterization. Facies prediction and data modeling for reservoir characterization. 1th ed.
- Sh. Ju y., and rabiller p., 2000. A new tool for electro-facies analysis: multi-resolution graph-based clustering, spwla 41st annual logging symposium. Dallas, texas, 14-27
- Lippmann., r., 1989. Pattern classification using neural networks. Ieee communications magazine, 27(11), 47-50.
- Lukas c., Brun and g., Jason jolley. 2011. Increasing stakeholder participation industry cluster identification, economic development quarterly. 211-220
- Teh, w. J., willhite, g. P., engineering, p., 2012. Improved reservoir characterization using petrophysical classifiers within, spe improved oil recovery conference, 1-6
- Serra, o., abbot., h., (1980). The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy. Conference technology fall annual, 117-131.
- Serra., o., 1986. Fundamentals of well log interpretation, the interpretation of logging data, amsterdam, elsevier., 1- 532
- Gill d., shomrony a., and fligelman h., 1993. Numerical zonation of log suites and logfacies recognition by multivariate clustering, aapg bulletin, 1781-1791.
- Tang, h., ji, h., 2006. Incorporation of spatial characteristics into volcanic facies and favorable reservoir prediction, spe reserv, evalu, 565-573.
- Euzen and m.r., power, 2014. Well log cluster analysis and electrofacies classification: a probabilistic approach for integrating log with mineralogical data, search and discovery article posted March 10, 1-4.

محیط دیرینه سازند میشان بر اساس شکل هندسی فرامینیفرا و تغییرات ایزوتوپی

کربن  $\delta^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  در حوضه رسوبی شمال غرب و غرب بندرعباس

جهانبخش دانشیان<sup>۱</sup>، ولی علیزاده<sup>۲</sup>، مریم درخشانی<sup>۳\*</sup>، سید علی معلمی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه زمین شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲</sup>استادیار گروه مهندسی نفت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گرمسار

<sup>۳</sup>مدرس گروه مهندسی نفت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گرمسار

<sup>۴</sup>مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

E-mail: [Derakhshani-82@yahoo.com](mailto:Derakhshani-82@yahoo.com)

چکیده:

به منظور مطالعه محیط دیرینه نهشته‌های سازند میشان بر اساس شکل هندسی فرامینیفرا و تغییرات ایزوتوپی کربن  $\delta^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  در پس خشکی بندرعباس، برش چینه‌نگاری ناحیه ای شامل برش‌های هندون، انگورو، باویون و نخ در شمال غرب و غرب بندرعباس انتخاب شدند. بر اساس مجموعه فرامینیفرا و ایزوتوپ استرانسیم، سن نهشته‌ها بوردیگالین- لانگین تعیین شد. بر اساس مطالعه ریز رخساره‌ها، مدل رخساره ای از نوع پلت فرم نوع رمپ بوده و شامل رمپ داخلی، رمپ میانی و رمپ خارجی می باشند و بر مبنای آن ها پارامترهای محیط دیرینه بررسی شدند. مطالعه فراوانی و توزیع فرامینیفرا در این نهشته‌های نشان دهنده‌ی رسوب گذاری در آب های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، تحت شرایط الیگوتروفیک تا مزوتروفیک و یوتروفیک می‌باشد. بر اساس مطالعه فرامینیفرای بنتونیک بزرگ با پوسته پورسلانوز و هیالین، متوسط دمای آب ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد تعیین شد. این دمای دیرینه با نتایج آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن مطابقت دارد. در نهایت از داده‌های به دست آمده در این مطالعه، برای بازسازی محیط دیرینه استفاده شد.

کلیدواژه: سازند میشان، فرامینیفرا، ایزوتوپ کربن و اکسیژن، محیط دیرینه، پس خشکی بندرعباس.

## **Paleoenvironment of the Mishan Formation based on foraminifera geometric shape and carbon and oxygen isotopic changes in sedimentary basin of northwest and west of Bandar Abbas**

Jahanbakhsh Daneshian, Vali Alizadeh; Maryam Derakhshani, Seyed Ali Moalemi

### **Abstract**

In order to study of paleoenvironment of the Mishan Formation based on foraminifera geometric shape and carbon and oxygen isotopic changes in the Bandar Abbas hinterland, a stratigraphic transection including Handun, Anguru, Baviyun, and Nakh sections was selected in west and northwest of Bandar Abbas. Based on foraminiferal assemblage and strontium isotope age for deposition is Burdigalian to Langhian. Based on studies of microfacies, ramp environment were recognized (inner, mid and outer ramp) and based on them, parameters of paleoenvironment were investigated. Study of abundance and diversity of foraminifera in the studied sections shows that precipitation in tropical to subtropical in mesotrophic to oligotrophic and eutrophic conditions. Based on porcelaneous large benthic foraminifera and hyaline large benthic foraminifera, water temperature average was determined between 25 and 30 °C that were confirmed by analyzing oxygen and carbon stable isotopes. Finally, from the data obtained in this study used to reconstruct the paleoenvironment.

**Keywords:** Mishan Formation, Foraminifera, oxygen and carbon stable isotopes, paleoenvironment, Bandar Abbas hinterland.



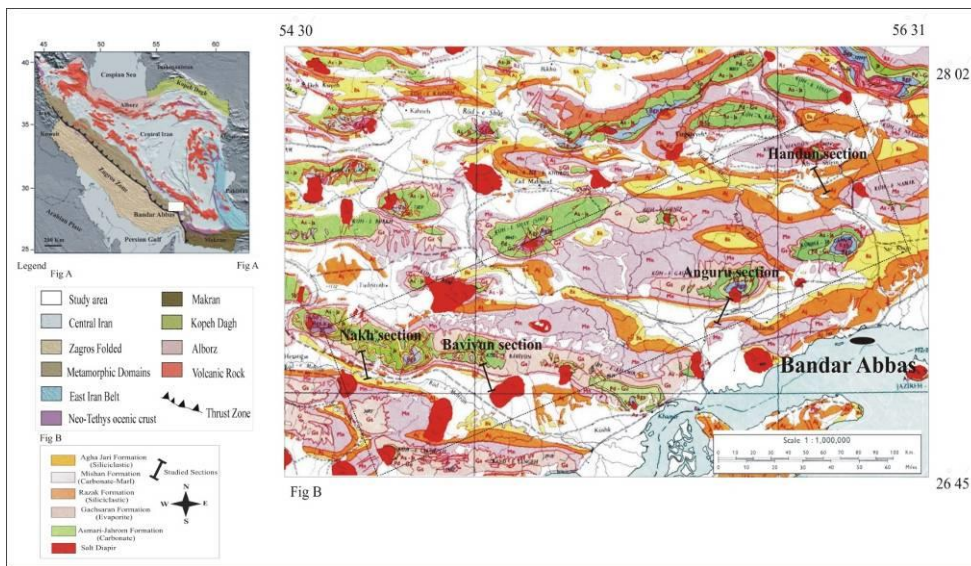
#### مقدمه:

فرامینیفرای بنتونیک بزرگ بطور وسیعی در کربنات های پالئوژن و نئوژن گسترش یافته‌اند. آن‌ها بصورت تدریجی تکامل یافته و توالی از جمعیت‌های بزرگ زیستی را تشکیل دادند و به طور ویژه‌ای در چینه نگاری کربنات تتیس گسترش یافته‌اند. امروزه پراکندگی گروه‌های مختلف فرامینیفرا در مقیاس جهانی مشخص شده است. فرامینیفرا در محدوده وسیعی از محیط‌ها از کم عمق‌ترین تا عمیق‌ترین نقاط در دریاها و اقیانوس‌ها زیست می‌کنند و پراکندگی‌شان تحت تأثیر عوامل محیطی و اکولوژیکی است (BouDagher-Fadel, 2008). فرامینیفرای بنتونیک در تشکیل رسوبات کربناته نقش مهمی دارند و به عنوان ابزاری با ارزش جهت تعیین عمق نسبی محیط رسوبگذاری و بازسازی محیط های دیرینه استفاده می‌شوند. فراوانی و توزیع مجموعه های فرامینیفرا بر روی پلاتفرم‌های کربناته به شرایط درون حوضه رسوبگذاری وابسته است و توسط عواملی مانند عمق، دما، شوری، مواد غذایی، نور و انرژی آب کنترل می‌شوند (Hottinger, 1983, 1997; Geel, 2000; Hohenegger, 2004; Murray, 1991, 2006; Pomar et al., 2004; BouDagher-Fadel, 2008) به علت اهمیت فرامینیفرا در بازسازی محیط های دیرینه و شرایط پالئوآکولوژی حاکم در زمان رسوبگذاری، در این تحقیق سعی شده است از فراوانی و تنوع فرامینیفرا برای تفسیر محیط دیرینه ی منطقه مورد مطالعه استفاده شود.

با فرض این که مواد کربناته در حال تعادل با محیط رسوبگذاری قرار دارند، ترکیب ایزوتوپی مواد کربناته به عواملی مانند ترکیب ایزوتوپی آب دریا، شوری، حرارت و اثرات فعالیت‌های بیولوژیکی موجودات بستگی دارند. در تفسیر داده‌های ایزوتوپی باید فرض نمود که ترکیب ایزوتوپی آب دریاها در طی زمان ثابت مانده و تغییرات ایزوتوپی که در کربنات‌های قدیمی دیده می‌شود، تابع تفریق ایزوتوپی در نتیجه تغییرات حرارت، تغییرات شوری محلی و تغییرات دیاژنزی است. در کربنات‌ها عمدتاً از ایزوتوپ‌های پایدار کربن  $\delta^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  جهت تشخیص شرایط رسوبگذاری، به خصوص تعیین دمای محیط رسوبگذاری استفاده می‌شود (Shackleton and Kennett, 1975, Frideman and O Neil, 1977, Anderson and Arthur, 1983) بنابراین در این تحقیق سعی شده است از تغییرات ایزوتوپ‌های پایدار کربن  $\delta^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  در تعیین دمای دیرینه نهشته‌ها استفاده شود و دمای دیرینه تعیین شده بر اساس فراوانی و توزیع فرامینیفرا با نتایج آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن مطابقت داده شود. در نهایت از داده‌های به دست آمده در این مطالعه، برای بازسازی محیط دیرینه استفاده شد.

#### روش مطالعه:

به منظور مطالعه محیط دیرینه نهشته‌های سازند میشان در پس خشکی بندرعباس یک برش ناحیه‌ای متشکل از چهار برش در شمال غرب و غرب بندرعباس مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند که شامل برش‌های چینه‌نگاری هندون، انگورو، باویون و نخ می‌باشند (شکل ۱). سن نهشته های سازند میشان بر اساس فرامینیفرا و ایزوتوپ استرانسیم، در برش‌های هندون، انگورو و باویون بوردیگالین - لانگین و در برش نخ اکیتانین-بوردیگالین می‌باشد (دانشیان و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی ناحیه بندرعباس (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بندرعباس)

به منظور انجام این پژوهش تعداد ۶۶۸ مقطع نازک، جهت شناسایی آلوکوم‌ها، بررسی ریز رخساره‌ها، اجتماعات فرامینیفرای کربناته و شرایط محیط دیرینه حاکم در زمان رسوبگذاری به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفتند. به طور کلی بررسی نمونه‌ها از نظر محتویات فرامینیفرای منجر به شناسایی ۵۲ جنس و ۷۹ گونه شد. (دانشیان و همکاران، ۱۳۹۵). در برش‌های مورد مطالعه مدل رخساره‌ای از نوع پلت فرم نوع رمپ بوده و شامل رمپ داخلی، رمپ میانی و رمپ خارجی می‌باشند (شکل ۲) (دانشیان و همکاران، ۱۳۹۶).

جهت تحلیل‌های محیط دیرینه و شرایط زندگی فرامینیفرای در برش‌های مورد مطالعه از منابع زیر استفاده شد.

Hottinger, 1983, 1997; Geel, 2000; Romero et al., 2002; Hohenegger, 2004; Pomar, 2001; Pomar et al., 2004; Beavington- Penny and Racey, 2004; Murray, 1991, 2006; Pomar et al., 2004; Bassi et al., 2007; BouDagher-Fadel, 2008)

همچنین جهت تشخیص شرایط رسوبگذاری، به خصوص تعیین دمای محیط دیرینه، ۱۶ نمونه از کربنات‌های سازند میشان انتخاب (جدول ۱) و در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشکده علوم زمین دانشگاه بوخوم در کشور آلمان مورد تجزیه ایزوتوپی قرار گرفتند. مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن توسط دستگاه اسپکترومتر جرمی (VG SIRA Series II) اندازه‌گیری شده است. خطای اندازه‌گیری ایزوتوپی  $0.1 \pm \%$  می‌باشد. مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن نسبت به استاندارد PDB که صدف بلمنیت از سازند Peede در آمریکا است، مقایسه شده است. جهت تحلیل نتایج ایزوتوپی و تعیین دمای محیط دیرینه در برش‌های مورد مطالعه به این منابع استناد شد (Shackleton and Kennett 1975; Frideman and O Neil, 1977, Anderson and Arthur, 1983) در نهایت محیط دیرینه سازند میشان بر مبنای فرامینیفرای و تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن بازسازی شد.

#### بحث:

فرامینیفرای بنتونیک در تشکیل رسوبات کربناته نقش مهمی دارند و به عنوان ابزاری با ارزش برای بازسازی محیط‌های دیرینه استفاده می‌شوند. فراوانی و توزیع مجموعه‌های فرامینیفرای بر روی پلاتفرم‌های کربناته به شرایط درون حوضه رسوبگذاری وابسته است و توسط عواملی مانند عمق، دما، شوری، مواد غذایی، نور و انرژی آب کنترل می‌شوند.

(Hottinger, 1983, 1997; Geel, 2000; Romero et al., 2002; Corda Brandano, 2003; Hohenegger, 2004; Murray, 1991, 2006; Pomar et al., 2004; BouDagher-Fadel; 2008) کربناته، فرامینیفرای بنتونیک بزرگ با پوسته پورسلانوز و هیالین با فراوانی و تنوع زیادی حضور دارند که در قسمت مختلف، این تنوع و فراوانی متفاوت است، که نشان دهنده ی تغییرات محیطی می باشد. در این تحقیق بر اساس شکل هندسی فرامینیفرای شاخص های تعیین محیط دیرینه مانند عمق، دما، شوری، مواد غذایی، نور و انرژی آب مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد که نهشته ها سازند میشان تحت شرایط مزوتروفیک تا الیگوتروفیک و یوتروفیک تشکیل شدند.

**نهشته های که تحت شرایط یوتروفیک (قسمت های بالایی فوتیک زون، عمق بین ۰ تا ۴۰ متر) نهشته شدند:**

نور یکی از عوامل تأثیر گذار بر توزیع و فراوانی فرامینیفرای می باشند که به طور مستقیم و غیر مستقیم در اجتماعات فرامینیفری و رسوبگذاری در پلاتفرم های کربنات تأثیر گذار هستند. محیط اقیانوسی، بر اساس حضور یا عدم حضور موجودات وابسته به نور به چهار زون نوری یوفوتیک، مزوفوتیک، الیگوفوتیک و آفوتیک تقسیم می شوند (Pomar 2001, Pomar et al. 2004). در زون یوفوتیک موجوداتی که وابسته به نور زیاد هستند، حضور دارند. در این زون فرامینیفرای با پوسته پورسلانوز، بزرگ، ضخیم و تخم مرغی شکل حضور دارند. این نوع شکل هندسی پوسته، آن ها را در برابر نور خورشید و همچنین ضربات ناشی از تلاطم آب دریا محافظت می کنند (Beavington- Penny and Racey, 2004; Bassi et al., 2007). در برش های مورد مطالعه فرامینیفرای غالب نهشته های این زون نوری شامل فرامینیفرای بنتونیک پورسلانوز بزرگ نظیر *Archaia*، *Triloculina*، *Quinqueloculina*، *Pyrgo*، *Spiroloculina*، *Borelis*، *Meandropsina* و فرامینیفرای میلیولید نظیر *Massilina*، *Heterillina* می باشند که نشان دهنده ی محیط لاگون هستند. از طرف دیگر حضور گسترده تاکسای *Ammonia* که بیشتر در محیط کم عمق پشت ریف زندگی می کند (Murray, 2000) نشان دهنده محیطی با انرژی پایین می باشند. همرا با این فرامینیفرای پورسلانوز، مرجان های پراکنده دیده می شوند که مربوط به عمیق ترین قسمت این زون می باشند. این مجموعه فرامینیفری و مرجان های پراکنده که در قاعده برش های مورد مطالعه دیده می شوند، شاخص محیط های لاگون نیمه محصور و پهنه جزر و مدی می باشند و تأیید کننده شرایط یوتروفیک مربوط به قسمت های بالایی فوتیک زون می باشند. رسوبات نهشته شده در این زون نوری دارای شوری بین 40 – 50 Psu می باشد (Beavington- Penny and Racey, 2004). دمای حضور فرامینیفرای نظیر *Archaia* و میلیولیدها نشان دهنده ی دمای ۲۲ درجه سانتی گراد و دمای حضور مرجان های نشان دهنده ی دمای ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی گراد می باشد که شاخص آب و هوای گرمسیری تا نیمه گرمسیری می باشند (Brandano et al., 2009). قابل ذکر است که در برش های مورد مطالعه نهشته های مربوط به شرایط یوتروفیک در محیط رمپ داخلی (Inner ramp) تشکیل شدند.

**نهشته های که تحت شرایط مزوتروفیک (عمق بین ۴۰ تا ۷۰ متری): نهشته شدند:**

در زون نوری مزوفوتیک موجوداتی که وابسته به نور متوسط هستند، حضور دارند. در این زون فرامینیفرای با پوسته هیالین، عدسی شکل، متورم و لنزی شکل و همچنین فرامینیفرای پورسلانوز نیز حضور دارند (Bassi et al. 2007). رسوبات نهشته شده در این زون نوری دارای شوری نرمال بین 34 – 40 Psu می باشد (Beavington- Penny and Racey, 2004). وجود اجتماعات فرامینیفری بنتونیک مانند *Operculina* و *Heterostegina* همراه با جلبک های قرمز در پلاتفرم های کربناته شاخص محیط های گرمسیری تا نیمه گرمسیری می باشد (Corda and Brandano, 2003). در برش های مورد مطالعه فرامینیفرای غالب این زون نوری شامل *Amphistegina*، *Heterostegina*، *Miogypsina* و گونه های از *Operculina* لنزی

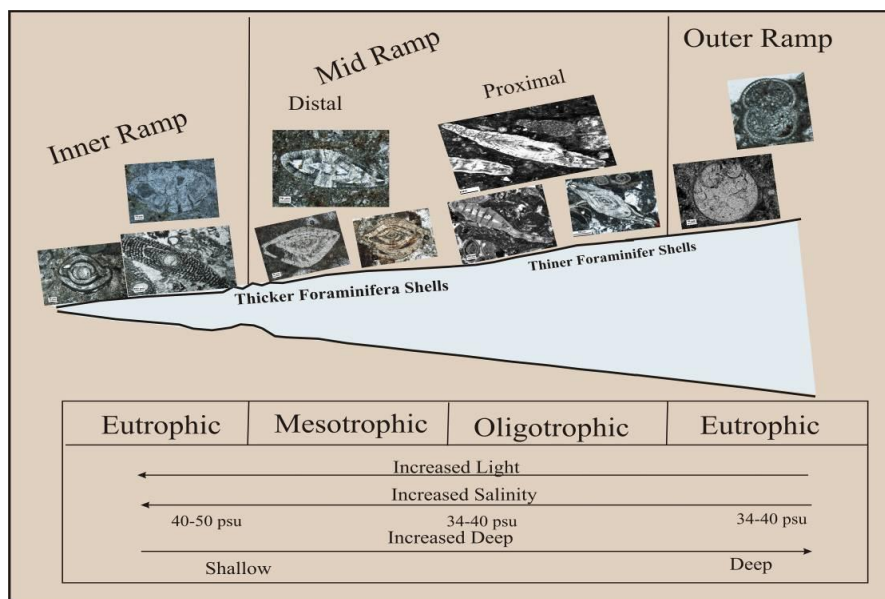
شکل با دیواره ضخیم می باشند. این مجموعه فرامینیفری در برش‌های مورد مطالعه نشان دهنده‌ی بخش دیستال رمپ میانی (Mid ramp) می‌باشد و تأیید کننده شرایط مزوتروفیک می‌باشند.

**نهشته‌های که تحت شرایط الیگوتروفیک (عمق بین ۷۰ تا ۱۳۰ متری): نهشته شدند:**

در زون الیگوتروفیک موجوداتی که وابسته به نور کم هستند، حضور دارند. در این زون فرامینیفرها با پوسته هیالین، بزرگ و کشیده و جلبک‌های قرمز حضور دارند (Pomar, 2001; Bassi *et al.*, 2007). رسوبات نهشته شده در این زون نوری دارای شوری نرمال بین 34 – 40 Psu می‌باشد (Beavington- Penny and Racey, 2004). وجود اجتماعات فرامینیفری بنتونیک مانند Operculina و Heterostegina همراه با جلبک‌های قرمز در پلاتفرم‌های کربناته شاخص محیط‌های گرمسیری تا نیمه گرمسیری می‌باشد (Corda and Brandano, 2003). در برش‌های مورد مطالعه فرامینیفرای غالب این زون نوری شامل Amphistegina, Asterigerina, Heterostegina و گونه‌های از Operculina با پوسته‌ای بزرگ، کشیده و دیواره نازک می‌باشند. همچنین قابل ذکر است که همراه با این فرامینیفرای هیالین، فراوانی و تنوع آلوکم‌های اسکلتی مربوط به محیط دریایی (موجودات استنوهالین) نظیر اکینوئید، بریوزوئر، مرجان، پلسی پودا دیده می‌شوند که نشان‌دهنده‌ی این است که بخش‌های میانی برش‌های مورد مطالعه در بخش پروکسیمال رمپ میانی (Mid ramp) نهشته شده‌اند و تأیید کننده شرایط الیگوتروفیک می‌باشند.

**نهشته‌های که تحت شرایط یوتروفیک (عمق بیش از ۲۰۰ متر): نهشته شدند:**

در زون آفوتیک (عمق بیش از ۲۰۰ متر) موجوداتی که مستقل از نور هستند، حضور دارند. در این زون موجودات وابسته به نور حضور ندارند و نهشته‌های حاوی فرامینیفرای پلانکتونیک که فاقد جلبک‌های قرمز هستند، گسترش دارند. (Pomar, 2002). Bassi *et al.*, 2007; Geel 2000 رسوبات نهشته شده در این زون نوری دارای شوری نرمال بین 34 – 40 Psu می‌باشد (Beavington- Penny and Racey, 2004). در برش‌های مورد مطالعه فرامینیفرای غالب این زون نوری شامل فرامینیفرای پلانکتونیک نظیر Orbulina, Globigerinoides, Globigerina, Praeorbulina, Globoquadrina می‌باشند. این مجموعه فرامینیفری در برش‌های مورد مطالعه نشان دهنده‌ی رسوبات بخش رمپ خارجی (Outer ramp) بوده و تأیید کننده شرایط یوتروفیک می‌باشند.



شکل ۲: تغییرات محیط دیرینه بر اساس جنس و شکل هندسی پوسته فرامینیفرها، همراه با تغییرات در محیط‌های رسوبی متفاوت.

sample name	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} [\text{‰ V-PDB}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} [\text{‰ V-PDB}]$
NN273	0.51	-3.22
NN306	1.18	-2.90
NN361	1.18	-1.34
NN330B	0.98	-1.19
BH164	-1.05	-3.72
BH.I	1.2	-2.35
BH-48	1.48	-2.63
BH_118	-0.28	-2.60
HI	2.1	-2.06
H5	2.20	-4.02
HI77	0.27	-2.77
HI33	1.54	-3.84
AK289	1.26	-5.08
AK-378	0.92	-4.35
AK394	0.66	-3.53
AK435	-0.87	-2.61

در اثر تغییرات حرارت، تغییرات شوری محلی و تغییرات دیاژنزی در محیط‌های رسوبگذاری، تغییرات ایزوتوپی در کربنات‌های قدیمی دیده می‌شود که تابع تفریق ایزوتوپی می‌باشند. بنابراین یکی از روش‌های مهم برای تعیین دمای محیط دیرینه اندازه‌گیری تغییرات ایزوتوپ‌های پایدار کربن  $\delta^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  می‌باشد. (Shackleton and Kennett, 1975, Frideman and O'Neil 1977, Anderson and Arthur 1983) در این تحقیق به منظور محاسبه دمای دیرینه نهشته‌های آهکی سازند میشان ۱۶ نمونه مورد آنالیز ایزوتوپی اکسیژن و کربن قرار گرفتند. اکسیژن نسبت به تغییرات درجه حرارت خیلی حساس است و از میزان آن در سیستم کربنات کلسیم-آب-بیکربنات کلسیم برای بازسازی درجه حرارت محیط دیرینه استفاده می‌شود. چندین معادله توسط محققین مختلف برای اندازه‌گیری محدوده دمای محیط دیرینه پیشنهاد شده است. (Shackleton and Kennett 1975; Friedman and O'Neil 1977; Anderson and Arthur 1983). در این تحقیق با توجه به داده‌های حاصل از آنالیز ایزوتوپی پایدار کربن  $\delta^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  از معادله Anderson and Arthur (1983) برای محاسبه دمای دیرینه استفاده شده است.

$$T=16.9 - 4.14 (\delta_{\text{C}} - \delta_{\text{W}}) + 0.13 (\delta_{\text{C}} - \delta_{\text{W}})^2$$

$\delta_{\text{C}}$  نسبت ایزوتوپی اکسیژن در کلسیت نسبت به استاندارد PDB که صدف بلمنیت از سازند Peede و  $\delta_{\text{W}}$  نسبت ایزوتوپی اکسیژن در آب نسبت به استاندارد SMOW می‌باشد. مقدار نسبت ایزوتوپی اکسیژن برای میوسن پایینی حدود ۲ ‰ تعیین شده است (Zachos et al., 2001). در برش‌ها مورد مطالعه، میزان متوسط اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  حدود ۳- ‰ و میزان متوسط کربن  $\delta^{13}\text{C}$  حدود ۷/۰ ‰ تعیین شد که نشان دهنده دمای دیرینه ی حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

بسیاری از محققان معتقد هستند که تغییرات دما در زمان نهشته شدن کربنات کلسیم، باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ایزوتوپ پایدار اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  می‌شود. همچنین شیمی کربنات‌های دریایی نیز بر میزان اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  در صدف‌های کربناته تأثیر دارند. در PH بالاتر و یا غلظت  $\text{CO}_3$  بیش تر به پیدایش صدف‌های سبک تر از نظر ایزوتوپی منجر می‌شود که دلیل آن تغییر شیمیایی آب دریا است. بنابراین با اندازه‌گیری تغییرات ایزوتوپی اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  در کربنات‌های مورد مطالعه در این تحقیق مشخص شد که کاهش نسبی میزان اکسیژن  $^{18}\text{O}$  (حدود ۳-) در کربنات‌های مورد مطالعه می‌تواند معرف افزایش دمای دیرینه این رسوبات باشد (میزان پایداری اکسیژن  $^{18}\text{O}$  در آب‌های گرم کم می‌باشد). از طرفی افزایش نسبی میزان  $^{13}\text{C}$  (حدود ۰/۷) در کربنات‌های مورد مطالعه می‌تواند معرف فعالیت‌های زیستی زیاد در زون نورانی نزدیک به سطح آب اقیانوس قدیمه باشد و نشان دهنده ی شرایط آب و هوایی گرم می‌باشد (در زون نورانی موجودات برای ساخت بافت‌های خود ترجیحاً  $^{12}\text{C}$  را مورد استفاده قرار می‌دهند و در نتیجه منجر به افزایش نسبی  $^{13}\text{C}$  در آب‌های کم عمق می‌شوند).

در این تحقیق تغییرات ایزوتوپ‌های پایدار کربن  $\delta^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $\delta^{18}\text{O}$  نشان‌دهنده‌ی دمای دیرینه‌ی حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و شرایط آب و هوایی گرم می‌باشد که با نتایج حاصل از مطالعه فراوانی و توزیع فرامینیفرها بر اساس شکل هندسی فرامینیفرها مطابقت دارد و نشان‌دهنده‌ی رسوب‌گذاری در آب‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری با متوسط دمای آب ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، تحت شرایط الیگوتروفیک تا مزوتروفیک و یوتروفیک می‌باشد.

#### نتیجه گیری:

برای رسیدن به اهداف مورد نظر، ۶۶۸ نمونه برداشت شده از نهشته‌های سازند میشان در برش‌های چینه‌نگاری هندون، انگورو، باویون و نخ مورد مطالعه قرار گرفتند. فرامینیفرهای شناسایی شده با توجه به شکل هندسی و محیط زندگی در چهار گروه شکلی شامل فرامینیفرها با پوسته پورسلانوز، بزرگ، ضخیم و تخم مرغی، فرامینیفرها با پوسته هیالین، عدسی شکل، متورم و لنزی شکل، فرامینیفرها با پوسته هیالین، بزرگ و کشیده و فرامینیفرهای پلانکتونیک قرار داده شدند. توزیع فرامینیفرها در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده‌ی رسوب‌گذاری در آب‌های گرم، تحت شرایط الیگوتروفیک تا مزوتروفیک و یوتروفیک می‌باشد. بر اساس مطالعه فرامینیفرهای بنتونیک بزرگ با پوسته پورسلانوز و هیالین، متوسط دمای آب بین ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. همچنین در این تحقیق تغییرات ایزوتوپ‌های پایدار کربن  $^{13}\text{C}$  و اکسیژن  $^{18}\text{O}$  مورد بررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده‌ی دمای دیرینه‌ی حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و شرایط آب و هوایی گرم می‌باشد. در نهایت مشخص شد که رسوبات سازند میشان در برش‌های مورد مطالعه در آب‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری با متوسط دمای آب ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، تحت شرایط الیگوتروفیک تا مزوتروفیک و یوتروفیک نهشته شدند.

#### منابع:

- دانشیان، ج، درخشانی، م، و معلمی، ع، ۱۳۹۵. تعیین سن نسبی نهشته‌های سازند میشان براساس فرامینیفرها و ایزوتوپ استرانسیم در شمال غرب و غرب بندرعباس، جنوب ایران، مجله علمی- پژوهشی پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی دانشگاه اصفهان- سال سی و دوم، شماره پیاپی ۳۶، شماره دوم، صفحات ۵۴-۳۵.
- دانشیان، ج، درخشانی، م، و معلمی، ع، ۱۳۹۶. مطالعه روزن بران سازند میشان در برش چینه نگاری هندون واقع در شمال غرب بندرعباس و کاربرد آن در چینه نگاری سکانسی، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز- شماره ۲۳، صفحات ۴۱-۲۹.

Anderson, TF., Arthur, MA., 1983. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. In: Arthur MA, Anderson TF, Kaplan IR, Veizer J, Land L (eds) Stable isotopes in sedimentary geology: SEPM Short Course Notes 10, Section 1.1:1-151.

Bassi, D., Hottinger, L., Nebelsick, J., 2007. Larger foraminifera from the Upper Oligocene of the Venetian area, North-East Italy. Paleontology, 50: 845-868.

- Beavington-Penney, S. J., and Racey, A., 2004. Ecology of extant nummulitids and other larger benthic foraminifera: applications in palaeoenvironmental analysis. *Earth-Science Reviews*, 67: 219-265.
- BouDagher-Fadel, M. K., 2008. Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. Elsevier, 1-540.
- Brandano M., Frezza V., Tomassetti L., Cuffaro M., 2009. Heterozoan carbonates in oligotrophic tropical waters: the attard member of the lower coralline limestone formation (Upper Oligocene), Malta. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 274:54-63
- Corda, L., and Brandano, M., 2003. Aphotic zone carbonate production on a Miocene ramp, Central Apennines, Italy: *Sedimentary Geology*, 161: 55-70.
- Friedman, I., O'Neil, JR., 1977. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. In: Fleischer M (ed) *Data of geochemistry*, 6th edn. US Geological Survey Prof. Paper, 440- KK, pp 1-12.
- Geel, T., 2000. Recognition of stratigraphic sequence in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analysis of Palaeogene deposits in southestern Spain. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 155:211-238.
- Hottinger, L., 1997. Shallow benthic foraminiferal assemblages as signals for depth of their deposition and their limitations. *Bull Soc Géol Fr* 168:491 - 505.
- Hottinger, L., 1983. Processes determining the distribution of larger foraminifera in space and time. *Utrecht Micropaleontol Bull* 30:239-253.
- Hohenegger, J., 2004. Depth coenoclines and environmental consideration of Western Pacific larger foraminifera. *J Foraminifer Res* 34:9-33.
- Iranian Oil Offshore Company, 1969. Geological map of sw Iran, , scale 1:1000000, compiled by the Geological and Exploration Division.
- Murray. JW., 1991. Ecology and palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman scientific & technical. Harlow, Essex.
- Murray, JW., 2006. Ecology and applications of Benthic Foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pomar, L., 2001. Ecological control at sedimentary accommodation: evolution from a carbonate ramp to rimmed shelf, Upper Miocene, Balearic Island: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 175: 249-272.
- Pomar, L., Brandano, M., Westphal, H., 2004. Environmental factors influencing skeletal grain sediment associations: a critical review of Miocene examples from the western Mediterranean. *Sedimentology* 51:627-651.
- Romero, J., Caus E, Rossel, J., 2002. A model for the paleoenvironmental distribution of larger foraminifera based on Late-Middle Eocene deposits on the margin of the south Pyrenean basin. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 179:43-56.
- Shackleton, NJ., Kennett, JP., 1975. Palaeotemperature history of the Cenozoic and the initiation of Antarctic glaciation: oxygen and carbon isotope analysis in DSDP Sites 277-279 and 281. *Initiate report DSDP XXIX* 743-755.

## بررسی بوم شناسی دیرینه روزنبران کرتاسه پیشین در برش گزرش (شمال شرق رفسنجان)

طیبه احمدی\*<sup>۱</sup>، حسین خون چمن<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

t.ahmadi@pnu.ac.ir

### چکیده:

در ۳۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان رفسنجان (استان کرمان) رخنمون‌هایی از نهشته‌های کربناتی به سن کرتاسه وجود دارند. این نهشته‌ها از نگاه کلی به دو بخش زیرین شامل لایه‌های مارن و میان لایه‌های نازک آهک و بخش بالایی شامل سنگ آهک و میان لایه‌های نازک مارن تقسیم می‌شوند. این لایه‌ها حاوی مجموعه‌ای گوناگون از روزنبران می‌باشند. روزنبران شناور در بخش زیرین و روزنبران کفزی به ویژه اربیتولین‌ها به همراه جلبک‌های آهکی در بخش بالایی فونای غالب را تشکیل می‌دهند. نظر به تاثیر پذیری این موجودات از تغییرات محیطی، از آنها جهت تشخیص شرایط محیط دیرینه استفاده شده است. فراوانی روزنبران شناور (*Hedbergella* spp. (r-selected) در بخش زیرین بیانگر ناحیه کم عمق دریای باز و فراوانی مواد مغذی است. در بخش بالایی برش پراکندگی روزنبران کفزی و حضور جلبک‌های سبز نشان می‌دهد که رسوبگذاری در محیط دریایی اکسیژن‌دار در زون نورانی آب و در شرایط حاره‌ای تا نیمه حاره‌ای و بستری متشکل از مواد نرم و ریزدانه و مواد غذایی کافی انجام شده است.

کلیدواژه: دیرینه بوم شناسی، کرتاسه، روزنبران، رفسنجان.

## Paleoecological analysis of Early Cretaceous foraminifera in Gazeresh Section (northeastern Rafsanjan)

Tayebeh Ahmadi<sup>1</sup>; Hossein Khonchaman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of geology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

### Abstract

There are outcrops of Cretaceous carbonate deposits, 35 km northwest of Rafsanjan city (Kerman province). The sequence is subdivided into two lithological units (lower and upper) based on fieldwork. The units are made up mainly of marls with intercalated thin-bedded limestones and limestones with thin marly intercalated layers, respectively. These layers are characterized by having diverse assemblages of both planktonic and benthic foraminifera. Due to their sensitivity to environmental parameters, they have been used for identifying the paleoenvironment. The high abundance of r-selected *Hedbergella* spp. in the lower unit reflects a nutrient-rich/eutrophic shallow open marine environment. The larger benthic foraminifera (orbitolinid) and calcareous algae in the upper unit show that deposition has occurred in the aerobic, shallow to slightly deep-water mesotrophic environment under tropical to subtropical conditions and fine-grained substrate.

### مقدمه:

پلاتفرم‌های کربناتی کم‌عمق دریایی به تغییرات آب و هوا، تغییرات سطح آب دریا و ویژگی‌های آب دریا (فیزیکی و بیولوژیکی) حساس هستند زیرا اغلب موجودات تولید کننده کربنات کلسیم به شرایط اکولوژیکی خاصی نیاز دارند (Schlager et al., 1988; Philip, 2003). جوامع مختلف زیستی ممکن است تغییرات دما، شوری، نور و یا مواد مغذی ناشی از تغییرات جهانی یا ناحیه‌ای محیط دیرینه را منعکس کنند. روزنبران یکی از وسیع ترین گروه موجودات مورد استفاده، برای مطالعه محیط‌های دریایی و بازسازی محیط دیرینه می باشند (Alperin et al., 2011). پراکندگی گونه‌های مختلف روزنبران امروزی به تغییرات فیزیکوشیمیایی آب دریا مثل دما، شوری، بستر، اکسیژن حل شده و مواد غذایی وابسته است (Boltovskoy, )



(1966; Murray, 1991, 2006) که منجر به شکل گیری مطالعات بسیاری در رابطه با اکولوژی جوامع روزنبران شده است (e.g., Hayward et al., 1996, 2002; Bernasconi and Cusminsky, 2005; Alperin et al., 2008).

در این پژوهش یک برش چینه‌شناسی از نهشته‌های کرتاسه پیشین و میانی در نزدیکی روستای گزرش واقع در ۳۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان رفسنجان (استان کرمان) انتخاب و با استفاده از مجموعه روزنبران (کفزی و شناور) و سایر عناصر بیژنیک مثل جلبک‌ها و ویژگی‌های لیتولوژیکی شرایط اکولوژیکی حاکم بر محیط دیرینه مطالعه شده است.

بحث:

روزنبران در برش مورد مطالعه شامل مجموعه‌ای فراوان و متنوع از هر دو گروه روزنبران کفزی و شناور هستند. علاوه بر روزنبران جلبک‌های آهکی نیز از دیگر تشکیل دهنده‌های این نهشته‌ها می‌باشند. پراکندگی و تغییرات میکروفسیل‌های فوق در طول برش و شواهد همراه نظیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی بازتابی از تغییرات محیط دیرینه در زمان رسوبگذاری است.

عمق محیط:

مورفولوژی روزنبران شناور، ویژگی مهمی برای تشخیص عمق محیط دیرینه است (Premoli Silva and Silter, 1999; Keller et al., 2002). این روزنبران عموماً با عمق خاصی از ستون آب سازگارند. در زمان کرتاسه میانی نیز همانند امروز، مورفوتایپ‌های ساده و متورم محیط‌های نزدیکی سطح آب و انواع پهن و کیل دار زیستگاه‌های عمیق‌تر را اشغال می‌کردند (Leckie, 1987). لوکی (Leckie, 1987) سه مورفوتایپ از روزنبران شناور کرتاسه را بر اساس عمق معرفی نموده است. ۱- فونای متعلق به دریاهای اپی کانیننتال ( $<100\text{ m}$ ) که شامل گونه‌های مختلف جنس‌های *Gubkinella*, *Guembeltria* و *Heterohelix* می‌باشند. ۲- فونای تشکیل دهنده آب‌های کم‌عمق دریای باز ( $<100\text{ m}$ ) که به طور عمده از گونه‌های *Hedbergella* spp. و *Globigerinelloide* spp. تشکیل شده اند. ۳- فونای کارن‌دار شامل گونه‌های مختلف جنس‌های *Rotalipora*, *Planomalina* و *Praeglobotruncana* می‌باشند که مختص آب‌های عمیق دریای باز هستند.

در برش مورد مطالعه در میان لایه‌های نازک آهکی بخش زیرین برش، روزنبران شناور فونای غالب را تشکیل می‌دهند. در این بخش اگر چه نسبت روزنبران شناور به کفزی بالا است اما در حقیقت روزنبران شناور این بخش، گونه‌های مختلف جنس هدبرگلا (*Hedbergella*) هستند که در محیط کم‌عمق و نزدیک به سطح آب زیست می‌نمایند و نشان می‌دهد نسبت بین روزنبران شناور به کفزی (P/B% ratio) به تنهایی نمی‌تواند شاخصی از عمق محیط دیرینه باشد (Hewaidy et al., 2019).

در بخش فوقانی برش روزنبران کفزی فونای غالب را تشکیل می‌دهند و روزنبران شناور فقط در برخی افق‌ها، به تعداد بسیار اندک حضور دارند. در این لایه‌ها اربیتولین‌ها نسبت به سایر روزنبران کفزی فراوان‌ترند. این روزنبران آگلوتینه در بسیاری از محیط‌های کربناته کم عمق شکوفا شدند (Arnaud-Vanneau, 1980). اربیتولین‌ها از روزنبران کفزی بزرگ و همزیست با جلبک‌ها می‌باشند که جلبک همزیست آنها در بخش زون حاشیه‌ای (marginal zone) پوسته زیست می‌نماید (Hottinger, 1997). نیاز جلبک همزیست به نور کنترل‌کننده عمق زیست آنهاست به طوری که آن‌ها نشانگر محیط‌های الیگوتروفیک و کم‌عمق هستند. با این وجود ویلاس و همکاران (Vilas et al., 1995) و بیرکلاند (Birkeland, 1988) معتقدند که این میکروارگانیسم‌ها در شرایط مزوتروفیک با ورود بالای مواد مغذی نیز زیست می‌نمایند که نشان می‌دهد آنها توانایی سازش با شرایط متفاوت محیطی را دارند. مطالعات ویلاس و همکاران (Vilas et al., 1995) در ناحیه جنوب شرق اسپانیا (Albacete-Prebetic: SE Spanish) نشان داد که *Palorbitolina lenticularis* در سر تا سر سیستم پلاتفرم از ناحیه لیتورال تا شلف بیرونی گسترش دارد و مدل گسترش این گونه برای جنس‌های دیگر کرتاسه میانی نظیر *Mesorbitolina* قابل تعمیم است. بر اساس این مطالعه *Palorbitolina* از ناحیه پلاتفرم تا بخش بیرونی شلف تغییرات مورفولوژیکی و ساختاری قابل توجهی دارد به طوری که نمونه‌های مربوط به آب‌های کم‌عمق کوچک‌تر و مخروطی‌تر (مرتفع تر) از انواع آب‌های عمیق هستند. ارتباط بین شکل و عمق دیرینه در روزنبران بزرگ امروزی نیز دیده می‌شود. به طور مثال

ریس و هوتینگر (Reiss & Hottinger, 1984) روند پهن شدگی را در جنس *Operculina* با افزایش عمق گزارش کردند. این رفتار روزنبران جهت سازگاری با کاهش نور در اعماق بالاتر است (Hottinger, 1983; Hallock, 1979, 1985). در برش مورد مطالعه گونه‌های فسیلی به طور غالب به دو جنس *Mesorbitolina* و *Palorbitolina* تعلق دارند بنابراین استفاده از الگوی ویلاس و همکاران (Vilas et al., 1995) برای تعیین عمق می‌تواند کاربردی باشد. به طور کلی اغلب گونه‌های اربیتولین در برش مورد مطالعه از نوع مخروط کوتاه هستند که بیانگر عمق کم محیط است. فقط در افق‌های کم ضخامتی در بخش میانی برش انواع پهن فراوان‌تر می‌شوند که به نظر می‌رسد عمق محیط در این محدوده اندکی افزایش یافته است. به طور کلی در بخش فوقانی برش تغییرات عمق و انرژی محیط دیده می‌شود به طوری که در دوره‌های کوتاه رخساره‌های گرینستون/رودستون رخساره غالب هستند که حاکی از افزایش انرژی محیط است.

روزنبران کفزی بزرگ به دلیل تک سلولی بودن سازش سریعی با شرایط محیطی در طول تغییرات تکاملی شکل و ساختارشان نشان می‌دهند. به عنوان مثال مکان‌های کم عمق با محتوای رس بالا دارای اربیتولین‌های بزرگ شبیه اربیتولین-های آب‌های عمیق دارند (Pittet et al., 2002). بنابراین در بکارگیری اربیتولین‌ها برای شناخت پالئوآکولوژی نه تنها باید شکل اربیتولین‌ها را بررسی کرد بلکه بررسی مجموعه روزنبران همراه و رسوبات نیز ضروری است (Boudagher-Fadel et al., 2017).

در برش مطالعه شده حضور جلبک‌های همراه با اربیتولین‌ها تاییدی بر عمق کم محیط می باشد زیرا جلبک‌ها به محیط‌های کم عمق، اکسیژن دار و با نور بالا اختصاص یافته‌اند (Flugel, 1982). همچنین حضور همزمان گونه‌های سطح زی و درون‌زی نیز تاییدی بر این مطلب است زیرا این موجودات در محیط‌های کم عمق با هم دیده می شوند (Corliss and Chen, 1988).

#### شوری آب:

تغییرات شوری در محیط‌های دور از ساحل کمتر از آن است که از نظر اکولوژیکی مهم باشد ولی در محیط‌های نزدیک به ساحل، تغییرات شوری قابل توجه است و می‌تواند عامل مهمی در کنترل توزیع روزنبران باشد (Phleger, 1960). بر طبق نظر هوتینگر (Hottinger, 1983) دما و شوری در مقادیر بالا می‌توانند عامل محدود کننده‌ای برای روزنبران کفزی بزرگ باشند. تنوع بسیار زیاد روزنبران در نهشته‌های برش گزرش و فراوانی قابل ملاحظه آنها نشان می‌دهد که شوری آب دریا در زمان نهشته شدن رسوبات در حد طبیعی و نرمال بوده است به طوری که مجموعه‌ای از گونه‌های مختلف روزنبران قادر به سازگاری و زیست در آن بوده‌اند. وجود موجودات استنوهالین مانند اکینودرم‌ها و دوکفه‌ای‌ها نیز نشان دهنده شوری عادی و محیط باز و امواج آشفته است (Flugel, 2010). علاوه بر این حضور برخی انواع جلبک‌های آهکی مثل جلبک‌های خانواده Udoteaceae نیز بر آن دلالت دارد. جلبک‌های این خانواده در آب‌های با شوری نرمال نواحی گرم استوایی و در محیط لاگون تا سدهای ریفی شلف کربناته گسترش دارند (Flugel, 2010).

#### درجه حرارت:

درجه حرارت عامل محیطی دیگری است که بر بسیاری از خواص فیزیکی و شیمیایی و بسیاری از فرایندهای بیولوژیکی محیط‌های دریایی موثر است. روزنبران موجوداتی پویکیلوترماتیک هستند به طوری دمای بدنشان نزدیک به دمای آبی است که در آن قرار دارند (Beavington-Penney & Racey, 2004).

توزیع گسترده روزن داران کف زی دریا می‌تواند به وضوح به محدوده دما، به ویژه محدوده دمای فصلی که روی تولید مثل تأثیر می‌گذارد، مرتبط باشد. توزیع روزنبران کفزی بزرگ دارای همزیست اساسا مشابه با موجودات گرمسیری و نیمه گرمسیری، مانند مرجان‌ها و مانگروها است و در یک کمربند آب و هوایی جهانی که با ایزوترم تابستانی ۲۵ درجه سانتی گراد مشخص شده، قرار می‌گیرد (Murray, 1973; Adams et al., 1990; Plaziat and Perrin, 1992).

همانطور که قبلا نیز ذکر شد روزنبران خانواده اربیتولینیده (*Palorbitolina*, *Mesorbitolina*, *Praeorbitolina*, ) در برش گزرش فونای اصلی را از نظر فراوانی و تنوع تشکیل می‌دهند. بیشترین گسترش این روزنبران

بزرگ در محیط‌های حاره‌ای و نیمه حاره‌ای است. حضور جلبک‌های سبز و مرجان‌ها که از ارگانوسم‌های شاخص آب‌های گرم و کم عمق نسبتاً نزدیک به ساحل هستند؛ نیز تاییدی بر تفسیر فوق است.

#### بستر رسوبی:

مشخصات کف بستر رسوبی تأثیر فراوانی در مجموعه روزنبران دارد. تحقیقات نشان داده است که بین تنوع گونه‌ها و پایداری کف حوضه‌ها ارتباط نزدیکی وجود دارد (Johnson, 1971). جوامع بنتیک با گروه‌های غذایی مختلط نشان می‌دهد که بستر رسوبی از پایداری فیزیکی نسبی بهره‌مند بوده و دارای طیف وسیعی از ذخایر غذایی در دسترس است (Koutsoukos and Hart, 1990).

به باور اسکات (Scott, 1976) پیچیدگی ساختارهای غذایی جوامع روزنبران بنتیک با پایداری محیط از نظر انرژی رابطه دارد به طوری که نسبت گونه‌های با عادات غذایی متفاوت با کاهش انرژی محیط (محیط پایدار) افزایش می‌یابد. بررسی‌های پالئو اکولوژیکی نشان می‌دهند که روزنبران کفزی در برش مورد مطالعه به دو صورت در رسوبات زندگی می‌کرده‌اند.

۱- سطح‌زی‌ها که شامل روزنبران *Pseudocyclamina Nezzazata*, *Glomospira amiliolids*, *orbitolinids*, *Charentia*, *Lenticulina* و *Haplophramoides* هستند.

۲- درون‌زیها که جنس‌های *Cuneolina*, *Sabaudia*, *Pseudotextulariella*, *Ammobaculites*, *textularids* و *Praechrysalidina* را در بر می‌گیرد.

از بین روزنبران فوق گونه‌های سطح‌زی فراوانی بالاتری دارند. گونه‌های سطح‌زی با تغذیه رسوب خواری در بسترهای متشکل از گل‌های آهکی دانه ریز فراوانند (Koutsoukos and Hart, 1990). بافت سنگ‌ها نیز عموماً پکستون/وکستون است. بنابراین بستر رسوبی از گل‌های آهکی دانه ریز و نرم تشکیل شده است.

#### اکسیژن محیط:

درجه اکسیژن رسانی و در نتیجه موقعیت مرز کاهش اکسیژن (زیر این مرز آب بین منفذی فاقد اکسیژن است) ساختار اکولوژیکی مجموعه روزنبران را کنترل می‌کند. کاهش اکسیژن تأثیر زیادی بر روی مجموعه روزنبران دارد. بسیاری از روزنبران در تحت چنین شرایطی به سرعت از بین می‌روند.

مورفولوژی پوسته روزنبران بنتیک در محیط‌های اکسیژن‌دار و فاقد اکسیژن متفاوت می‌باشد. در محیط‌های بدون اکسیژن روزنبران اغلب پوسته‌های کوچک، نازک، منفذدار و فاقد تزیینات دارند زیرا در این محیط‌ها توانایی موجود جهت ترشح کربنات کلسیم کاهش می‌یابد (Rhoads and Morse, 1971).

نحوه زندگی روزنبران نیز نقش مهمی در مقاومت آنها در شرایط کمبود اکسیژن ایفا می‌کند. گونه‌های سطح‌زی که اغلب با پیچش تروکواسپیرال مشخص می‌شوند، نسبت به گونه‌های درون‌زی در شرایط کمبود اکسیژن مقاومت کمتری دارند (Culver, 2003). روزنبران موجود در محیط‌هایی با اکسیژن کم اساساً شامل گونه‌های آهکی با ریز زیستگاه‌های درون‌زی و نیز درصد کمی از گونه‌های تک حجره‌ای با پوسته‌های بدون تزیینات می‌باشند (Gooday et al., 2000).

همانطور که قبلاً نیز عنوان شد در برش مورد مطالعه در بخش پایینی برش تنها روزنبران شناور هدبرگلید وجود دارند و هیچ گونه روزنبر شناور کارن‌دار در این بخش مشاهده نشد. اگر چه بنا به باور بسیاری از محققین غالب شدن روزنبران هدبرگلا (r-selected) و عدم حضور انواع k-selected می‌تواند نشان از محیطی کم اکسیژن باشد ولی نبود انواع کارن‌دار در برش مطالعه شده به دلیل عدم ظهور روزنبران کارن‌دار در زمان باریمن پیشین می‌باشد زیرا روزنبران کارن‌دار تا زمان آپتین پسین ظاهر نشده بودند (Lockie, 1989). نبود دیگر شواهد محیط‌های آنوکسیک نظیر شیل‌های سیاه‌رنگ و حضور برخی روزنبران کفزی نیز دلیلی بر کافی بودن اکسیژن است.

در بخش فوقانی برش که روزنبران کفزی فراوانند، روزنبران سطح‌زی و درون‌زی با هم حضور دارند ولی روزنبران سطح‌زی در اکثریتند. در شرایط کم اکسیژن روزنبران سطح‌زی ناپایدارند و روزنبران درون‌زی در این شرایط سازگاری بالاتری دارند

(Lamolda, 1982; Hart, 1985). بنابراین فراوانی انواع سطح‌زی نشان می‌دهد که محیط در این بخش نیز از اکسیژن، بهره کافی داشته است.

#### مواد مغذی:

روزنبران مکانیسم‌های متنوعی را برای بدست آوردن غذا بکار می‌برند. در حقیقت در برخی روزنبران زنده، استراتژی غذایی شکل پوسته روزنبران را تعیین می‌نماید (Lipps 1975, Jones & Charnock 1985).

سیلوا و سیلتر (Silva & Silter, 1999) روزنبران شناور را بر حسب استراتژی به سه دسته تقسیم کردند. دسته اول انواع r strategy هستند. این گروه شامل روزنبران شناور با اندازه کوچک و مورفوتایپ ساده مانند *Heterohelix* (biserial) و *Hedbergella* (trochospiral) هستند که نشان‌دهنده محیط دریایی غنی از مواد غذایی (eutrophic) هستند. دسته دوم روزنبران شناور k-strategy هستند که شامل روزنبران با مورفوتایپ پیچیده و دارای یک یا دو کیل (*Globotruncanita*; *Globotruncana*) و *Contusotruncana* and *Globotruncana* و اندازه بزرگ هستند. دسته آخر انواع r/k strategy هستند که مخلوطی از r strategy و k strategy هستند و انواعی نظیر *Ventilabreolina*, *Pseudotextularia*, *Pseudoglobulina* و *Gansserina* و *Globigerinelloides* را شامل می‌شوند.

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد در بخش پایینی برش مورد مطالعه، گونه‌های مختلف جنس‌های *Hedbergella* و *Globigerinelloides* فونای غالب را تشکیل می‌دهند که نشان‌دهنده شرایط مزوتروفیک تا اتروفیک (meso- to eutrophic conditions) هستند.

همراهی اربیتولینیدهای دیسکوئیدال و جلبک‌های آهکی سبز و خارپوستان نشانه میزان بالای مواد غذایی است (Pittet et al., 2002). ایجاد شرایط مزوتروفیک و اتروفیک در زمان آپتین در پلاتفرم کربناتی و در محیط‌های همی پلاژیک منجر به ایجاد شرایط مساعد جهت شکوفایی بیوتای فرصت طلب غنی از اربیتولینید در لاگون‌های کم عمق و تشکیل شیل‌های سیاه رنگ در محیط‌های عمیق‌تر شده است (Raspini 2012). در برش مورد مطالعه روزنبران اربیتولینید بویژه گونه‌های دو جنس *Mesorbitolina* و *Palorbitolina* از فراوانی قابل توجهی دارند که به همراه سایر روزنبران سطح‌زی و درون‌زی، جلبک‌های سبز و قطعات ماکروفسیل خارپوستان، دو کفه‌ای‌های و مرجان‌ها دیده می‌شود. بر اساس مدل TROX (Jorissen et al., 1995) در محیط‌های مزوتروفیک موجودات سطح‌زی و درون‌زی با یکدیگر دیده می‌شوند. همراهی این ارگانسیم‌ها در بخش بالایی برش نشان می‌دهد محیط از نوع مزوتروفیک می‌باشد و مواد غذایی به حد کافی در دسترس بوده است.

#### نتیجه‌گیری:

رخمون‌های کرتاسه در شمال شرق رفسنجان شامل توالی ضخیمی از نهشته‌های کربناته (سنگ آهک و مارن) می‌باشند. مجموعه‌ای گوناگون از میکروفسیل‌ها و ماکروفسیل‌ها در این نهشته‌ها شناسایی شد که از بین آنها روزنبران و جلبک‌های آهکی جهت شناخت محیط دیرینه و بررسی شرایط پالئو اکولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارند. در بخش زیرین برش مطالعه شده روزنبران شناور و در بخش بالایی روزنبران کفزی به همراه جلبک‌های آهکی فونای غالب را تشکیل می‌دهند. علیرغم فراوانی روزنبران شناور در بخش پایینی برش، محیط از نوع کم‌عمق تشخیص داده شده است زیرا روزنبران شناور شامل انواع *Hedbergella* و *Globigerinelloide* می‌باشند که به محیط کم‌عمق دریای باز ( $<100$  m) و غنی از مواد غذایی اختصاص دارند. حضور فراوان اربیتولین‌ها به همراه جلبک‌های آهکی در بخش بالایی برش نیز بیانگر محیطی کم‌عمق تا کمی عمیق در بخش میانی و شرایط حاره‌ای تا نیمه حاره‌ای است. بستر رسوبی نرم و دانه ریز بوده و اکسیژن و مواد غذایی به اندازه کافی در دسترس بوده است.

منابع:

- Adams, C.G., Lee, D.E., Rosen, B.R., 1990. Conflicting isotopic and biotic evidence for tropical sea-surface temperatures during the Tertiary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 77, 289–313.
- Alperin, M., Bernasconi, E., Cusminsky, G., 2008. Asociaciones de foraminíferos bentónicos recientes de la Plataforma Continental Argentina (39°-43° S y 58°-65° O) analizadas con métodos estadísticos para datos composicionales. *Ameghiniana* 45 (2), 443–461.
- Arnaud-Vanneau, A. 1980. Micropaléontologie, paléocéologie et sédimentologie d'une plate-forme carbonatée de la marge passive de la Téthys: l'Urgonien du Vercors septentrional et de la Chartreuse (Alpes occidentales). *Géologie Alpine, mémoires hors série* 11, 1-874.
- Bernasconi, E., Cusminsky, G., 2005. Distribución de *Nonionella auris* (d'Orbigny) Orden Foraminiferida en el golfo San Matías, Provincias de Río Negro, Argentina. *Ameghiniana* 44 (1), 167–174.
- Beavington-Penney, S.J. & Racey, A., 2004. Ecology of extant Nummulitids and other large benthic foraminifera, applications in palaeoenvironmental analysis, *Earth Science* 67, 219-265.
- Birkeland, C., 1988. Second-order ecological effects of nutrient input into coral communities: *Galaxea*, 91–100.
- Boltovskoy, E., 1966. Depth at which foraminifera can survive in sediments. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* 17, 43-5.
- Boudagher- Fadel, M. K., Hu, X., Price, G. D., Sun, G., Wang, J. G, An, W., 2017. Foraminiferal Biostratigraphy and Palaeoenvironmental Analysis of the Mid-cretaceous Limestones in the Southern Tibetan Plateau. *Journal of Foraminiferal Research* 47(2),
- Corliss, B.H., Chen, C. 1988. Morphotype patterns of Norwegian sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, 16, 716-719.
- Culver, S.J. 2003. Benthic foraminifera across the Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary: a review. *Marine Micropaleontology* 47 (3-4), 177-226.
- Flügel, E. 1982. *Microfacies analysis of limestone*. Springer, Berlin, 633pp.
- Flügel, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*, Springer- Verlag, Berlin, 976 pp.
- Gooday, A. J., J. M. Bernhard, L. A. Levin, and S. B. Suhr, 2000. Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings: Taxonomic composition, diversity, and relation to metazoan faunas: *Deep Sea Research II* 47, 25–54.
- Hallock, P., 1979. Trends in test shape with depth in large symbiont-bearing foraminifera. *Journal Foraminifera Research* 9, 61-69.
- Hallock, P., 1985. Why are larger foraminifera large? *Palaeobiology* 11, 195-208.
- Hart, M.B., 1985. Oceanic anoxic event 2 on-shore and off-shore SW England: *Proceeding of the Ussher Society*, 6, 183-190.
- Hayward, B., Grenfell, H., Cairns, G., Smith, A., 1996. Environmental controls on benthic foraminiferal and thecamoebian associations in a New Zealand tidal inlet. *Journal of Foraminiferal Research* 26, 150–171.
- Hayward, B., Neil, H., Carter, R., Grenfell, H., Hayward, J., 2002. Factors influencing the distribution patterns of recent deep-sea benthic foraminifera, east of New Zealand, Southwest Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology* 46, 139–176.
- Hewaidy, A.G.A., Farouk, S., Mandur, M.M.M., Agroudy I.S.EL., 2019. Planktonic foraminiferal and paleoenvironments of the Upper Campanian-Maastrichtian succession in Wadi Qena, Egypt, *Egyptian Journal of Petroleum* 28, 47–59.
- Hottinger, L., 1997. Shallow benthic foraminiferal assemblages as signals for depth of their deposition and their limitations: *Bulletin de la Société Géologique de France* 168, 491–505.
- Hottinger, L., 1983. Processes determining the distribution of larger foraminifera in space and time. In: I. Meulenkamp (Editor), *Reconstruction of Marine Paleoenvironments*. *Utrecht Micropaleontol. Bull.*, 30: 239-253.
- Johnson, R.G., 1971. Animal-Sediment relations in shallow water benthic communities. *Marine Geology* 11, 93-104.
- Jones, R.W. and Charnock, M.A., 1985. Morphogroups of agglutinating foraminifera, their life positions and feeding habits and potential applicability in (paleo) ecological studies. *Revue de Paléobiologie* 4, 311-320.
- Jorissen, F.J., Stigter, H.C., Widmark, J.G.V., 1995. A conceptual model explaining benthic Foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology* 26, 3-15.
- Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W., Luciani, V., Karoui-Yaakoub, N. and Zaghbi-Turki, D., 2002. Paleocology of the Cretaceous-Tertiary mass extinction in planktonic foraminifera. *Paleoecology Paleogeography Paleoclimatology* 178, 257-297.
- Lamolda, M.A., 1982. Le Turonian Basco-Cantabrique et ses faunes caractéristiques: *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, C49, 101-112.

- Leckie, M., 1987. Paleocology of Mid-Cretaceous Planktonic Foraminifera: A Comparison of Open Ocean and Epicontinental Sea Assemblages, *Micropaleontology* 33 (2), 164-176.
- Lipps, J. H. 1975, Feeding strategies and test function in Foraminifera. *Benthonics '75, Abstracts*, 26. Halifax, Nova Scotia: Dalhousie University.
- Murray, J.W. 1973. Distribution and ecology of living benthic foraminiferids. Heinemann, London.
- Murray, J.W. 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific and Technical, England, 1-397.
- Philip, J., 2003. Peri-Tethyan neritic carbonate areas: distribution through time and driving factors, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 196, 19–37.
- Phleger, F.B., 1960. Ecology and Distribution of Recent Foraminifera. John Hopkins Univ. Press, Baltimore.
- Plaziat, J.C., Perrin, C., 1992. Multikilometer-sized reefs built by foraminifera (*Solenomeris*) from the early Eocene of the Pyrenean domain (S. France, N. Spain): palaeoecologic relations with coral reefs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 96, 195–231.
- Pittet, B., Van Buchem, F. S. P., Hillgartner, H., Razin, P., Grötsch, J., and Droste, H., 2002. Ecological succession, palaeoenvironmental change, and depositional sequences of Barremian-Aptian shallowwater carbonates in northern Oman, *Sedimentology* 49, 555–581.
- Premoli Silva, I., Sliter, W.V., 1999. Cretaceous palaeoceanography: evidence from planktonic foraminiferal evolution: In E. Barrera and C. C. Johnson, eds. Evolution of the Cretaceous ocean-climate system. Geological Society of America Special Paper 332, 301–328.
- Raspini, A. 2012. Shallow water carbonate platforms (Late Aptian–Early Albian, Southern Apennines) in the context of supraregional to global changes: re-appraisal of palaeoecological events as reflectors of carbonate factory response, *Solid Earth* 3, 225–249.
- Reiss, Z., and Hottinger, L., 1984. The Gulf of Aqaba: Ecological Micropaleontology: *Ecological Studies* 50, 1–354.
- Rhoads, D.C. and Morse, J.W., 1971. Evolutionary and ecologic significance of oxygen-deficient marine basins: *Lethaia* 4, 413-428.
- Schlager, W., Philip, J., and Bosellini, A., 1988. Cretaceous carbonate platforms, in: *Cretaceous Resources Events and Rhythms*, edited by: Beaudoin, B. and Ginsburg, R., Nato Adv Res Workshop, 87–112.
- Scott, R. W., 1976. Trophic classification on benthic communities, in R. W. Scott and R. R. West, eds., *Structure and classification of paleocommunities: Hutchinson & Ross, Dowden, Stroudsberg, Pennsylvania*, 24–66.
- Vilas, L., Masse J.P., Arias, C., 1995. Orbitolina episodes in carbonate platform: the early Aptian model from SE Spain: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 119, 35–45.

## آنومالی‌های ایزوتوپ کربن منفی نزدیک مرز سری‌های ۲ و ۳ کامبرین در کوه‌های

### البرز، شمال ایران

هادی امین رسولی<sup>۱\*</sup>، یعقوب لاسمی<sup>۲</sup>، و شرمین ظاهری<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم زمین دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲. سازمان زمین‌شناسی ایلی‌نویز امریکا

۳. وزارت آموزش و پرورش، دبیرستان صادق وزیری، سنندج، ایران

\*. پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [h.aminrasouli@uok.ac.ir](mailto:h.aminrasouli@uok.ac.ir)

#### چکیده:

مرز سری‌های ۲ و ۳ کامبرین/ نزدیک مرز سنتی کامبرین زیرین و میانی با آنومالی جهانی بزرگ ایزوتوپ کربن منفی مشخص می‌شود. برای تعیین این مرز در ایران، ایزوتوپ‌های کربن لایه‌های کربناته واحد شیلی سازند لالون و نهشته‌های آغازین سازند میلا تعیین و ارزیابی شده‌اند. در کوه‌های البرز،  $\delta^{13}\text{C}$  نهشته‌های آغازین سازند میلا مقدار  $3/86\%$  تا  $0/31\%$  در ۹ متر بالاتر از آن را نشان می‌دهند. در نهشته‌های کربناته واحد شیلی ایزوتوپ کربن منفی از  $2/93\%$  تا  $1/69\%$  تغییر می‌کند. آنومالی منفی بزرگ  $\delta^{13}\text{C}$  در نهشته‌های آغازین سازند میلا، به گمان قوی، هم‌ارز انقراض تریلوبیت‌های *Redlichia* و *Olenellus* (ROECE) و منطبق با انقراض زیستی نزدیک مرز سری‌های ۲ و ۳ کامبرین در قاعده اشکوب ۵ کامبرین است. آنومالی  $\delta^{13}\text{C} = -2/93\%$  در واحد شیلی هم‌ارز می‌تواند هم‌ارز با انقراض آرکتوسیاتیدها (AECE) در بخش میانی اشکوب ۴ کامبرین باشد. این مقادیر آنومالی منفی  $\delta^{13}\text{C}$  به ترتیب منطبق با انقراض‌های زیستی هاک‌بی پیشین و پسین هستند.

کلیدواژه: سری‌های ۲ و ۳ کامبرین، رخداد AECE، رخداد ROECE، سازند میلا، سازند لالون

## Negative carbon isotope excursions near the Cambrian Series 2-3 boundary in the Alborz Mountains, northern Iran

H. Amin-Rasouli<sup>1\*</sup>, Y. Lasemi<sup>2</sup>, S. Zaheri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup>Illinois State Geological Survey, University of Illinois, Illinois State, USA

<sup>3</sup>Education Organization, Sadegh Vaziri high school, Sanandaj, Iran

#### Abstract

The Cambrian Series 2-Series 3 boundary is characterized by a large worldwide negative carbon isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ) excursion, which is roughly equivalent with traditional lower-middle Cambrian boundary. To determine this boundary in Iran, carbonate layers of the Shaly unit of the Lalun Formation and the basal part of the Mila Formation are evaluated for carbon isotope analysis. In the Alborz Mountains, carbon isotope analyses indicate a distinct high magnitude negative carbon isotope excursion of  $-3.86\%$  value in the basal layer of Mila Formation and changes to  $+0.31\%$  at about 9 meters from the base of the formation. In the carbonate deposits of the Shaly unit, negative carbon isotope varies from  $-2.93$  to  $-1.69\%$ . The large negative  $\delta^{13}\text{C}$  excursion at the base of Mila Formation could correlate with the ROECE (Redlichiid Olenellid Extinction Carbon isotope Excursion) and corresponds with mass extinction near the Cambrian Series 2 and 3 boundary at the base of Cambrian

Stage 5. The  $-2.93\%$   $\delta^{13}\text{C}$  excursion in the Shaly unit could also correlates with AECE excursion (Archaeocyathid Extinction Carbon isotope Excursion) in the middle part of Cambrian Stage 4. These negative excursions correspond with the early and late Hawke Bay mass extinction, respectively.

#### مقدمه:

سیستم کامبرین به طور سنتی به سری‌های زیرین، میانی و زیرین بخش می‌شود، اما، به دلیل نبودن استاندارد جهانی، مرز هر سری در جاهای مختلف دنیا در افق‌های زمان-چینه‌ای متفاوتی گذاشته می‌شود (Peng et al., 2012). زیر کمیته بین‌المللی چینه‌شناسی کامبرین سیستم کامبرین را به ۴ سری بخش کرده است (e.g., Peng et al., 2012). در ایران نبود فسیل تریلوبیت در سازند لالون و بخش ۱ سازند میلا، سبب پدید آمدن دیدگاه‌های گوناگون در باره سن و موقعیت مرز کامبرین زیرین-میانی شده است. اشتوکلین و همکاران (Stöcklin et al., 1964) و کوشان (Kushan, 1978) بر پایه موقعیت چینه‌ای، مرز یاد شده را بر روی واحد کوارتزیت بالایی سازند لالون پیشنهاد کرده‌اند. حمدی (۱۳۷۴) و ماتسوماتو و همکاران (Matsumoto et al., 1995) مرز کامبرین زیرین-میانی را مرز بخش‌های ۱ و ۲ سازند میلا در نظر گرفته‌اند. علوی نائینی (۱۳۷۲) و آقانباتی (۱۳۸۵) واحد کوارتزیت بالایی اسرتو (Assereto, 1963) را واحد پیشرونده قاعده بخش ۱ سازند میلا معرفی و آن را کوارتزیت پایه‌ای سازند میلا به سن کامبرین میانی تفسیر کردند. پنگ و همکاران (Peng et al., 1999) بر پایه *Iranoleesia zones* و مقایسه با توالی هم ارز در چین شمالی سن واحد کوارتزیتی را سرانجام کامبرین زیرین، مرز بالایی آن را ناپیوسته و بخش ۱ سازند میلا را هم ارز نهشته‌های سرآغاز کامبرین میانی پنداشتند. شماری از پژوهشگران، نیز این مرز را زیر واحد کوارتزیتی سازند لالون بیان داشته‌اند (Geyer et al., 2014; Bayet-Goll et al., 2014).

مرز سری‌های ۲ و ۳ کامبرین (قاعده اشکوب ۵)، نزدیک مرز سنتی کامبرین زیرین و میانی، با آنومالی منفی زیاد و مشخص ایزوتوپ کربن ( $\delta^{13}\text{C}$ ) متمایز می‌شود (e.g., Lin et al., 2019). این آنومالی که به نام آنومالی Redlichiiid ROECE (Redlichiiid Olenellid Extinction Carbon isotope Excursion) شناخته می‌شود با انقراض تریلوبیت (Olenellid Extinction Carbon isotope Excursion) در لارونتیا (پاسفیک) و (RECE) Redlichiiid در گندوانا همراه است (e.g., Zhu et al., 2006; Sundberg et al., 2020). آنومالی  $\delta^{13}\text{C}$  نقش مهمی در تشخیص هم ارزی چینه نگاری کامبرین در مقیاس جهانی بازی می‌کند (Peng et al., 2012) و شماری از این آنومالی‌ها با انقراض‌های مهم زیستی هم ارزند (e.g., Babcock et al., 2015).

هدف این نوشته کنترل این مرز برپایه داده‌های ژئوشیمیایی ایزوتوپ‌های پایدار کربن نهشته‌های کربناته است. برای انجام این کار از نهشته‌های کربناته واحد شیلی در منطقه تویه-دروار (N:  $53^{\circ} 52' 14''$  E:  $36^{\circ} 01' 25''$ ) و نهشته‌های کربناته سرآغاز بخش ۱ سازند میلا در منطقه شه‌میرزاد (N:  $53^{\circ} 19' 8''$  E:  $35^{\circ} 47' 53''$ ) نمونه برداری شده و ایزوتوپ‌های پایدار کربن آن‌ها مورد ارزیابی و با داده‌های  $\delta^{13}\text{C}$  در مناطق دیگر مقایسه شده‌اند.

#### چینه نگاری:

مرز کامبرین زیرین-میانی در البرز دربردارنده نهشته‌های واحدهای شیلی و کوارتزیت بالایی سازند لالون، اواخر کامبرین زیرین، و کربناته‌های بخش ۱ سازند میلا، کامبرین میانی، است. در برش تویه-دروار (خاور البرز مرکزی)، واحد شیلی دربرگیرنده ۳۵ متر شیل رنگین (قرمز تیره، سبز تا خاکستری) با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ، دو افق ریف متازوئن کربناته و چند لایه کربناته است (Lasemi and Amin-Rasouli, 2007, 2016). نهشته‌های واحد شیلی سازند لالون با تناوب شیل و ماسه سنگ و سپس به تدریج با ماسه سنگ‌های سفید رنگ واحد کوارتزیت بالایی به ضخامت ۵۰ متر پوشیده شده‌اند. لاسمی (۱۳۷۹) ناپیوستگی مهمی بر روی واحد کوارتزیتی تشخیص داده است.



بر روی واحد کوارتزیتی به طور همشیب نهشته‌های کربناته بخش ۱ سازند میلا جای دارند (Stöcklin et al., 1964). در قاعده سازند میلا در ناحیه شه میرزاد، ۶۰ کیلومتری جنوب غرب تویه- دروار، نهشته‌های میکروبی فراوان با ۲ افق بیوستروم و بیوهرم ترومبولیتی، در حدود ۴ متر بالای مرز ناپیوسته، دیده می‌شوند. نهشته‌های زیر و بین ترومبولیت‌ها آهک‌های شیلی تیره رنگ و مدستون هستند که با آهک‌های ضخیم لایه پوشیده شده‌اند. فراوانی نهشته‌های میکروبی (e.g., Wood, 2000; Kershaw et al., 2012) ناشی از پیشروی دریا پس از نابودی زیستی جهانی تفسیر شده است (Glumac and Walker, 1997).

#### روش مطالعه:

برای انجام بررسی ایزوتوپ‌های کربن نهشته‌های کربناته از افق‌های بیوهرمی ۱، ۲ و لایه کربناته روی افق ۲ بیوهرمی واحد شیلی در برش تویه- دروار ۳ نمونه، و از بخش ۱ سازند میلا در برش شه میرزاد ۱۴ نمونه برداشت شده‌اند. نمونه‌های بخش ۱ سازند میلا از نخستین لایه سنگ کربناته، بر روی افق فرمز ناپیوسته، تا ضخامت ۹ متری گرفته شده‌اند. پس از پودر شدن نمونه‌ها توسط آسیاب، حدود ۰/۲۵ گرم از هر کدام از آن‌ها برای ایزوتوپ‌های پایدار C با دستگاه اسپکترومتری جرمی Thermo-Finnigan Delta-V در دانشگاه هانوفر آلمان مورد بررسی قرار گرفت. استاندارد ایزوتوپ‌ها بر پایه پرمیل (‰) نسبت به VPDB (Vienna PDB) است.

#### نتایج:

مقدار ایزوتوپ‌های کربن ۲ افق بیوهرمی و لایه کربناته روی آن‌ها در واحد شیلی سازند لالون، برش تویه- دروار، بین ۲‰/۹۳ تا ۱/۶۹‰- است. ستبرای افق اول ریفی در حدود ۵۰ سانتی‌متر، متازوئن‌ها کوچک و با تنوع کم، و مقدار  $\delta^{13}C$  آن ۲‰/۹۳- است. افق دوم ریفی بیوزوناسیون نشان می‌دهند. ستبرای آن در حدود ۲ متر، ریف سازها متنوع و مقدار ایزوتوپ کربن این افق ۱/۶۹‰- می‌باشد. بر روی این نهشته‌ها، در فاصله ۱ متری، افق کربناته با ستبرای ۱۰ سانتی‌متر و مقدار  $\delta^{13}C$  برابر ۲/۱۸‰- جای دارد.

مقادیر  $\delta^{13}C$  نهشته‌های کربناته بخش ۱ سازند میلا، برش شه میرزاد، در حدود ۳/۸۶‰- تا ۰/۳۱‰ است. در اولین لایه کربناته، ۷۰ سانتی‌متر پس از مرز ناپیوسته مانند جنوب چین (Zhao et al., 2019)، تغییر چشمگیری در مقدار  $\delta^{13}C$  دیده می‌شود و مقدار آن به ۳/۸۶‰- تغییر می‌کند. پس از آن، تغییرات ایزوتوپ‌ها در کل روند رو به بالا غنی‌شدگی نشان می‌دهند و حداکثر مقدار  $\delta^{13}C = ۰/۳۱‰$  مربوط به آخرین لایه نمونه برداری است. آنالیز  $\delta^{18}O$  نمونه‌های کربناته حدود ۷‰/۳۸- تا ۱۰/۴۴‰- در پایه سازند میلا و ۸/۱۱‰- تا ۸/۶۲‰- در واحد شیلی را نشان می‌دهند.

#### بحث:

در نمونه‌های مورد بررسی مقادیر  $\delta^{18}O$  بین ۷/۳۸‰- تا ۱۰/۴۴‰- تغییر می‌کند که با مقادیر معمول این ایزوتوپ در کربناته‌های کامبرین (۷‰- تا ۱۰‰-) با حداقل دگرسانی همخوانی دارند (e.g., Veizer et al., 1999; Wotte et al., 2007). ترسیم مقادیر  $\delta^{13}C$  در مقابل  $\delta^{18}O$  نمونه‌ها ضریب همبستگی پایین و عدم هرگونه همبستگی بین مقادیر ایزوتوپ‌های یاد شده را نشان می‌دهند. این بیانگر اثر ناچیز دیاژنز بر ایزوتوپ‌های کربن نمونه‌ها است و مقادیر ایزوتوپی بیانگر مقادیر ایزوتوپ آب دریا هستند (e.g., Wotte et al., 2007; Azmy et al., 2014).

بیشترین آنومالی منفی  $\delta^{13}C$  از آنالیز نخستین لایه کربناته بخش ۱ و در بالای مرز ناپیوسته روی واجد کوارتزیتی (لاسمی، ۱۳۷۹) ناشی از انقراض زیستی هاک‌بی پسین، پایان تیونین، در مرز سنتی کامبرین زیرین- میانی (Lasemi and Amin-Rasouli, 2021) است. این تغییر در مقادیر  $\delta^{13}C$  در البرز همراه با تغییر لیتولوژی،

نابودی متازوئین‌های ریف ساز کامبرین زیرین، پدید آمدن افق خاک قرمز در برش‌های مختلف، قرمز شدگی کوارتز آرنایت‌ها، و پدیدار شدن مجموعه ریف‌های میکروبی (Lasemi and Amin-Rasouli, 2007, 2017) است.

#### مقایسه جهانی داده‌ها

داده‌های چینه‌ای نشان می‌دهند که در سرآغاز تیونین، پسروری جهانی دریاها به کاهش شدید دریا‌های کم عمق و پدید آمدن انقراض زیستی جهانی انجامیده است. این انقراض جهانی ناشی از رخداد هاک‌بی است (Brasier, 1996). رخداد هاک‌بی منجر به انقراض بیشتر از ۵۰٪ جنس‌ها، نابودی آرکئوسیاتیدها، کاهش حجم و مقدار ریف‌ها تا ۶۷٪، کاهش در فراوانی و تنوع رنالیسیس‌ها (Rowland and Shapiro, 2002) و پدیدار شدن آنومالی منفی ایزوتوپ کربن در قاعده نهشته‌های اشکوب ۵ سری ۳ شده است (e.g., Peng et al., 2012).

بررسی‌های  $\delta^{13}\text{C}$  سنگ‌های کربناته قاعده سری ۳ سیستم کامبرین در مناطق مختلف مقادیر بین ۱/۹‰ - تا ۱/۴‰ در Gremenes، ۲‰ - تا ۰/۰‰ در Ferrals- les-Montagnes (Wotte et al., 2007)، ۶/۹‰ - تا ۲/۳۸‰ در بخش‌های مختلف چین (Ruidong et al., 2003; Guo et al., 2005)، ۴/۶‰ - تا ۰/۸‰ در جنوب سوئد (Álvaro et al., 2010)، و ۱/۵‰ - تا ۴‰ در Laurentia (Montañez et al., 2000) است. آنومالی منفی بزرگ  $\delta^{13}\text{C}$  در نهشته‌های آغازین سازند میلا، به گمان قوی، هم ارز با انقراض زیستی ROECE و منطبق با مرز سری‌های ۲ و ۳ کامبرین در قاعده اشکوب ۵ کامبرین، پس از انقراض زیستی هاک‌بی، است. در تمام مناطق یاد شده از مرز کامبرین زیرین - میانی به سوی بالا، مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  افزایش می‌یابند. استرس ناشی از این انقراض (Lee and Riding, 2018) به نابودی تریلوبیت ردلیشیا و آرکئوسیاتیدها در ایران انجامید (Amin-Rasouli and Lasemi, 2021).

جدای از آنومالی منفی رخداد ROECE، آنومالی منفی  $\delta^{13}\text{C}$  در نهشته‌های کربناته واحد شیلی، آنومالی منفی بزرگ دیگری است. بیشترین مقدار این آنومالی ( $\delta^{13}\text{C} = -2/93\%$ ) مربوط به افق نخست ریفی است. تغییر متمایز منفی ایزوتوپ کربن پیش از رخداد ROECE، در سیبری، مراکش و چین (Brasier and Sukhov, 1998; Wang et al., 2011) گزارش شده است. براساس مقایسه داده‌های ایزوتوپی واحد شیلی و منحنی جهانی  $\delta^{13}\text{C}$  برای کامبرین این تغییر منفی می‌تواند هم ارز انقراض زیستی آرکئوسیاتیدها (AECE-Archaeocyathid Extinction Carbon Isotope Excursion) در بخش میانی اشکوب ۴ کامبرین باشد. پس از این انقراض فراوانی آرکئوسیاتیدها به شدت کاهش یافته است (Zhuravlev, 1996).

#### نتیجه‌گیری

بررسی داده‌های ایزوتوپ‌های پایدار کربن نهشته‌های کربناته واحد شیلی (۲/۹۳‰ - تا ۱/۶۹‰ -) و نهشته‌های آغازین بخش ۱ سازند میلا (۳/۸۶‰ - تا ۰/۳۱‰) نشان‌دهنده ۲ آنومالی بزرگ منفی است. مقادیر آنومالی منفی  $\delta^{13}\text{C}$  کربناته‌های دریایی گذشته به عنوان رخداد بایوژئوشیمیایی مهم در تاریخچه زمین شناسی تفسیر می‌شوند. مقایسه این داده‌ها و منحنی جهانی  $\delta^{13}\text{C}$  نشان می‌دهد که، به گمان قوی، این آنومالی‌ها به ترتیب با رخداد‌های AECE در بخش میانی اشکوب ۴ (کامبرین زیرین) و ROECE در قاعده اشکوب ۵ سری ۳ کامبرین (کامبرین میانی) هم ارز هستند. رخداد‌های AECE و ROECE به ترتیب ناشی از انقراض‌های زیستی هاک‌بی پیشین و پسین هستند.

منابع:

- آقانیاتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ [۶۱۹] صفحه.
- حمدی، ب.، ۱۳۷۴. سنگ های رسوبی پرکامبرین-کامبرین در ایران. سازمان زمین شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران، شماره ۲۰، ۳۵۳ صفحه.
- علوی نائینی، م.، ۱۳۷۲. چینه شناسی پالئوزوئیک ایران. سازمان زمین شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران، شماره ۵، ۴۹۲ صفحه.
- لاسمی، ی.، ۱۳۷۹. رخساره ها، محیط های رسوبی و چینه نگاری سکانسی نهشته سنگ های پرکامبرین بالائی و پالئوزوئیک ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۷۸، ۱۸۰ صفحه.
- Álvaro, J.J., Ahlberg, P., Axheimer, N., 2010. Skeletal carbonate productivity and phosphogenesis at the Lower-Middle Cambrian transition of Scania, southern Sweden. *Geol. Mag.* 147: 59–76
- Amin-Rasouli, H., Lasemi, Y., 2021. Facies changes and a major negative  $\delta^{13}\text{C}$  shift suggest base of Mila Formation as the likely base Miaolingian Series, Alborz Mountains, northern Iran. *The Sedimentary Record (SEPM)* 19 (1): 11–14.
- Assereto, R., 1963. The Paleozoic formations in central Alborz Iran. *Riv. Ital., Paleontology* 6: 503-543.
- Babcock, L.E., Peng, S.C., Brett, C.E., Zhu, M.Y., Ahlberg, P., Bevis, M., Robison, R.A., 2015. Global climate, sea level cycles, and biotic events in the Cambrian Period. *Palaeoworld* 24: 5–15.
- Bayet-Goll, A., Geyer, G., Wilmsen, M., Mahboubi, M., Moussavi-Harami, R., 2014. Facies architecture, depositional environments, and sequence stratigraphy of the Middle Cambrian Fasham and Deh-Sufiyan Formations in the central Alborz, Iran. *Facies* 60: 815–841,
- Brasier, M.D., 1996. The basal Cambrian transition and Cambrian bio-events (from terminal Proterozoic extinctions to Cambrian biomes). In: O.H. Walliser, (ed.), *Global Events and Event Stratigraphy*. Berlin, Springer-Verlag 113-138 pp.
- Brasier, M.D., Sukhov, S.S., 1998. The falling amplitude of carbon isotopic oscillations through the Lower to Middle Cambrian: northern Siberia data. *Can. J. Earth. Sci.* 35: 353-373.
- Geyer, G., Bayet-Goll, A., Wilmsen, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., 2014. Lithostratigraphic revision of the Middle Cambrian (Series 3) and Upper Cambrian (Furongian) in northern and central Iran. *Newsletters on Stratigraphy* 47: 21–59.
- Glumac, B., Walker, K.R., 1997. Selective dolomitization of Cambrian microbial carbonate deposits: A key to mechanisms and environments of origin. *Palaios* 12: 98- 110.
- Guo, Q.J., Strauss, H., Liu, C.Q., Zhao, Y.L., Pi, D.H., Fu, P.Q., Zhu, L.J., Yang, R.D., 2005. Carbon and oxygen isotopic composition of Lower to Middle Cambrian sediments at Taijiang, Guizhou Province, China. *Geol. Mag.* 142: 723–733.
- Kershaw, S., Crasquin, S., Li, Y., Collin, P.Y., Forel, M.B., Mu, X., Baud, A., Wang, Y., Xie, S., Maurer, F., 2012. Microbialites and global environmental change across the Permian–Triassic boundary: a synthesis. *Geobiology* 10: 25–47.
- Kushan, B., 1978. Stratigraphy and trilobite fauna of the Mila Formation Middle Cambrian-Tremadocian of the Alborz Rang, North Iran. *Geological and Mineral Survey of Iran, Rep.*, no. 49, 70 p.
- Lasemi, Y., Amin-Rasouli, H., 2007. Archaeocyathan buildups within an entirely siliciclastic succession: New discovery in the Toyonian Lalun Formation of northern Iran, the proto-Paleotethys passive margin of northern Gondwana. *Sedimentary Geology* 201: 302–320.
- Lasemi, Y., Amin-Rasouli, H., 2017. The lower–middle Cambrian transition and the Sauk I-II unconformable boundary in Iran, a record of late early Cambrian global Hawke Bay regression. In: R. Sorkhabi (ed.), *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia. In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions: Geological Society of America Special Paper* 525, 24p.
- Lee, J.-H., Riding, R., 2018. Marine oxygenation, lithistid sponges, and the early history of Paleozoic skeletal reefs. *Earth-Science Reviews* 181: 98–121.

- Lin, J.-P., Sundberg, F.A., Jiang, G., Montañez, I.P., Wotte, T., 2019. Chemostratigraphic correlations across the first major trilobite extinction and faunal turnovers between Laurentia and South China. *Scientific Reports* 9(1): 1–15.
- Matsumoto, R., Zheng, Z., Kakuwa, Y., Hamdi, B., Kimura, H., 1995. Preliminary Results of Paleomagnetic Study on the Cambrian to the Triassic Rocks of the Alborz, Northeast Iran. *University of Tokyo, Sec. II* 22: 233-249.
- Montanez, I.P., Osleger, D.A., Banner, J.L., Mack, L.E., Musgrove, M., 2000. Evolution of the Sr and C isotope composition of Cambrian Oceans. *GSA Today* 105: 1-7.
- Peng, S., Geyer, G., Hamdi, B., 1999. Trilobites from the Shahmirzad section, Alborz Mountains, Iran: Their taxonomy, biostratigraphy and bearing for international correlation. *Beringeria* 25: 3–66.
- Peng, S.C., Babcock, L.E., Cooper, R.A., 2012. The Cambrian Period. In: F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg (eds.), *The Geologic Time Scale 2012*, V. 2: Amsterdam, Netherlands, Elsevier BV 437–488 pp.
- Rowland, S.M., Shapiro, R.S., 2002. Reef patterns and environmental influences in the Cambrian and earliest Ordovician. In: W. Kiessling, E. Flugel, J. Golonka (eds.), *Phanerozoic Reef Patterns*. Society of Sedimentary Geology (SEPM) Special Publication 72: 95–128.
- Ruidong, Y., Lijun, Z., Shijie, W., 2003. Negative carbon isotopic excursion on the Lower/Middle Cambrian boundary of Kaili Formation, Taijiang County, Guizhou Province, China: Implications for mass extinction and stratigraphic division and correlation. *Science in China (Series D)* 46 (9): 872- 881.
- Stöcklin, J., Ruttner, A., Nabavi, M.H., 1964. New data on the lower Paleozoic and Pre-Cambrian of North Iran. *Geo. Soc. Iran, Rep. no. 1*, 29p.
- Sundberg, F.A., Karlstrom, K.E., Geyer, G., Foster, J.R., Hagadorn, J.W., Mohr, M.T., Schmitz, M.D., Dehler, C.M., Crossey, L.J., 2020. Asynchronous trilobite extinctions at the early to middle Cambrian transition. *Geology* 48(5): 441–445.
- Wang, X., Hua, W., Yao, Y., Chen, Q., Xie, X., 2011. Carbon and strontium isotopes and global correlation of Cambrian Series 2-Series 3 carbonate rocks in the Keping area of the northwestern Tarim Basin, NW China. *Marine and Petroleum Geology* 28: 992-1002.
- Wood, R., 2000. Novel paleoecology of a post extinction reef: Famennian (Late Devonian) of the Canning basin, northwestern Australia. *Geology* 28: 987–990.
- Wotte, T., Álvaro, J.J., Shields, G.A., Brasier, M., Veizer, J., 2007. C-, O- and Sr-isotope stratigraphy across the Lower-Middle Cambrian transition of the Cantabrian Zone Spain and the Montagne Noire France, West Gondwana. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 256: 47–70.
- Zhao, Y., Yuan, J., Babcock, L.E., Guo, Q., Peng, J., Yin, L., Yang, X., Peng, S., Wang, C., Gaines, R.R., Esteve, J., Tai, T., Yang, R., Wang, Y., Sun, H., Yang, Y., 2019. Global standard Stratotype-section and point (GSSP) for the conterminous base of the Miaolingian series and Wuliuan stage (Cambrian) at Balang, Jianhe, Guizhou, China. *Episodes* 42(2):165–183.
- Zhu, M.Y., Babcock, L.E., Peng, S.C., 2006. Advances in Cambrian stratigraphy and paleontology: Integrating correlation techniques, paleobiology, taphonomy and paleoenvironmental reconstruction. *Palaeoworld* 15: 217-222.
- Zhuravlev, A.Yu., 1996. Reef ecosystem recovery after the Early Cambrian extinction. In: M.B. Hart (ed.), *Biotic Recovery from Mass Extinction Events: Geological Society, London, Special Publication* 102: 79–96.

## بررسی ژئوشیمیایی و ویژگی های رخساره ای رسوبات فسفات دار تحت تاثیر طغیان

### های دریایی سازند پابده در منطقه زاگرس

- آرمین سلسانی<sup>۱\*</sup>، عبدالحسین امینی<sup>۲</sup>، شهرام شریعتی<sup>۳</sup>، محسن آل علی<sup>۴</sup>
- ۱- گروه زمین شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- گروه زمین شناسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران
- ۴- گروه زمین شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- rnm.salsany@gmail.com

#### چکیده:

کمر بند چین خورده و تراستی زاگرس به همراه حوضه فورلند آن، نشاندهنده قدیمی ترین و غنی ترین ذخایر هیدروکربوری در منطقه می باشد. سازند پابده حاوی لایه های شیلی، مارنی و سنگ آهک های رسی پلاژیک و همی پلاژیک، توالی ائوسن پیشین تا الیگوسن این حوضه فورلند را تشکیل می دهد. ذخایر فسفات دار جنوب غربی ایران، بخشی از حوضه فسفریتی تیس می باشند که شامل توالی کربناته فسفریت دار از کرتاسه پسین تا ائوسن بوده، از کلمبیا آغاز شده و پس از عبور از ونزوئلا، شمال و شمال غرب آفریقا، تا منطقه خاورمیانه گسترش حاصل نموده اند. لایه های فسفات دار سازند پابده به عنوان ذخایر کم عیار فسفات در دنیا رده بندی می شوند. بر خلاف منطقه شرق مدیترانه، شمال و شمال غرب آفریقا که رسوبات فسفات دار در محیط های کم عمق دریایی و همراه با چرخه های دریایی ته نشین شده اند، افق های فسفات دار سازند پابده عمدتاً در محیط دریایی عمیق ته نشست حاصل نموده اند. مطالعات صورت پذیرفته بر روی رخساره ها و ریز رخساره های سازند پابده نشان می دهد که این سازند در یک محیط رمپ کربناته از نوع رمپ شیبدار انتهایی تشکیل شده است. در این شرایط محیطی، جریان های توربیدیتی ذرات فسفات دار را از بخش های ساحلی به قسمت های عمیق تر حوضه شامل رمپ میانی تا خارجی منتقل نموده اند به گونه ای که ذرات فسفات دار به صورت لامیناسیون های فسفات و نیز خرده های فسفاتی ته نشست حاصل نموده اند. مطالعات صورت پذیرفته بر روی ریزرخساره های این سازند نشان می دهد که کلیه قطعات فسفاتی شامل ائیدهای فسفات دار، فرامینفرای فسفاتی شده، قطعات استخوان ماهی ها و همچنین اینتراکلیست های فسفاتی، بتوسط جریان های توربیدیتی از بخش های کم عمق تر حمل شده و به قسمت های عمیق اقیانوس منتقل شده اند. تجزیه و تحلیل حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی نشان می دهد که ارتباط مستقیمی میان عناصر نادر خاکی و ایتیریم و نیز فسفات ( $P_2O_5$ ) وجود دارد و این موضوع قابل تعمیم به کلیه رخنمون های مورد مطالعه بوده و در تمامی مقاطع مورد مطالعه قابل مشاهده است. الگوی عناصر نادر خاکی نشان می دهد که عمده نمونه های فسفریتی برداشت شده دارای آنومالی سریم (Ce anomaly) می باشند (تغییرات آنومالی بین ۰/۲۴ الی ۱/۰۸ می باشد). بررسی الگوی عناصر نادر خاکی نرمال شده با شیل در برش کوه موندون نشان می دهد که آنومالی سریم در فسفریت های کوه موندون منفی می باشد. این آنومالی نشان می دهد که محیط رسوبی سازند پابده در این برش به شدت اکسیدان و با جابجایی شدید همراه با زیست آشفته گی فراوان و انرژی محیطی بالا در زمان ته نشست لایه های فسفات دار بوده است. در مقابل مقطع کوه نیل و سیاه با آنومالی مثبت و بالا، نشان از شرایط عمیق محیطی و رسوبگذاری در آبهای عمیق دارد. داده های ژئوشیمیایی بدست آمده با مطالعات ریزر رخساره ای نیز همخوانی دارند. مطالعات ریزر رخساره ای نشان می دهد برش کوه موندون، به صورت حوضه ای کم عمق و پر انرژی بوده و برش های نیل و سیاه به صورت حوضه های عمیق و کم انرژی می باشند.

کلیدواژه: فسفریت‌های تتیس، سازند پابده، جریان‌های توربیدایتی، آنومالی سریم، عناصر نادر خاکی، ایتريم

## Geochemical analysis and facies characteristics of the storm-dominated phosphate-bearing deposits of Pabdeh Formation in Zagros region

Armin Salsani<sup>1,\*</sup>, Abdolhossein Amini<sup>2</sup>, Shahram shariati<sup>3</sup> and Mohsen Aleali<sup>4</sup>

- 1- Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- 2- School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
- 3- Department of Geology, Sari branch, Islamic Azad University, Sari, Iran
- 4- Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### Abstract

Zagros fold and thrust belt is associated with a foreland basin and represents the oldest and richest hydrocarbon zone in the area. The deep-marine Pabdeh Formation with hemipelagic-pelagic calcareous shale, marl, and lime mudstone with subordinate argillaceous limestone was deposited in the Zagros proforeland basin during the Early Eocene to Oligocene. Phosphate deposits in southwestern Iran are part of the South Tethyan Phosphogenic Province (STPP), a huge carbonate-dominated Upper Cretaceous to Eocene phosphorite strata that extends from Colombia, through Venezuela, north and northwest Africa to the Middle East. The phosphatic layers of the Pabdeh Formation are categorized as a low-grade ore deposits in the world. In contrast to the eastern Mediterranean region and north and northwest Africa, where phosphate deposits formed in shallow marine depositional environments and evaporitic cycles, the phosphate horizons of the Pabdeh Formation were formed in a deep marine environment. Depositional conditions of the facies indicate that the Pabdeh Formation was deposited on a carbonate ramp setting as a distally steepened ramp. Under such an environment, turbidity currents transported phosphate particles from the back-shoal setting to the deeper middle and outer ramp of the ocean where they were suspended and deposited as shell-lag and phosphate lamination. Microfacies studies demonstrate that all the phosphatic ooids and phosphatized foraminifera, fish scales, bones and phosphatic intraclasts reworked from shallow parts of the Tethyan Ocean to deeper parts with the help of turbidity currents. Analysis and interpretation of the data reveal positive correlation between REE+Y and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in all studied sections which attests to their strong coherence as a geochemical group. The REE pattern includes most of the phosphorite samples from all three sections, which have a strongly negative to positive Ce anomalies (values varying between 0.24 and 1.08). The shale normalized REE patterns of Mondun phosphorites are characterized by negative Ce anomalies. This anomaly indicate that the depositional environment was oxic and highly reworked, bioturbated with higher energy realm during phosphate deposition, conversely Nill section with Ce enrichment reflect conditions of relatively deeper water sedimentation. These geochemical findings are in accordance with microfacies studies which indicate shallow and high energy condition for Mondun section with negative cerium anomalies and a deep ramp setting for Nill and Siah sections which denote a positive cerium anomalies in REE patterns.

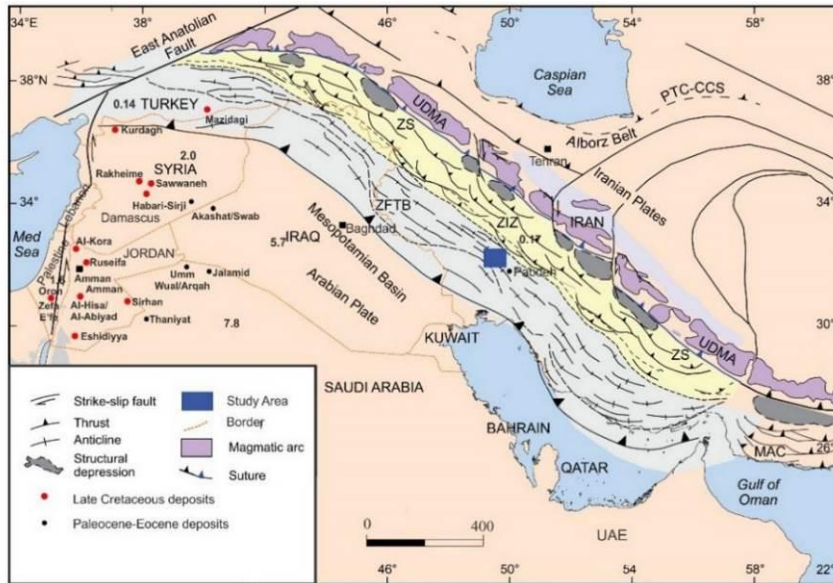
**Keywords:** Tethyan phosphorites; Pabdeh Formation; Turbidity currents; Ce anomaly; Rare-Earth Elements, Yttrium

#### مقدمه:

کمر بند چین خورده و تراستی زاگرس با ۱۸۰۰ کیلومتر طول و ۱۵۰ کیلومتر عرض از بخش جنوبی ترکیه آغاز و پس از گذر از کشور عراق تا قسمت های جنوب غربی ایران ادامه می یابد. سازندهای گورپی و پابده که توالی های اواخر کرتاسه تا الیگوسن این سکناس رسوبی را تشکیل می دهند، پتانسیل بسیار خوبی به عنوان سنگ مخزن نفت را دارا می باشند. با وجود مطالعات فراوان در خصوص پتانسیل مخزنی سازند پابده در منطقه زاگرس، مطالعات اندکی بر روی افق های فسفات دار این سازند صورت پذیرفته است. لذا در این تحقیق تلاش شده تا ویژگی های رخساره ای، شرایط رسوبگذاری افق های فسفات دار در منطقه مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس تلاش شده است تا با تکیه بر مطالعات ژئوشیمیایی و همچنین رخساره های رسوبی سازند پابده در افق های فسفات دار و همچنین بدون فسفات، نسبت به بررسی شرایط محیط تشکیل و همچنین رسوبگذاری هر یک از این افق ها اطلاعات کاملی بدست آید. بنابراین می توان چنین اظهار نمود در این مطالعه بیشتر تمرکز بر روی افق های فسفات دار سازند پابده می باشد و مطالعات ژئوشیمیایی صورت پذیرفته بر روی آنها نشان دهنده تفاوت کلیدی میان افق های فسفات دار و بدون فسفات می باشد. لذا فراوانی عناصر نادر خاکی و همچنین کمیاب و الگوهای پراکندگی آنها و ارتباط بین عناصر مختلف در این تحقیق مورد ارزیابی واقع شده است.

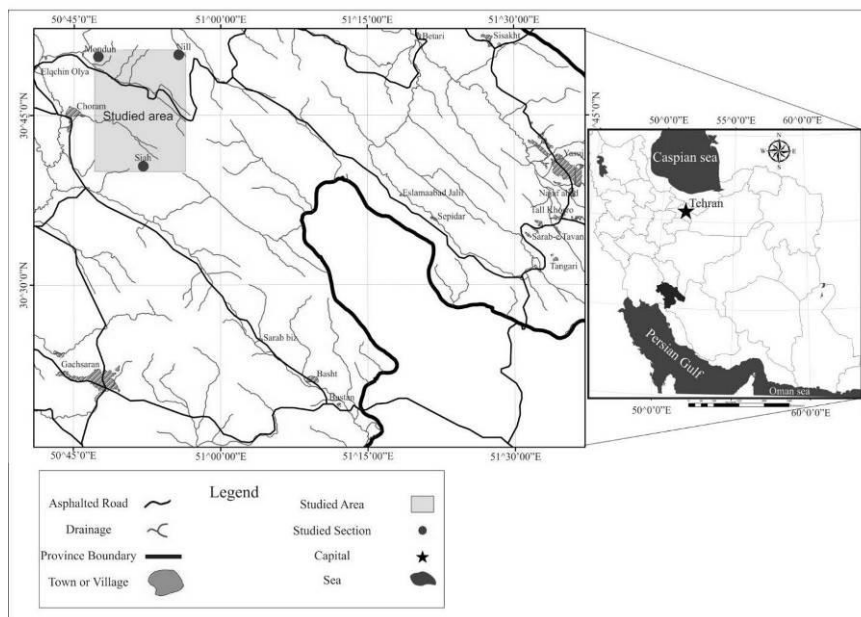
سازند پابده با رخساره همی پلاژیک تا پلاژیک و حاوی توالی شیل، مارن و سنگ آهک های مارنی در زمان ائوسن پیشین تا الیگوسن در حوضه فورلند زاگرس ته نشست حاصل نموده است. مطالعات صورت پذیرفته بر روی این سازند نشان می دهد که در یک محیط رمپ کربناته تشکیل شده است (Sharland et al., 2001; Mohseni and Al-Asam, 2004; Bolourchifard et al., 2019). همچنین شواهدی از محیط دریایی عمیق و نیز شرایط پلاژیک همراه با وقوع جریان های ثقلی نیز در برخی قسمت های زاگرس گزارش شده است (Bahrami, 2009; Rezaee and Nejad, 2014). محسنی و همکاران در سال ۲۰۱۱ (Mohseni et al., 2011) محیط رسوبی سازند پابده را بررسی نموده و نقش جریان های آبی و طغیان های دریایی را در تشکیل این سازند بسیار حائز اهمیت و اساسی تعیین نمودند و همچنین محسنی و ال آصم (Mohseni and Al-Aasm, 2004) به نقش تمپستایت های کربناته در ثبت های چینه شناسی این سازند اشاره نمودند.

در ایران توالی های فسفریت دار موسوم به فسفریت های تتیس محدود به سن ائوسن تا الیگوسن می باشند و در سازند پابده جای گرفته اند. سازند پابده بخشی از فسفریت های مدیترانه بحساب می آید و به لحاظ چینه شناسی هم ارز با سازندهای اکاشت در عراق (Al-Bassam, 1989)، جالامید، میرا، اووم وال و دمام در عربستان سعودی، ساوانه رماه و برده در سوریه، میشاش (فلسطین)، تلجا (تونس) و لگا، ابوتاربور و آل هیسا (اردن) می باشد (شکل ۱). مطالعه محیط رسوبی سازند های مختلف در منطقه نشان می دهد که بر خلاف بخش های شرقی منطقه مدیترانه، شمال و شمال غرب آفریقا که رسوبات فسفات دار در بخش های دریایی کم عمق و عمدتاً در چرخه های تبخیری شکل گرفته اند، افق های فسفات دار سازند پابده در محیط دریایی عمیق تشکیل شده اند.



شکل ۱- موقعیت توالی فسفریت دار در منطقه مدیریتانه به همراه میزان و سن ذخایر فسفات دار در هر کشور (میزان ذخایر گزارش شده به میلیارد تن می باشد). (اقتباس از Alavi, 2007)

به منظور انجام مطالعات سه مقطع زمین شناسی (کوه های نیل، سیاه و موندون) با ضخامت کلی ۱۱۲۲ متر انتخاب شد (شکل ۲). تاقدیس نیل در ۱۱۵ کیلومتری شهرستان گچساران قرار گرفته است و عمدتاً شامل تناوب سنگ آهک متوسط لایه مارن و شیل های خاکستری تیره می باشد و ضخامت سازند پایده در این مقطع ۵۱۲ متر می باشد. تاقدیس سیاه در ۶۰ کیلومتری شهرستان گچساران قرار دارد و ضخامت سازند پایده در آن ۳۵۵ متر شامل تناوب سنگ آهک و مارن در بخش قاعده، تناوب شیل و مارن به همراه لایه های آهک نازک لایه در بخش میانی و بالایی می باشد. سن سازند پایده از ائوسن تا الیگوسن بوده و توسط توالی الیگومیوسن سازند آسماری پوشیده شده و بر روی تناوب سنگ آهک و مارن های خاکستری سازند گورپی قرار دارد.



شکل ۲- نقشه راه های دسترسی به همراه موقعیت نقاط مورد مطالعه در منطقه زاگرس



### روش مطالعه:

تمامی مطالعات پتروگرافی توسط میکروسکوپ پلاریزان (Axioplan 2) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران انجام پذیرفت. نتایج مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که کلسیت، کوارتز، پیریت و ارتوکلاز به عنوان کانی های باطله در سازند پابده می باشند.

تجزیه و تحلیل رخساره ای بر اساس مطالعات پتروگرافی (توصیف ریز رخساره ها) و همچنین مشاهدات صحرایی (توصیف رخساره های سنگی) صورت پذیرفته است. به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی تعداد ۳۷ نمونه از افق های فسفات دار برداشت شد. عناصر کمیاب مانند (باریم، استرانسیم، وانادیوم، ایتریم و زیرکنیم)، اکسیدهای اصلی مانند ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (T),  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) توسط روش پلاسمای جفت شده القایی- طیف سنجی انتشار اتمی (ICP-AES) مورد آنالیز قرار گرفت و سایر عناصر کمیاب (هافمانیم، مولیبدن، نئوبیم، روبیدیوم، توریم و اورانیوم) به همراه عناصر نادر خاکی (REE) طیف سنجی جرمی (ICP-mass) در آزمایشگاه کانساران بینالود تهران مورد آنالیز قرار گرفت. همچنین نتایج آنالیز ایکس آر دی (XRD) نشان داد که کانه اصلی فسفات در افق های سازند پابده از نوع فلئور آپاتیت می باشد و کانی های همراه آن عبارتند از کلسیت، کوارتز، کانی های رسی (کائولینیت و ایلیت)، پیریت و فلدسپات می باشد. نتایج آنالیز XRD نمونه تهیه شده از افق های فسفات دار سازند پابده در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- آنالیز ژئوشیمی اکسیدهای اصلی نمونه فسفات دار سازند پابده در برش زمین شناسی مربوط به کوه سیاه

Content	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	S	L.O.I	Other	Total
%	9.24	2.45	1.67	46.01	0.28	0.38	0.72	0.102	0.012	9.164	0.003	28.98	0.989	100

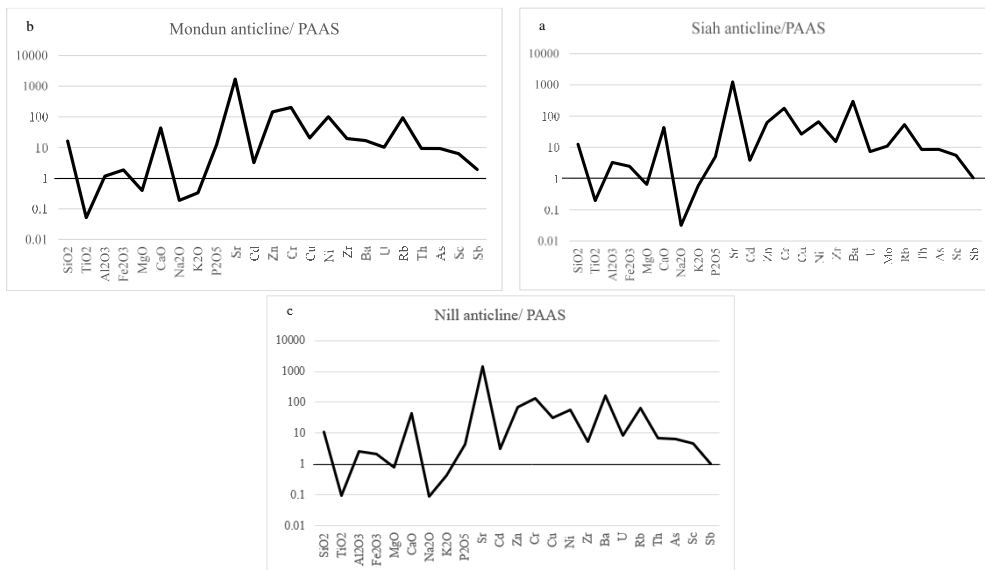
### اکسیدهای اصلی

اکسیدهای اصلی در نمونه های فسفات دار سازند پابده عمدتاً شامل  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  و  $\text{FeO}$  می باشند. این در حالیست که درصد سایر عناصر از قبیل  $\text{SO}_3$  و  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  بسیار کم (کمتر از ۱ درصد) می باشد. ترکیب اصلی اکسید فسفر در افق های فسفات دار شامل فلئور آپاتیت می باشد. نمونه های مربوط به هر سه مقطع مورد مطالعه نشان می دهد که اصلی ترین کانی موجود کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) است و مقدار  $\text{CaO}$  در نمونه ها بین ۳۲/۴۵ تا ۴۸/۶۵ درصد می باشد. سپس سیلیس به صورت ترکیب سیلیکاته در ساختار کانی های رسی (کائولینیت و ایلیت) و فلدسپات و همچنین به مقدار بسیار اندک به صورت کانی کوارتز در ترکیب وجود دارد. ترکیبات آهن دار عمدتاً به صورت پیریت ( $\text{FeS}_2$ )، هماتیت و گوتیت در ترکیب دیده می شوند. بالاترین میزان  $\text{P}_2\text{O}_5$  متعلق به افق های فسفات دار تاقدیس موندون می باشند و در برخی نمونه ها مقادیر آن به ۲۵ درصد نیز می رسد. از طرف دیگر فلدسپات و کانی های رسی سایر کانی های ترکیب را شامل می شوند.

### بحث:

### الگوی عناصر کمیاب

مقایسه شیل های نرمالیزه شده بعد از آرکن استرالیا (PAAS) با رسوبات فسفات دار سازند پابده، نشان می دهد که غلظت ها و درصد های بالاتر از ۱ شامل سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )، اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )، اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ )، فسفر پنتاکسید ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )، استرانسیم (Sr)، کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، کروم (Cr)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، زیرکنیم (Zr)، باریم (Ba)، روبیدیوم (Rb)، توریم (Th)، آرسنیک (As) و اسکاندیوم (Sc) می باشند و مقادیر کمتر از ۱ شامل: اکسید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O}$ )، اکسید تیتانیوم ( $\text{TiO}_2$ ) و اکسید آهن ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) می باشند. از طرف دیگر اکسید منیزیم (MgO) و آنتیموان (Sb) دارای مقادیر نزدیک به یک هستند (شکل ۳).



شکل ۳- طیف عناصر کمیاب و اکسیدهای اصلی لایه های فسفریت دار سازند پابده در برش های سیاه، موندون و نیل در مقایسه با میانگین شیل نرمالیزه شده (PAAS)

#### عناصر نادر خاکی و ایتیریم (REE+Y)

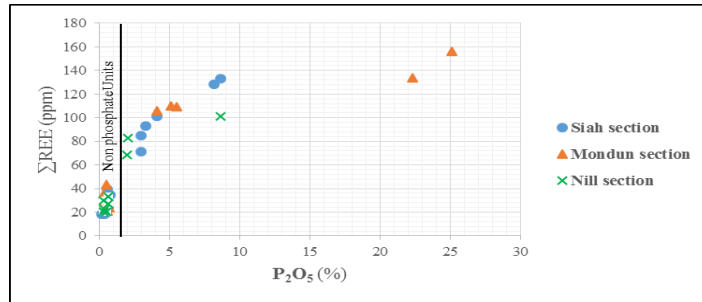
عناصر نادر خاکی به عنوان ابزاری به منظور تعیین پارامترهای محیط رسوبی از قبیل میزان اکسیژن در محیط های دریایی (Liu et al., 1988; German & Elderfield, 1990; Murray et al., 1991) و سنگ شناسی و دیانژن (Nath et al., 1992; Madhavaraju & Ramasamy, 1999; Armstrong-Altrin et al., 2003; Wang et al., 2010) شرایط اکسیداسیون و احیا در محیط های رسوبی اقیانوسی قدیمی (Kamber & Webb, 2001; Kemp et al., 1986; Kato et al., 2002) و جغرافیای قدیمه و مدل های رسوبی (Bakkiaraj, et al., 2010) مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجا که این عناصر در زمان رسوبگذاری به راحتی شکسته نمی شوند، در نتیجه الگوی پراکندگی و عیاری آنها می تواند کلیدی مناسب به منظور تعیین ترکیب رسوبات منشا باشد (Taylor & McLennan, 1985). در این تحقیق نمودار شیل نرمالیزه شده بعد از آرکن استرالیا (PAAS) متعلق به تیلور و مک لنین (REE+Y) مربوط به افق های فسفریتی و همچنین غیر فسفریتی سازند پابده در برش های مورد مطالعه انتخاب شد.

نتایج مربوط به غلظت عناصر نادر خاکی و ایتیریم (REE+Y) نشان می دهد که غلظت این عناصر از 27.1 الی 103 ppm و 7 الی 52.2 ppm به ترتیب در افق های غیر فسفات دار و همچنین افق های فسفریتی سازند پابده در سه برش مطالعه در تغییر می باشد. بررسی نمونه ها نشان می دهد که در مقطع کوه موندون غلظت عناصر نادر خاکی در بالاترین حد می باشد و میزان آن بین 105.8 الی 156.4 ppm با متوسط غلظت 123.1 ppm می باشد. این در حالیست که غلظت این عناصر در کوه سیاه بین 84.8 الی 133 ppm و میانگین غلظت 101.9 ppm می باشد و در برش کوه نیل این غلظت به 68.8 الی 101 ppm با میانگین غلظت 84.2 ppm می رسد. بنابراین می توان چنین اظهار نمود که بالاترین غلظت عناصر نادر خاکی متعلق به کوه موندون می باشد. در نهایت غلظت عناصر نادر خاکی در کوه های سیاه و در آخر نیل از تمام مقادیر کمتر می باشد. بررسی مقدار فسفر پنتاکسید (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) در افق های فسفریتی در سه برش مورد مطالعه نشان می دهد هر چقدر درصد فسفر پنتاکسید (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) موجود در ترکیب افق های فسفریتی بالاتر باشد، میزان عناصر نادر خاکی آن نیز بالاتر خواهد بود و بالعکس هر چقدر میزان این ترکیب در افق ها کمتر باشد، محتوای عناصر نادر خاکی آن نیز کمتر خواهد بود. بنابراین افق های فسفریت دار کوه موندون که دارای بالاترین عیار فسفر پنتاکسید می باشند، دارای بالاترین میزان عناصر نادر

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran

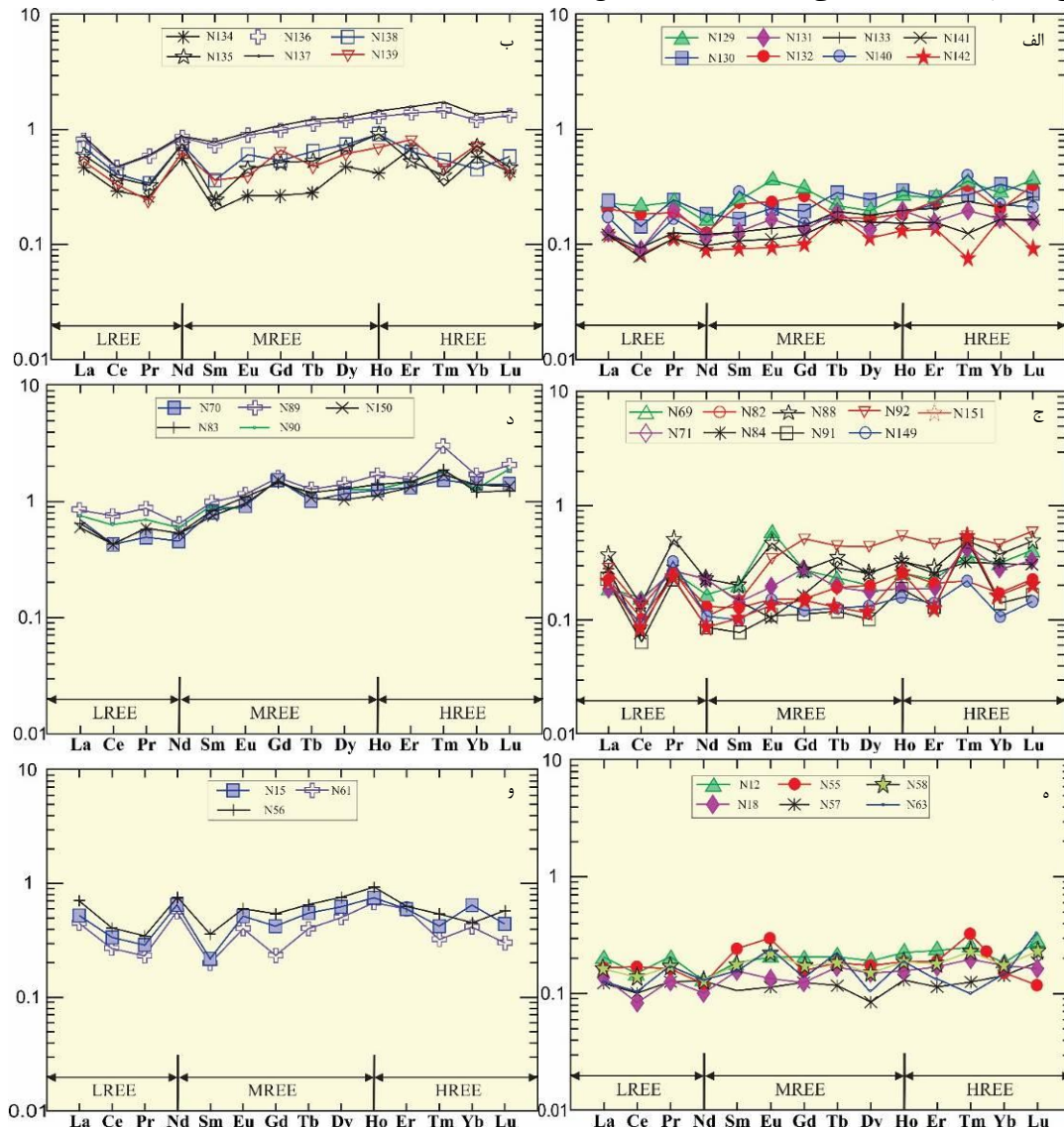


خاکی هستند اما افق های فسفات دار کوه نیل که دارای کمترین میزان فسفر پنتاکسید می باشند، دارای کمترین میزان عناصر نادر خاکی در ترکیب خود می باشند (شکل ۴).



شکل ۴- نمودار دو متغیره غلظت عناصر نادر خاکی (REE) در مقابل درصد فسفر پنتاکسید ( $P_2O_5$ ) مربوط به افق های فسفریت دار و همچنین غیر فسفات سازند پایده در برش های نیل، موندون و سیاه.

الگوی غلظت عناصر نادر خاکی نرمالیزه شده توسط شیل های بعد از آرکئن استرالیا (PAAS) برای نمونه های فسفریتی و همچنین غیر فسفریتی تهیه شده از سه مقطع مورد مطالعه در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- غلظت هر یک از عناصر نادر خاکی نرمالیزه شده با شیل های بعد از آرکئن استرالیا (اقتباس از تیلور و مک لین (Talour & McLennan, 1985) برای نمونه های فسفات دار (الف، ج، ه) و همچنین نمونه های غیر فسفات دار (ب، د، و) تاقدیس های سیاه (الف) و ب، موندون (ج و د) و نیل (ه، و)

همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می شود غلظت عناصر نادر خاکی در نمونه های مربوط به فسفریت ها و در گروه عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) به مراتب بالاتر از سایر گروه های عناصر نادر خاکی می باشد. همچنین در نمونه های مربوط به برش کوه موندون، میزان تهی شدگی ناهنجاری عنصر سریم (Ce anomaly) در مقایسه با غلظت عناصر همسایه مانند لانتانیم (La) و پراسودومیم (Pr) بسیار بیشتر می باشد. مقادیر منفی ناهنجاری غلظت سریم (Ce anomaly) که به توسط فرمول  $(Ce/Ce^*)$  محاسبه می شود، مربوط به کاهش انحلال پذیری می باشد که ناشی از اکسیداسیون سریم سه ظرفیتی  $(Ce^{3+})$  به جای سریم چهار ظرفیتی  $(Ce^{4+})$  و در نهایت حذف دیگر فلزات چند ظرفیتی می باشد (Shields & Stille, 2001).

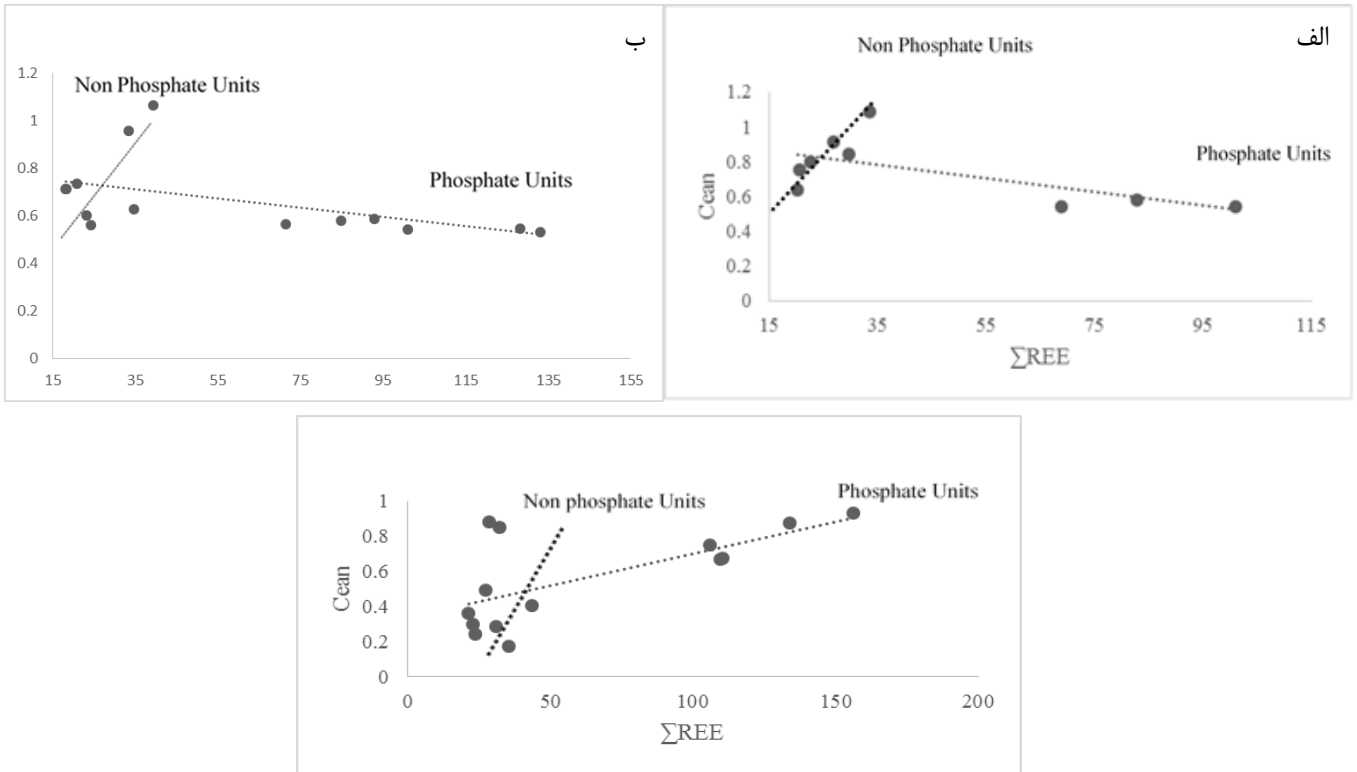
ناهنجاری غلظت سریم (Ce anomaly) که به صورت  $(Ce/Ce^*)$  نمایش داده می شود توسط نویسندگان مختلفی بیان شده است (Galfati, et al., 2010; Elderfield & Greaves, 1982; De Baar et al., 1985). مقادیر ناهنجاری سریم (Ce anomaly) توسط فرمول زیر بدست می آید:

$$[Ce^* = 2/3La_N + 1/3Nd_N; Ce/Ce^* = 3Ce_N / [2La_N + Nd_N]]$$

در این فرمول N نشاندهنده مقادیر نرمالیزه شده نسبت به شیل در هر یک از غلظت های عناصر مختلف می باشد (German & Elderfield, 1990). مطابق با این فرمول چنانچه ناهنجاری غلظت سریم (anomaly) برابر با یک باشد، نشاندهنده اینست که هیچگونه ناهنجاری وجود ندارد. برای مقادیر کمتر از یک این غلظت نشان می دهد که آنومالی منفی می باشد و هنگامیکه مقادیر بالاتر از یک باشد نشاندهنده مثبت بودن این غلظت می باشد (Galfati, et al., 2010).

نمونه های با غلظت ناهنجاری منفی نشاندهنده تشکیل افق های فسفریتی در محیط های نیمه اکسیدان و اکسیدان می باشند (Shields & Stille, 2001).

الگوی غلظت عناصر نادر خاکی (REE) نشان می دهد که عمده نمونه های فسفریتی حاصل از هر سه مقطع دارای مقادیر ناهنجاری غلظت سریم منفی و مثبت می باشند (مقادیر این غلظت ها بین ۰/۲۴ الی ۱/۰۸ در تغییر می باشند). از طرف دیگر تطابق میان مجموع عناصر نادر خاکی و ایتیریم ( $\sum REE+Y$ ) و ناهنجاری غلظت سریم (Ce anomaly) در مقطع کوه موندون نشان می دهد که ارتباط مثبتی میان آنها وجود دارد این در حالیست که تطابق میان مجموع عناصر نادر خاکی و ایتیریم ( $\sum REE+Y$ ) و ناهنجاری غلظت سریم (Ce anomaly) در مقاطع کوه نیل و سیاه نشان می دهد که تطابق منفی میان آنها وجود دارد.

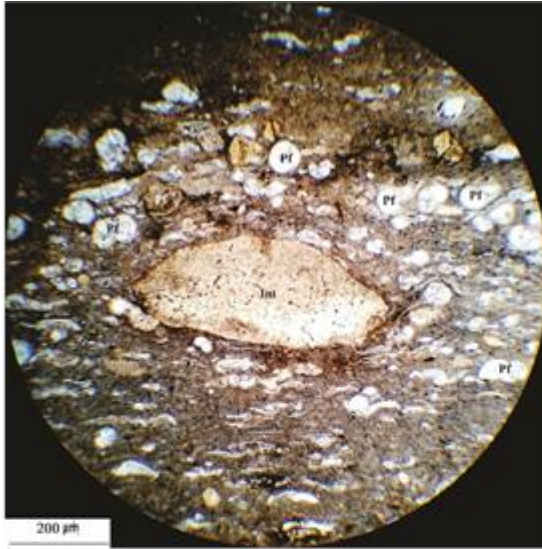


شکل - الف، ب، ج- دیاگرام مربوط به ناهنجاری غلظت سیریم ( $Ce_{an}$ ) به عناصر نادر خاکی در تاقدیس های نیل، سیاه و موندون. وضعیت پروفیل ها نشاندهنده تطابق مثبت میان مقادیر ناهنجاری غلظت سیریم در برش کوه موندون و تطابق منفی در برش های سیاه و کوه نیل می باشد.

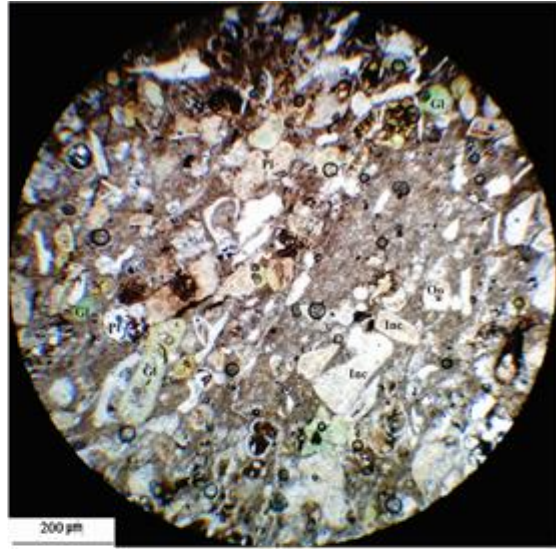
### توصیف و تفسیر ریز رخساره های رسوبی

بر اساس مطالعات پترو گرافی و همچنین بررسی های صحرایی می توان ریز رخساره های سازند پابده در برش های مورد مطالعه را در ۴ گروه عمده شناسایی و طبقه بندی کرد: ۱- ریز رخساره گل سنگ/وکستون بایوکلست دار. ۲- ریز رخساره وکستون/پکستون بایوکلست دار با فسیل های فراوان و همراه با باروونینگ. ۳- پکستون بایوکلست دار حاوی لامینه و لایه های فسفات دار. ۴- گرینستون اینتراکلست و فسفات دار حاوی پلت ها، ائیدها و اینتراکلست های فسفات.

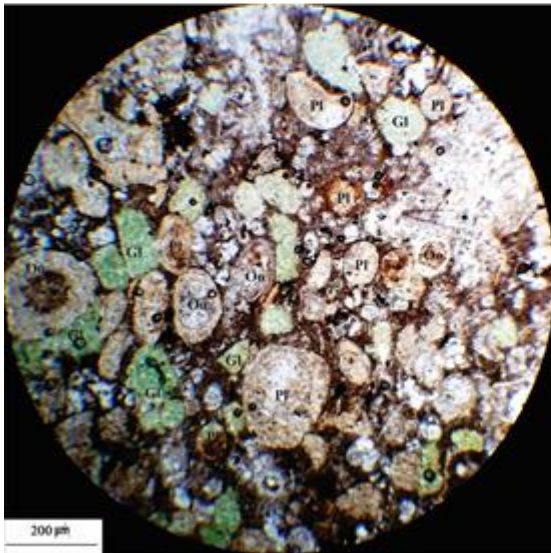
وجود ریز رخساره گرینستون اینتراکلست و فسفات دار حاوی پلت ها، ائیدها و اینتراکلست های فسفات در برش کوه موندون نشاندهنده محیط کم عمق زیر سطح اساس امواج عادی می باشد (Fair whether wave base) که مربوط به یک رمپ کربناته کم عمق و پر انرژی می باشد و با SMF15 قابل قیاس است (Wilson, 1975, Carozzi, 1989). با توجه به موارد فوق می توان چنین اظهار نمود که این رخساره شاخص مناطق محصور شده (Restricted marine) می باشد که متعلق به بخش رمپ داخلی (Inner Ramp) می باشد و با RMF14 از میکروفاسیس های رمپ کربناته فلوگل (Flugel, 2004) معادل می باشد.



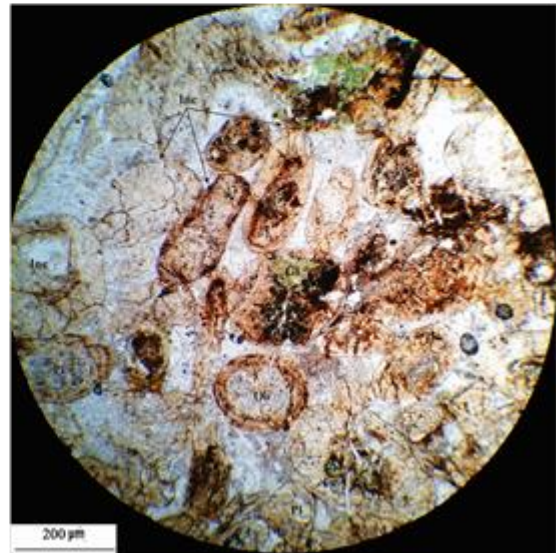
الف



ب



ج



د

شکل - الف - ریز رخساره پکستون فرامینیفردار، اینتراکست دار و بایوکلاست دار حاوی پوسته های فسفریتی شده فرامینیفر. نور پلاریزه ساده. بزرگنمایی 40×. ب- لایه های حاوی چیپس های گلی در میکروفاسیس پکستون حاوی فرامینیفرهای پلانکتونیک، پلت و خرده های فسفات دار. نور پلاریزه ساده. بزرگنمایی 40×. ج- میکروفاسیس گرینستون اینتراکست و فسفات دار حاوی پلت ها، ائیدها و اینتراکست های فسفات. نور پلاریزه ساده. بزرگنمایی 40×. د- میکروفاسیس وکستون تا پکستون فرامینیفر و اکتیوئید دار حاوی پلت، ائید و اینتراکست های فسفات دار. نور پلاریزه ساده. بزرگنمایی 40×.

#### نتیجه گیری:

در برش کوه موندون جریان های طغیانی در بخش های کم عمقتر موجب ایجاد توالی گرینستونی با گرد شدگی و جورشدگی خوب از دانه های پلت، ائید و خرده های فرامینیفرای پلانکتونیک شده است که توالی رسوبی را از بخش های پشت ساحلی (Back shoal) به قسمت های عمیق تر از محیط رمپ میانی تا داخلی منتقل نموده است. بنابراین عمده رسوبات در سازند پابده در بخش میانی و بیرونی رمپ کربناته رسوبگذاری نموده اند و تحت تاثیر جریان های طغیانی قرار داشته اند. شرایط محیطی سازند پابده در سه برش مورد مطالعه نشان می دهد که محیط رسوبی برش موندون در مقایسه با برش های نیل و سیاه از عمق کمتری برخوردار بوده که حضور رخساره گرینستونی در این برش به خوبی شاهدی بر این ادعا می باشد.

مطالعات ژئوشیمیایی نشان می دهد که نمونه های فسفریتی و همچنین افق های غیر فسفاتی سازند پابده در این برش حاوی مقادیر سریم منفی تر هستند. وجود ناهنجاری سریم منفی (0.56) در برش موندون نشاندهنده عمق کمتر حوضه رسوبی و محیط اکسیدی در زمان تشکیل این سازند می باشد. بنابراین داده های مربوط به ژئوشیمی با اطلاعات بدست آمده از مطالعات ریز رخساره ها همخوانی دارد.

#### منابع:

- Alavi, M. 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *Am J Sci* 307: 1064–1095.
- Al-Bassam, K.S. 1989. The Akashat phosphate deposits, Iraq, In: Notholt AJG, Sheldon RP, Davison DF, *Phosphate Deposit of the World, Phosphate Rock Resources*, Cambridge Univ. Press, 2: 316–322.
- Armstrong-Altrin, J.S., Verma, S.P., Madhavaraju, J. et al. 2003. Geochemistry of Late Miocene Kudankulam Limestones, South India. *Int Geol Rev* 45: 16–26.
- Bahrani, M., 2009. Microfacies and Sedimentary Environments of Gurpi and Pabdeh Formations in Southwest of Iran. *American Journal of Applied Science* 6 (7): 1295-1300. ISSN 1546-9239. Science Publications.
- Bakkiaraj, D., Nagendra, R., Nagarajan, R. et al. 2010. Geochemistry of Siliciclastic rocks of Sillakkudi Formation, Cauvery Basin, Southern India; Implications for Provenance. *J Geol Soc India* 76: 453–467.
- Bolourchifard, F., Fayazi, F., Mehrabi, B., et al. 2019. Evidence of high-energy storm and shallow water facies in Pabdeh sedimentary phosphate deposit, Kuhe-Lar-anticline, SW Iran. *Carbonate Evaporite* 34: 1703–1721.
- Carozzi AV, Gerber MS (1978) Sedimentary Chert Breccia: A Mississippian Tempestite. *J Sediment Pet* 48: 705–708.
- De Baar, H.J.W., Bacon, M.P., Brewer, P.G. 1985. Rare earth elements in the Pacific and Atlantic Oceans. *Geochim Cosmochim Acta* 49: 1943–1959.
- Elderfield, H., Greaves, M.J. 1982. The rare earth elements in seawater. *Nature* 296: 214–219.
- El-Naggar, Z.R., Saif, S.I., Abdennabi, A. 1982. Stratigraphical analysis of the phosphate deposits in Northwestern Saudi Arabia. Progress report 1-4 submitted to SANCST, Riyadh. Saudi Arabia.
- Flügel, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. 2nd Edition. Berlin: Springer-Verlag, 984.
- Galfati, I., Sassi, A.B., Zaier, A. et al. 2010. Geochemistry and mineralogy of Paleocene–Eocene Oum El Khecheb phosphorites (Gafsa-Metlaoui Basin) Tunisia. *Geochem J* 44: 189–210.
- German, C.R., Elderfield, H. 1990. Application of the Ce anomaly as a paleoredox indicator: the ground rules. *Paleoceanography* 5: 823–833.
- Kamber, B.S., Webb, G.E. 2001. The geochemistry of late Archaean microbial carbonate: implications for ocean chemistry and continental erosion history. *Geochim Cosmochim Acta* 65: 2509–2525.
- Kato, Y., Nakao, K., Isozaki, Y. 2002. Geochemistry of Late Permian to Early Triassic pelagic cherts from southwest Japan: implications for an oceanic redox change. *Chem Geol* 182: 15–34.
- Kemp, R.A., Trueman, C.N. 2003. Rare earth elements in Solnhofen biogenic apatite: geochemical clues to the palaeoenvironment. *Sediment Geol* 155: 109–127.
- Liu, Y.G., Mia, M.R.U., Schmitt, R.A. 1988. Cerium: A chemical tracer for paleo oceanic redox conditions. *Geochim Cosmochim Acta* 52: 2362–2371.
- Madhavaraju, J., González-León, C.M., Lee, Y.I., et al. 2010. Geochemistry of the Mural Formation (Aptian-Albian) of the Bisbee Group, Northern Sonora, Mexico. *Cretac Res* 31: 400–414.
- Madhavaraju, J., Ramasamy, S. 1999. Rare earth elements in Limestones of Kallankurichchi Formation of Ariyalur Group, Tiruchirapalli Cretaceous, Tamil Nadu. *J Geol Soc India* 54: 291–301.

- Mohseni, H., Al-Aasm, I.S. 2004. Tempestite deposits on the storm influenced carbonate ramp: An example from the Pabdeh Formation (Paleogene), Zagros basin, SW Iran. *J Pet Geol* 27: 163–178.
- Mohseni, H., Behbahani, R., Khodabakhsh, S., et al. 2011. Depositional environments and trace fossil assemblages in the Pabdeh Formation (Paleogene). Zagros Basin, Iran. *Neues Jahrb Geol Paläontol* 262: 59–77.
- Murray, R.W., Brink, M.R.B., Ten Gerlach, D.C., et al. 1991. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 55: 1875–1895.
- Nath, B.N., Roelandts, I., Sudhakar, M., et al. 1992. Rare Earth Element patterns of the Central Indian Basin sediments related to their lithology. *Geophys Res Lett* 19: 1197–1200.
- Notholt, A.J.G. 1980. Economic phosphatic sediments-mode of occurrence and stratigraphical distribution. *J Geol Soc Lond* 137: 793–805.
- Rezaee, P., Nejad, S.A.A. 2014. Depositional evolution and sediment facies pattern of the tertiary basin in southern Zagros, South Iran. *Asian J Earth Sci* 7: 27–39.
- Sharland, P.R., Archer, D.M., Casey, R.B., et al. 2001. Arabian plate sequence stratigraphy. *Gulf Petro link: Manama, Bahrain*, 371–384.
- Shields, G., Stille, P. 2001. Diagenetic constraints on the use of cerium anomalies as palaeoseawater redox proxies: an isotopic and REE study of Cambrian phosphorites. *Chem Geo* 175: 29–48.
- Taylor, S.R. 1985. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. In: Taylor SR, McLennan SM, *The Continental Crust; Its composition and evolution*, Blackwell, Oxford, 312.
- Wang, Y.L., Liu, Y.G., Schmitt, R.A. 1986. Rare earth element geochemistry of South Atlantic deep sea sediments: Ce anomaly change at ~54 My. *Geochim Cosmochim Acta* 50: 1337–1355.
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate Facies in Geologic History*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 471.



## چینه نگاری زیستی و محیط دیرینه سازند قم براساس فرامینیفرها در برش حاجی

### آباد، شمال غربی دلیجان

جهانبخش دانشیان<sup>۱</sup>، طاهره فولادی فرد<sup>۲\*</sup>

دانشگاه خوارزمی، دانشکده زمین شناسی، گروه زمین شناسی

#### چکیده:

مطالعه فرامینیفرها سازند قم در یک برش در شمال غرب دلیجان منجر به شناسایی نهشته های الیگوسن شامل آشکوب های روپلین و شاتین شد. مبنای تعیین سن نهشته گونه های نظیر *Austrorillina paucialveolata*, *Peneroplis* sp., *Nummulites* sp., *Nummulites vascus*, *Halkyardia minima*, مبنای تفکیک روپلین و شاتین براساس حضور گونه های *Nephrolepidina* sp., *Nummulites* sp. در نظر گرفته می شود. بر پایه فرامینیفرها شناسایی شده سن احتمالی قدیمی ترین و جوان ترین رسوبات برش مطالعه ۳۳/۹ تا ۲۳/۰۳ میلیون سال پیشنهاد شده است. کلیدواژه: فرامینیفرها، چینه نگاری، محیط دیرینه، سازند قم، شمال غرب دلیجان.

#### Abstract

Foraminifera Study of the Qom Formation in a northwest of Delijan section caused to the identification of Oligocene depositions including the Rupelian and Chattian stages. Based of determination in age of the species is considered *Austrorillina paucialveolata*, *Peneroplis* sp., *Nummulites* sp., *Nummulites vascus*, and *Halkyardia minima*. Separation of basis of Rupelian and Chattian based on the presence of *Nephrolepidina* sp. *Nummulites* sp. Based on the identified foraminifers, the probable age of the oldest and youngest sediments of the study section has been suggested to be 33.9 to 23.03 million years.

Key words: Foraminifera, Stratigraphy, Paleoenvironment, Qom Formation, Northwest of Delijan

#### مقدمه:

سازند قم به عنوان یک واحد سنگ چینه ای در ایران مرکزی، با تغییرات سنی الیگوسن تا میوسن پیشین با واحد عمدتاً کربناته شناخته می شود. وجود این نهشته ها نمایانگر این امر است که به دنبال فاز کوهزایی پیرنخن و یک دوره رسوب گذاری قاره ای در الیگوسن پایینی قسمت های شمال غرب و غربی ایران مرکزی از ماکو تا جنوب جازموریان توسط دریایی پیشرونده پوشیده شده است. زمان این پیش روی در همه نقاط ایران مرکزی یکسان نبوده و به گفته آقانباتی (۱۳۸۹) در نقاطی مانند سبزواران و قم، این پیش روی در زمان روپلین (الیگوسن) اتفاق افتاده و در بعضی نقاط مانند آذربایجان در آکیتانین (میوسن زیرین) و حتی بوردیگالین رخ داده، پسروی آن نیز در همه جا یکسان نبوده است.

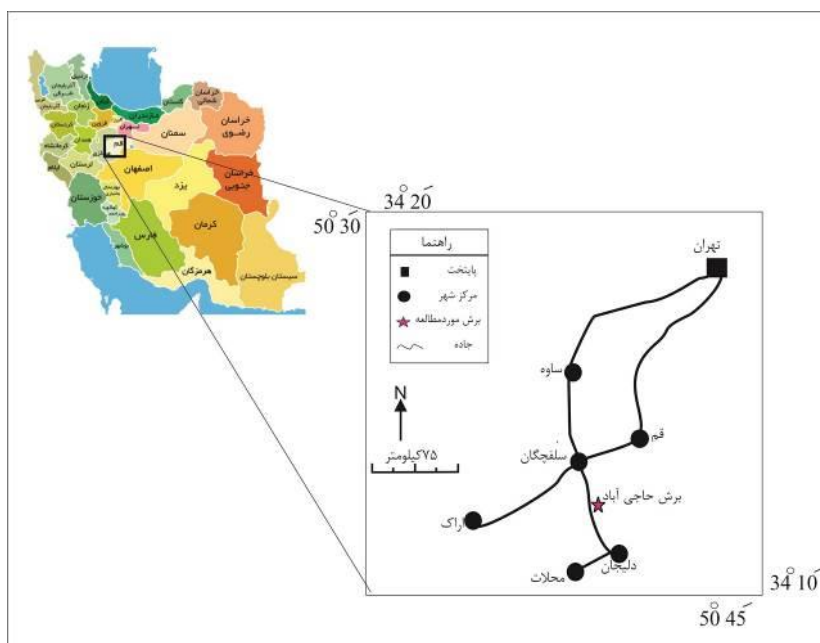
ردیف رسوبات عمدتاً کربناته نهشته شده در دریای قم بر روی سکوه های کربناتی و سرایشیب این سکوها نهشته شده اند، ولی در عین حال وجود رسوبات تبخیری و به ویژه نهشته های مارنی نمایانگر توپوگرافی ناهمگون بستر دریا بوده و نشان می دهد که عمق این دریا از محیط های کولابی تا بخش های عمیق تر برای نهشته شدن مارن متغیر بوده است (آقانباتی، ۱۳۸۹).

آقانباتی (۱۳۸۹) جایگاه چینه نگاری و رخساره های سازند قم در ایران مرکزی را بسیار شبیه و نزدیک به سازند آسماری در

زاگرس می‌داند. به همین دلیل با توجه به گسترش زیاد و شاخص بودن و تمرکز ذخایر هیدروکربنی، مطالعات انجام شده روی این نهشته‌ها سازند قم از اهمیت برخوردار است. در ایران مرکزی دو حوضه پیش کمان (اصفهان - سیرجان) و پس کمان (قم) وجود داشته که رسوب‌گذاری سازند قم در آن‌ها انجام شده است، این دو حوضه توسط یک سیستم کمان آتشفشانی فعال در ائوسن از هم جدا شده‌اند (آقناباتی، ۱۳۸۹). حوضه پیش کمان اصفهان - سیرجان در زمان الیگوسن پیشین در زیر دریای قم قرار داشته و این شرایط اکتیانین - بوردیگالین ادامه داشته است. در حوضه پس کمان قم نیز که تا ابتدای الیگوسن پسین شرایط محیط دریایی نداشته، از زمان الیگوسن پسین به زیر آب رفته و شرایط دریایی حاکم شده است. در زمان میوسن یک رژیم تکتونیکی فشارشی، ارتباط این حوضه با دریای باز قطع می‌شود و زمان اکتیانین شرایط دریای محصور حاکم شده و خروج از آب به صورت پراکنده با رسوب‌گذاری نهشته‌های تبخیری همراه شده است (رحیم زاده، ۱۳۷۳). مطالعاتی که بر روی رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند قم انجام شده حاکی از این است که این سازند در سیستم‌های رسوبی گوناگونی نهشته شده و به طور کلی رخساره‌های آن را می‌توان به چهار نوع رودخانه‌ای - دلتایی، سکوی کربناتی - تبخیری، سراسیبه حاشیه سکوی کربناتی و منطقه عمیق تقسیم کرد (رحیم زاده، ۱۳۷۳).

#### محدوده مورد مطالعه

محدوده حاجی آباد در طول های جغرافیایی 50°12'00 تا 51°05'13 و عرض های جغرافیایی 34°00'00 تا 34°40'56 واقع شده برش مورد مطالعه از جنوب به قم و از شمال غرب به دلیجان واقع است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه (موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۲).

#### روش مطالعه:

پس از مطالعات صحرائی یک برش چینه شناسی در ناحیه حاجی آباد، شمال غربی دلیجان انتخاب و طی این مرحله تعداد ۱۱۹ نمونه از ۱۱۵ متر ضخامت سازند قم تهیه گردید. و نمونه‌برداری در برش حاجی آباد با فواصل کم انجام شد. مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌ها در آزمایشگاه به دقت مطالعه شدند، میکروفسیل‌ها فرامینیفرها تا حد گونه مطالعه، شناسایی و نامگذاری شدند. فرامینیفرها بر اساس منابعی نظیر لوئبلیش و تاپان (Loeblich and Tappan, 1988)، آدامز و بورژوا (Adams and Bourgeois, 1967)، هاتینگر (Hottinger, 2007)، شناسایی شدند. هدف از انجام این بررسی‌ها عبارتند از: ۱- مطالعه واحد

های سنگی نهشته های سازند قم در برش حاجی آباد ۲- شناسایی، رده بندی و مطالعه سیستماتیک روزن داران موجود در نهشته های سازند قم و تعیین گسترش چینه شناسی آنها ۳- تعیین سن نسبی و زیست چینه نگاری نهشته های برش مورد بررسی است.

#### بحث:

تاکنون بایوزوناسیون رسمی برای سازند قم در کل زون ایران مرکزی معرفی نشده است ولی از آنجایی که شباهت قابل ملاحظه ای بین فرامینیفرای سازند قم و سازند آسماری (واقع در منطقه زاگرس در جنوب-غرب ایران وجود دارد از بایوزوناسیون های ارائه شده برای سازند قم نیز استفاده می شود. از جمله بایوزوناسیون آدامز و بورژوا (Adams and Burgeois, 1967)، و ایندی (Wynd, 1965) براساس فرامینیفرا (شکل ۱-۴) می باشد. ویژگی های زیست چینه نگاری سازند آسماری اولین بار توسط (Wynd, 1965) تدوین شد. آدامز و بورژوا (۱۹۶۷) داده های و ایند را مورد تجدید نظر قرار دادند و پس از مطالعه ۵۰ برش چینه نگاری از نهشته های سازند آسماری در نواحی لرستان و خوزستان و در محدوده ای به وسعت ۱۱۰۰ کیلومترمربع بایوزوناسیونی رسمی را برای این سازند معرفی کردند. که هم ارزی زمانی سازنده های آسماری و قم و شباهت قابل توجه لیتولوژی و فونای آن ها منجر به استفاده از بایوزوناسیون آدامز و بورژوا (Adams and Burgeois, 1967) به عنوان مرجعی برای مقایسه شد

بایوزون های معرفی شده برای سازند قم در برش مورد مطالعه براساس آدامز و بورژوا (Adams and Burgeois, 1967) از پایین به بالا عبارتند از:

زون تجمعی ۱:

#### *Eulepidina – Nephrolepidina – Nummulites Assemblage Zone*

این زون تجمعی ۱۱۵ متر ضخامت دارد که از نظر لیتولوژی شامل شامل آهک متوسط لایه با میان لایه های آهک توده و نازک لایه و به همراه مارن و لایه بسیار نازک کنگلومرا می باشد. حضور *Nummulites* مربوط است به روپلین *Nummulites* و به همراه *Nephrolepidina* یا *Eulepidina* مربوط است به شاتین. با توجه به این مرز بین روپلین با شاتین تعیین شده است، که ضخامت روپلین ۴۵ متر و ضخامت شاتین ۷۰ متر می باشد.

این بایوزون به دلیل حضور گونه های « *Eulepidina-Nephrolepidina-Nummulites* » مطابق بایوزون شماره ۳ آدامز و بورژوا (Adams & Bourgeois) به سن روپلین - شاتین می باشد.

از آن جایی که در برش مورد مطالعه آثار فسیلی فرامینیفرا پلانکتونیک کمیاب می باشد و با توجه به تنوع و فراوانی فرامینیفرا بنتونیک، مبنای کار بیواستراتیگرافی بر پایه فرامینیفرا بنتونیک گذاشته شد. از مجموع فرامینیفرا شناسایی شده در برش حاجی آباد مجموع فرامینیفرا شاخص زیر دارای اهمیت می باشد (شکل ۲).

*Glomospira* spp., *Glomospirella* sp., *Haplophragmium* spp., *Bigennerina* sp., *Pseudolituonella reicheli*, *Textularia* spp., *Valvulina* sp.1., *Valvoline* spp., *Spiroloculina* spp., *Schelumbergerina* spp., *Massilina* spp., *Quinqueloculina* spp., *Pyrgo* sp.1., *Pyrgo* spp., *Triloculina trigonola*, *Triloculina* sp., *Borelis* sp., *Borelis pygmaea*, *Austrotrilina* sp., *Austrotrillina pauncialveolata*, *Dendritina* sp., *Peneroplis* sp., *Peneroplis evolutus*, *Peneroplis thomasi*, *Meandropsina* sp., *Reussella* spp., *Valvulineria* sp., *Neorotalia* spp. *Ritalidea* gen. et sp. indet., *Discorbis* sp., *Cibicides* sp., *Planorbulina* sp., *Halkyardia minima*, *Sphaerogypsina globulus*, *Asterigerina rotula*, *Asterigerina* sp., *Amphiestegina* spp., *Heterolepa* spp., *Nephrolepidina* sp., *Elphidium* sp.1, *Elphidium* sp., *Heterostegina* sp., *Nummulites vascus*, *Nummulites* sp.

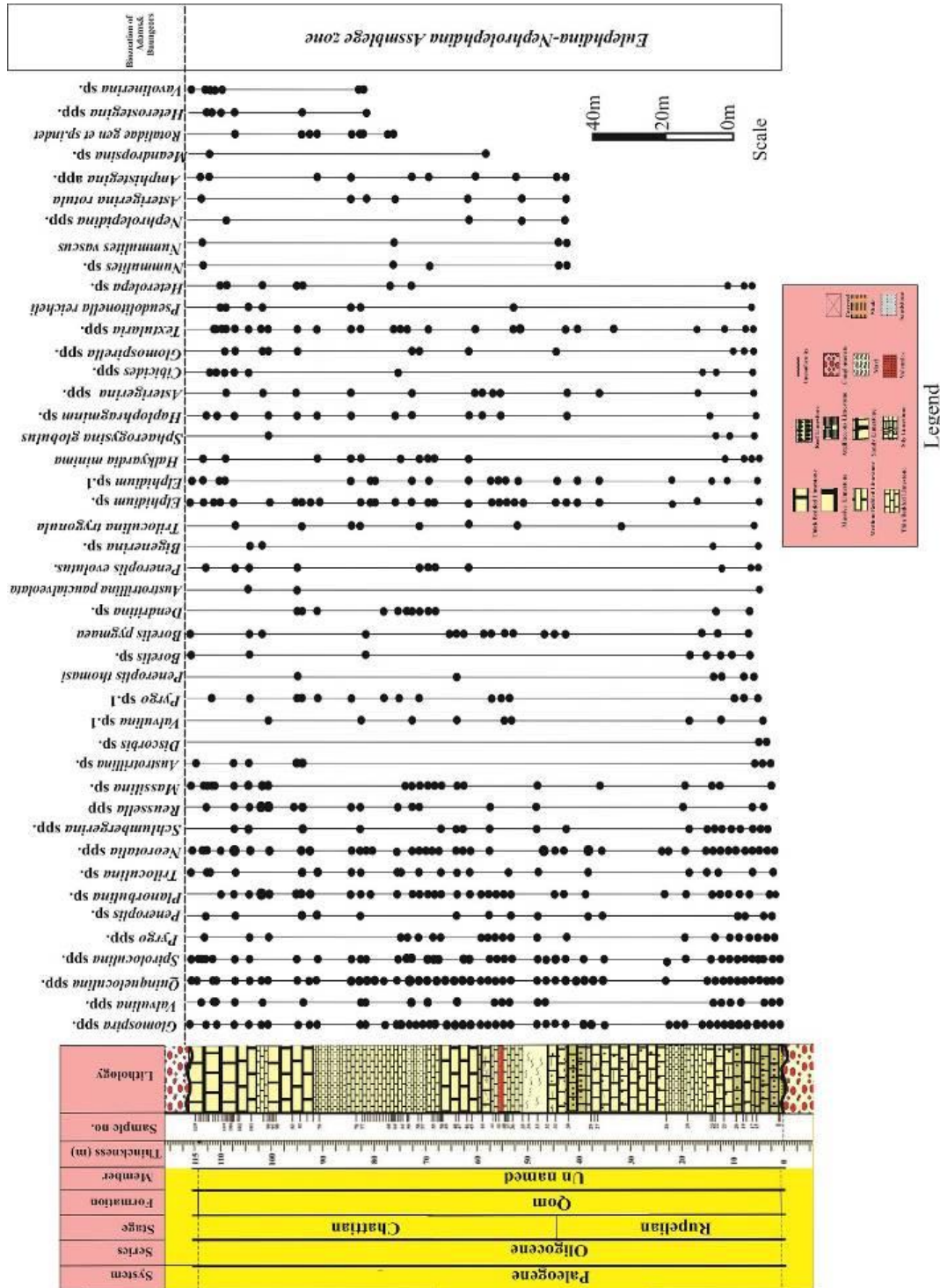
نتیجه گیری

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran

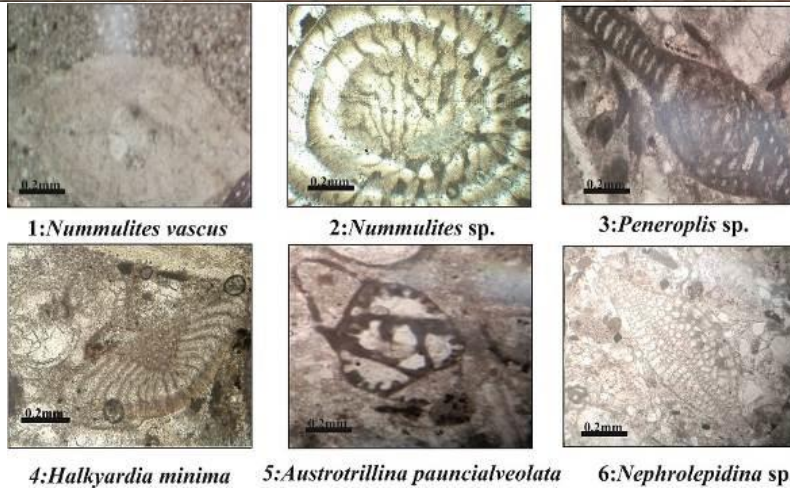


براساس فرامینیفرای شناسایی شده در برش مورد مطالعه ۴۵ متر قاعده برش متعلق به روپلین و ۷۰ متر بعد متعلق به شاتین بوده و سازند قم در این برش فاقد رسوبات میوسن است.

حضور گونه‌های *Austrotrilina paucialveolata*, *Nummulites vascus*, *Halkyardia minima*, *Nummulites* sp. کننده سن تعیین شده هستند و رسوبات در بازه زمانی ۱۰/۸۷ میلیون سال نهشته شده اند (شکل ۳).



شکل ۲: گسترش چینه نگاری فرامینیفرها در برش حاجی آباد.



شکل ۳: فرامینیفرای شاخص برش مورد مطالعه.

### منابع

- آقائباتی، ع، ۱۳۸۸. زمین شناسی توان معدنی استان کرمانشاه. مجله رشد آموزش زمین شناسی، شماره ۵۶.  
 رحیم زاده، ف، ۱۳۷۳. زمین شناسی ایران، الیگوسن، میوسن، پلیوسن، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران، شماره ۱۲، سازمان زمین شناسی کشور.  
 نقشه راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه (موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۲).

Adams, T. D., & Bourgeois, F., 1967. Asmari biostratigraphy Iran. Oil Oper. Co., Geol. Explor. Div., Report, no.1074, pp.1-37, unpublished.

Hottinger, L., 2007. Revision of the foraminiferal genus *Globoreticulina* Rahaghi, 1978, and of its associated fauna of larger foraminifera from the late Middle Eocene of Iran. Carnets de Geologie/Notbooks on Geology, Brest, GG 2007/06, 1-51.

Loeblich, A. R., and Tappan, J. H., 1957. Planktonic foraminifera of Paleocene and early Eocene age from the gulf and Atlantic coastal plains. Bul. Nat. Mus., no. 215, 223- 232.

Wynd, J. G., 1965. Biofacies of the Iranian Oil Consortium A greement area. IOOC. Report no. 1082

## گیاهان میزبان تولیدمثل حشرات، مطالعه موردی: ماکروفسیل های گیاهی سازند

شمشک، رودبار، البرز غربی

سولماز صادقی<sup>۱\*</sup>، حسین هاشمی<sup>۲</sup>

۱- سولماز صادقی، دانشجوی دکتری چینه شناسی و فسیل شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

۲- حسین هاشمی، دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sadeghisolmaz6890@gmail.com

### چکیده:

در نهشته های سازند شمشک، برش چینه شناسی رودبار (البرز غربی)، مجموعه نسبتاً متنوعی از ماکروفسیل های گیاهی شامل سرخس ها، سیکادوفیت ها، ژینکوفیت ها و اسفنوفیت های با حفظ شدگی خوب متعلق به تریاس پسین؟ - ژوراسیک میانی (آالنین) وجود دارند. مطالعه ماکروفسیل های گیاهی مذکور، منجر به شناسایی شواهد تخم گذاری دو نمونه از راسته Odonata متعلق به شاخه Arthropoda روی برگ های *Taeniopteris vittata* و *Ctenis sp. cf. C. sulcicaulis* شده است. تخم گذاری حشرات روی برگ گیاهان از رایج ترین تعاملات بین گیاهان و حشرات می باشد. فرم های *Paleoovoidus sp. 1* و *Paleoovoidus sp. 2* بیضوی و اشک مانند (Tear-shaped)، با حفظ شدگی خوب، و به روش آندوفیتیک روی هر دو گونه ماکروفسیل گیاهی دیده می شوند. با توجه به این که نمونه های گیاهی مورد مطالعه مربوط به مناطق مرتفع بودند احتمالاً پس از جدا شدن این برگ ها از درختان و انتقال آن ها به محیط های رسوبی نواحی پست (مثلاً مرداب ها)، شرایط مناسب برای تخم گذاری حشرات فراهم شده است.

کلیدواژه: تخم گذاری حشرات، ماکروفسیل های گیاهی، سازند شمشک، ژوراسیک، البرز غربی

## Plants as hosts of insects reproduction, case study: Plant megafossils from the Shemshak Formation, Rudbar, western Alborz

Solmaz Sadeghi\*; Hossein Hashemi

### Abstract

Relatively diverse, well preserved plant megafossils including representatives of coniferophytes, cycadophytes, ginkgophytes, sphenophytes, and filicophytes of Late Triassic (Rhaetian?)-Middle Jurassic (Aalenian)? age occur in the Shemshak Formation of Rudbar, western Alborz. Collection of plant macrofossils of the assemblage comprises several specimens of *Taeniopteris vittata* and *Ctenis sp. cf. C. sulcicaulis* hosting Odonata oviposition on their leaves. Insect oviposition on plant leaves is seemingly one of the most common interactions between plants and insects. Well preserved oval to tear-shaped *Paleoovoidus sp. 1* and *Paleoovoidus sp. 2* oviposited on both plant macrofossils endophytically. The contemporaneous insects oviposited on the plant macrofossils apparently after leaves of the latter, originally indicative taxa of high altitudes, carried downstream to bogs or swamps.

**Keywords:** Oviposition, Plant megafossils, Shemshak Formations, Jurassic, Western Alborz

### مقدمه:

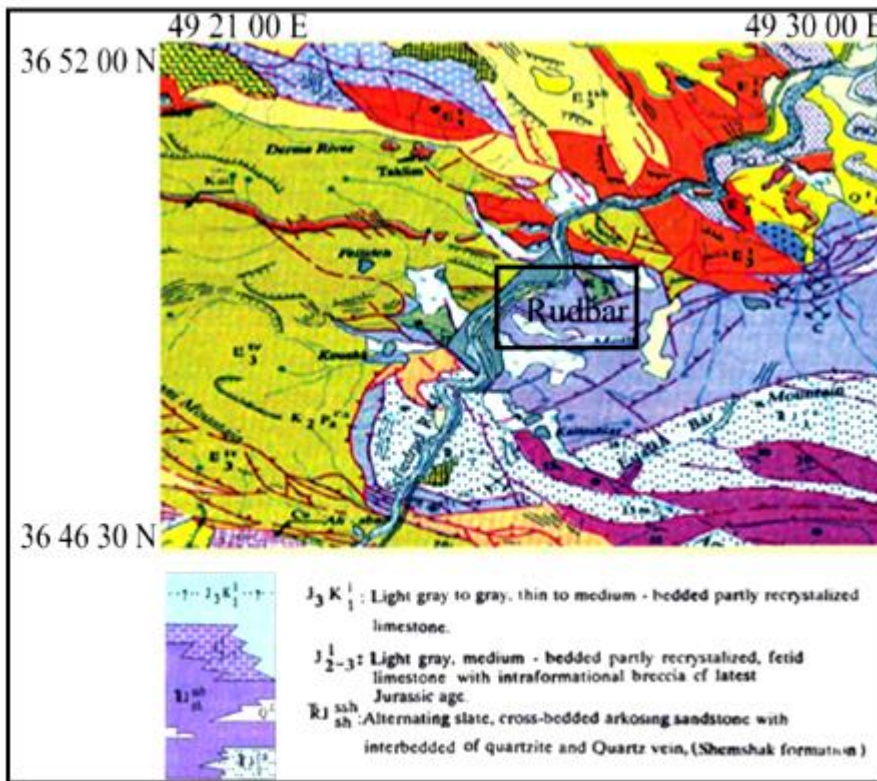
نهشته های سازند شمشک در منطقه رودبار (البرز غربی) دربرگیرنده مجموعه متنوعی از ماکروفسیل های گیاهی با حفظ شدگی نسبتاً خوب هستند. این مجموعه شامل مخروطیان، سرخس ها، سیکادوفیت ها، ژینکوفیت ها و اسفنوفیت ها به سن تریاس پسین؟ - ژوراسیک میانی (آالنین) بوده که در تناوبی از ماسه سنگ - سیلتستون و

میان لایه‌هایی از شیل و زغال‌سنگ دیده می‌شوند (صادقی ۱۳۹۲). گیاهان و حشرات دو گروه مهمی هستند که بیشترین تنوع زیستی/همزیستی را به خود اختصاص داده‌اند. امروزه طیف گسترده‌ای از تعامل بین حشرات و گیاهان مشاهده می‌شود؛ به‌عنوان مثال حشرات جهت زندگی، تأمین غذا، ایجاد سرپناه و دفاع در شرایط سخت، انتخاب میزبانی جهت نگهداری تخم‌ها، لاروها و شفیره‌ها از گیاهان استفاده می‌کنند (Pott et al., 2008). گزارش‌های ارائه‌شده از تعامل بین حشرات و گیاهان در بازه زمانی دونین-عهد حاضر، نشان‌دهنده تکامل هم‌زمان گیاهان و حشرات و تغییرات جهانی در زمان زمین‌شناسی است (Labandeira et al., 2002; Popa and Zaharia, 2011).

بیشترین گزارش‌ها از این تعامل در گیاهان مربوط به دوره‌های پرمین، تریاس و سنوزوئیک بوده که تنوع و فراوانی موجودات به سطح کنونی خود نزدیک‌تر بوده است ولی در گیاهان ژوراسیک و کرتاسه این شواهد به ندرت دیده شده‌اند (Vasilenko, 2008). از گزارش‌های پالئوزوئیک می‌توان به نمونه‌های یافت شده روی ساقه sphenopsid از فرانسه به سن پنسیلوانین پسین (Be'thoux et al., 2004)، شواهد نقش بسته روی برگ‌های glossopterid به سن پرمین پسین از استرالیا (Bunbury, 1861)، از آفریقای جنوبی (Prevec et al., 2009)، هند (Banerji, 2004)، برزیل (Adami-Rodrigues et al., 2004)، آرژانتین (Fernández and Chiesa, 2019) اشاره کرد. از گزارش‌های تخم‌گذاری حشرات روی گیاهان مزوزوئیک می‌توان به شواهد یافت شده مربوط به گیاهان اسفونوپسیدا از آلمان و فرانسه به سن تریاس میانی-پسین (Kelber, 1988)، از شیلی و استرالیا (Pott et al., 2008)، نمونه‌های ثبت‌شده از گیاهان به سن پرمین-تریاس در جنوب غرب گندوانا (Cariglino et al., 2021)، ماکروفسیل‌های گیاهی ژوراسیک پیشین آلمان (Van Konijnenburg-van Cittert and Edirisooriya and Dharmagunawardhane, 1999) (Schmeibner, 2013) و اوایل کرتاسه پسین از فلسطین (Krassilov et al., 2007) اشاره کرد. از گزارشات سنوزوئیک می‌توان به نمونه‌های ائوسن ایالات متحده (Labandeira et al., 2002)، آرژانتین (Sarzetti et al., 2009)، از رسوبات الیگوسن آلمان (Hellmund and Hellmund, 2002) و از رسوبات به سن میوسن پیشین آلمان (Hellmund and Hellmund, 2002) اشاره کرد.

#### زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه:

رودبار در جنوب استان گیلان، البرز غربی قرار دارد. سازند شمشک در این منطقه با گسترش جغرافیایی و رخنمون خوب شامل توالی ستبری از ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل همراه با میان لایه‌هایی از زغال‌سنگ است (شکل ۱). پراکندگی چینه‌شناسی گروه‌های مختلف ماکروفسیل گیاهی، سن تریاس پسین؟ - ژوراسیک میانی (آلنن) را برای سنگ‌های دربرگیرنده نشان داده است (صادقی، ۱۳۹۹). همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد یافتن نمونه‌هایی از شواهد تعامل حشرات با گیاهان در ژوراسیک به ندرت اتفاق می‌افتد. با این وجود در ماکروفسیل‌های گیاهی منطقه رودبار نمونه‌هایی از تخم‌گذاری حشرات مشاهده و توصیف شده است.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ رودبار (Nazari and Salamati, 1998).

#### روش کار:

جمع‌آوری و مطالعه ماکروفسیل‌های گیاهی شامل دو مرحله صحرائی و آزمایشگاهی است. در مرحله اول با بررسی اطلاعات موجود، از جمله نقشه‌ها و گزارش‌های قابل دسترس، افق‌هایی که احتمال ماکروفسیل گیاهی در آن‌ها بود شناسایی و مسیرهای مطالعه مشخص شدند. سپس با حضور در محل، سنگ‌های کوچک و بزرگ در امتداد لایه‌بندی و تورق، شکسته شدند. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده با انتقال به آزمایشگاه و پس از خشک شدن، تمیز شده و شماره‌گذاری شدند. در مطالعات آزمایشگاهی، نمونه‌های گیاهی از نظر تأثیر احتمالی حشرات هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفتند. جزئیات نمونه‌ها مانند طول، عرض، شکل کلی و محل تخم‌گذاری روی برگ و نحوه آرایش آن‌ها (شکل ۲) توصیف و با نمونه‌های مشابه مقایسه شدند. تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه میکروپالئونولوژی دانشگاه خوارزمی تهران نگهداری می‌شوند.

#### سیستماتیک:

*Taeniopteris vittata* Brongniart, 1831

Fig. 2A

1904 *Taeniopteris vittata* Brongniart; Seward; p. 91

2003 *Taeniopteris vittata* Brongniart; Cleal and Rees; p. 763; pl. 7, figs. 1, 2.

**توصیف:** طول فروند (Fronde) بیش از ۱۱ سانتی‌متر و پهنای پهنک ۱۲ میلی‌متر بوده که به سمت دم‌برگ باریک شده و حاشیه پهنک موازی و ساده که رأس آن حفظ نشده است. پهنای راشیس (رگبرگ میانی) ۱ میلی‌متر است. رگبرگ‌های جانبی، دیکوتومی تا ساده هستند، با زاویه نزدیک به قائم از راشیس خارج شده و به حاشیه پهنک متصل می‌شوند. تراکم رگبرگی ۲۹ عدد در سانتی‌متر است.



**مقایسه:** گروهی از پالئوبوتانیست ها از جمله (Fakhr, 1975) معتقدند که *Taeniopteris vittata* همانم *Nilssoniopteris vittata* می باشد. *Nilssoniopteris* و *Taeniopteris* را می توان علاوه بر اپیدرم بر اساس شکل ظاهری پهنک نیز شناسایی کرد. نمونه بررسی شده به علت عدم وجود اپیدرم و به علت اینکه *Taeniopteris vittata* هنوز به طور کامل به *Nilssoniopteris vittata* تغییر نام نیافته است تحت عنوان *Taeniopteris vittata* نامیده شده اند.

**Family Paleovoididae Vasilenko, 2005**  
**Ichnogenus Paleovoidus Vasilenko, 2005**  
*Paleovoidus* sp. 1

Fig. 2A

**توصیف:** ساختارهای اشک مانند که به صورت خطی در امتداد رگبرگ میانی قرار دارند. تخم گذاری حشرات روی گیاهان به دو صورت اگزوفیتیک (روی سطح خارجی برگ یا ساقه گیاهان) یا آندوفیتیک (روی بافت های داخلی برگ یا ساقه گیاهان) می تواند باشد. در *Paleovoidus* sp. 1 شیوه تخم گذاری از نوع آندوفیتیک بوده است. این تخم ها با آرایش منظم و تک ردیفی در امتداد رگبرگ میانی قرار گرفته اند. هر کدام از تخم ها ۳-۲ میلی متر طول و ۱-۰.۸ میلی متر پهنا دارند.

**مقایسه:** دسته بندی این گونه اشکال بیشتر بر اساس شکل، ابعاد، نحوه آرایش، تعداد ردیف ها و محل قرارگیری تخم روی گیاه است. *Paleovoidus rectus* قابل مقایسه با نمونه معرفی شده است و در هر دو، اشکال موازی با رگبرگ میانی قرار دارند ولی تفاوت مهم در قاعده تخم ها است زیرا در تمامی موارد در گونه *Paleovoidus* sp. 1 نمونه ها از قاعده به رگبرگ میانی متصل بودند که احتمالاً نوعی رفتار تغذیه ای در دوران لاروی را برای حشرات نشان می دهد. در حالی که در *Paleovoidus rectus*، تخم ها به رگبرگ متصل نمی شوند. همچنین این گونه توسط شکل ظاهری و تک ردیفی بودن در امتداد رگبرگ میانی از گونه های *P. bifurcatus* و *P. arcuatum* قابل تشخیص است.

*Ctenis* sp. cf. *C. sulcicaulis* (Phillips) Ward, 1905

Fig. 2B

1964 *Ctenis sulcicaulis* (Phillips) Ward; Harris; p. 103; text- figs. 44, 45, 46.

1998 *Ctenis* sp. cf. *C. sulcicaulis* (Phillips) Ward; Schweitzer and Kirchner; p. 68; taf. 15, fig.4; taf. 16, figs. 1-5.

**توصیف:** فروند پنه، طول راشیسی بیش از ۱۴ سانتی متر، پهنای آن ۱۸ میلی متر و به سمت رأس باریک بوده و روی آن خطوط طولی ظریف مشاهده می شود. پینولها با زاویه ۵۵ درجه به راشیسی متصل، دارای کناره های موازی و قاعده دکورانت دارند. پینولها به شکل خطی و طویل با پهنای ۲/۵ سانتی متر و طول بیش از ۱۳ سانتی متر با فاصله ۵ میلی متر از هم قرار دارند. آرایش پینولها در سمت پایین متناوب ولی در قسمت رأس متقابل است. رگبرگ ها به حالت دیکوتومی و با اتصال به هم، شبکه هایی با طول ۳-۱ سانتی متر، پهنای ۱/۵ میلی متر را ایجاد کرده و تراکم رگبرگی ۱۰ عدد در سانتی متر است.

**مقایسه:** تراکم رگبرگی کمتر، موجب شده که این نمونه cf. معرفی شود. (Schweitzer and Kirchner (1998) گونه *Ctenis* sp. cf. *C. sulcicaulis* را از رسوبات تریاس پسین (رتین)- ژوراسیک پیشین ایران و افغانستان گزارش کرده و آن ها نیز به حضور شواهدی از کرم ها روی پینولها اشاره کرده اند.

**Family Paleovoididae Vasilenko, 2005**  
**Ichnogenus Paleovoidus Vasilenko, 2005**  
*Paleovoidus* sp. 2

Fig. 2C

**توصیف:** شواهد یافت شده روی ماکروفسیل گیاهی به شکل بیضی کشیده و خطی با خمیدگی در بخش میانی مشخص می‌شوند. قاعده این شواهد گرد و در قسمت رأسی نوک تیز هستند. طول آن‌ها به صورت میانگین ۲-۴ میلی‌متر و عرض آن‌ها ۱ میلی‌متر است. محل قرارگیری آن‌ها در داخل شبکه‌های رگبریگی و بدون هیچ اتصالی به رگبرگ میانی و با آرایش زیگزاگی و یا ستونی هستند.

**مقایسه:** از لحاظ شکل ظاهری *Paleoovoidus contactus* مشابه نمونه معرفی شده است با این تفاوت که در *Paleoovoidus contactus* نمونه‌ها بسیار کوچک‌تر بوده و آرایش زیگزاگی ندارند. همچنین Pott et al., (2008) نمونه‌هایی را تحت عنوان Rhomboidal impressions shape معرفی کرده‌اند که با ابعاد بزرگ‌تر، آرایش خطی و نبود در بخش میانی از *Paleoovoidus sp. 2* مشخص می‌شوند.

#### بحث:

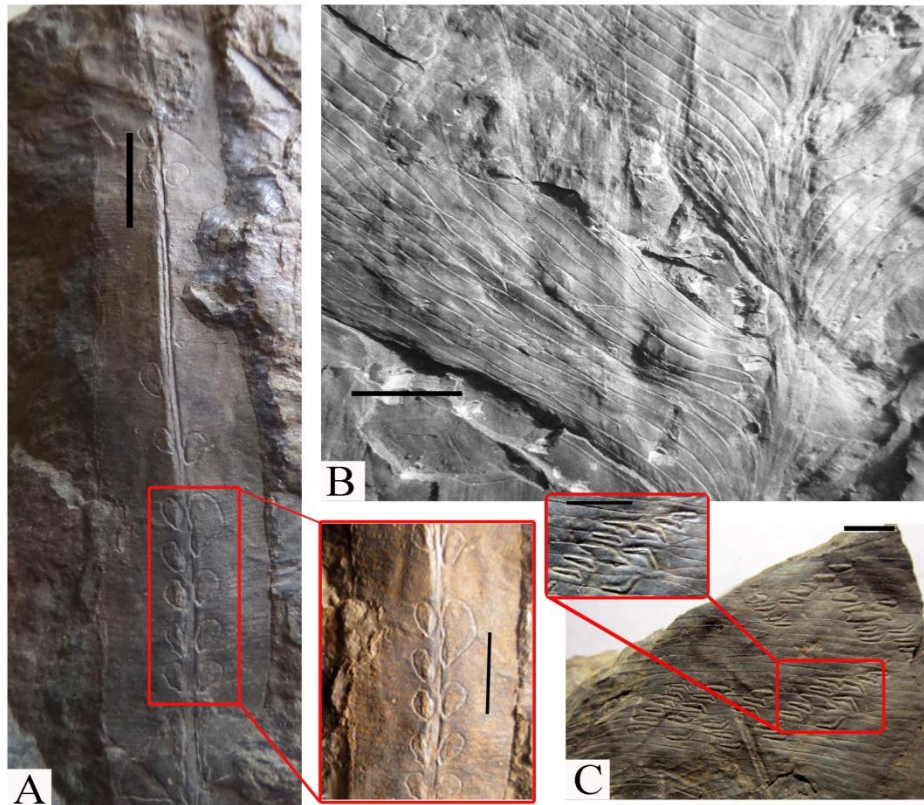
*Ctenis sp. cf. C. sulcicaulis* و *Taeniopteris vittata* روی رسوباتی از جنس سیلتستون و شیل و بدون کوتیکول حفظ شده‌اند. تخم‌گذاری روی برگ‌های گیاهی از رفتارهای رایج حشرات است. تخم‌گذاری آندوفیتیک به علت قرارگیری تخم‌ها روی اپیدرم و در بین بافت‌های گیاهی قدرت حفظ‌شدگی بالایی دارد و با گذشت زمان با وجود از بین رفتن کوتیکول در ماکروفسیل‌های گیاهی، این شواهد قابل تشخیص هستند؛ اما در روش اگزوفیتیک تخم‌ها به صورت خوشه‌ای و بسته‌هایی روی سطح خارجی برگ پراکنده می‌شوند و هیچ‌گونه نظمی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود و به علت قرار گرفتن در سطح خارجی، امکان حفظ‌شدگی آن‌ها بسیار کم است. احتمالاً تخم‌گذاری اگزوفیتیک نشان از مساعد بودن شرایط محیطی در تخم‌گذاری حشرات است (Krassilov and Silantjeva, 2008). قدیمی‌ترین نمونه یافت شده از تخم‌گذاری آندوفیتیک مربوط به شواهدی است که روی ساقه sphenopsid از پنسیلوانین پسین فرانسه (Be'thoux et al., 2004) گزارش شده و نمونه‌های یافت شده را به شاخه‌ای از حشرات موسوم به Archaeorthoptera یا Palaeodictyoptera نسبت داده‌اند. از دیگر نمونه‌ها می‌توان به شواهد بیضی‌شکل آندوفیتیک مشاهده شده روی گیاه *Nilssoniopteris angustiar* از تریاس (کارنین) استرالیا اشاره کرد که در حاشیه خارجی برگ به صورت کشیده و طویل قرار دارند و با نام egg impressions معرفی شده‌اند. شواهد مذکور عموماً با توجه به شکل نمونه و ابعاد، محل قرارگیری و آرایش آن‌ها دسته‌بندی شده و به یکی از گروه‌های Odonatoptera, Palaeodictyopteroidea, Orthoptera نسبت داده شده‌اند (Yuling et al., 2014). همچنین Konijnenburg-van Cittert and Schmeibner (1999) شواهدی را تحت عنوان فرم‌های ۱ و ۲ از ماکروفسیل‌های گیاهی ژوراسیک پیشین فرانسه معرفی کرد. آن‌ها ابتدا این دو فرم را مربوط به فعالیت‌های جلبک‌ها نسبت دادند ولی بعدها با یافتن شواهد حشرات در منطقه مورد مطالعه، این دو فرم را مربوط به تخم‌گذاری آندوفیتیک راسته‌ای از حشرات با نام Odonata ها از شاخه Arthropoda دانستند. Vasilenko (2005) نمونه‌هایی بیضی‌شکل، طویل و با آرایش منظم که در حاشیه برگ‌هایی به سن ژوراسیک پسین - کرتاسه زیرین یافت کرده بود را به *Paleoovoidus* معرفی کرد. Sarzetti et al., (2009) با یافتن نمونه‌هایی از ائوسن تعریف ارائه‌شده توسط Vasilenko (2005) را به صورت «اشکال بیضی، تخم‌مرغی شکل و عدسی شکل در اندازه متوسط تا بزرگ، عرض باریک که با آرایش منظم روی برگ قرار گرفته‌اند و گاهی حاشیه تخم‌ها با بافت گیاه واکنش داده و تیره‌تر شده و به صورت نقاط برجسته روی گیاهان و ماکروفسیل‌های آن‌ها قابل شناسایی هستند» تصحیح کردند. همچنین Krassilov et al., (2007) شواهد بیضی‌شکل مربوط به تخم‌گذاری آندوفیتیک با آرایش زیگزاگی را از برگ‌های *Acaciaephyllum* به سن آلبین از فلسطین گزارش کرد. Popa and Zaharia (2011) نمونه‌های بیضی‌شکل با آرایش خطی از هتانژین - سینمورین رومانی را روی ماکروفسیل‌های گیاهی *Pterophyllum sp.* از شاخه بنتیتال ها گزارش و آن‌ها را به

Odonata نسبت دادند. به طور کلی راسته Odonata ها از مهم ترین گروه های تخم گذار مزوزوئیک محسوب می شوند (Yuling et al., 2014). این موجودات تخم هایی به شکل بیضوی تا تخم مرغی و غالباً به صورت آندوفیتیک در بین بافت گیاه و با آرایش منظمی قرار می دهند. حتی نمونه های امروزی این حشرات مانند *Aeshna juncea* تخم هایی را با آرایش خطی در امتداد رگبرگ میانی به صورت آندوفیتیک روی برگ های *Carex* قرار می دهد (Jacobs and Renner, 1988). محدوده انتخاب زیستگاه برای حشرات به شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی منطقه، میزان تحرک گونه بستگی دارد. به عنوان مثال تراکم پوشش گیاهی و نوع محیط خشکی یا آبی همگی در نحوه توزیع حشرات و شیوه تخم گذاری Odonata تأثیرگذار است (Jaenike and Holt, 1991).

*Paleoovoidus sp. 1* و *Paleoovoidus sp. 2* با توجه به شکل ظاهری و نحوه آرایش منحصر به فرد از گونه هایی که تاکنون شناسایی شده اند، متمایز می باشند. کیفیت حفظ شدگی خوب این نمونه ها مربوط به آندوفیتیک بودن تخم گذاری توسط Odonata بوده است. با توجه به این که نمونه های ماکروفسیلی معرفی شده مربوط به مناطق نسبتاً مرتفع هستند احتمالاً پس از جدا شدن برگ ها از درختان در اوایل ژوراسیک و انتقال آن ها به محیط های پست (مانند مرداب ها)، شرایط مناسب برای تخم گذاری حشرات مهیا شده است.

#### نتیجه گیری:

در سازند شمشک منطقه رودبار، البرز غربی که شامل توالی ستبری از ماسه سنگ، سیلتستون و شیل همراه با میان لایه هایی از زغال سنگ می باشد مجموعه نسبتاً متنوعی از ماکروفسیل های گیاهی با حفظ شدگی خوب وجود دارند. مطالعه نمونه های مذکور منجر به شناسایی شواهد تخم گذاری دو نمونه از راسته Odonata روی برگ های *Taeniopteris vittata* و *Ctenis sulcicaulis* sp. cf. از منطقه رودبار شده است. این نمونه ها بیضی شکل / اشک مانند، با حفظ شدگی خوب و به روش آندوفیتیک روی هر دو گونه ماکروفسیل گیاهی مورد مطالعه دیده می شوند. با توجه به این که نمونه های گیاهی مورد مطالعه متعلق به مناطق مرتفع بودند احتمالاً پس از جدا شدن این برگ ها از درختان و انتقال آن ها به محیط های رسوبی نواحی پست (مثلاً مرداب ها)، شرایط مناسب برای تخم گذاری حشرات فراهم شده است.



شکل ۲. شواهد تخم‌گذاری حشرات روی برگ ماکروفسیل‌های گیاهی مطالعه شده .

A. *Taeniopteris vittata* Brongniart, 1831 and *Paleoovoidus* sp. 1 ; B. *Ctenis* sp. cf. *C. sulcicaulis* (Phillips) Ward, 1905; C. *Paleoovoidus* sp. 2

#### منابع:

- صادقی، س. ۱۳۹۲. سنگواره‌های گیاهی سازند شمشک در مقطع چینه‌شناسی رودبار، البرز غربی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، ۱۴۰ صفحه.
- Adami-Rodrigues, K., Iannuzzi, R., and Pinto, I. D., 2004. Permian plant, insect interactions from a Gondwana flora of southern Brazil. *Fossils and Strata*, 51:106–125.
- Béthoux, O., Galtier, J. and Nel, A., 2004. Earliest evidence of insect endophytic oviposition. *Palaios*, 19: 408-413.
- Bunbury, C. J. F., 1861. Notes on a collection of fossil plants from Nagpur, central India. *Proceedings of the Geological Society of London*, 17: 327–346.
- Banerji, J., 2004. Evidence of Insect-plant interactions from the upper Gondwana sequence (Lower Cretaceous) in the Rajmahal basin, India. *Gondwana Research*, 7(1): 205-210.
- Cariglino, B., Moisan, P., and Belén Lara, M., 2021. The fossil record of plant-insect interactions and associated entomofaunas in Permian and Triassic floras from southwestern Gondwana: A review and future prospects. *Journal of South American Earth Sciences*, 111: 1-22.
- Cleal, C. J., and Rees, P. M., 2003. The Middle Jurassic flora from Stonesfield Oxfordshire. *Palaeontology*, 46: 739-801.
- Edirisooriya, G. and harmagunawardhane, H. A., 2013. Plant Insect-Interactions in Jurassic Fossil Flora from Sri Lanka. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(1), 1-13.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



- Fakhr, M. S., 1975. Contribution á l' étude de la flore rhéto- liassique de la formation de Shemshak de l'Elbourz (Iran). These de doctorat d' etat es- Sciences Naturelles. a l' Universite Pierre et Marie Curie, Paris, 421p.
- Fernández, J. A. and Chiesa, J. O., 2019. Plant-insect interactions in the fossil flora of the Bajo de Veliz Formation (Gzhelian - Asselian). SanLuis, Argentina, An International Journal for Plant and Animal Traces, 27(2): 15-166.
- Harris, T. M. The Yorkshire Jurassic flora, II: Caytoniales, Cycadales and Pteridosperm. London British Museum (Natural History), 188p.
- Hellmund, M., Hellmund, W., 2002. Eigelege fossiler Zygoteren auf dikotylenblättern aus dem mitterlmiozan von Salzhausen (Vogelsberg, Hessen, Deutschland). Odonatologica, 31: 253-272.
- Jacobs, W. and Renner, M., 1988. Biologie und Ökologie der Insekten. Ein Taschenlexikon. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 690p.
- Jaenike, J. and Holt, R. D., 1991. Genetic variation for habitat preference: Evidence and explanations. American Naturalist, 137(Suppl.): 67-90.
- Kelber, K. P. 1988. Was it Equisetites foveolatus?, In H. Hagdorn (ed.), Neue Forschung zur Erdgeschichte von Crailsheim: Sonderbände der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg, 166-184.
- Krassilov, V. and Silantiva, N., 2008. Systematic description of phyllostigmas, p. 65-75. In V. Krassilov and A. Rasnitsyn (eds.). 2007, Plant-arthropod interactions: the early angiosperm history. Evidence from the Cretaceous of Israel. Pensoft Publishers and Brill, Sofia-Moscow and Leiden-Boston.
- Krassilov, V., Silantieva, N., Hellmund, M. and Hellmund. W. 2007. Insect egg sets on angiosperm leaves from the Lower Cretaceous of Negev, Israel. Cretaceous Research, 28: 803-811.
- Labandeira, C. C., 2002. Paleobiology of middle Eocene plant-insect associations from the Pacific Northwest: A preliminary report. Rocky Mountain Geology, 37: 31-59.
- Nazari, H., and Salamati, R., 1998. Geological report of Rudbar map (scale 1/100000). Geological Survey of Iran. 1p.
- Popa, M. and Zaharia, A., 2011. Early Jurassic ovipositors on Bennettitalean leaves from Romania. Acta Palaeontologica Romaniaae 7: 285-290.
- Pott, C., Labandeira, C. C., Krings, M. and Kerp. H., 2008. Fossil insect eggs and ovipositional damage on bennettitalean leaf cuticles from the Carnian (Upper Triassic) of Austria. Journal of Paleontology, 82: 778-789.
- Prevec, R., Labandeira, C. C., Neveling, J., Gastaldo, R. A., Looy, C. and Bamford, M., 2009. A portrait of a Gondwanan ecosystem: A new Late Permian locality from KwaZulu-Natal, South Africa. Review of Palaeobotany and Palynology, submitted.
- Sarzetti, L. C., Labandeira, C. C., Muzon, J., Wilf, P., Cuneo, N. R., Johnson, K. R. and Genise, J., 2009. Odonatan endophytic oviposition from the Eocene of Patagonia: the ichnogenus *Paleoovoidus* and implications for behavioral stasis. Journal of Paleontology, 83(3): 431-447.
- Schweitzer, H.J. and Kirchner, M., 1998. Die Rhäto- Jurassischen Floren des Iran and Afghanistan: 11. Pteridospermophyta und Cycadophyta I Cycadales. Palaeontographica, Abt. B. 248 (1/3): 1-85.
- Seward, A. C., 1904. The Jurassic Flora. I: The Yorkshire Coast. Catalogue of the Mesozoic plant in the Department of the Geology, Brit. Mus. (Nat. His.), London: 426p.
- Vankonijnburg-Van cittert, J. H. A. and Schmeibner, S., 1999. Fossil insect eggs on Lower Jurassic plant remains from Bavaria (Germany). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 152: 215-223.
- Vasilenko, D. V., 2005. Damages on Mesozoic plants from the Transbaikalian Locality Chernovskie Kopi. Paleontological Journal, 39:54-59.
- Vasilenko, D.V., 2008. Insect on aquatic, leaves Querecia from the upper Cretaceous of the Amur Region. Paleontological Journal, 42: 514-521.
- Yuling, N., Chunlin, S., Tao, L., Yunfeng, L., 2014. The insect oviposition firstly discovered on the Middle Jurassic Ginkgoales leaf from Inner Mongolia, China. Acta Geologica Sinica: 88 (1): 18-22.

## ریز زیست چینه نگاری سازند تله زنگ در جنوب باختر کرمانشاه برش کلاه بالا

ایرج مغفوری مقدم<sup>۱</sup>، سید محمد رضا امامی\*<sup>۲</sup>، تیما مقبولیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین شناسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

<sup>۲</sup> گروه زمین شناسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد luckpages@yahoo.com

<sup>۳</sup> فارغ التحصیل ارشد چینه و فسیل، گروه زمین شناسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

### چکیده

در این تحقیق، سنگ چینه نگاری و زیست چینه نگاری سازند تله زنگ در جنوب باختر کرمانشاه (برش کلاه بالا) مورد بررسی قرار گرفت. در برش مورد مطالعه (که در بخش شمال خاوری حوضه لرستان واقع شده است)، ضخامت سازند تله زنگ ۱۴۲ متر بوده و شامل سنگ‌ای متوسط لایه تا ضخیم لایه می‌باشد که با مرز تدریجی بر روی سازند امیران و با مرز مشخص در زیر سازند کشکان قرار می‌گیرد. بر اساس شناسایی ۱ گونه و ۱۱ جنس از روزن‌داران کفزی و ۲ جنس و ۱ گونه از روزنبران شناور و ۲ جنس از جلبک‌های سبز، سن سازند تله زنگ در برش مورد مطالعه پالئوسن پسین- ائوسن پیشین تعیین گردید که معادل بخش زیرین برش الگوی سازند تله زنگ در جنوب خاور حوضه لرستان می‌باشد. اما نسبت به برش الگو عمق بسیار کمی داشته و لذا بسیاری از فسیل‌های معرفی شده در برش الگو در برش کلاه بالا دیده نمی‌شود.

**کلمات کلیدی:** سازند تله زنگ، زیست چینه نگاری، برش کلاه بالا، حوضه لرستان

## Microstratigraphy of the Taleh Zang Formation in Southwestern of Kermanshah, Kola Bala Section

Iraj Maghfori Moghadam, S.M.R. Emami\*, Tima Maghbouljian

### Abstract

In this research, lithostratigraphy and biostratigraphy implications related to the carbonates of the Taleh Zang Formation located in the southwestern of Kermanshah (Kola Bala section), northeast of the Lorestan Basin, are discussed. In studied section thickness of the Taleh Zang Formation is 142 m and overlies transitionally Amiran Formation and with sharp contact, underlying by Kaskan Formation. It contains medium to massive limestone. Determination of 1 species and 11 genera of benthic Framinefera and 2 genera and 1 species of pelagic Framinefera and 2 genera of green algae indicate the Tale Zang Formation in this area is Late Paleocene- Early Eocene in age which equivalent to the lower part of the type section of the Taleh Zang Formation in the southeast of the Lorestan Basin but compared to the Type section have very little depth and so many microfossils introduced in the type section not seen in section under study.

### مقدمه

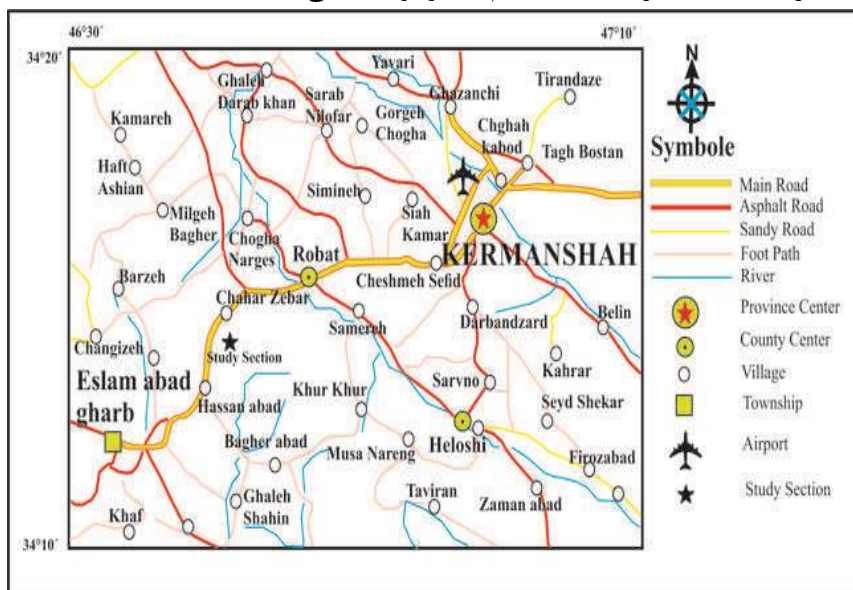
در پایان کرتاسه دو پهنه نسبتاً عمیق در زاگرس وجود داشته است (مطیعی، ۱۳۷۲): پهنه خوزستان - فارس ساحلی و پهنه لرستان. در شروع پالئوسن در مرکز پهنه لرستان رسوبات عمیق پابده و در سمت حاشیه شمالی و خاوری آن نهشته‌های توریدایت سازند امیران تا اواخر ته‌نشین شدند (مطیعی، ۱۳۷۲). در حالیکه در بخش ساحلی لرستان، سازند کربناته تله زنگ، بر اثر پیشروی آب دریا بر روی سازند امیران ته‌نشین گردید. این سازند در یک نوار باریک در امتداد جنوب خاوری تا شمال باختری حوضه لرستان و در طول لبه باختری منطقه زاگرس مرتفع رخمون دارد. به سمت باختر استان لرستان این سازند به شیل و مارن‌های سازند عمیق پابده تبدیل می‌شود.

سازند تله زنگ در حوضه لرستان و در حاشیه مرز جنوبی گسل‌های راندگی‌های زاگرس گسترش داشته و محدوده سنی بین پالئوسن تا ائوسن میانی را شامل می‌شود. یکی از مهمترین ویژگی‌های این سازند تغییر ضخامت و همچنین تغییر رخساره در مسافت‌های بسیار کم است (مغفوری مقدم، ۱۳۸۳). با توجه به این نکته که این سازند نشانگر اولین پیشروی آب دریا در

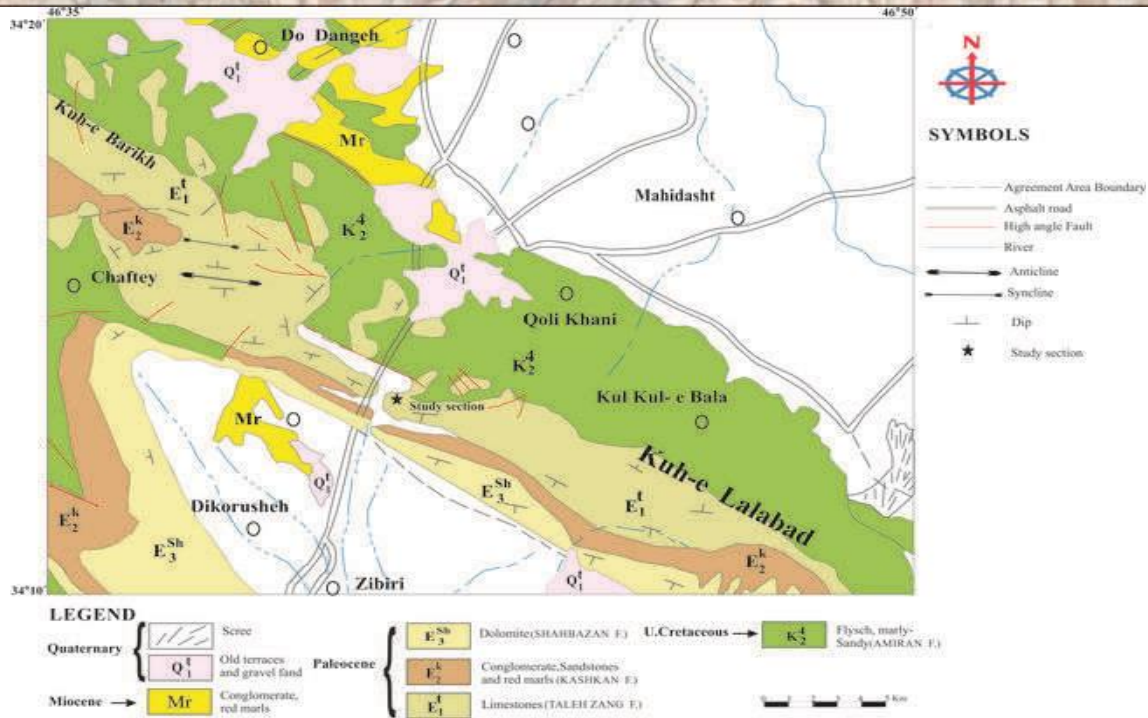
دوران سوم در حوضه لرستان می‌باشد، تعیین سن این واحد در بخش های مختلف می تواند در درک بهتر پیشینه زمین شناسی استان لرستان مفید باشد. از آنجایی که مطالعات صورت گرفته بر روی سازند تله زنگ برای مقاطع چینه نگاری باختر و جنوب باختر حوضه لرستان متمرکز بوده است لذا تصمیم گرفته شد که مطالعه دقیقتری از این سازند در شمال باختری حوضه لرستان یعنی در جنوب

### زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

این برش در ۳۵ کیلومتر جاده کرمانشاه به اسلام آباد غرب، در ارتفاعات تنگه مرصاد قرار دارد (شکل ۱). از جاده اصلی تنگه مرصاد به سمت خاور جاده بعد از چند صد متر پیمایش جاده خاکی می توان به برش مورد نظر دسترسی پیدا کرد. از دید ژئومورفولوژی، منطقه مورد مطالعه به دو بخش شمال خاوری و جنوب باختری تفکیک می گردد (Braud, 1978). ارتفاعات شمال خاوری سیمایی خشن داشته و مورفولوژی آن بیشتر حاصل عملکرد گسل های راندگی است که به فراوانی در ناحیه حضور دارند. در حالیکه، در سایر نواحی فیزیوگرافی ناحیه ای مدیون تکاپوی زمین ساختی از نوع چین خوردگی است. لذا مورفولوژی آن به شکل تاقدیسها و ناودیسهای موازی با روند شمال باختری است. داده های زمین شناسی نشان می دهند که بخش شمال باختری منطقه مورد مطالعه بخشی از زون سندج - سیرجان می باشد و بخش جنوب خاوری که برش مورد مطالعه در آن قرار دارد بخشی از زون لرستان می باشد. در برش مورد مطالعه توالی سازند ها از قدیم به جدید شامل سازند های امیران، تله زنگ، کشکان و سازند شهبازان - آسماری می باشد (شکل ۲). رسوبات سازند آهکی تله زنگ در برش چینه شناسی مورد مطالعه به ضخامت ۱۴۲/۵ متر اندازه گیری شد. روند عمومی طبقات SW 110 و شیب عمومی طبقات ۴۰ درجه جنوب باختری می باشد. سنگ آهک های تله زنگ در این برش بر روی شیل های تیره سازند امیران به شکل تدریجی قرار می گیرد. مرز بالایی آن نیز با کنگلومرای قرمز رنگ سازند آواری کشکان ناپیوسته می‌باشد (شکل ۲). در برش مورد مطالعه سازند تله زنگ دارای آهک‌های نازک لایه ، ضخیم لایه و توده ای می‌باشد.



شکل ۱: نقشه راه دسترسی به برش مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (Braud, 1978).

#### بحث

زیست چینه نگاری این سازند برای اولین بار توسط Wynd, 1965, در قالب 4 بایوزون به سن پالئوسن پسین تا اتوسن پیشین معرفی شد که تا کنون مناسبترین ابزار بکارگیری برای شناسایی و تعیین سن لایه های سازند مزبور است. در برش مورد مطالعه سازند تله زنگ (برش کلاه بالا) 58 عدد مقطع نازک میکروسکوپی مورد مطالعه قرار گرفت. مهمترین جنس ها و گونه های موجود در این برش چینه شناسی به شرح زیر می باشد (شکل 4):

#### روزنبران کف زی

*Dictyoconus* sp., *Elphidiella multiscissurata*, *Gaudryina* sp., *Kathina* sp., *Massilina* sp., *Miliola* sp., *Quinqueloculina* sp., *Periloculina* sp., *Rhapydionina* sp.

#### روزنبران شناور

*Morozovella* sp., *Planorotalites pusila*, *Planorotalites* sp

#### جلبک سبز

*Gymnocodium* sp., *Dactylopora anatholica*

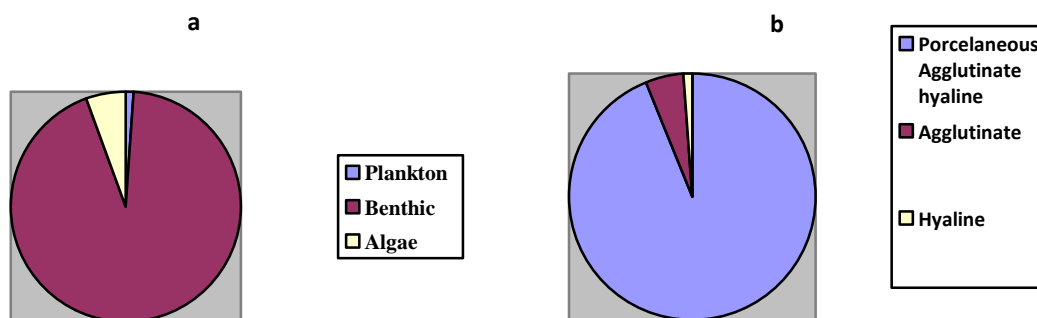
به غیر از ریز فسیل های بالا قطعات درشت فسیل هایی از قبیل شکم پا و استراکد یافت می شود ولی به علت عدم اهمیت زیست چینه ای که دارند، در نمودار زیست چینه ای اشاره ای به آنها نشده است. فراوانی فسیلی در سازند تله زنگ در برش مورد مطالعه بالا چه از نظر تنوع و چه از نظر فراوانی نسبت به دیگر برش های سازند تله زنگ بسیار فقیر می باشد. بسیاری از نمونه های برداشت شده عاری از ریز فسیل بوده اند. نمودارهای a و b فراوانی ریز فسیل های سازند تله زنگ در برش کلاه بالا را نشان می دهد. طبق نمودار a بیش از 92٪ از ریز فسیل ها به روزنبران کف زی، 6٪ به جلبک های سبز و 2٪ به روزنبران شناور تعلق دارند. نمودار b نشان می دهد که تعداد روزنبران به ترتیب به انواع پور سولانوز با فراوانی 95٪، آگلوتین با فراوانی 4٪ و هیالین با فراوانی حدود 1٪ تعلق دارد.



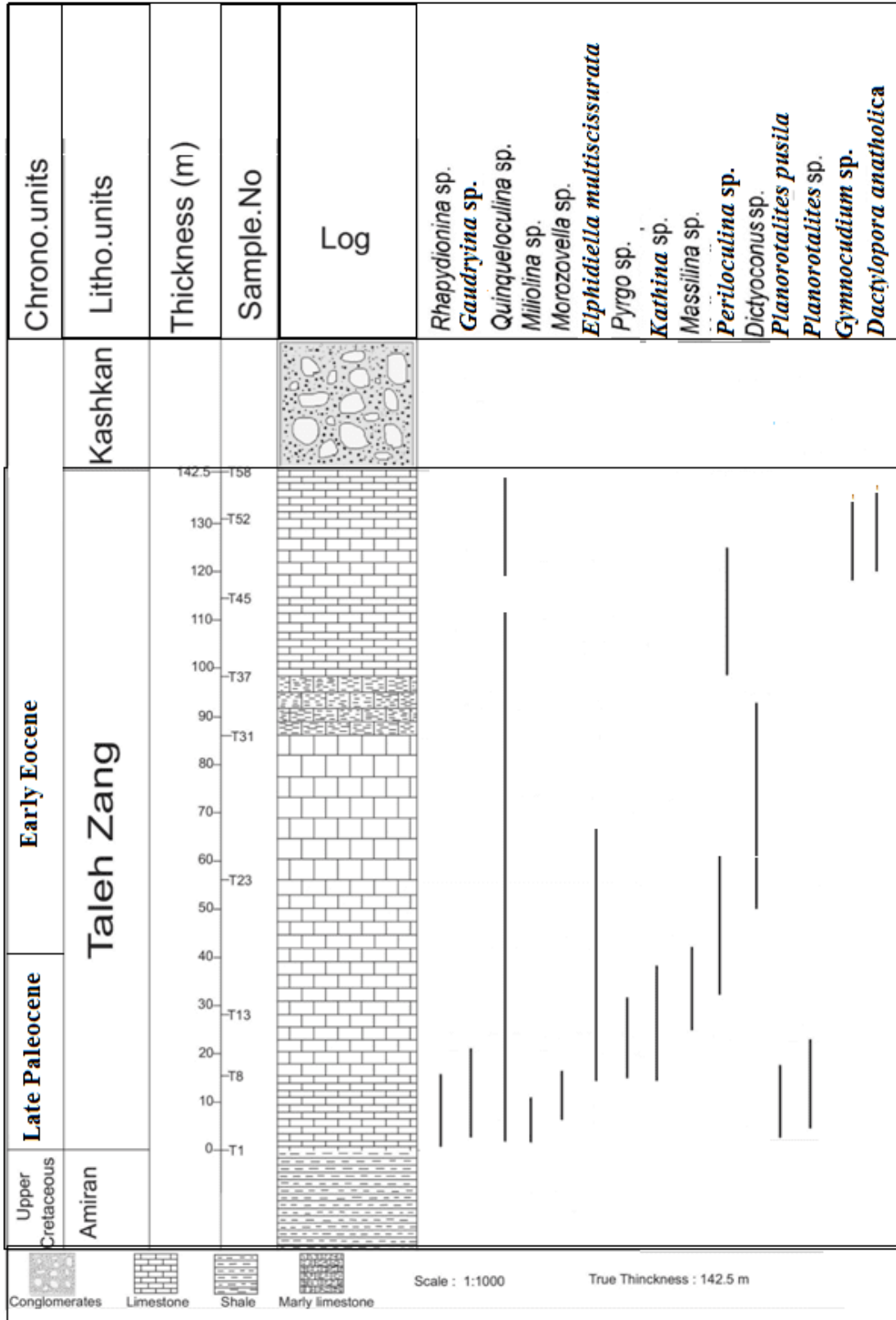
مصدق و همکارانش (2009) براساس پراکندگی روزنداران و دیگر سازندگان زیستی، نشان دادند که تعداد فراوان روزنداران با پوسته پورسولانوز و نبود جانداران دریایی مانند خارپوست، مرجان، دو کفه ای ها و براکیو پودها نشان دهنده شرایط بسیار شور (هایپر سالین) می باشد. مقایسه این شرایط با تجمع فسیلی برش مورد مطالعه نشان می دهد که شوری محیط رسوبی سازند تله زنگ در جنوب باختر کرمانشاه نشان از دریا های معمولی بالا بوده است. از طرفی نبود بریوزواها می تواند نشان دهنده شرایط الیگو تروف باشد. (Pomar et al., 2004).

جنس *Kathina sp* در برش مورد مطالعه نشان دهنده سن پالئوسن پسین می باشد که در دیگر مناطق خاور میانه نیز گزارش شده اسیت (Racey, 1994) که معادل بایو زون *Miscellana – Kathina Assemblage Zone* (Wynd, 1965) در برش الگو می باشد. ولی بر خلاف این بایوزون فاقد روزنبرانی چون *Sakesaire sp.*, *Lokhartia sp.*, *Miscellana sp.*, *Nummulites sp.*, *Nummulites globules*, *Operculina sp* سازند تله زنگ در برش مورد مطالعه باشد.

توجه به این نکته اهمیت دارد که روزنبران شناور و جنس کاتینا تنها در بخش های پایینی سازند تله زنگ وجود دارد (تا ضخامت 42متر) و بقیه بخش های برش مورد مطالعه فاقد فسیل شاخص می باشند و تنها بر اساس موقعیت چینه شناسی، سن ائوسن پیشین را برای آن در نظر می گیریم. براساس مطالعات پیشین در مورد زیست چینه نگاری سازند تله زنگ ( مغفوری مقدم و همکاران، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) نهشته های کر بناته ائوسن زیرین سازند تله زنگ تنها در برش الگو و مناطق مجاور که بخشی از حوضه لرستان جنوبی است، گسترش دارد. و در لرستان میانی به جای آن نهشته های تخریبی سازند کشکان قرار می گیرد. ولی در برش مورد مطالعه علی رغم نبود شرایط زیستی در ائوسن پیشین، نهشته های کر بناته مانند برش الگو و بخش های مجاور ولی با شرایط متفاوت زیستی و بوم شناختی انباشته شده است.



شکل ۳- (a) درصد فراوانی جلبک سبز، روزنداران شناور و کف زی در سازند تله زنگ در برش کلاه بالا؛ (b) درصد فراوانی روزنداران با پوسته پورسولانوز، آگلوتین و هیالین در سازند تله زنگ در برش کلاه بالا



شکل ۴ - نمودار زیست چینه نگاری سازند آهکی تله زنگ در برش چینه شناسی کلاه بالا.

### نتیجه گیری

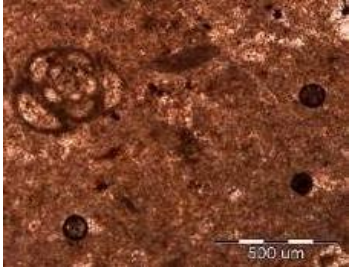
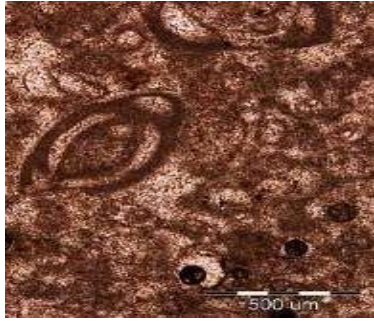
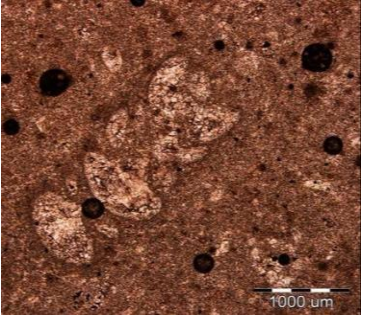

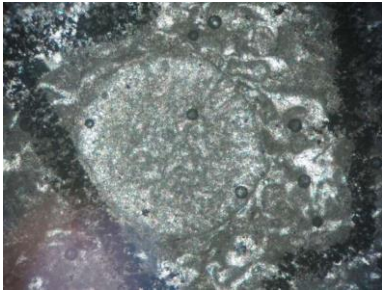
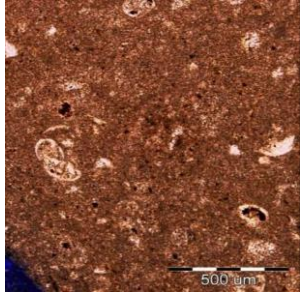

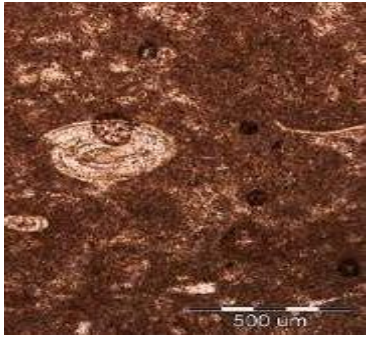
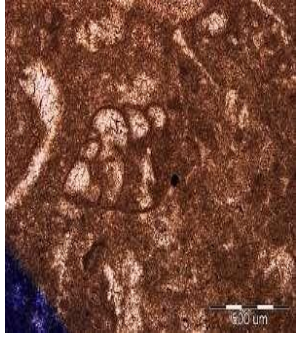
سازند تله زنگ در جنب باختر کرمانشاه با ضخامت ۱۴۲ متر و متشکل از سنگ آهک های متوسط و ضخیم لایه با مرز تدریجی بر روی سازند امیران و با مرز مشخص در زیر سازند کشکان قرار می گیرد. محتویات فسیلی این سازند نشان دهنده سن پالئوسن پسین-اوسن پیشین می باشد. در مقایسه با فسیل های سازند تله زنگ در دیگر بخش های حوضه لرستان، در برش مورد مطالعه سازند تله زنگ عمق کمتری دارد که می توان به انواع نومولیت ها و غیره اشاره کرد و لذا اغلب فسیل های معرفی شده در بایوزون های سازند تله زنگ در این برش یافت نمی گردد. بخش زیرین این سازند ( تا ضخامت ۴۲ متری) معادل بایوزون *Miscellana – Kathina Assemblage Zone* است و به علت مرز تدریجی این سازند با سازند امیران می توان نتیجه گرفت سن بخش فوقانی سازند امیران در جنوب باختر کرمانشاه تا پالئوسن پسین می باشد. سن بقیه سازند تله زنگ در برش مورد مطالعه ( از ضخامت ۴۲ متر تا راس سازند) به علت موقعیت چینه نگاری اوسن پیشین پیشنهاد می گردد.

### منابع

مطیعی، ه، ۱۳۷۲. چینه شناسی زاگرس، طرح تدوین کتاب سازمان زمین شناسی کشور، ۵۳۶ صفحه.  
مغفوری مقدم، ا، جلالی، م، ۱۳۸۶. ریز چینه نگاری سازند تله زنگ در جنوب و جنوب باختر خرم آباد، مجله علوم پایه دانشگاه الزهراء، شماره ۱۷، ص ۳۴-۴۷.  
مغفوری مقدم، ا، سامهر، ر، غبیشاوی، ع، ۱۳۸۷. چینه شناسی سازند تله زنگ در برش های الگو و کیالو، جنوب لرستان، نشریه علوم پایه دانشگاه بوعلی، شماره ۵، ص ۱۴-۲۲.  
یزدی مقدم، م، ۱۳۷۴. بيو استراتیگرافی سازند های امیران و تله زنگ در حوضه لرستان، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، ۱۳۲ صفحه.

Braud, J. 1978. Kermanshah geological map, scale 1:250 000, Geological Survey of Iran.  
Wyand, J. G. 1965. Biofacies of Iranian oil consortium agreement area IOOC. Report No. 1082 (Unpublished)  
Pomar, L., Brandano, M., Westphal, H., 2004. Environmental factors influencing skeletal grain sediment associations: a critical review of Miocene examples from the western Mediterranean. *Sedimentology* 51,627–651  
Racey, A. 1994. Biostratigraphy and Palaeobiogeographic significance of Tertiary Nummulitids (Foraminifera) from Northern Oman. *Micropalaeontology and Hydrocarbon Exploration in the Middle East*, (M.D. Simmons, Ed.), 343-370, Chapman & Hall

Plate

		
<p><i>Quinqueloculina</i> sp., sample no. 55</p>	<p><i>Miliola</i> sp., Sample no. 36</p>	<p><i>Rhapydionina</i> sp., Sample no.11</p>
		
<p><i>Kathina</i> sp., sample no.24, X40</p>	<p><i>Dictyoconus</i> sp., sample no.18, 35</p>	<p><i>Planorotalites pusila</i>, sample no.5</p>
		
<p><i>Massilina</i> sp., sample no.26, X35</p>	<p><i>Periloculina</i> sp., sample no.6</p>	<p><i>Gaudryina</i> sp., sample no. X</p>

## بررسی و مقایسه فونای فوزولینید سازند روته در برش فشند البرز مرکزی با برش -

### های همجوار

حسین مصدق<sup>۱</sup>، لیلا صمدپور<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲\*</sup>دانشجوی دکتری چینه‌شناسی و فسیل شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

[std\\_samadpour@khu.ac.ir](mailto:std_samadpour@khu.ac.ir)

#### چکیده:

ضخامت سازند روته در برش چینه‌شناسی فشند ۲۵۴ متر می‌باشد که از آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه تشکیل شده است و گاه‌گاه میان لایه‌هایی از شیل و مارل نیز در آن دیده می‌شود. مرز زیرین سازند با ناپیوستگی فرسایشی بر روی نهشته‌های دورود قرار گرفته و مرز فوقانی به صورت پیوسته به لایه لاتریتی ختم می‌شود. به منظور مطالعه میکروسکوپی این سازند ۱۷۰ نمونه به صورت سیستماتیک از لایه‌ها برداشت شد که جنس‌هایی از فوزولینیدها نیز در آن شناسایی شد. بر مبنای محتوای فسیلی سن سازند روته در برش مورد مطالعه کوبرگان‌دین تا مرغابین تعیین گردید. بررسی تغییرات فوزولینیدها و پراکندگی در برش‌های همجوار و سپس بررسی مطالعات قبلی در نقاط مختلف البرز به نظر می‌رسد که رسوبات بین پالئوهورست و پالئوگرابن نهشته شده‌اند و تغییرات فونای فوزولینید را می‌توان به آن نسبت داد.

کلیدواژه: فوزولینید، سازند روته، فشند، فرامینیفرا

## Investigation and comparison of Fusulinid fauna of Ruteh Formation in Central Alborz Fashand section with adjacent sections

Hossein Mosaddegh<sup>1</sup>, Leila Samadpour<sup>\*2</sup>

Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University  
PhD student in Stratigraphy and Paleontology, Kharazmi University

#### Abstract:

The thickness of Ruteh Formation is 254 meters in Fashand stratigraphic section which is composed of medium to thick layer limestones and sometimes interlayers of shale and marl can be seen in it. The lower boundary of the formation is located on the Doroud deposits with disconformity and the upper boundary continuously terminates in the lateritic layer. In order to microscopically study this formation, 170 samples were systematically taken from the layers that some fusulinid's genera were identified. Based on the fossil content, was determined the age of Ruteh Formation Kobergandin to Murgabin in the studied section. Investigation of changes of fusulinids and dispersion in adjacent sections and review previous studies in different parts of Alborz, It seems that sediments have been deposited between Paleohurst and Paleograben and changes in Fusulinid fauna can be attributed to it.

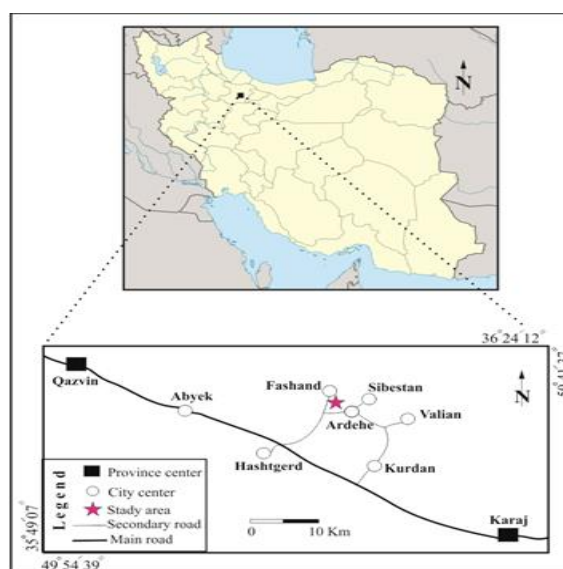
Keywords: Fusulinid, Ruteh Formation, Fashand, Foraminifers

مقدمه:

مطالعه فوزولینیدهای پرمین در اوایل تا اواسط ۱۸۰۰ میلادی آغاز شد و اولین تلاش برای کشف بیواستراتیگرافی از فوزولینید پرمین توسط شلوین (Schellwien, 1898) در کوه‌های کارنیک در جنوب اروپا منتشر شد. تفسیر دقیق برمبنای فوزولینیدهای پرمین در قرن بیستم، به ویژه در روسیه، چین، ایالات متحده آمریکا، ژاپن و تاجیکستان توسعه یافته است. مدتهاست که مشخص شده است که فوزولینیدهای پرمین ایالتی هستند و این تطابق‌های جهانی را با استفاده از فوزولین‌ها محدود کرده است. ژانگ و وانگ (Zhang and Wang, 2017) بیواستراتیگرافی فوزولینید پرمین را مرور و بررسی کردند. آنها متذکر می‌شوند که تکامل سریع فوزولینیدهای پرمین، آنها را تاکسای مهمی در تطابق با نهشته‌های پرمین در سطح جهان نشان داده است. بنابراین ژانگ و وانگ (Zhang and Wang, 2017) با توجه به رخداد‌های تکاملی کلیدی در میان فوزولینیدها مرزهای بیواستراتیگرافی را تعریف می‌کنند. اولین ظهور *Neoschwagerina*، *Misellina*، *Brevaxina* و *Yabeina / Lepidolina* به ترتیب بر اساس اشکوب‌های بلورین، کوبرگاندین، مرغابین، میدین تعریف می‌شوند. هر دو نئوشواژرینیدها و شواژرینیدها در پایان اشکوب میدین منقرض شدند. فوزولینیدهای باقیمانده از اواخر پرمین اندازه کوچک جنس‌هایی همانند *Codonofusiella* و *Reichelina* هستند و چند جنس جدید مانند *Palaeofusulina* و *Gallowayinella* نیز آنها را همراهی می‌کند. فوزولینیدهای پرمین ابزارهای بیواستراتیگرافی قدرتمندی هستند، اما این بیواستراتیگرافی توسط ایالتی شدن‌های پرمین به چالش کشیده می‌شود (Lucas and Shen, 2018). تغییرات شکل کلی فوزولینید اهمیت ویژه‌ای دارد، به طوری که در تاریخ تکامل فوزولینیدها، شبه‌شواژرین‌های اولیه پرمین شاخه خاصی را تشکیل می‌دهند که گونه‌های آن تغییرات شکل قابل توجهی را در طول آنتوزن خود نشان می‌دهند. این تغییرات شکل کروی، دوکی پوسته یک روند مورفومتریکی هندسی را نشان می‌دهند و برای مطالعات پالئوکولوژی بسیار مناسب می‌باشند (Shi, 2021).

موقعیت جغرافیایی:

برش فشند بین  $36^{\circ}01'41''$  عرض شمالی و  $50^{\circ}42'24''$  طول شرقی واقع شده است. منطقه گسل خورده بوده و حرکات تکتونیکی بر روی آن اثر داشته‌اند. سازندهای شمشک، الیکا، دورود، جیرود در این منطقه به خوبی قابل مشاهده هستند. برش مورد مطالعه از سمت جنوب به شهر جدید هشتگرد و از سمت شرق به روستای آرده نزدیک است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه راه‌های ارتباطی منطقه جنوب شرق قزوین در برش فشند (برگرفته از اطلس راه‌های ایران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

جوانترین واحدهای سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه پس از نهشته‌های کواترنری، رسوبات کرتاسه پیشین می‌باشد که رخنمون‌های گسترده‌ای از آن در بخش جنوبی در نزدیکی روستای خور قابل مشاهده است. رخنمون‌هایی از سازند شمشک (شامل مادستون تا سیلتستون خاکستری با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و زغال‌سنگ و کنگلومرا، به سن تریاس پسین - ژوراسیک پیشین) را در بخش جنوبی منطقه می‌توان دید. سازند الیکا با رسوبات آهک دولومیتی و مشخصه آثار فسیلی ورمیکوله فقط در سمت غربی منطقه بر روی افق لاتریتی مشاهده می‌شود. افق لاتریتی قبل از سازند الیکا بوده و بر زیر آن سازند آهکی روته با میان‌لایه‌های نازکی از شیل و مارل است. سازند دورود (پرمین پیشین) به صورت ماسه‌سنگ قرمز با یک ناپیوستگی فرسایشی در مرز پایینی سازند روته قرار می‌گیرد.

در مناطقی از البرز، بخش عمده‌ای از ایران مرکزی، آباد و جلفا جنسها و گونه‌هایی از *neoschwagerinids* و *verbeekinids* حضور دارند که به لحاظ پالئوبیوژئوگرافی فوزولینیده‌ها، قرابت آنها را با قلمرو حاشیه تتیسی نشان می‌دهد. این فسیلها به ویژه در پرمین میانی معرف آب و هوای گرم شناخته می‌شوند (عارفی فرد، ۱۳۹۲).

از مهمترین مطالعات انجام گرفته در مورد سازند روته در البرز و آذربایجان می‌توان به قاسمی نژاد (۱۳۶۷)، عارفی فرد (۱۳۷۶)، و اچارد و همکاران (Vachard et al., 2003). مصدق و لنکرانی (۱۳۸۷)، شعبانیان (۱۳۸۸)، صادقی و همکاران (۱۳۹۳)، مدادی (۱۳۹۵) اشاره کرد.

هدف این مطالعه بررسی پراکندگی فونای فوزولینیده‌ها در برش فشند با چند برش از مناطق همجوار در البرز مرکزی می‌باشد.

#### روش مطالعه:

سرگذشت ساختاری و چین‌های البرز در همه‌جا یکسان نبوده، به همین رو جدا از واژه‌های جغرافیایی: البرز غربی، البرز مرکزی، البرز شرقی از واژه‌های البرز شمالی و البرز جنوبی نیز استفاده می‌شود و از نظر زمین‌شناسی به زیر زون‌هایی همچون ماکو - تبریز، رشت - گرگان، بینالود و حتی کپه داغ تقسیم‌بندی شده است (نبوی، ۱۳۵۵). در ابتدای پرمین میانی، در آغاز پیدایش سازند روته، غالباً لایه‌های نازکی از مارن و شیل تیره، آغشته به ذغال دیده می‌شود، که با نشست کف حوضه‌های رسوبی و تغییر رژیم دریایی که با افزایش سریع کربنات کلسیم همراه بوده، واحد سنگی سازند روته (Assereto, 1963) در البرز، سازند جمال (Stocklin et al., 1965) در خاور و ایران مرکزی، سازند سورمق (Taraz et al., 1981) در ناحیه آباد و سازند دالان (Szabo and Khradpir, 1978) را در حوضه زاگرس پدید می‌آورد (آقاناتی، ۱۳۸۹). با آغاز رسوب‌های کربناتی در سازند روته و هم‌دیف‌های آن، تمام ویژگیها، گرایشها و شرایط طبیعت آب و هوای گرم تیتیس در آنها آشکار است (پرتوآذر، ۱۳۷۴). در این مطالعه تغییرات لیتولوژی و فونای فوزولینید برش فشند را از غرب به شرق با برشهای همجوار بررسی کرده و سن بدست آمده با توجه به محتوای فسیلی و پژوهشهای پیشین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

سازند روته در برش کیسه جین واقع در آبگرم دارای ضخامت ۱۰۶ متر و بیشتر سنگهای آهکی تیره رنگ و فسیل‌دار را تشکیل می‌دهند که به‌طور همشیب و با لایه‌هایی از رخساره آهکی - ماسه‌سنگی روی سازند دورود قرار می‌گیرد و تناوبی از آهکهای متوسط تا توده‌ای خاکستری رنگ و دارای خرده‌فسیل‌های بریوزوئر، کرینوئید، براکیوپود، مرجان و تریلوبیت و آثار فسیل از جمله زئوفیکوس را شامل می‌شود (مدادی، ۱۳۹۵). در البرز مرکزی برش آبگرم فسیلهای فوزولینیدی *Staffella sp.*, *Minojapanella elongata*, *Dunbarula sp.*, *Codonofusiella sp.*, *Nanlingella simplex* سازند روته را یاخ‌تاشین تا میدین معرفی کرده‌اند.

ردیف رسوبی سازند روته در برش گردکله واقع در ناحیه آبیگ-هیو ۳۳۰ متر متشکل از سنگ آهک‌های خاکستری رنگ با لایه بندی خوب، ضخیم لایه تا توده‌ای دارای چرت‌های نودول دار و حاوی فسیلهای فوزولینید، براکیوپود، مرجان، بریوزا و گاستروپود می‌باشد. لایه‌های سازند روته بطور پیوسته روی لایه‌های آواری سازند دورود قرار گرفته است. روی سازند روته افق لاتریت و بوکسیت همراه با سنگهای ولکانیک وجود دارد. لایه‌های سنگ آهک نازک لایه و مارنی سازند نسن بطور ناپیوسته همشیب، افق لاتریت و بوکسیت را می‌پوشاند (وزیری، ۱۳۷۲). فوزولینیدهای این برش *Schwagerina sp.*, *Schubertella* *Dunbarulla mathicai* sp., *Mesoschubertella* sp. بوده و در کنار فرامینیفرهای کوچک سن آرتینیسکین تا پرمین میانی را نشان می‌دهد.

سازند روته در برش فشند ضخامتی در حدود ۲۵۴ متر بوده و به صورت سیستماتیک نمونه‌برداری شده است. مرز بین سازند دورود با سازند روته به صورت ناپیوستگی فرسایشی مشخصی است. از قاعده به سمت بالا سازند روته از لایه‌های آهکی متوسط تا ضخیم لایه تشکیل شده که به سمت بالا به آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای تبدیل می‌شود. در بخش‌های بالایی برش سنگهای آهکی با میان لایه‌هایی از مارل و شیل می‌باشند. در انتها سازند روته در برش مورد مطالعه با لایه لاتریتی از سازند الیکا تفکیک می‌شود. فسیلهای فوزولینیدی این برش شامل *Minojapanella elongata*, *Dunbarula sp.*, *Codonofusiella* sp., *Schwagerina regularis*, *Schwagerina sp.* بوده و سن لایه‌ها با فسیلهای همراه کوبرگان‌دین تا مرغابین تعیین گردید.

سازند روته در برش سیستان توسط حقیقت و منصوری (۱۳۹۳) بررسی و مطالعه شده است و سن آن را بر اساس محتوای فسیلی از بلورین؟ تا مرغابین در نظر گرفته‌اند. سازند روته با سطح فرسایشی بر روی لایه‌های سیلیسی کلاستیک دورود قرار گرفته است. این سازند ۱۷۸ متر رسوبات کربناتی آهک خاکستری تیره نازک لایه با میان لایه‌های شیلی تا آهک توده‌ای پرفسیل می‌باشد. فوزولینیدهای مطلق به این برش شامل موارد زیر است:

*Dunbarula sp.*, *Codonofusiella sp.*, *Pseudoschwagerina sp.*, *Schubertella sp.*

با وجود اینکه شمار زیادی از جنس‌ها و گونه‌های شناخته شده در مقاطع نازک دارای گسترش چینه‌ای زیاد در قلمرو تتیس بوده و از آنها نمی‌توان به‌عنوان یک ابزار تعیین سن و تطابق دقیق همانند فوزولینیدها استفاده کرد، اما ظهور و انقراض تعدادی از گونه‌ها و جنس‌های مورد استفاده به سطوح چینه‌ای خاص وابسته بوده و استفاده از آنها در ایجاد بایوزون‌ها قابل توجه است. اهمیت آنها وقتی آشکار می‌گردد که در توالی‌های پرمین در آذربایجان و البرز مرکزی، به دلیل عمق محیط رسوبی، وجود سدهای دیرینه بوم‌شناختی و دیگر پارامترهای پالئوژئوگرافی و پالئوکولوژی حاکم، از فوزولینیدها به علت ثبت فسیلی پراکنده و کم نمی‌توان از بایوزون‌های ارائه شده در قلمرو تتیس استفاده کرد (شعبانیان و سعیدی، ۱۳۸۶). بررسی گزارشهای متعددی نشان می‌دهد که در پهلوی شمالی البرز راندگیها به سمت جنوب شیب دارند و حرکت فرادیواره به سمت شمال است، در حالی که در دامنه جنوبی شیب راندگیها به سمت شمال و حرکت فرادیواره رو به جنوب است (Allen et al., 2003). این راندگی‌ها ممکن است تغییراتی را در پالئوبیوژئوگرافی فوزولینیدها ایجاد کرده باشد، بنابراین مقایسه و تحلیل بهتر است در مقیاس بزرگتر و تعداد برشهای بیشتر بررسی شود.

#### بحث:

بیوکلاست‌ها بیشتر در برشهای مختلف سازند روته جلبک‌های داسی‌کلاداسه، کرینوئیدها، براکیوپودها، دوکفه‌ای‌ها و استراکدها هستند. با توجه به تغییرات کاهشی فونای فوزولینید در نقاط مختلف البرز از این منظر به بررسی خواهیم پرداخت. قاعده روته ضخامت ۱۰ تا ۲۵ متر در برش شیرین آباد از سنگ‌های مارنی بیوکلاستیک خاکستری تیره نازک لایه و غنی از بریوزوئرها و براکیوپودها تشکیل شده است و سپس با توالی نسبتاً یکنواختی از سنگ‌های بیوکلاستیک خاکستری و وکستون



پوشیده شده است. در قسمت میانی و فوقانی سازند روته میان لایه‌های مارن و شیل مشاهده شود. چرت ممکن است جایگزین جلبک‌ها و قطعات مرجانی شود و یا همانند قسمت‌های بالایی سازند روته در برش قزل‌قلعه نودول‌های سیاه رنگ ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری ایجاد کند. بخش انتهایی سنگ‌آهک روته در برش منگول با ویژگی‌های کارستی و در برش‌های روته، آرو، شیرین آباد، قزل‌قلعه با افق لاتریتی مشخص می‌شود. سنگ آهک روته در بیشتر مناطق البرز پراکندگی داشته و تنها در برخی نقاط همانند در البرز جنوبی (مبارک آباد، شهمیرزاد) و در البرز شرقی (آبرندان، قشلاق، غسنوی) وجود ندارد. سازند روته ضخامت نسبتاً مشخصی در برش‌های مختلف البرز دارد که این ضخامت در حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ متر می‌باشد ولی ممکن است ضخامت بیشتری نیز در بخش‌هایی از البرز شمالی داشته باشد، در این مطالعه برش تالار رود بیش از ۳۰۰ متر ضخامت دارد (Gaetani, et al., 2009). در برش‌های شیرین آباد، منگول و آرو گونه‌های فوزولینیدی زیر مشاهده شدند:

*Schubertella* sp., *Codonofusiella* sp., *Nankinella* sp., *Staffella* sp., *Minojapanella* sp.

برش‌های قزل‌قلعه و تالاررود علاوه بر این فسیل‌ها دارای گونه *Pseudofusulina padangensis* نیز می‌باشد. سن سازند روته در برش‌های مورد مطالعه مرغابین تا میدین را نشان می‌دهد (Gaetani, et al., 2009).

سازند روته در برش پیراسحاق، جنوب جلفا ۱۱۰۰ متر از لایه‌های سنگ‌آهک ضخیم تا متوسط لایه خاکستری تا تیره و در مواردی بیوژنیک و بیشتر چرتدار (نودولی) تشکیل شده است. این برش توسط صادقی و همکاران (۱۳۹۳) مطالعه شده و فرامینیفرهای فوزولینیدی شاخص مربوط به خانواده‌های *Schubertellidae*, *Schwagerinidae*, *Ozawainellidae* و *Staffellidae* شناسایی شدند. سنگ‌آهک‌های سازند روته با ناپیوستگی همشیب بر روی ماسه‌سنگ سازند دورود قرار گرفته و به طور پیوسته توسط سنگ آهک نازک لایه شیلی سازند نسن پوشیده می‌شود. فسیل‌های فوزولینیدی این برش شامل *Dunbarula* sp., *Schubertella* sp., *Nankinella* sp., *Chusenella* sp., *Yangchienia* sp., *Parafusulina* sp., *Reichelina* sp. بوده و با توجه به فونای فسیلی همراه سن مرغابین تا میدین به این سازند تعلق می‌گیرد.

نهشته‌های روته در بخش اعظم آذربایجان از نظر لیتولوژی و محتوای فسیلی با رسوبات هم ارز خود در البرز مرکزی و غربی مشابه می‌باشد. مطالعات مختلفی همانند قلعه چای، آمند و سیاه باز و تخت سلیمان این شباهتها را تایید می‌کند. در حالی که در نواحی جلفا، زال (جنوب جلفا) و ایلانلو با واحدهای متفاوتی تعریف می‌شوند.

در سازند روته در برش‌های نام برده فوزولینیده‌های *Staffella sphaerica*, *Nankinella orbicularia*, *Neofusulinella* sp., *Minojapanella elongata*, *Cancellina cutalensis*, *Afghanella* sp., *Neoschwagerina simplex*, *Dunbarula* sp., *Sumatrana* sp., سن کوبرگان‌دین تا مرغابین برای سازندهای روته در نظر گرفته شده است.

شعبانیان (۱۳۸۸) سازند روته را در برش آرو به ضخامت ۱۷۰ متر مطالعه کرد که این نهشته‌ها شامل آهک‌های نازک لایه تا متوسط لایه که بطور متناوب در برگرنده آهک‌های شیلی و دولومیتی است که در انتها به یک افق کنگلومرایی با ضخامت یک متر منتهی می‌شود و از سازند دورود به واسطه دگرشیبی فرسایشی متمایز می‌گردد. در این برش بیشتر فوزولینیده‌های *Minojapanella* sp., *Schubertella* sp. مشاهده شده است و سن سازند با فسیل‌های همراه آرتینیسکین تا مرغابین تعیین گردیده است. وی مطالعاتی در برش بی بی شهربانو نیز انجام داد که شامل واحدهای آهکی بیوژنیک و تیره رنگ سازند روته بر روی ماسه سنگ‌های سازند لالون به صورت مرز گسله قرار می‌گیرد. ضخامت این سازند در حدود ۱۳۳ متر و فسیل *Nankinella* sp. بیشتر گزارش شده است و سن مرغابین را برای نهشته‌های این برش تعیین نموده‌اند.

در بیشتر آهک‌های سازند روته تنوع فوزولینیدها کم و فرامینیفرهای کوچک گسترش دارند. در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی فوزولینیده‌های *Minojapanella elongata*, *Schubertella transitoria*, *Codonofusiella nana*, *Nankinella* sp., *Dunbarula mathieui*, *orbicularia* sp., و سن یاخاشین تا مرغابین برای آن پیشنهاد شده است.

در البرز شرقی در یک سوم زیرین سازند روته *Misselina* sp.? و *Concellina* cf. *pamirica* گزارش شده است که شاخص کوبرگاندین می‌باشند. در بخش بالایی توالی کربناته سازند روته گونه‌های *Pseudofusulina padangensis*, *Codonofusiella* sp., *Yangchienia haydeni* به سن مرغابین بالایی تا میدین تعیین شده است و در سایر رخنمونهای سازند روته در البرز شرقی مجموعه فوزولینید *Minojapanella-Schubertella* به سن پرمین میانی در بخش بالایی این سازند شناسایی شده است. در قاعده سازند روته یک نبود رسوبی شامل ساکمارین میانی تا بلورین وجود دارد (عارفی فرد، ۱۳۹۲). این سازند در برش زیارت دارای ضخامت ۱۲۰ متر توسط نجابت (۱۳۹۳) مطالعه شده و سن سازند روته را مرغابین بالایی تا میدین بیان کرده است. از آهکهای تیره و خاکستری رنگ و توده‌ای پرفسیل بر روی سازند دورود با ناپیوستگی هم شیب قرار می‌گیرد، بر روی سازند روته و زیر سازند الیکا یک لایه لاتریتی و بوکسیتی قرار می‌گیرد

*Stafella* sp., *Minojapanella* sp., *Schubertella* sp., *Schubertella australis*, *Dunbarulla* sp., *Boultonia* sp., *Nankinella orbicularia*, *Yangcheina hydnei*, *Schubertella transitoria*, *Dunbarulla simplex*, *Codonofusiella* sp., *Codonofusiella schubertellaeformis*, *Codonofusiella nana*, *Nankinella orbicularia*, *Nankinella* sp.

با توجه به پیشینه مطالعات قبلی و برش مورد مطالعه به نظر می‌رسد که از البرز غربی به سمت البرز مرکزی و شرقی سن سازند روته به سوی اشکوبهای جوانتر تغییر پیدا می‌کند به صورتی که می‌توان قاعده این سازند را در آذربایجان و البرز غربی از کوبرگاندین و حتی یاختاشین تا مرغابین در البرز مرکزی و شرقی نسبت داد و انتهای سازند را در البرز غربی از مرغابین و به صورت محدود میدین تا در البرز مرکزی مرغابین دنبال کرد و در بخشهای شرقی به اشکوب میدین ختم می‌شود. گسترش فونای فوزولینید در بخشهای البرز مرکزی کمتر از بخشهای البرز غربی و گاهاً شرقی می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری:

برش فشند از آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه تشکیل شده است. مقایسه فونای فوزولینید برش مورد نظر با برش‌های همجوار بر مبنای طول جغرافیایی و از غرب به شرق نشان داد که در البرز مرکزی تنوع و گسترش کمتری دارند و از آنجایی که منطقه گسل خورده و البرز دارای راندگی‌های شیب‌دار است، می‌تواند نهشته‌ها بین پالئوهورست و پالئوگراین قرار گرفته باشد. تغییرات فونای فوزولینید را می‌توان به شکل حوضه رسوبی و عوامل تکتونیکی مرتبط دانست. همچنین سن سازند روته از سمت غرب به شرق البرز جوانتر می‌شود.

#### منابع:

- آقاناتی، ع.، ۱۳۸۹. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- بختیاری، س.، ۱۳۸۸. اطلس راه‌های ایران، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰.
- پرتوآذر، ح.، ۱۳۷۴. سیستم پرمین در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، طرح تدوین کتاب، شماره ۲۲، ۳۴۰ صفحه.
- حقیقت، ن.، منصور، پ.، ۱۳۹۳. سنگ‌زیست‌چینه‌نگاری نهشته‌های پرمین و تریاس زیرین در برش سیستان (شمال باختری تهران)، فصلنامه علوم زمین، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۹۵، صفحات ۴۵-۵۴.
- شعبانیان، ر.، ۱۳۸۸. معرفی میکروفسیل‌های پرمین در برش‌های چینه‌شناسی آرو و بی بی شهربانو (البرز)، فصلنامه علوم زمین، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸۱، صفحات ۳۷-۴۴.
- شعبانیان، ر.، سعیدی، ع.، ۱۳۸۶. بایوزوناسیون نهشته‌های پرمین در شمال غرب ایران بر اساس روزنبران کوچک، پیک نور علوم، شماره ۳، صفحات ۷۹-۹۰.

- صادقی، م.، شعبانین، ر.، رشیدی، ک.، ۱۳۹۳. چینهننگاری رسوبات آهکی پرمین (سازندهای روته و نسن) بر اساس روزنبران در ناحیه پیراسحاق، جنوب جلفا، شمالغرب ایران، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۱، صفحات ۹۷-۸۵.
- عارفی فرد، س.، ۱۳۹۲. مطالعه رسوبات دریایی حاشیه تیتیس و حاشیه گندوانا در مناطق مختلف ایران، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۱۴، صفحات ۲۱-۹.
- عارفی فرد، س.، ۱۳۷۶. بررسی میکرواستراتیگرافی و میکروپالئونتولوژی سازندهای دورود و روته در البرز مرکزی، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۸ صفحه.
- قاسمی نژاد، ا.، ۱۳۶۷. بایواستراتیگرافی و لیتواستراتیگرافی واحدهای سنگی سیستم پرمین در مقطع چینهنشناسی آرو ( فیروزکوه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم تهران (دانشگاه خوارزمی تهران)، ۱۱۷ صفحه.
- مدادی، م.، ۱۳۹۵. بررسی تنوع زیستی دیرینه فرامینفرهای پرمین در البرز مرکزی براساس چینهننگاری سنگی و زیستی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۳۱۴ صفحه.
- مصدق، ح.، لنگرانی، م.، ۱۳۸۷. جلبکهای آهکی نهشته‌های پرمین البرز مرکزی: رهیافت محیطی و چینهننگاری سکاسی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۶، صفحات ۸۴-۷۹.
- نجات، س.، ۱۳۹۳. زیست چینهننگاری نهشته‌های پرمین برش زیارت (جنوب شهمیرزاد در البرز مرکزی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه دامغان، ۷۸ صفحه.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۰۹ صفحه.
- وزیری، س. ح.، ۱۳۷۲. گستره واحدهای سنگی سیستم پرمین در ناحیه آبیگ-هیو (البرز مرکزی)، فصلنامه علوم زمین، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸، صفحات ۵۹-۴۴.

- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of structural geology*, 25(5), 659-672.
- Assereto, R., 1963. The Paleozoic formation in central Elburz (Iran), *Riv. Ital. Paleont. V. LXIX*, 4, 503-543.
- Gaetani, M., Angiolini, L., Ueno, K., Nicora, A., Stephenson, M. H., Sciunnach, D., Rettori, R., Price, G. D., Sabouri, J., 2009. Pennsylvanian–Early Triassic stratigraphy in the Alborz Mountains (Iran). *Geological Society, London, Special Publications*, 312(1), 79-128.
- Lucas, S. G., Shen, S. Z. 2018. The Permian timescale: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 450(1), 1-19.
- Schellwien, E., 1898. Die Fauna des karnischen Fusulinenkalks. Teil II. (Mit Taf. XVII–XXIV). *Palaeontographica*. 44, 237–282.
- Shi, Y., 2021. Heterochronic origin of spherical fusulinid foraminifera in the late Paleozoic. *Paleobiology*, 47(1), 115-133.
- Stocklin, J., Eftekhar-Nezhad, J. Hushmandzadeh, A., 1965. Geology of Shotori Range (Tabas area, east Iran): *Geological Survey of Iran Report*, no. 3, 69 p.
- Szabo, F. kheradpir, A., 1978. Permian and Triassic Stratigraphy, Zagros Basin, South-West Iran. *Jour. Petrol. Geo* 1,2, 57-82.
- Taraz, H., Golshani, F., Nakazawa, K., Shimizu, D., Bando, Y., Ishii, K.I., Murata, M., Okimura, Y., Sakagami, S., Nakamura, K., Tokuoka, T., 1981. The Permian and the Lower Triassic systems in Abadeh region, central Iran. *Univ. Bull.*, 5-21.
- Vachard, D., Hauser, M., Martini, R., Zaninetti, L., Matter, A., Peters, T., 2003. New algae and problematica of algal affinity from the Permian of Aseelah unit of the Batain Plain (East Oman). *Geobios*, 34(4), 375-404.
- Zhang, Y. C., Wang, Y., 2017. Permian fusuline biostratigraphy. In: Lucas, S. G., Shen, S. Z., (eds) *The Permian Timescale*. *Geological Society, London, Special Publications*, 450, 253-288.

## ارزیابی رفتار قابهای بتنی بهسازی شده با مهار بند فولادی هم محور در حوزه نزدیک

### گسل

فرهاد پیرمحمدی علیشاه<sup>۱\*</sup>، مهدی محمد رضایی<sup>۲</sup>

۱- گروه عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران

۲- گروه عمران، مرکز تسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، تسوج ایران

Petrofarhad@iaushab.ac.ir

#### چکیده:

از جمله روش‌های مقاوم سازی قاب‌های بتنی، استفاده از مهاربندهای فولادی است. سازه‌های ساختمانی تحت اثر نیروهای لرزه‌ای ناشی از زلزله تغییر مکان می‌یابند. این تغییر مکان‌ها که عموماً از نوع جانبی هستند، باید توسط دیوارهای برشی، مهاربندها و یا اتصالات صلب مهار گردند. متداول‌ترین روش کنترل تغییر مکان‌ها و مقاومت در برابر نیروی افقی زلزله در سازه‌های فولادی، مهاربندها می‌باشند که به شکل‌های گوناگون اجرا می‌شوند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی رفتار قاب‌های بتنی بهسازی شده با مهاربند فولادی هم محور در حوزه نزدیک گسل، با در نظر گرفتن تفاوت بین ویژگی‌های اثرات زلزله‌های دور گسل و نزدیک گسل سعی شد، ارزیابی از عملکرد قاب‌های بتنی بهسازی شده با قاب‌های مهاربند فولادی هم محور در حوزه نزدیک گسل صورت بگیرد. روش کار بدین صورت بود که ابتدا با جمع‌آوری و بررسی مطالعات و آزمایشات و تحقیقات پیشین انجام گرفته در این زمینه با بررسی جوانب کار و با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به نوع زلزله‌ها برحسب فاصله کانون زلزله و ویژگی‌های آنها و اثرات هر کدام در سازه‌ها که با استفاده از نرم افزارهای مربوطه سازه مورد نظر را مدل‌سازی کرده و نتایج به دست آمده به صورت گزارش و جدول و نتیجه‌گیری ارائه شد. مدل‌سازی قاب‌ها در نرم افزار Sap2000 و پایش اطلاعات مربوط به زلزله‌ها با استفاده از نرم افزار Siesmo Signal و ایجاد جداول مربوطه با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت. نتیجه حاصله حاکی از این مطلب بود که افزودن مهاربندهای فولادی به قاب‌های بتنی، بارهای خمشی وارده بر ستون‌ها را محوری نموده، لذا نسبت تنش‌ها را در آنها به کمتر از یک تقلیل می‌دهد.

کلیدواژه: قاب بتنی، نیروهای لرزه‌ای، گسل، مهاربند فولادی، زلزله

## Evaluation of Behavior of Reinforced Concrete Frames by Coaxial Steel Strap In the area near the fault Restraint

Farhad Pirmohammadi Alishah<sup>1\*</sup>, Mehdi Mohammad Rezaei<sup>2</sup>

1- Department of Civil Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran, Petrofarhad@iaushab.ac.ir

2- Department of Civil Engineering, Tasouj Branch, Islamic Azad University, Tasouj, Iran,

## Abstract

One of the methods for reinforcing concrete frames is the use of steel braces. Structural structures displaced by seismic forces caused by earthquakes. These displacements, which are generally of a lateral nature, must be restrained by shear walls, braces or rigid fittings. The most commonly used method for controlling displacement and resistance to horizontal earthquake force in steel structures are braces that are executed in various shapes. The purpose of this study was to evaluate the behavior of concrete frames reinforced by coaxial bolt harness in the near-fault zone, taking into account the differences between the characteristics of the effects of disturbing earthquakes near the fault. Evaluation of the performance of concrete frames reinforced with frames Coaxial steel strap in the near-fault zone. The methodology was first performed by collecting and reviewing previous studies and experiments carried out in this field by analyzing the aspects of work and collecting information about the type of earthquakes in terms of the distance of the earthquake center and their characteristics and the effects of each of them in Structures that model the corresponding structures using the software and the results are presented in the form of a report and a table and conclusions. Modeling the frames in the Sap2000 software and monitoring the information about earthquakes using soft The siesmo signal was created and the corresponding tables were created using Excel software. The result shows that the addition of steel braces to concrete frames, axially reduces the stresses applied to the columns, reducing the stress ratio to less than one.

## مقدمه:

با توجه به انتشار آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم و ایجاد تغییرات نسبت به ویرایش دوم و الزام به طراحی ساختمانهای جدید بر اساس ویرایش سوم (Building Design by Earthquake, 2007)، با بررسی تغییرات حاصل در ویرایش جدید می‌توان دید بهتری از ضوابط طراحی آیین‌نامه بدست آورد و امیدوار بود که ساختمان‌های طراحی شده بر اساس ویرایش جدید مقاوم‌تر از ساختمان‌های قبلی باشند. مسلماً هر تغییری در آیین‌نامه به پشتوانه تجارب زلزله‌های گذشته و تحقیقات تئوری و آزمایشگاهی انجام می‌شود که تغییرات آیین‌نامه ۲۸۰۰ نیز از این قاعده مستثنی نخواهد بود. از آنجا که رویکرد جدید آیین‌نامه‌های نسل سوم در ارتقای رفتار لرزه‌ای ساختمانها حصول سطح عملکرد مطلوب تحت اثر سطح خطر معین زلزله می‌باشد و ظرفیت تغییرشکل اعضا کلید حصول این هدف می‌باشد، تلاش برای دستیابی به هدف مذکور تنها از طریق افزایش نیروهای طراحی (آن‌گونه که در آیین‌نامه‌های نسلهای قبلی همچون آیین‌نامه ۲۸۰۰ انجام می‌گیرد) ممکن است بدون نتیجه مطلوب باشد. قبل از وقوع زلزله می‌توان اثر تغییرات آیین‌نامه‌ها را بر بهبود رفتار لرزه‌ای ساختمان توسط مدلسازی تجربی در آزمایشگاه و یا مدلسازی عددی نرم‌افزاری بررسی نمود. دو زمین لرزه بزرگ شناخته شده ایالت کالیفرنیا سرچشمه و بنیان پژوهش در زمینه شناسایی ماهیت حرکات و ارتعاشات نیرومند زمین در نزدیکی زمین لرزه می‌باشد. این دو زلزله با نام های پارک فیلد و فرناندو شناخته شده اند. اولین بار استفاده از عبارت نزدیک گسل توسط بولت عنوان شد اما اهمیت آن در موضوع طراحی سازه های عمرانی به خوبی درک نشده بود. پس از زلزله های مخرب نورتریج و کوبه نظر محققین به زلزله های نزدیک منبع یا نزدیک گسل و خصوصیات منحصر به فرد آنها جلب شد. ( نزدیک گسل معمولا محدوده ای بین ۱۵ تا ۶۰ کیلومتری از گسل فعال است که اثرات جهت پذیری پیشرونده دارد که باعث ایجاد ارتعاشات افقی در جهت عمود بر امتداد گسل به صورت ضربه

افقی موازی با گسل است). پژوهش‌ها نشان داده است در حوزه نزدیک گسل اثر جهت پذیری پیشرونده بیشترین تأثیر را بر سازه‌ها دارد (Youssef et al., 2007). بررسی اثر جهت پذیری پیشرونده نشان داده است با افزایش نسبت دوره پالس حوزه نزدیک گسل به دوره طبیعی سازه و افزایش نسبت اوج شتاب زمین به سختی جانبی سازه، پاسخ غیرخطی و خسارت سازه افزایش پیدا می‌کند (Maheri and Sahebi, 1995). خسارات ایجاد شده در اثر زلزله‌های نورتریج و کوبه نشان داد که اختلاف فاحشی بین پاسخ سازه‌ها در برابر زمین لرزه‌های حوزه دور و نزدیک گسل وجود دارد به گونه‌ای که تأثیر لرزه‌های نزدیک گسل به پارامترهایی همچون فرکانس طبیعی اصلی سازه، پیوند ضربه بستگی دارد (Rodriguez and Park, 1991; Masri and Goel, 1996). از دیدگاه بسیاری از محققین مهمترین ویژگی‌های که در نتیجه اثر مولفه قائم در زلزله‌های نزدیک گسل متفاوت با زلزله‌های دور مطرح شده است:

الف) نسبت بیشینه شتاب قائم به بیشینه شتاب افقی در زلزله‌های حوزه نزدیک نسبت به زلزله‌های دور می‌باشد (Taghi-Nejad, 2012).

ب) نسبت طیف پاسخ قائم به افقی به پیوند سازه و فاصله سازه از صفحه گسلش بستگی دارد (Building and Housing Research Center, 2004).

در ایران بعد از زلزله وحشتناک و خانمان برانداز بم و طیس توجه مهندسیین معمار به ویژه محاسب به ویژگی‌های خاص این زمین لرزه معطوف شد با توجه به اینکه بسیاری از شهرهای ایران از جمله شهر تهران و تبریز در حوزه نزدیک گسل قرار دارند لزوم ارزیابی لرزه‌ای موجود را امری اجتناب ناپذیر می‌کند (Mahmoudi and Tasnimi, 2005).

مطالعات زیادی بر روی سازه‌ها و کاهش تلفات جانی و مالی ناشی از زلزله صورت گرفته است. در بیشتر سازه‌ها جهت مقابله با نیروهای جانبی زلزله سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای جانبی زلزله طراحی می‌گردد که با ایجاد سختی جانبی تغییر شکل‌های نسبی را محدود می‌سازد. یکی از روش‌های بهسازی لرزه‌های قاب‌های بتنی مسلح استفاده از مهاربندهای فولادی می‌باشد که در ایران به دلیل در دسترس بودن مصالح مورد نیاز و نیز اجرای ساده تر به یکی از سیستم‌های متداول و مورد نظر تبدیل شده است لذا بسیاری از ساختمان‌های ساخته شده در ایران سیستم قاب خمشی بتنی می‌باشد که براساس آیین نامه استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش دوم و سوم طراحی و بارگذاری شده است و از آن جا که خصوصیات زلزله هم به لحاظ دامنه و هم محتوای فرکانسی برای حوزه نزدیک گسل را در بارگذاری لحاظ ننموده است لذا مطالعه و مقایسه اثراتی بر روی سازه‌ها را ضروری می‌کند و لزوم بررسی و شناخت رکوردها در آیین نامه‌های لرزه‌ای و بهبود ظرفیت سازه‌ها برای نیازهای بالای تغییر مکانی حاصل از زمین لرزه‌های نزدیک گسل را می‌طلبد زیرا آیین نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله در ایران استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم در مورد لرزه‌های نزدیک گسل هیچ گونه تمهیداتی در نظر گرفته نشده است (Building and Housing Research Center, 1999). در نهایت با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته در مدل‌های پیشین بر طبق حوزه‌های دور گسل بارگذاری شده و نتایج حاصله پاسخگوی نیاز لرزه‌ای ما بوده است، در این کار پژوهشی با در نظر گرفتن تفاوت بین ویژگی‌های اثرات زلزله‌های دور گسل و نزدیک گسل سعی خواهد شد ارزیابی از عملکرد قاب‌های بتنی بهسازی شده با قاب‌های مهاربند فولادی هم‌محور در حوزه نزدیک گسل صورت بگیرد.

### روش مطالعه:

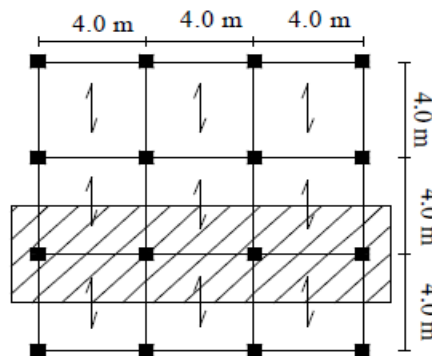
ابتدا با جمع آوری و بررسی مطالعات و آزمایشات و تحقیقات پیشین انجام گرفته در این زمینه با بررسی جوانب کار و با جمع آوری اطلاعات مربوط به نوع زلزله ها برحسب فاصله کانون زلزله و ویژگی های آنها و اثرات هر کدام در سازه ها که با استفاده از نرم افزار های مربوطه سازه مورد نظر را مدل سازی کرده و نتایج به دست آمده به صورت گزارش ، جدول و نتیجه گیری ارائه خواهد شد.

### طراحی سازه براساس ویرایش دوم ۲۸۰۰

سازه ی طراحی شده در این مجموعه قابهای بتن آرمه سه، پنج، هفت و ده طبقه می باشد که دارای شکل پذیری متوسط می باشد. پس از انجام مراحل بالا، قاب های مورد بحث در نرم افزار SAP شبیه سازی شده و تیرها و ستون ها به کمک داده های خروجی این برنامه طراحی گردیده است. در طرح این قاب ها ابعاد و مقاطع میلگردها چنان به دست آورده شده تا نسبت تنشها در برخی ستونها کمی بیشتر از یک گردد تا اثر گذشت زمان بر کاهش مقاومت بتن لحاظ شود. همچنین برای تعیین بارهای لرزه ای از آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش دوم مورد استفاده قرار گرفته است (Building and Housing Research Center, 1999). این قاب ها در شهر ارومیه بروی زمینی با نوع دوم احداث می شوند و ساختمان مورد بحث دارای پلان ۱۲ در ۱۲ متر می باشد و قابهای مورد بررسی در آن در شکل زیر آمده است. ارتفاع کف تا کف طبقات برابر ۳/۱ متر می باشد. این قابها که در شهر ارومیه واقع شده اند، همانطور که گفته شد، سه، پنج، هفت و ده طبقه می باشند و نوع کاربری ساختمان ها مسکونی می باشند.

همچنین ویژگی های مصالح مصرف شده در قاب ها به شرح زیر است.

$$f_y = 350 \text{ Mpa}$$



شکل ۱: پلان ساختمان

### بارگذاری

بار مرده: بارهای مرده عبارتند از وزن اجزای دائمی ساختمانها مانند: تیرها، ستونها، کفها، دیوارها، باهما، راه پله و تیغه ها. وزن تالیسات و تجهیزات ثابت نیز در ردیف این بارها محسوب می شوند. در این قابها بار مرده برای طبقات ۶۵۰ کیلوگرم بر متر مربع و برای بام ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مربع لحاظ شده است.

بار زنده: بارهای زنده عبارت از بارهای غیردائمی که در حین استفاده و بهره برداری از ساختمان به آن وارد میشوند. این بارها شامل بار ناشی از برف، باد یا زلزله نمی‌شوند. بارهای زنده با توجه به نوع کاربری ساختمان و یا هر بخش آن و مقداری که احتمال دارد در طول مدت عمر ساختمان به آن وارد گردد، تعریف می‌شوند. با توجه به کاربری در نظر گرفته شده و بار برف در منطقه میزان بار زنده ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع برای طبقات و ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع برای بام در نظر گرفته شده است.

### بارگذاری زلزله

بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش دوم، مقدار وزن مؤثر طبقات در ساختمان‌های مسکونی به صورت وزن مرده همراه با ۲۰٪ وزن زنده طبقات حساب می‌شود. از آنجا که ساختمان منظم است و شرایط آئین‌نامه ارضا می‌شود، از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده می‌کنیم که در این فرمول  $V$  برش پایه،  $C$  ضریب زلزله و  $W_g$  وزن موثر است.

$$V = C \times W_g$$

$$C = ABIR$$

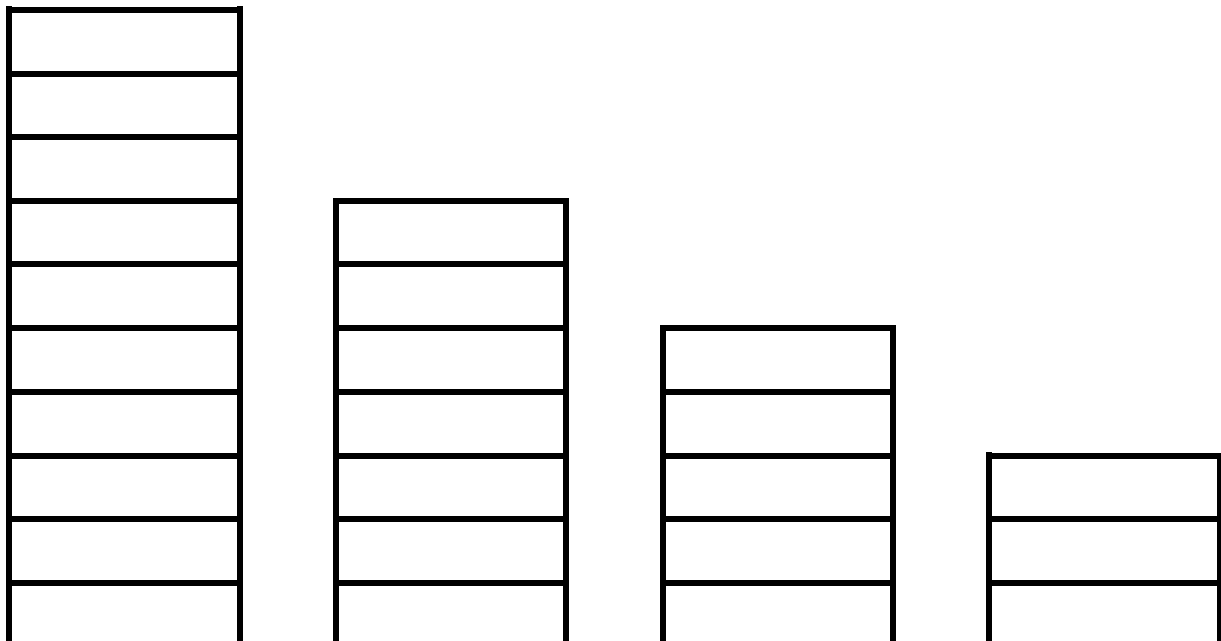
A: نسبت شتاب مبنای طرح (شتاب زلزله به شتاب ثقل).

B: ضریب بازتاب ساختمان که به  $T_g$ ،  $T_s$  و  $S$  که پارامترهای وابسته به خاک منطقه ساخت می‌باشند وابسته است.

I: چون ساختمان، کاربرد مسکونی دارد در گروه سوم با اهمیت متوسط قرار می‌گیرد، پس این ضریب برابر یک خواهد بود.

R: ضریب رفتار ساختمان می‌باشد.

در شکل زیر قابهای مورد بررسی که مقدار ضریب زلزله محاسبه می‌شود نشان داده شده است.



شکل ۲: قابهای مورد بررسی



در قابهای بالا به ترتیب ارتفاع هر قاب ۹/۳، ۱۵/۵، ۲۱/۷ و ۳۱ متر می باشد. زمان تناوب هر یک از قابها تابعی از ارتفاع و نوع قاب می باشد.

### نسبت شتاب مبنای طرح

نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف کشور، بر اساس میزان خطر لرزه خیزی آن ها تعیین می گردد.

### زمان تناوب قابها

زمان تناوب اصلی نوسان بسته به مشخصات ساختمان و ارتفاع آن از تراز پایه با استفاده از روابط تجربی زیر تعیین می گردد.

$$T = 0.07H^{3/4}$$

در روابط فوق H ارتفاع ساختمان بر حسب متر، از تراز پایه است. زمان تناوب برای قاب های مورد بررسی به شرح جدول زیر است.

جدول ۱: جدول تناوب

طبقه	ارتفاع (متر)	زمان تناوب (ثانیه)
سه	۹/۳	۰/۳۷۳
پنج	۱۵/۵	۰/۵۴۷
هفت	۲۱/۷	۰/۷۰۴
ده	۳۱	۰/۹۲

### ضریب بازتاب زمین

ضریب بازتاب ساختمان بیانگر نحوه پاسخ ساختمان به حرکت زمین است این ضریب تابعی از نوع زمین، میزان لرزه خیزی و زمان تناوب قابها می باشند که با توجه به اینکه نوع زمین یک می باشد و شهر ارومیه در منطقه ای با لرزه خیزی زیاد می باشد، مقدار پارامتر مربوط به این ضریب به شرح زیر محاسبه می شود.

$$T_0 = 0.4$$

بر اساس روابط زیر و مقدار پارامترهای تعیین شده ضریب بازتاب زمین به شرح زیر می باشد.

$$B = 2/5 \left( \frac{T_0}{T} \right)^{1/3} \leq 2/5$$

جدول ۲: ضریب باتاب زمین

طبقه	ارتفاع (متر)	زمان تناوب (ثانیه)	B
سه	۹/۳	۰/۳۷۳	۲/۵
پنج	۱۵/۵	۰/۵۴۷	۲/۰۳
هفت	۲۱/۷	۰/۷۰۴	۱/۷۲
ده	۳۱	۰/۹۲	۱/۴۳

ضریب اهمیت ساختمان نیز برابر با یک، برای ساختمان های مسکونی می باشد.

### ضریب رفتار ساختمان

ضریب رفتار ساختمان در بر گیرنده آثار عواملی از قبیل شکل پذیری، درجه نامعینی و اضافه مقاومت موجود در سازه است . این ضریب با توجه به نوع سیستم باربر ساختمان، که قاب خمشی با شکل پذیری متوسط می باشد برای قاب ها برابر با ۸ می باشد.

نهایتا ضریب زلزله برای هر قاب به شرح جدول زیر می باشد.

جدول ۳: ضریب زلزله

طبقه	A	B	I	R	ضریب زلزله
سه	۰/۲۵	۲/۵	۱	۸	۰/۰۷۸
پنج	۰/۲۵	۲/۰۳	۱	۸	۰/۰۶۳
هفت	۰/۲۵	۱/۷۲	۱	۸	۰/۰۵۴
ده	۰/۲۵	۱/۴۳	۱	۸	۰/۰۴۵

### مدل سازی در SAP

برای ایجاد فایل SAP مراحل زیر را دنبال می کنیم.

- شناخت معماری سازه
- مدل سازی هندسی
- تعریف تکیه گاه ها
- تعریف و تخصیص مقاطع
- بارگذاری
- تعریف شرایط خاص (مثل سقف صلب و یا اتصالات)
- آنالیز سازه
- تعریف پارامتر های طراحی
- طراحی و بهینه کردن

تعریف و تخصیص مقاطع

مقاطع تعریف شده برای تیرها مستطیلی و برای ستون ها مربعی در نظر گرفته شده است و ابعاد این مقاطع به شرح زیر می باشند. ابعاد بر حسب میلیمتر هستند.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۴: مقاطع تعریف شده

Column		Beam	
300	300	300	300
400	400	300	350
500	500	300	400
550	550	300	450
600	600	350	350
650	650	350	400
700	700	350	450
750	750	350	500
800	800	400	400
850	850	400	450
900	900	400	500
950	950	400	550
1000	1000	400	600
		450	450
		450	500
		450	550
		450	600
		500	500
		500	550
		500	600
		500	650
		500	700
		500	750
		550	550
		550	600
		550	650
		550	700
		550	750

در سازه ی بتن آرمه برای در نظر گرفتن اثر ترک خوردگی در اعضای بتنی طبق توصیه آبا برای تیرها ۰/۳ و برای ستون ها ۰/۷ را در مقادیر ممان اینرسی مقاطع ضرب می کنیم. با توجه به اینکه چشمه باربر تیرها ۴ متر می باشد بارهای گسترده مرده و زنده روی تیرها در قاپها به شرح جدول زیرند. واحدها کیلوگرم بر متر می باشند.

جدول ۵: مقادیر بار مرده و زنده

	مرده	زنده
بام	۲۲۰۰	۶۰۰
طبقات	۲۶۰۰	۸۰۰

برای بار زلزله نیز براساس ضرایب بدست آمده برای هر قاب نیروی زلزله بر حسب آن تعریف شده است نکته ی مهم تعیین Mass source می باشد که طبق آئین نامه متشکل از بار مرده و ۲۰ درصد بار زنده می باشد. همچنین در سازه بتنی برای

این که محل اتصال به درستی مشخص شود و برای این که صلبیت اتصال را به SAP معرفی کنیم از آیت‌م End Offset استفاده می‌کنیم. در این جا میزان فاصله End Offset را نصف بعد ستون می‌کنیم.

بحث:

### بررسی نتایج آنالیز

کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات:

تغییر مکان جانبی نسبی هر طبقه، تغییر مکانی است که با فرض رفتار خطی سازه، زیر اثر بار جانبی زلزله تعیین شده باشد.

.03

تغییر مکان جانبی نسبی در محل مرکز جرم هر طبقه نباید از  $\frac{R}{3}$  ارتفاع طبقه بیش تر شود

### ارزیابی کمی قاب‌ها

#### معرفی سازه

قاب‌های مورد بررسی در یک ساختمان سه، پنج، هفت و ده طبقه بتنی با کاربری مسکونی می‌باشد. موقعیت این ساختمان در شهر ارومیه بر روی خاک نوع II طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران براساس نتایج مطالعات ژئوتکنیک می‌باشد. ابعاد کلی پلان ۱۲ × ۱۲ متر است.

در شکل زیر مدل قاب ده طبقه نشان داده شده است.



شکل ۳: قاب ده طبقه

آنالیز و طراحی براساس آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ویرایش ۲

بررسی نتایج آنالیز

برای قاب ده طبقه:

برای قاب هفت طبقه:

جدول ۷: کنترل دررفت ۷ طبقه

Check	$\Delta_{all}$	$\Delta_w (cm)$	Story
OK	1.1625	0.7815	7
OK	1.1625	1.1449	6
OK	1.1625	1.0085	5
OK	1.1625	1.0724	4
OK	1.1625	1.1661	3
OK	1.1625	1.1393	2
OK	1.1625	0.6799	1

جدول ۶: کنترل دررفت ۱۰ طبقه

Check	$\Delta_{all}$	$\Delta_w (cm)$	Story
OK	1.1625	0.7398	10
OK	1.1625	1.1504	9
OK	1.1625	1.0908	8
OK	1.1625	1.0659	7
OK	1.1625	1.0839	6
OK	1.1625	1.083	5
OK	1.1625	1.0719	4
OK	1.1625	1.0924	3
OK	1.1625	1.0344	2
OK	1.1625	0.5436	1

برای قاب سه طبقه:

جدول ۹: کنترل دررفت ۳ طبقه

Check	$\Delta_{all}$	$\Delta_w (cm)$	Story
OK	1.1625	0.7544	3
OK	1.1625	1.1593	2
OK	1.1625	0.9684	1

برای قاب پنج طبقه:

جدول ۸: کنترل دررفت ۵ طبقه

Check	$\Delta_{all}$	$\Delta_w (cm)$	Story
OK	1.1625	0.6955	5
OK	1.1625	1.083	4
OK	1.1625	1.0298	3
OK	1.1625	1.1259	2
OK	1.1625	0.7244	1

### بررسی رفتار قابها در حوزه نزدیک گسل

#### زمین لرزه‌های مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق سه گروه مختلف زمین لرزه‌های ثبت شده ایران و جهان مورد استفاده قرار گرفته است. زلزله‌های حوزه نزدیک با پالس سرعت، زلزله‌های حوزه نزدیک بدون پالس سرعت و زلزله‌های حوزه دور. دسته‌بندی زلزله‌های حوزه نزدیک بر مبنای پالس سرعت به گهت نشان دادن اثرات پالس‌های مذکور در رفتار قابهای بتنی است. تفاوت میان زلزله‌های حوزه نزدیک با پالس سرعت و بدون پالس سرعت نیز در مقدار سرعت ماکزیموم و تغییر مکان ماکزیمم می‌باشد.

#### زمین لرزه‌های حوزه نزدیک با پالس سرعت

در انتخاب این رکوردها دو معیار مدنظر بوده است. معیار اول فاصله صفحه شکست می‌باشد. همانگونه که در جدول ۱۰ مشخص است فاصله انتخابی برای رکوردها از حدود ۰/۶ کیلومتر تا ۶/۴ کیلومتر است. این نزدیک صفحه شکست باعث می‌شود تا اثرات شکست و حرکات پرتابی زمین که در زمین لرزه‌های شدید رخ می‌دهد به وضوح دیده شوند و در واقع معیار دوم انتخاب رکوردهای حوزه نزدیک که پالس‌های شدید سرعت و تغییر مکان می‌باشد، نمایان شوند.

#### زمین لرزه‌های حوزه نزدیک بدون پالس سرعت

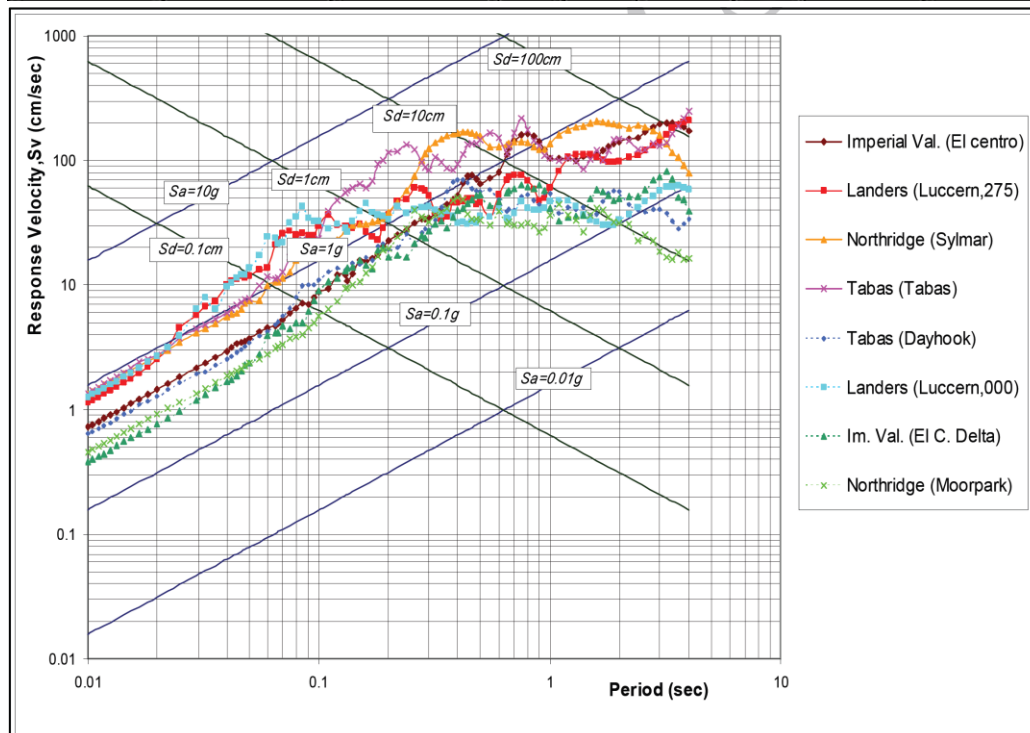
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



به منظور انجام مقایسه در رفتار نوسانی قابهای بتنی تحت اثر زمین‌لرزه‌های مختلف و بیان این نکته که تنها معیار نزدیکی به صفحه شکست، نمی‌تواند ملاک انتخاب زمین لرزه‌های قوی با اثرات شدید روی سازه‌ها باشد، از دو رکورد حوزه نزدیک (فاصله نزدیک به صفحه شکست) نیز استفاده شده است (Tasnimi, 2001). این رکوردها دارای فاصله ۱/۱ کیلومتر و ۱۷ کیلومتر از صفحه شکست می‌باشند و همچنین حداکثر شتاب این رکوردها مقادیر بالایی را شامل می‌شود. اما این رکوردها پالس‌های شدید سرعت و تغییر مکان دیده نمی‌شود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: مشخصات زمین‌لرزه‌های مورد استفاده در تحقیق

نزدیکی به گسل	نام زلزله	سال رویداد و بزرگی زلزله (Mw)	Dis. (km)	PGA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)	PGV/PGA	PGD/PGV
حوزه نزدیک با پالس سرعت	ال سنترو	1979, 6.5	0.6	0.463	109.3	44.74	0.236	0.409
	لندرز (لوسرن ۲۷۵)	1992, 7.3	1.1	0.721	97.6	70.31	0.135	0.720
	نورت ریج (سیلمار)	1994, 6.7	6.4	0.843	129.6	32.68	0.154	0.252
حوزه نزدیک بدون پالس سرعت	طیسی	1978, 7.4	3	0.852	121.4	94.58	0.142	0.779
	طیسی (دایهوک)	1978, 7.4	17	0.406	26.5	8.75	0.065	0.330
حوزه دور	لندرز (لوسرن ۰۰۰)	1992, 7.3	1.1	0.785	31.9	16.42	0.041	0.515
	ال سنترو (دلنا ۲۶۲)	1979, 6.5	43.6	0.238	26	12.06	0.109	0.464
	نورت ریج (مورپارک)	1994, 6.7	28	0.292	20.7	4.24	0.071	0.205



شکل ۴: طیفهای پاسخ سه جانبه شتاب - سرعت - تغییر مکان زلزله‌های انتخابی

زمین‌لرزه‌های حوزه دور

زلزله‌های حوزه دور که معیار انتخاب آن فاصله از صفحه شکست می‌باشد نیز انتخاب شدند که فاصله آنها از صفحه شکست گسل، ۲۸ کیلومتر و ۴۳/۶ کیلومتر می‌باشد. در رفتار این زمین‌لرزه‌ها حداکثر شتاب کمتری به نسبت رکوردهای انتخابی حوزه

نزدیک با پالس سرعت و بدون پالس سرعت مشاهده می‌کنیم و همچنین پالس‌های شدید سرعت و تغییر مکان هم در تاریخچه زمانی این رکوردها دیده نمی‌شود (Khairuddin, 2002).

#### روش تحلیل سازه‌ها

رشد قدرت فن آوری کامپیوترها امکان محاسبات دقیق را فراهم می‌کند که همزمان با آن روش‌های تحلیلی هم پیچیده شده‌اند.

از دیرباز جهت تحلیل و طراحی سازه‌ها از روش‌های متفاوتی استفاده شده است که شامل تحلیل استاتیکی خطی، تحلیل استاتیکی غیر خطی، تحلیل دینامیکی خطی و در نهایت تحلیل دینامیکی غیر خطی می‌شوند. بنابراین تحلیل‌ها تغییر عمده‌ای یافته و از حالت تحلیل ارتجاعی به تحلیل دینامیکی غیر خطی ارتقا یافته‌اند (Khairuddin and Shamkhali, 2002). ساده‌ترین این روش‌ها تحلیل استاتیکی خطی است که در آن رفتار تمامی اعضا در محدوده خطی تعریف شده یا به بیان دیگر در نظر گرفتن رفتار ارتجاعی خطی برای اجزای یک سازه و کلیه بارهای استاتیکی مدل می‌شوند. در تحلیل خطی فقط اعضای اصلی مدل می‌شوند و اعضای غیر اصلی فقط برای تغییر شکل‌های حاصل از تحلیل کنترل می‌شوند، زیرا اعضای غیراصلی معمولاً تحت بارهای رفت و برگشتی کاهش سختی و مقاومت قابل توجهی خواهند داشت و به سرعت از سیستم ببری جانبی خارج می‌گردند (Razazan, 2002).

#### روش تحلیل استاتیکی

روش‌های تحلیل استاتیکی هنگامی مناسب هستند که پاسخ سازه هنگام زلزله عمدتاً ناشی از ارتعاش در مود اول باشد یا به عبارت دیگر اثر مودهای بالاتر قابل توجه نباشد. هنگامی اثر مودهای بالاتر از مود اول قابل توجه نیست که ساختمان کوتاه و منظم باشد لذا برای ساختمان‌های بلند و نامنظم لازم است از روش‌های تحلیل دینامیکی استفاده شود (Standing, 1995).

در روش تحلی استاتیکی فرض‌های زیر انجام می‌گردد:

۱- رفتار مصالح خطی هستند.

۲- با اینکه نیروی زلزله وارد به یک سازه دارای ماهیت دینامیکی می‌باشد ولی در این روش این نیرو به صورت بار معادل استاتیکی به سازه وارد می‌گردد و در نهایت کل نیروی زلزله مورد نظر به صورت ضربی از وزن کل سازه محاسبه می‌گردد (Kosar, 2002).

ولی در واقعیت رفتار مصالح از ماهیت خطی و الاستیک برخوردار نبوده و این مسئله به استفاده از روش‌های غیر خطی منجر می‌گردد. در این راستا می‌توان از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی فزاینده نام برد. این روش مناسبی در پیش‌بینی نیازهای تغییر شکل و نیرو بوده و در آن تمامی خصوصیات مهم پاسخ غیر خطی و خطی آرایه می‌شوند. در این روش تحلیلی، بارهای جانبی به صورت الگوهای از پیش تعیین شده به کار می‌روند و به صورت تقریبی نیروهای اینرسی نسبی را در موقعیت جرم‌های واقعی تعمیم یافته نشان می‌دهند (Country Planning and Management, 2006). تغییر شکل‌ها و نیروهای داخلی در هر سطحی از تغییر مکان محاسبه می‌شوند. این‌ها تخمینی از نیاز تغییر شکل و مقاومت سازه هستند که با ظرفیت موجود قابل مقایسه‌اند. این روش تصویر کاملی از رفتار سازه از مرحله الاستیک تا فروریزش را در اختیار قرار می‌دهد. اما ماهیت استاتیکی و مستقل از بار این نوع تحلیل و تناسب نتایج آن با مود غالب ارتعاشی، از نقاط ضعف این روش به حساب می‌آیند (Moghaddam, 1995).

## روش تحلیل دینامیکی

با توجه به ماهیت دینامیکی نیروهای ناشی از زمین لرزه که به صورت مشخص در قالب یک تابع ریاضی قابل بیان نیستند، روش های متعدد تحلیل عددی دینامیکی سازه ها توسعه یافتند. از آنجا که سازه ها حتی در زلزله های با شدت متوسط وارد مرحله رفتار غیر خطی می شوند باید در تحلیل آنها رفتار غیرخطی مصالح و هندسه سازه در نظر گرفته شود. در تحلیل های دینامیکی نیز دو روش تحلیل دینامیکی خطی و غیر خطی موجود می باشد (Berkeley, 2000).  
تحلیل دینامیکی خطی می تواند به دو روش طیفی یا تاریخچه زمانی انجام شود. فرضیات خاص این روش در محدوده رفتار خطی عبارت اند از:

۱- رفتار سازه را می توان به صورت ترکیبی خطی از حالت های مودهای ارتعاشی مختلف سازه که مستقل از یکدیگرند محاسبه نمود.

۲- زمان تناوب ارتعاشات سازه در هر مورد در طول زلزله ثابت است.

در این روش، مشابه روش تحلیل استاتیکی خطی، پاسخ سازه در زلزله سطح خطر مورد نظر در ضرایبی مطابق آیین نامه ضرب می شود تا حداکثر تغییر شکل سازه با آنچه که در زلزله پیش بینی می شود مطابقت داشته باشد. به همین علت نیروهای داخلی در سازه های شکل پذیر که در هنگام زلزله رفتار غیر خطی خواهند داشت بزرگتر از نیروهای قابل تحمل در سازه برآورد می شوند (Bush et al., 2013).

در تحلیل دینامیکی غیر خطی سازه ها تغییر شکل ها، نیروهای داخلی و به طور کلی پاسخ سازه تحت اثر یک یا چند شتاب نگاشت مشخص محاسبه می شود. همچنین در این تحلیل پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی مصالح و هندسی سازه محاسبه می شود (FEMA 356, 2002). در این روش، فرض بر آن است که ماتریس های سختی و میرایی می توانند از یک گام به گام بعدی تغییر کنند اما فواصل زمانی گام ها ثابت است و پاسخ سازه تحت شتاب در نظر گرفته شده برای هر گام زمانی و با استفاده از روش های عددی قابل محاسبه است (Fischinger et al., 1994).

آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی که یکی از روش های آنالیز دینامیکی غیر خطی می باشد روشی پیچیده و در عین حال دقیق ترین روش برای ارزیابی نیازهای غیر الاستیک سازه تحت اثر شتاب نگاشت های حرکت زمین است. به منظور تعیین عملکرد محتمل سازه تحت یک زلزله مشخص، نتایج به دست آمده از این آنالیز می تواند به طور مستقیم با اطلاعات به دست آمده از آزمایشات بر روی نمونه های مولفه های سازه ای مقایسه شوند (Fischinger and Fajfar, 1990). در آنالیز تاریخچه زمانی، آثار مودهای بالاتر و تغییرات در الگوی بار اینرسی به علت نرم شدگی سازه در خلال زلزله به طور خودکار در نظر گرفته می شود. در این روش به طور مستقیم تغییر مکان کلی حداکثر که توسط یک شتاب نگاشت مشخص به سازه اعمال می شود، تعیین شده و احتیاجی به تخمین زدن این پارامتر نیاز بر پایه روابط تجربی تئوریک نمی باشد. این آنالیز به تغییراتی نظیر تغییر خصوصیات شتاب نگاشت و رفتار سخت شدگی غیر خطی المان های مورد استفاده بسیار حساس می باشد. به همین علت برای کاهش پراکندگی نتایج و برآورد صحیح نیازهای لرزه ای لازم است آنالیز های تاریخچه زمانی متعددی انجام شود (Ghobarah and Abou Elfath, 2001).

در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی، رفتار کامل هیسترتیک هر جز تعیین می شود. رفتار هیسترتیک اعضا به نوع و مشخصات اجزا، تلاش در آنها و حتی مشخصات زمین لرزه وابسته است. پاسخ سازه به بار دینامیکی زلزله، به خواص سازه بستگی دارد. واضح است که با توجه به تابع تحریک زمین لرزه و خواص سازه مقدار انرژی تلف شده در هر مورد متفاوت خواهد بود (Ghobarah and Abou Elfath, 2001). در آنالیز سازه های الاستیک، غالباً فرض بر این است که انرژی توسط میرایی



ویسکوز ذاتی سازه تلف می شود، اما در سازه های غیرالاستیک علاوه بر این میرایی، مقدار انرژی نیز توسط اثرات غیرالاستیک تلف خواهد شد (Ghobarah and Abou Elfath, 2000).

معادله حرکت یک سیستم چند درجه آزادی تحت تاثیر زلزله در هر لحظه از زمان برای پاسخ غیر خطی به صورت زیر بیان می شود:

$$[M]D[\ddot{U}] + [C]D[\dot{u}] + [K]_t D[u] = - [M]D[\ddot{U}_g]_t$$

که در این رابطه  $[M]$  ماتریس جرم،  $[C]$  ماتریس میرایی،  $[K]_t$  ماتریس سختی مماسی در هر لحظه زمانی و  $\Delta [\ddot{U}_g]_t$  بردار تغییر شتاب حرکت زمین در هر لحظه زمانی می باشند.

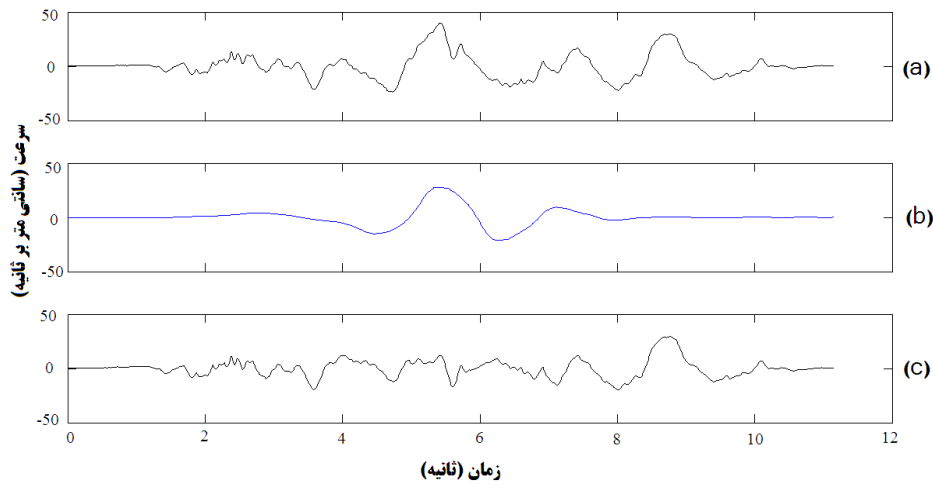
$\Delta [\ddot{U}]$ ،  $\Delta [\dot{u}]$  و  $\Delta [u]$  به ترتیب نمایانگر بردارهای تغییر شتاب، سرعت و جابه جایی هستند. ماتریس سختی سیستم در معادله فوق در حالات و گام های متفاوت تغییر می کند، بنابراین می توان آن را به صورت زیر بیان کرد:

$$[K]_t = [K]_e - [K]_p$$

که در این رابطه  $[K]_t$  ماتریس سختی مماسی سیستم در هر لحظه زمانی،  $[K]_e$  ماتریس سختی الاستیک و  $[K]_p$  ماتریس کاهش سختی در هر لحظه زمانی پس از تسلیم، می باشند. در این مطالعه برای تحلیل دینامیکی سازه های مورد مطالعه، از نرم افزار Seismostruct استفاده می گردد (Ghobarah and Abou Elfath, 2001).

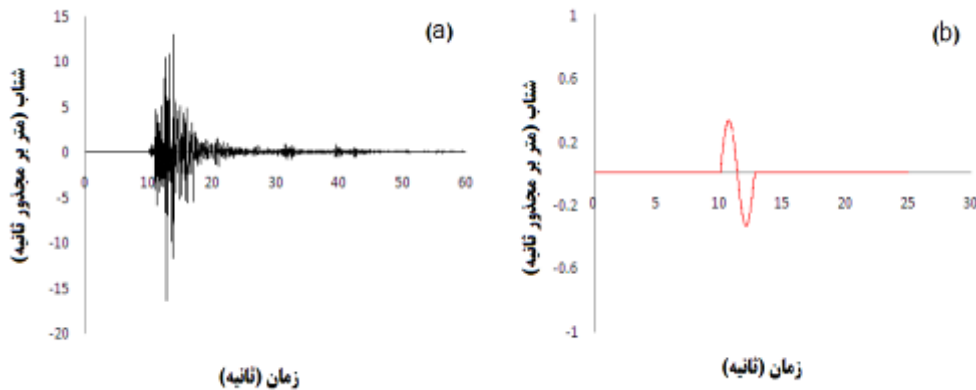
#### ارزیابی پاسخ لرزه ای سازه های مورد مطالعه تحت زمین لرزه نزدیک گسل

به منظور ارزیابی پاسخ لرزه ای سازه های مورد مطالعه تحت زمین لرزه دارای مشخصات جهت داری و تغییر مکان ماندگار، از زمین لرزه تولید شده به روش تابع نظری گرین استفاده می گردد. برای این منظور برای سناریویی شبیه به سناریوی زمین لرزه نورث ریج، و با در نظر گرفتن عدم اطمینان چشمه، مسیر و سایت زمین لرزه، یک هزار شتابنگاشت زمین لرزه در فواصل مختلف از گسل تولید گردید. روش های مختلفی برای تعیین اینکه آیا رکورد زمین لرزه دارای پالس جهت داری می باشد یا خیر وجود دارد. در این مطالعه از الگوریتم شاهی و بیکر استفاده گردید (Higashi et al., 1981). این الگوریتم دسته بندی، تاریخچه زمانی زمین لرزه ها در همه جهات دوران می دهد و به کمک الگوریتم مبتنی بر ویولت<sup>۳۷</sup> ارائه شده توسط بیکر به شناسایی پالس و همچنین استخراج پالس جهت داری از سیگنال اصلی می پردازد (Youssefa et al., 2006). مزیت این الگوریتم این است که کاملاً مبتنی بر ماشین می باشد و قضاوت های شخصی هیچ گونه دخالتی در شناسایی و استخراج پالس از رکورد اصلی زمین لرزه ندارد. شکل ۵ یک نمونه از سیگنال های تولید شده و پالس جهت داری استخراج شده از آن را نشان می دهد. از تعداد هزار زمین لرزه تولید شده، تعداد ۳۶۷ عدد دارای پالس جهت داری شناسایی شدند.



شکل ۵: نمونه ای از تاریخچه زمانی زمین لرزه تولید شده و پالس جهت داری جدا شده از آن (a) تاریخچه زمانی سرعت زمین لرزه تولید شده (b) پالس جهت داری جدا شده از آن (c) زمین لرزه باقی مانده

همچنین تعداد ۴۲۵ زمین لرزه تولید شده دارای اثر تغییر مکان ماندگار شناسایی شدند. به منظور جدا کردن پالس مربوط به اثر تغییر مکان ماندگار، از روش ارائه شده توسط ایوان و همکاران استفاده گردید. شکل زیر یک نمونه زمین لرزه تولید شده به کمک روش هیسادا و بیلاک، و همچنین پالس تغییر مکان ماندگار جدا شده از آن را نشان می دهد (Maheri, M.R. and Sahebi, A., 1997).



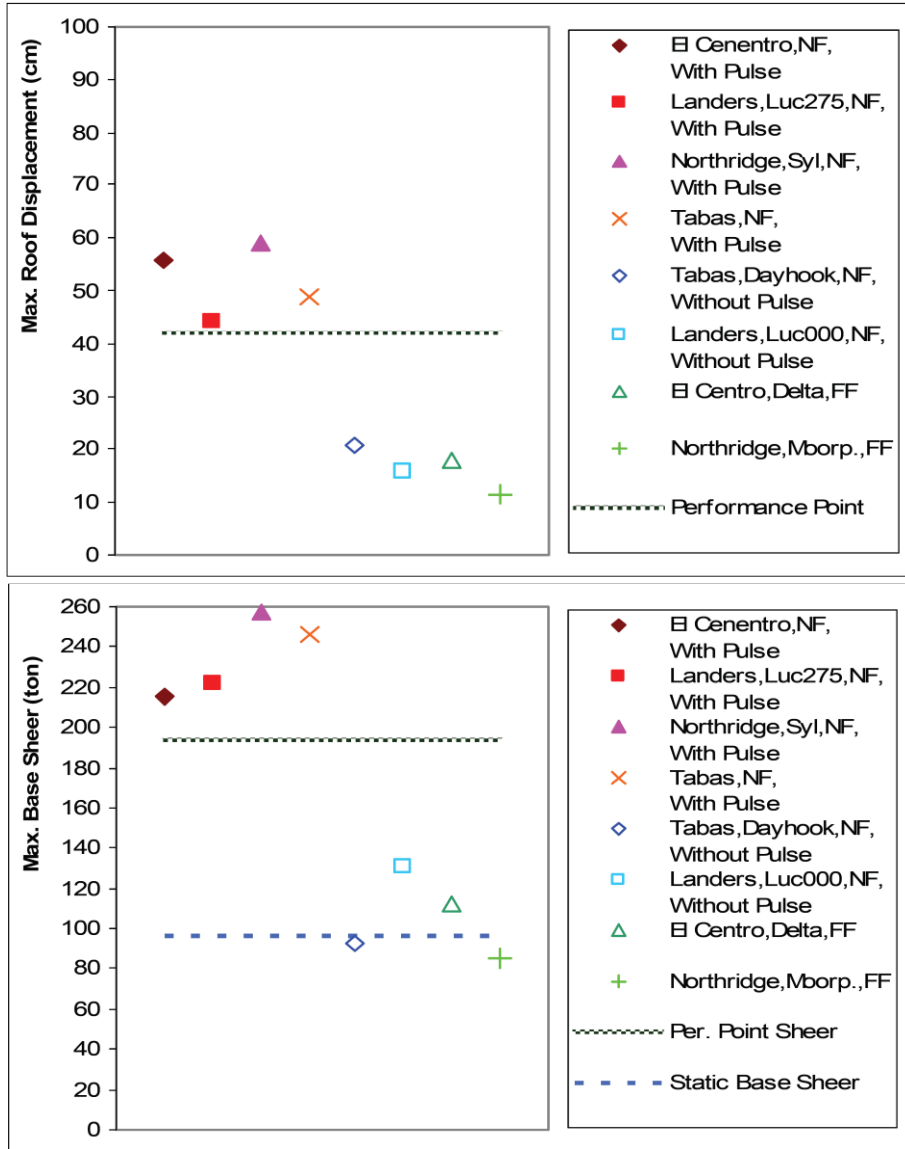
شکل ۶: نمونه ای از تاریخچه زمانی زمین لرزه تولید شده و پالس تغییر مکان ماندگار جدا شده از آن (a) تاریخچه زمانی سرعت زمین لرزه تولید شده (b) پالس جهت داری جدا شده از آن

به منظور ارزیابی پاسخ لرزه ای سازه ها، یک سناریوی زمین لرزه به بزرگای ۶٫۷ در فاصله نزدیک گسل انتخاب گردید. رابطه کاهندگی کمپل و بزرگنیا به عنوان معیار خطر منطقه انتخاب گردید. از بین زمین لرزه های تولید شده، تنها زمین لرزه هایی در تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی مورد استفاده قرار گرفتند که شتاب طیفی آن ها در پرپود نظیر مود اول سازه در محدوده میانگین به علاوه منهای دو برابر انحراف معیار استاندارد رابطه کاهندگی باشند. تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی روی سازه ها

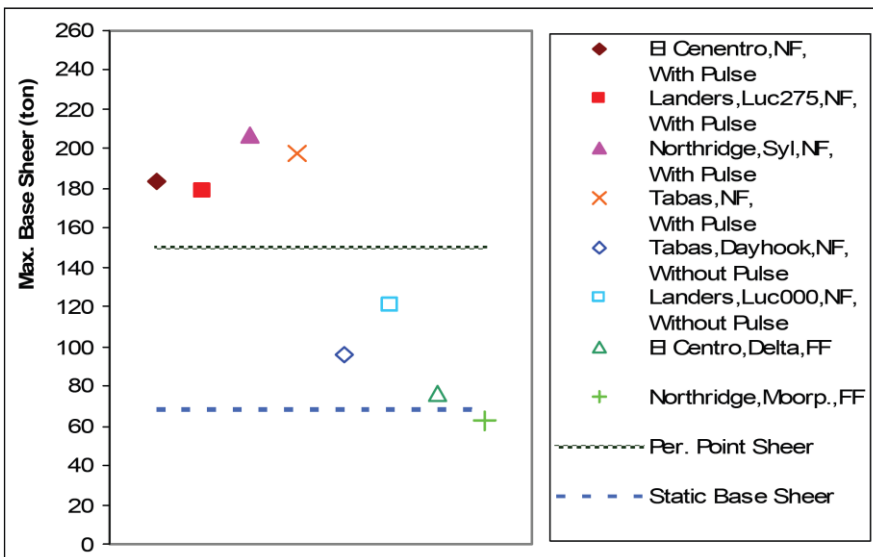
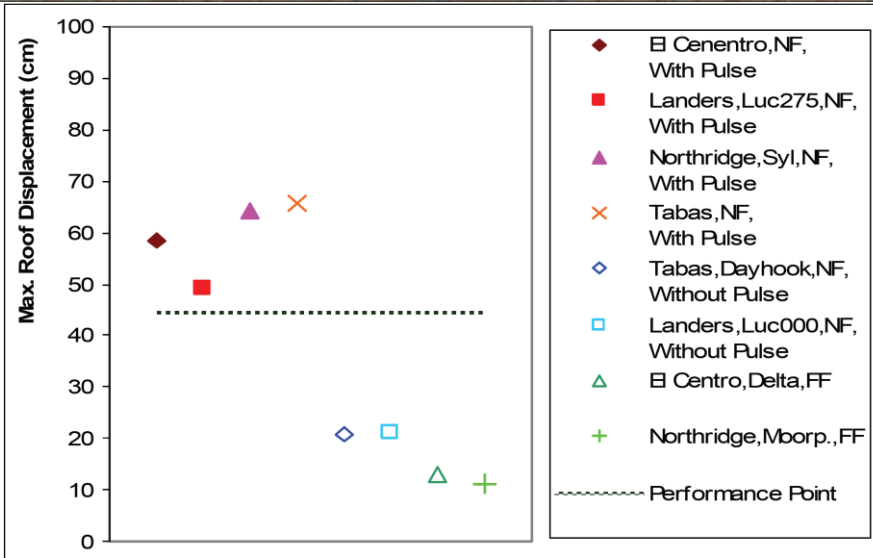
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



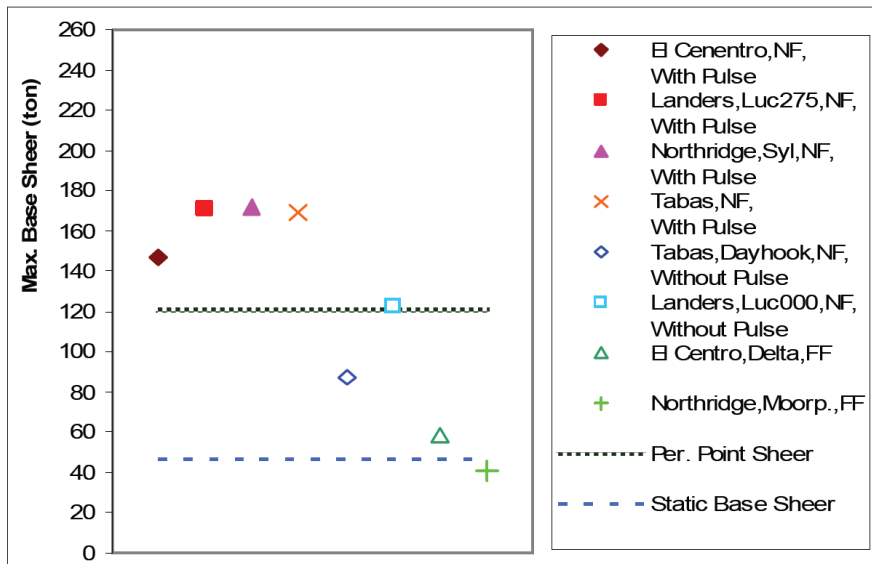
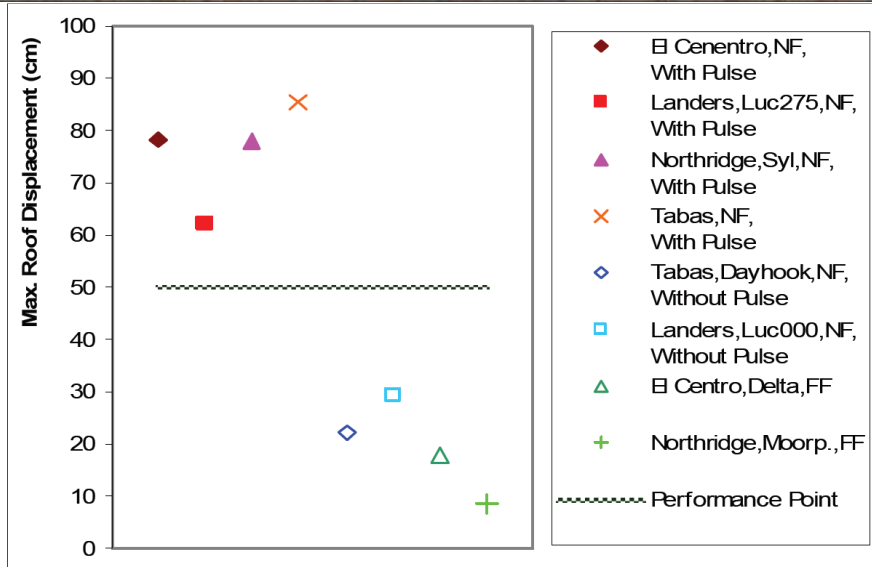
انجام گردید. نسبت دریفت طبقه<sup>۳۸</sup> (IDR) به صورت جابجایی نسبی بین دو طبقه متوالی تعریف می شود که با تقسیم شدن بر ارتفاع طبقه نرمال شده باشد (Mahmoud et al., 2008).



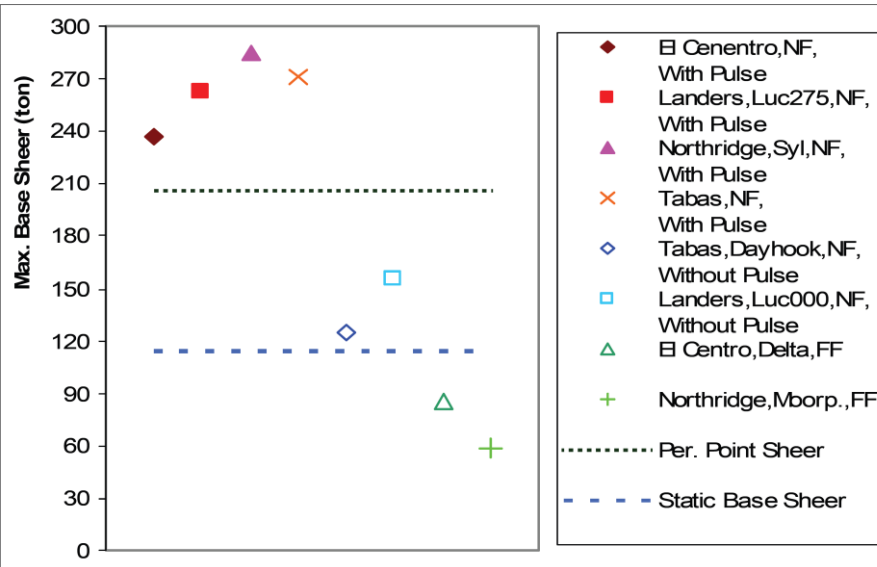
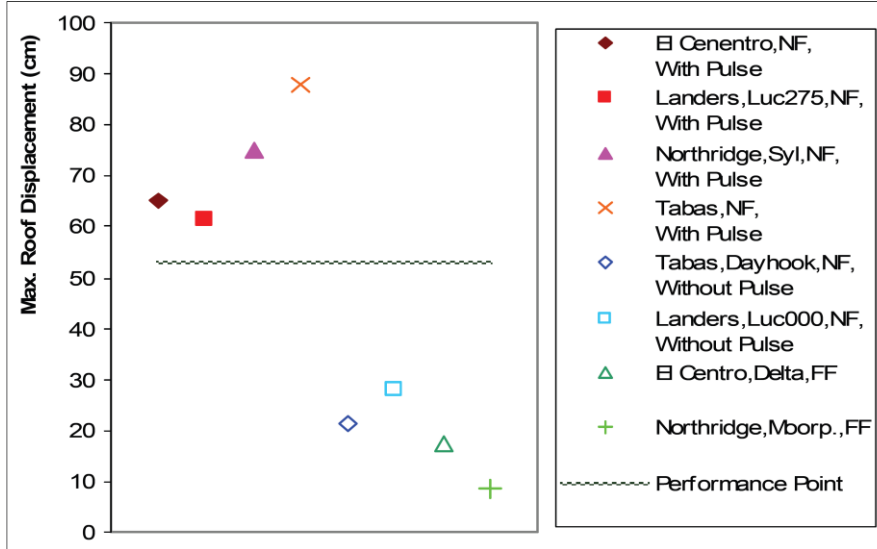
شکل ۷: رفتار قاب بتنی بهسازی شده با مهاربند فولادی ۳ طبقه



شکل ۸: رفتار قاب بتنی بهسازی شده با مهاربند فولادی ۵ طبقه



شکل ۹: رفتار قاب بتنی بهسازی شده با مهاربند فولادی ۷ طبقه



شکل ۱۰: رفتار قاب بتنی بهسازی شده با مهاربند فولادی ۱۰ طبقه

### نتیجه گیری:

مطالعات انجام شده در حوزه نزدیک نشان می‌دهد که نگاشت‌های افقی عمود بر گسل دارای پالس‌هایی با پریود بلند هستند بطوری که این گونه از نگاشت‌ها اثرات بیشتری بر سازه‌ها نسبت به نگاشت‌های دور از گسل دارند. نتایج حاصله حاکی از مقادیر بیشتر نیاز لرزه‌ای در طبقات مختلف سازه‌ها است.

براساس مطالعه صورت گرفته مقادیر میانگین و انحراف معیار استاندارد نیاز لرزه‌ای سازه‌های مورد مطالعه در حالت تحلیل تحت زمین لرزه نزدیک گسل، بیشتر از مقادیر نیاز لرزه‌ای تحت زمین لرزه عادی و فاقد پالس‌های جهت داری و تغییر مکان ماندگار می‌باشد. میزان زیاد انحراف معیار استاندارد پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها، بیانگر وجود عدم اطمینان زیاد در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها تحت زمین لرزه نزدیک گسل می‌باشد.

همچنین نتایج نشان دادند که دریافت نسبی طبقات تحت زمین لرزه دارای پالس تغییر مکان ماندگار در طبقات اولیه سازه‌ها بیشتر از حالتی است که سازه‌ها تحت زمین لرزه دارای اثر جهت داری قرار می‌گیرند. این در حالی است که سهم موده‌های

بالاتر در حالتی که سازه‌ها تحت زمین لرزه دارای اثر جهت داری قرار می‌گیرند، بیشتر می‌شود. بنابراین زمین لرزه دارای اثر جابجایی ماندگار می‌تواند باعث خسارت زیادی به طبقات اول سازه‌ها بشود. بعد از مقاوم سازی قاب‌ها به کمک مهاربندهای فولادی مفاصل پلاستیک در تیرهای دهانه‌ی مهاربندی شده تمام طبقات در تغییر مکان هدف تشکیل شده است. در حالت مقاوم سازی شده تمام تیرها به حالت پلاستیک در آمده‌اند و ستون‌ها از ورود به حالت غیرخطی مصون مانده‌اند. زیرا در حالت مقاوم‌سازی شده تغییر مکان هدف کمتر بوده و تقاضاهای کمتری را در ستون‌ها از جهت تغییر شکل در آنها ایجاد می‌شود.

در تیرهای مهاربندی شده نسبت به تیرهای دیگر مفاصل پلاستیک با سطح عملکرد بالاتری ایجاد شده است. مهاربندهای فشاری در تمام طبقات دچار کمانش شده‌اند. مشاهده بارگذاری گام به گام حاکی از آن است که با کمانش مهاربندها، مفاصل پلاستیک در تیرهای دهانه مهاربندی شده ایجاد می‌گردد و با افزایش تدریجی بار دوران‌های پلاستیک تیرهای دهانه میانی افزایش یافته و با تداوم بارگذاری جانبی مفاصل پلاستیک به تیرهای مجاور گسترش می‌یابد.

در بارگذاری نوع اول تیرهای طبقات بالاتر دوران‌های پلاستیک بالاتری را داشته‌اند. در این نوع بارگذاری و در پوش نوع اول مهاربند کششی طبقه اول جاری شده است. قاب پنج طبقه مهاربندی شده طی مراحل مشابه با قاب سه طبقه ارزیابی لرزه‌ای گردید. نتایج نشان می‌دهد که همچنان بیشترین خسارات در تیرهای دهانه مهاربندی شده ایجاد می‌گردد. البته توزیع مفاصل پلاستیک و سطح عملکرد آنها خسارات را در حد قابل قبول و کنترل شده ارزیابی می‌کند. حداقل سطح عملکرد تامین شده توسط اعضاء LS می‌باشد.

مفاصل پلاستیک در تیرهای طبقات بالایی در بارگذاری نوع اول سطح عملکرد پایین تری را نشان می‌دهند بدین معنی که در این طبقات میزان دوران‌ها و تغییر مکان های پلاستیک بیشتر بوده است و این مسئله در بارگذاری نوع دوم در طبقات پائین دیده می‌شود. کمانش مهاربندها در تمام طبقات دیده می‌شود. به مانند قاب سه طبقه در بارگذاری متناسب با وزن طبقات خسارات در پای ستون های طبقه اول دیده می‌شود.

برای درک بهتر عملکرد روش مقاوم سازی به کار گرفته شده قابهای هفت و ده طبقه نیز ارزیابی لرزه‌ای شده است. نتایج ارزیابی لرزه‌ای قاب هفت و ده طبقه حاکی از آن است که بیشترین خسارات در تیرهای طبقات میانی و در دهانه‌های مهاربندی شده ایجاد گردیده است. مشاهده گام به گام توزیع خسارات نشان می‌دهد که مفاصل پلاستیک بعد از تیرهای دهانه مهاربندی، در تیرهای طبقاتی که تغییر مکان نسبی آنها بیشتر است ایجاد می‌گردد. مهاربند طبقه آخر در قاب ده طبقه دچار کمانش نشده است که حاکی از اضافه مقاومت طبقه آخر در این قاب ها می باشد. ضمناً حذف این مهاربندها سبب تشکیل مفاصل پلاستیک با سطح عملکرد IO در تیرهای طبقه آخر می‌گردد.

افزایش نیاز لرزه‌ای سازه‌ها تحت زمین لرزه نزدیک گسل، طراحی ویژه سازه‌ها در مناطق نزدیک به چشمه لرزه‌ها را می‌طلبد. در حالی که آئین نامه‌های دنیا و همچنین آئین نامه ۲۸۰۰ در ویرایش چهارم خود سعی در وارد نمودن اثرات نزدیک گسل در مراحل تحلیل و طراحی سازه‌ها را دارند، ولی تمرکز اصلی این آئین نامه‌ها روی اثر جهت داری می‌باشد و کمتر سعی در انعکاس دادن اثر تغییر مکان ماندگار در بارگذاری سازه‌ها دارند. این در حالیست که نتایج این مطالعه از سهم بالای اثر تغییر مکان ماندگار در ایجاد خسارت به سیستم های مهندسی در مناطق نزدیک گسل حکایت دارد. بنابراین ضروری به نظر می‌رسد که در مراحل تحلیل خطر لرزه‌ای و همچنین تحلیل سیستم های مهندسی، اثر جابجایی ماندگار در محاسبات لحاظ گردد.

۱- افزودن مهاربندهای فولادی به قابهای بتنی، بارهای خمشی وارده بر ستونها را محوری نموده لذا نسبت تنشها را در آنها به کمتر از یک تقلیل می‌دهد.

- ۲- محوری شدن بارهای لرزه‌ای علاوه بر کاهش نسبت تنش‌ها در ستون‌ها به تنش مجاز، سبب انتقال مفاصل پلاستیک از ستون‌ها به تیرها شده است. لذا بیش از ۷۰٪ ستون‌ها در قابهای بلندتر از سه طبقه در این شیوه مقاوم سازی از خسارات شدید مصون ماندند.
- ۳- در بارگذاری نوع اول بیشترین خسارات در تیرهای دهانه مهاربندی شده مشاهده گردید، به طوریکه در ۱۰۰٪ این تیرها مفاصل پلاستیک تشکیل گردید.
- ۴- در صورت ایجاد خسارت در ستون‌ها، این خسارت در بارگذاری نوع دوم خسارات در پای ستون‌های طبقه اول ایجاد می‌گردد. البته مفاصل پلاستیک تشکیل شده از سطح عملکرد بالایی برخوردارند.
- ۵- کماتش مهاربندها در تمام طبقات جز بام قبل از رسیدن قاب به تغییرمکان هدف اتفاق می‌افتد (بین ۷۰٪ تا ۷۵٪ تغییرمکان هدف)، اما مهاربندهای کششی بندرت جاری شدند.
- ۶- در بارگذاری نوع اول به دلیل مثلثی بودن این بارگذاری، با وجود مهاربندها تیرهای طبقه‌های بالاتر با سطوح عملکرد پائین‌تری رسیده‌اند.
- ۷- برای استفاده از ظرفیت ستون‌ها نیز می‌توان با ایجاد شرایطی که تغییرمکان هدف در قاب‌ها بیشتر شود، می‌توان سطوح عملکردی بهتری را نیز از تیرها مشاهده کرد.
- نتایج بدست آمده حاکی از آن است که تحت زلزله‌های نزدیک گسل، تمرکز انرژی در طبقات پایین، بسیار بیشتر از رکوردهای دور از گسل بوده که این تجمیع انرژی، تجمیع خسارت را در پی خواهد داشت و همچنین علیرغم توزیع یکنواخت مقاومت در ارتفاع طبقات، توزیع انرژی در طبقات کاملاً نامنظم و غیر یکنواخت انجام گرفته است که این موضوع مبین آن است که آیین‌نامه‌های موجود برای طرح لرزه‌ای سازه‌های بدون در نظر گرفتن فاصله سازه از گسل، کفایت لازم را ندارند.

#### منابع:

- Berkeley, 2000. Computer & Structure Inc, ETABS Structural Program, California.
- Building and Housing Research Center, 1999. Earthquake Design Code (Standard 2800) - Second Edition.
- Building and Housing Research Center, 2004. Building Design Against Earthquake (Standard 2800) - Third Edition.
- Building Design by Earthquake, 2007. Standard, Third Edition, Building and Housing Research Center, Ministry of Housing and Urban Development.
- Bush, T. D. , Jones, E. A. , and Jirsa, J. O., 2013. Behavior of RC Frame Strengthened Using Structural Steel Bracing, Journal of Structural Engineering , No. 4, Vol. 117, PP. 1115-126.
- Country Planning and Management, 2006. Organization Technical Office for Earthquake and Earthquake Risk Reduction, Existing Building Guidelines (Journal No. 360).
- FEMA 356, 2002. Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings”, Federal
- Fischinger. M, Fajfer. P, & Vidi. T., 1994. Factors contributing to the response reduction, Proc. 5th U. S. National Conf. On Earthquake Engineering, Vol. 1, p.955-964.
- Fischinger. M. Fajfar P., 1990. On the Response Modification Factors for Reinforced Concrete building, Proceedings of fourth U. S. national conference on Earth. engi . , Vol. 2, pp. 20-24.
- Ghobarah H, A, Abou Elfath, H., 2001. Rehabilitation of a Reinforced Concrete frame Using Eccentric Steel Bracing, Engineering Structure. J, vol. 23, pp. 745 .
- Ghobarah H, Abou Elfath, H., 2000. Behaviour with of Reinforced Concrete frames Rehabilitated Concentric Steel Bracing, Can. J. Civ. eng, Vol. 27, pp. 433.
- Ghobarah, A., and Abou Elfath, H. 2001. Rehabilitation of A Reinforced Concrete Frame Using Eccentric Steel Bracing, Engineering Structures, Issue 7, Vol. 23, PP.



- Higashi, Y., Endo, T., and Shimizu, Y., 1981. Experimental Studies on Retrofitting of Reinforced Concrete Structural Members, Proceedings of the Second Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, MI, National Science Foundation, 126-155.
- Khairuddin, Ali, and Shamkhali Moghaddam, Majid, 2002. Investigation of Divergent Brake Behavior in Existing Reinforced Concrete Frames, Second International Conference on Tall Buildings.
- Khairuddin, Ali, 2002. Studying the Interplay of Metal Bracelets and Reinforced Concrete Frames in Tall Buildings, Second International Conference on Tall Buildings.
- Kosar, Rahim, 2002. An Experimental Study of the Use of Metal Bands and Ductile Concrete Frame as a Seismic Resistant Element, MSc Thesis, Shiraz University.
- M.A. Youssefa, H. Ghaffarzadeh, M. Nehdia, 2006. Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing. Journal of Engineering Structures 29 (2007) 1561–1568.
- Maheri, M. R., and Sahebi, A., 1995. Experimental Investigations of Steel – Braced Reinforced Concrete Frames, Proceedings of Second International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Islamic Republic of Iran.
- Maheri, M.R. and Sahebi, A., 1997. Use of Steel Bracing in Reinforced Concrete Frames, Engineering Structures, 19(12), 1018-1024.
- Mahmoud, R., Maheria, H., Ghaffarzadeh, H., 2008. Connection overstrength in steel-braced RC frames, Journal of Engineering Structures 30, 1938–194.
- Mahmoudi M., and Tasnimi A., 2005. Range of Behavioral Coefficient (R) Changes in Liberty Degree Systems, Proceedings of the Fourth International Conference on Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
- Masri, A. C., and Goel, S. C., 1991. Seismic Design and Testing of an RC Slab Column Frame Strengthened by Steel Bracing, Earthquake Spectra, Vol. 12, No. 4 .PP. 645-66, (1996).
- Moghaddam. Hassan, 1995. Earthquake Engineering; Gould I - Principles and Fundamentals of Seismic Loading; First Edition, Tehran: Reference Publications for Road and Transportation Research.
- Razazan, Mehdi, 2002. Experimental study on the use of formable knee braces in reinforced concrete mesh, end of bachelor's degree, Shiraz University.
- Rodriguez M, Park R., 1991. Repair and strengthening of reinforced concrete buildings for seismic resistance. Earthquake Spectra; 7(3): 439–459.
- Standing Committee to Review Earthquake Regulations for Buildings, 1995. Earthquake Planning Regulations, Second Edition, Tehran: Housing and Housing Research Center Publications.
- Taghi-Nejad, R., 2012. Seismic Design and Performance of Structures Based on Performance Using Sap2000-etabs.
- Tasnimi Abbas Ali., 2001. Reinforcing Concrete Frames with Steel Structures, Building and Housing Research Center, Tehran.
- Youssef, M. A., Ghaffarzadeh, H., and Nehdi, M., 2007. Seismic Performance of RC Frames with Concentric Internal Steel Bracing, Engineering Structures, Issue, Vol. 29, PP. 1561-568.

## ارزیابی فرونشست دشت تهران تحت اثر افت تراز آب‌های زیرزمینی با روش‌های

### مدل‌سازی اجزاء محدود و تفاضل محدود

زهرا یزدی<sup>۱\*</sup>، حامد نیرومند<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین‌زهرا، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

<sup>۲</sup> فوق‌دکتری، استادیار، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین‌زهرا، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

[Yazdizahra96@gmail.com](mailto:Yazdizahra96@gmail.com) [Niroumand.mrud@gmail.com](mailto:Niroumand.mrud@gmail.com)

#### چکیده:

رشد سریع جمعیت و نیاز روزافزون به آب شیرین، منجر به استخراج بیش از حد مجاز از منابع آب‌های زیرزمینی گردیده که این عمل، نوسانات و افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن را به دنبال خواهد داشت. با توجه به اینکه عمده منابع آب‌های زیرزمینی در دشت‌های آبرفتی قرار دارند، ضمن برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، پدیده فرونشست زمین رخ خواهد داد. این مخاطره جنوب و جنوب غربی دشت تهران را به شدت تهدید می‌کند. فرونشست زمین در ۵ ناحیه از دشت تهران با استفاده از روش‌های تحلیل عددی اجزاء محدود و تفاضل محدود به وسیله نرم‌افزارهای PLAXIS و FLAC شبیه‌سازی شد. نرخ فرونشست حاصل از نرم‌افزارها با فرونشست برداشت شده از تصاویر ماهواره‌ای، با یکدیگر مقایسه گردید و تطابق قابل قبولی میان آن‌ها مشاهده گشت. بر اساس شبیه‌سازی‌های عددی صورت گرفته در نرم افزار FLAC، نرخ فرونشست آتی زمین در یک بازه زمانی ۱۰ ساله (از سال ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۸) با فرض این که افت تراز آب زیرزمینی مشابه نرخ سال‌های گذشته باشد، در نواحی شمش آباد ۶۶/۲۵ سانتی متر، بنزخاور ۳۵/۸۶ سانتی متر، بهمن آباد ۶۳/۰۳ سانتی متر، امامزاده ابوالحسن ۳۶/۳۷ سانتی متر و خلایزیر ۴۶/۵۸ سانتی متر تخمین زده شد.

کلیدواژه: فرونشست زمین، تغییرات تراز آب زیرزمینی، جنوب غرب تهران، *FLAC*، *PLAXIS*

## Assessment of Land Subsidence due to Groundwater Exploitation by Finite Elements and Finite Difference Methods in the Tehran plain

Zahra Yazdi<sup>1\*</sup>, Hamed Niroumand<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Department of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

<sup>2</sup> Post-Doc, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

#### Abstract

Rapid population growth has led to the extraction of groundwater resources, which will have a severe decline in groundwater levels and its consequences. Due to the fact that the groundwater resources are located in alluvial plains, in addition to uncontrolled abstraction of groundwater, the phenomenon of land subsidence will occur. This danger threatens the south and southwest of Tehran plain. Land subsidence in 5 areas of Tehran plain was simulated using finite element and finite difference numerical analysis methods by PLAXIS and FLAC softwares. The rate of subsidence resulting from the softwares was compared with the subsidence taken from satellite images, and an acceptable

correlation was observed between them. Based on the numerical simulations performed in FLAC software, the rate of future subsidence of the earth in a period of 10 years (from 2019 to 2029) assuming that the drop in groundwater level is similar to the rate of previous years, is equal to 66.25 cm per ingot Abad, equivalent to 35.86 cm in Benzkhavar, equivalent to 63.03 cm in Bahmanabad, equivalent to 36.37 cm in Imamzadeh Abolhasan and equivalent to 46.58 cm in Kholazir were estimated.

#### مقدمه:

فرونشست یکی از پدیده‌های نامطلوبی است که به ویژه در دشت‌های آبرفتی رخ می‌دهد، این رفتار مورفولوژیک نتیجه عوامل طبیعی و انسانی می‌باشد (Stephen, 2015; Wu and Lan, 2019). هم اکنون در پی افزایش جمعیت و همگام با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و خشک کشور که منجر به افزایش خشک‌سالی‌های پی در پی گردیده است. تقاضا برای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به‌منظور استفاده در تصفیه‌خانه‌ها برای تولید آب آشامیدنی و در بخش‌های مختلف صنعت، خدمات و کشاورزی افزایش یافته و باعث به وجود آمدن هرج و مرج مورفولوژیک و منجر به افزایش نرخ فرونشست سطح زمین گشته است (Galloway, 2001).

همواره سعی بر آن است تا میزان تغییر شکل حاصل از پدیده فرونشست در سطح زمین از روش‌های گوناگونی اندازه‌گیری شود (Wang, 2019; Motagh et al., 2017; Gong et al., 2015). فرونشست زمین یکی از پیامدهای بهره‌برداری طولانی مدت از آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Zhu et al., 2015) که سبب ایجاد اثرات منفی همانند تخریب بزرگراه‌ها (Zhao et al., 2016)، باندهای فرودگاه (Simeoni et al., 2017)، خسارات ساختاری و اساسی زیرزمینی همچون شبکه‌های آبیاری و زهکشی، شبکه‌های جریان (Barends et al., 1995)، کاهش ضریب ذخیره آبخوان‌ها (Galloway et al., 1999)، تغییر در مورفولوژی سطح زمین و ایجاد شکاف‌های زمینی و با پیش‌روی آب شور منجر به ترکیب آب‌های شیرین و شور با یکدیگر گردیده (Chen et al., 2010) و از مخاطراتی می‌باشد که پایتخت را تحت تأثیر چشمگیری قرار داده است. در ارتباط با بررسی پدیده فرونشست و عوامل مؤثر بر آن، مطالعات بیشماری از سوی محققین متعددی صورت پذیرفت. در ارتباط با تحکیم ناشی از افزایش تنش مؤثر تحت تاثیر افت سطح ایستابی (Sedaghat et al., 2019)، مکانیک فرونشست زمین تحت پمپاژ از آب‌های زیرزمینی (Budhu and Adiyaman, 2010)، اثرات مؤثر در فرونشست ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی (Holzer and Galloway, 2005)، انجام مطالعات فرونشست در کشور اندونزی (Abidin et al., 2011)، تحلیل شکاف‌های زمین ناشی از فرونشست (Adiyaman, 2012) و در رابطه با تأثیر فروچاله‌ها بر ساختار پل‌ها (Nateqi and Niroumand, 2019) مطالعات گسترده‌ای را انجام داده‌اند.

با توجه به گستردگی وقوع این پدیده در کشور و خسارات حاصل از آن، بررسی فرونشست زمین نیاز به تمرکز و ایجاد مکانیزم‌های کنترلی و شبیه‌سازهای اعلام خطر بیشتری دارد. عوامل اصلی فرونشست نواحی جنوب و جنوب غربی تهران، افت شدید سطح ایستابی و ضخامت زیاد نهشته‌های ریزدانه است (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴) که در تحقیق حاضر، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این مطالعه به پیش‌بینی نرخ فرونشست طی سالیان آتی از دیدگاه ژئوتکنیکی می‌پردازد. برای فراهم سازی امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی مخاطرات، نیاز به داده‌های مهندسی زمین‌شناسی در ناحیه مستعد فرونشست از قبیل کیفیت و ضخامت لایه‌های مختلف ساختار خاک و همچنین عمق سنگ بستر در ناحیه جنوب و جنوب غرب تهران می‌باشد. آنگاه می-

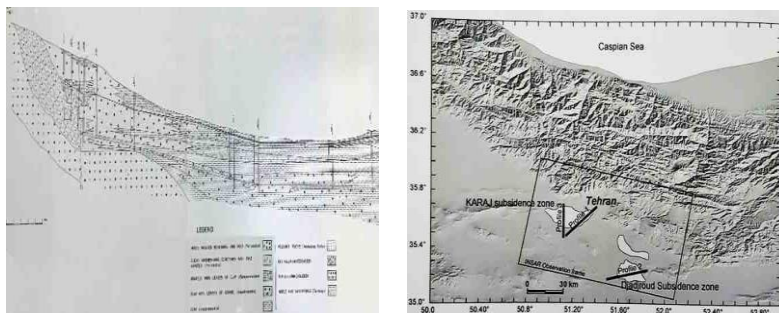
توان با استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی عددی، شبیه‌سازی پدیده فرونشست را بر اساس تغییرات قابل تصور در سطح تراز آب‌های زیرزمینی طی یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۹۸ الی ۱۴۰۸) انجام داد.

### موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه

فرونشست در محدوده شهر تهران مساحتی حدود ۴۱۶ کیلومتر مربع و در موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ} 31' 21''$  تا  $35^{\circ} 41' 36''$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 22' 33''$  تا  $50^{\circ} 58' 41''$  طول شرقی در جنوب غربی شهر تهران قرار دارد. محیط این ناحیه طولی در حدود ۱۰۰ کیلومتر را دارا می‌باشد. ناحیه مورد نظر در محدوده دشت تهران قرار دارد که این دشت از شمال به دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز، از شرق به ارتفاعات سه‌پایه، قوچک، بی‌بی شهربانو و در ادامه محدود به رودخانه شور، از جنوب به کوه‌های آزاد فشاپویه و از غرب نیز به محدوده شرقی دشت کرج، محدود می‌گردد. همچنین مساحت دشت تهران در حدود ۲۲۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۳۵۰ کیلومترمربع آن کوهپایه و بیرون‌زدگی‌های داخل دشت و ۱۹۰۰ کیلومترمربع آن شامل قسمت‌های هموار دشت می‌باشد (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴).

### موقعیت زمین شناسی

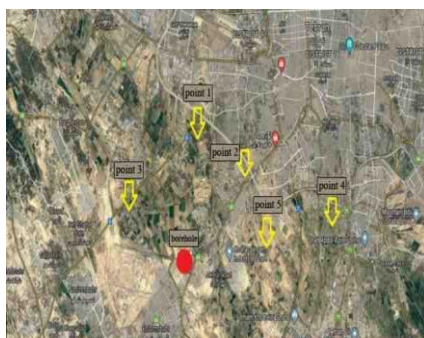
شهر تهران بر روی دامنه جنوبی بخش مرکزی رشته کوه‌های البرز (راستای عمومی شرقی-غربی) می‌باشد که این ناحیه تحت اثر گسل‌های مختلف و حرکات کوهزایی متعدد قرار دارد. سازند و حوزه آبریز دشت تهران به چهار بخش تقسیم بندی گردید: سازند هزار دره (A): این سازند با تغییر شیب توسط سازند آبرفتی شمال تهران (Bn) پوشیده می‌شود که در بخش‌های شمالی تهران بیرون آمدگی دارد. سازند آبرفتی ناهمگن شمال تهران (Bn) و سیلت‌های رسی کهریزک (Bs): این سازند در پرتگاه گسلی کهریزک و گسل‌های جنوب و شمال ری بیرون زدگی دارد که آن شامل سیلت و رس و سیلت‌های رسی است. در اصل سازند هزار دره چین خورده و گسله شده و با ته نشینی رسوبات سیلابی عظیم، سازند B با تغییر شیب بر روی آن قرار گرفته و طی فرایندهای کوهزایی آتی، سازند B مقداری شیب دار می‌شود. سازند آبرفتی تهران (C): بخش‌های جوان‌تر سازند تهران که متشکل از رسوبات همگن شامل قلوه سنگ، شن، ریگ و ماسه سیلتی است. این رسوبات همگن دارای مقاومت مکانیکی نسبتاً بالایی هستند. آبرفت‌های کنونی (D): شامل جوان‌ترین رسوبات سیلابی و رودخانه‌ای دشت تهران که سنی میان ۷۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ سال دارند که در نواحی شمالی متشکل از قلوه سنگ و شن‌های گردگوشه با نفوذپذیری کامل هستند و در نواحی جنوبی متشکل از رسوبات سیلتی و رسی می‌باشند (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴). موقعیت جغرافیایی آبخوان دشت تهران و پروفیل زمین‌شناسی ساختار سازند دشت تهران در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی آبخوان و پروفیل زمین‌شناسی دشت تهران (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۵)

روش مطالعه:

برای تحلیل مقدار فرونشست فعلی زمین و پیش‌بینی فرونشست در سال‌های آتی، نقاطی از نواحی مستعد فرونشست که موقعیت آن‌ها در شکل (۲) مشخص شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفتند. به دلیل کمبود اطلاعات ژئوتکنیکی حاصل از گمانه‌های عمیق در ناحیه موردنظر، یک گمانه به عمق ۱۰۰ متر به عنوان مبنا برای بررسی و شبیه‌سازی فرونشست در نظر گرفته شد. اطلاعات گمانه در نظر گرفته شده، از تحقیقات به عمل آمده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در محدوده اسلامشهر به دست آمده و پارامترهای مؤثر در تحلیل عددی با استفاده از مراجع معتبر ژئوتکنیکی محاسبه شده‌اند. شکل (۳) موقعیت گمانه و نقاط منتخب برای بررسی را نشان می‌دهد.



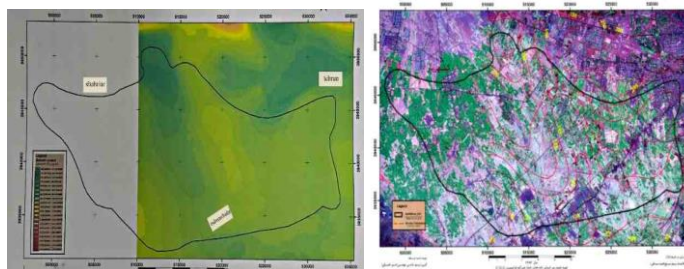
شکل ۲: نقاط مورد بررسی در جنوب و جنوب غرب تهران و موقعیت گمانه (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۵)

برای اجرای مدل‌سازی عددی و تحلیل رفتار خاک تحت اثر تغییرات سطح ایستابی، نقاطی در جنوب و جنوب غرب تهران که اطلاعات تغییر تراز آب در آن‌ها وجود داشت انتخاب شد و نزدیکترین گمانه عمیق ژئوتکنیکی که بتوان پارامترهای خاک ناحیه مستعد فرونشست را از آن ارزیابی نمود در ناحیه اسلامشهر به دست آمد و با استفاده از روابط موجود در مراجع ژئوتکنیکی و مشخصات آزمایش‌های انجام شده بر روی لایه‌های مختلف این گمانه، نتیجه حاصل از این تحلیل‌ها و مشخصات ژئوتکنیکی مربوط به آن در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱: اطلاعات ژئوتکنیکی گمانه

لایه	نوع خاک	عمق (m)	مدول الاستیسیته چسبندگی (KPa)	زاویه اصطکاک داخلی (°)	وزن مخصوص مرطوب (KN/m <sup>3</sup> )	وزن مخصوص اشباع (KN/m <sup>3</sup> )	نسبت پواسون	نفوذپذیری (m/s)
۱	CL-ML	۱۳-۰	۱۹۵۶۱	۳۰	۱۵	۱۹/۳۲	۰/۳	۵-۱۰
۲	ML	۲۴-۱۳	۱۲۶۷۲	۲۶	۱۵	۱۸/۴۴	۰/۲۵	۵-۵×۱۰
۳	CL	۲۸-۲۴	۱۸۲۸۲	۲۶/۹	۱۳/۵	۱۸/۴۴	۰/۳۵	۷-۱۰
۴	CL	۳۲-۲۸	۲۸۹۴۹	۲۸/۳	۱۳/۸	۱۸/۴۴	۰/۳۵	۷-۱۰
۵	CL	۳۶-۳۲	۱۴۶۲۳	۲۶	۱۳/۵	۱۸/۴۴	۰/۳۵	۷-۱۰
۶	CL-ML	۵۰-۳۶	۱۸۱۰۱	۲۷	۱۵	۱۹/۳۲	۰/۳	۵-۱۰
۷	ML	۶۱-۵۰	۱۸۰۸۸	۲۲	۱۵	۱۹/۱۲	۰/۲۵	۵-۵×۱۰
۸	CL	۱۰۰-۶۱	۱۷۷۸۱	۲۱	۱۴/۴	۱۸/۴۴	۰/۳۵	۷-۱۰

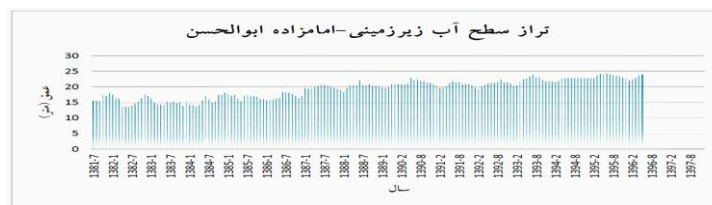
در آبرفت دشت تهران، با استفاده از سونداژهای ژئوالکتریک و تفسیر منحنی‌های الکتریکی ترسیم شده حاصل از آن، ضخامت لایه‌های موجود در هر سونداژ مشخص و از هم تفکیک گردید، سپس با تلفیق این داده‌ها با داده‌های زمین شناسی حاصل از گمانه اسلامشهر و لوگ خاک چاه‌های دیگر، نقشه ضخامت آبرفت دشت تهران ترسیم گردید. بر اساس این نقشه مشاهده می‌شود در برخی قسمت‌های شمالی دشت تهران ضخامت آبرفت به بیش از ۴۰۰ متر و در قسمت جنوب شرقی به کمتر از ۲۵ متر می‌رسد. با توجه به اطلاعات موجود در شکل (۳) عمق گمانه ژئوتکنیکی اسلامشهر که برابر ۱۰۰ متر می‌باشد، با ضخامت آبرفت ناحیه مطابقت دارد و مدل‌سازی در نرم افزار با عمق ۱۰۰ متر صورت گرفت.



شکل ۳: نقشه ضخامت آبرفت و تراز سنگ بستر در دشت تهران (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۵)

### سطح آب زیرزمینی در دشت تهران

تغییرات سطح ایستابی با استفاده از چاه‌های مشاهده ای و پیرومتری از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۷ توسط سازمان آب ناحیه ای تهران ثبت گردیده است و نتایج آن توسط دفتر مطالعات پایه منابع آب کشور انتشار یافته است. نمودار هیدروگراف تغییرات تراز سطح آب‌های زیرزمینی در بازه زمانی مربوطه، برای هر ۵ ناحیه ترسیم گردید. سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی فوق الذکر در محدوده امامزاده ابوالحسن در شکل (۴) حداقل عمق ۱۳/۶۰ متر از سطح زمین و حداکثر عمق ۲۴/۱۸ متر از سطح زمین را داشته است. در محدوده شمس آباد حداقل عمق ۴۱/۹۰ متر از سطح زمین و حداکثر عمق ۵۰/۳۸ متر از سطح زمین را داشته است. در محدوده خلایزیر حداقل عمق ۱۰/۹۰ متر از سطح زمین و حداکثر عمق ۱۷/۳۸ متر از سطح زمین را داشته است. در محدوده بهمن آباد حداقل عمق ۴۰/۳۰ متر از سطح زمین و حداکثر عمق ۴۹/۹۰ متر از سطح زمین را داشته است. در محدوده بنزخاور حداقل عمق ۲۵/۹۶ متر از سطح زمین و حداکثر عمق ۳۲ متر از سطح زمین را داشته است.

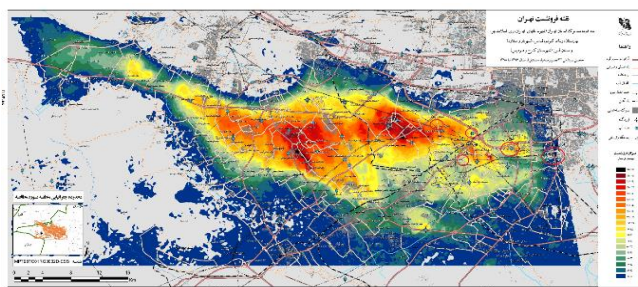


شکل ۴: تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده امامزاده ابوالحسن از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷

### مقادیر فرونشست در جنوب و جنوب غرب تهران

سازمان نقشه برداری کشور، نقشه میزان فرونشست از سال ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸ را که حاصل پردازش ۳۲ تصویر ماهواره سنتینل از ژانویه ۲۰۱۸ تا فوریه ۲۰۱۹ می‌باشد، به روش تداخل سنجی راداری با قدرت تفکیک مکانی بالا و پوشش وسیع و ادغام نتایج آن با ارقام به دست آمده از ایستگاه‌های ترازبایی زمینی ارزیابی نموده است. در شکل (۵) نواحی مورد بررسی با دایره

قرمز رنگ مشخص شده اند و مقدار فرونشست تجمعی بر اساس داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای برای نقاط مورد بررسی از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ در جدول (۲) ارائه شده‌است.



شکل ۵: نقشه فرونشست تهران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۵)

جدول ۲: مقدار فرونشست حاصل از تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷

مقدار فرونشست (میلی‌متر)	ناحیه
۲۱۶۰	شمس‌آباد
۱۳۶۰	بنزخاور
۱۵۲۰	بهمن‌آباد
۵۶۰	امامزاده ابوالحسن
۱۶۸۰	خلازیر

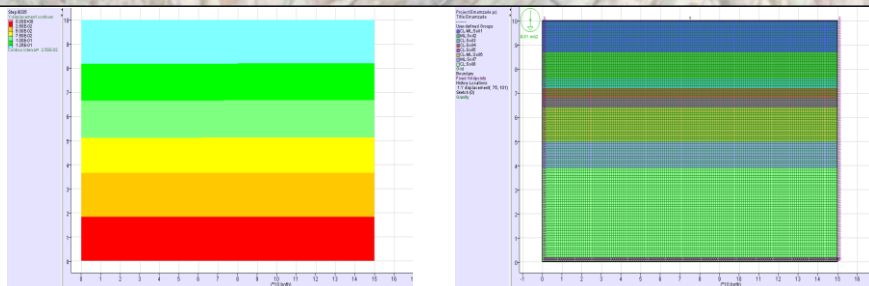
### توصیف مدل

در این مطالعه، شبیه‌سازی فرونشست با استفاده از دو نرم‌افزار اجزاء محدود PLAXIS و تفاضل محدود FLAC، با در نظر گرفتن هندسه دو بعدی در حالت کرنش مسطح انجام شده است. ارتفاع مدل مطابق با عمق گمانه ژئوتکنیکی و نقشه سنگ بستر ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است و ۸ لایه خاک مختلف با مشخصات ذکر شده در جدول (۱) در آن اعمال شده است. تشخیص لایه‌های مختلف خاک و ضخامت آن‌ها در نرم‌افزار با تفکیک رنگ‌های آن‌ها از یکدیگر فراهم شده است. به دلیل کمبود اطلاعات ژئوتکنیکی و متغیرهای ورودی، مدل رفتاری موهر-کولمب به عنوان مدل رفتاری خاک انتخاب گردید که نسبت به سایر مدل‌های رفتاری نیازمند پارامترهای کمتری بوده و در عین رایج بودن کاربرد بیشتری دارد. در شروع مدل سازی، سطح آب اولیه اعمال شد و مدل حل گردید تا به حالت تعادل برسد. پس از این گام، کلیه جابه جایی‌های رخ داده در المان‌های مدل، برابر صفر قرار داده شد و پس از آن اقدام به تغییر تراز سطح آب زیرزمینی نموده و مجدد مدل حل می‌شود. مشاهده می‌شود زمانی که تراز سطح آب کاهش پیدا می‌کند، نتایج شبیه سازی، نشست سطح خاک را نشان می‌دهد. شرایط مرزی جانبی در مدل سازی به صورت استاندارد (تغییر مکان در جهت  $y$  مجاز و تغییر مکان در جهت  $x$  غیر مجاز) تعریف گردید. شکل (۶) و (۷) هندسه اولیه، شرایط مرزی و نحوه مش بندی مدل و هندسه تغییر شکل یافته ساختار خاک تحت اثر افت تراز آب زیرزمینی ناحیه امامزاده ابوالحسن در نرم‌افزارهای FLAC و PLAXIS را نمایش می‌دهند.

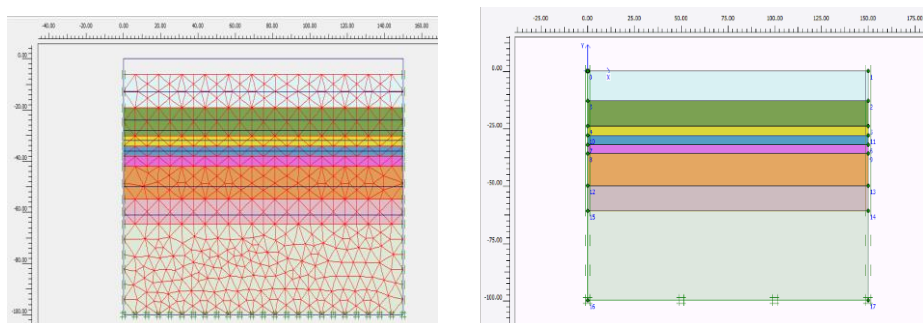
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



دانشگاه خوارزمی



شکل ۶: هندسه مدل اولیه و کانتور میزان فرورفتگی لایه‌های خاک ناحیه امامزاده ابوالحسن در اثر افت سطح ایستابی در FLAC



شکل ۷: هندسه مدل اولیه و تغییر شکل یافته ناحیه امامزاده ابوالحسن در اثر افت سطح ایستابی در PLAXIS

نتیجه‌گیری:

نتایج به دست آمده از مدل سازی عددی توسط نرم افزارهای FLAC و PLAXIS در بازه زمانی ۱۳۸۱ الی ۱۳۹۷ در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: متوسط مقدار فرورفتگی سالیانه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷ (سانتی متر)

ناحیه	افت سطح ایستابی	FLAC	PLAXIS
شمس‌آباد	۸۴۸	۶۱۶۲	۶۱۰۹
بنزخاور	۶۰۴	۳۱۵۹	۳۱۲۱
بهمن‌آباد	۹۶۰	۶۱۳	۵۱۷
امامزاده ابوالحسن	۱۰۵۸	۳۱۶۴	۲۱۹۸
خلازیر	۶۴۸	۴۱۶۶	۴۱۲۵

به این ترتیب جهت پیش‌بینی میزان فرورفتگی برای سال‌های آتی در نقاط دیگر مستعد فرورفتگی نیز شبیه‌سازی انجام گرفت. با توجه با نامعلوم بودن میزان تغییرات تراز آب زیرزمینی در سال‌های آینده، سه سناریو متفاوت برای پیش‌بینی میزان فرورفتگی در آینده در نظر گرفته می‌شود:

سناریو A: نرخ افت تراز آب زیرزمینی نصف سال‌های گذشته باشد، سناریو B: تراز آب زیرزمینی با نرخ مشابه سال‌های گذشته افت کند و سناریو C: نرخ افت تراز آب زیرزمینی دو برابر سال‌های گذشته باشد. مجموعه نتایج سه سناریو در جدول (۴) ارائه شده است.



جدول ۴: مقدار فرونشست پیش‌بینی شده از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۸ (سانتی متر)

سناریو C		سناریو B		سناریو A		ناحیه
PLAXIS	FLAC	PLAXIS	FLAC	PLAXIS	FLAC	
۱۱۵/۸۱	۱۲۷/۲	۶۰/۹۵	۶۶/۲۵	۳۱/۶۹	۳۴/۱۲	شمس‌آباد
۶۰/۳۲	۶۸/۸۶	۳۲/۰۹	۳۵/۸۶	۱۷/۰۱	۱۸/۶۵	بنزخاور
۱۱۱/۷۲	۱۲۰/۹۶	۵۷/۰۶	۶۳/۰۳	۲۹/۳۶	۳۳/۷۱	بهمن‌آباد
۵۷/۱۳	۷۰/۵۶	۲۹/۷۶	۳۶/۳۷	۱۵/۴۷	۱۸/۷۳	امامزاده ابوالحسن
۸۱/۶۵	۸۷/۶۵	۴۲/۵۳	۴۶/۵۸	۲۱/۶۹	۲۴/۶۸	خلازیر

نتایج حاصل از مدل سازی عددی با نرم افزارهای FLAC و PLAXIS نشان می‌دهد، کاهش تراز آب زیرزمینی تأثیری مستقیم و چشمگیر بر فرونشست زمین دارد، همینطور مشاهده می‌شود استفاده از روش اجزاء محدود و روش تفاضل محدود در تحلیل عددی نتایج متفاوت ولی نزدیک به هم را ارائه نموده‌اند که این تفاوت اندک ناشی از تفاوت روش‌ها در شکل و اندازه مش بندی و نحوه المان گیری و انتقال نیروها می‌باشد.

با توجه به عدم وجود اطلاعات دقیق و به روز در مورد نرخ کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و نحوه محاسبه نشست واقعی که حاصل از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد و همچنین مخاطرات زیادی که در مناطق مورد بررسی به علت فرونشست زمین به وجود آمده است، بیش از پیش نیاز به یک سیستم پویا و هوشمند پایش و مونیتورینگ سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست که توانایی برداشت و آنالیز و ارائه اطلاعات به صورت برخط، دقیق و با پوشش وسیع را داشته باشد محسوس است. همچنین با استفاده از اطلاعات به روز چنین سیستمی امکان مدل سازی عددی و پیش بینی وضعیت آینده تراز آب زیرزمینی و فرونشست زمین ممکن خواهد بود.

#### منابع:

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و ۱۳۹۵. ارزیابی خطر فرونشست زمین در ایران، شناخت، توضیح وضعیت، ارزیابی ریسک. شمشکی، ا. بلورچی، م. و انصاری، ف.، ۱۳۸۴. بررسی فرونشست زمین در دشت تهران- شهریار. گزارش نخست، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- Abidin, H., Gumilar, I., and Andreas, H., 2011. Study on causes and impacts of land subsidence in Bandung Basin, Indonesia, FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures Marrakech. Morocco, 18–22 May.
- Adiyaman, I. B., 2012. Land subsidence and earth fissures due to groundwater pumping. Ph.D. Dissertation, The University of Arizona.
- Barends, F.B., Frits, J.J., Brouwer, H., and Frans, S., 1995. Proceedings of the fifth international symposium on land subsidence, held at The Hague, The Netherlands. no 234, pp 16–20 October.
- Budhu, M., and Adiyaman, I. B., 2010. Mechanics of land subsidence due to groundwater pumping. Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech, Vol 34, 1459–1478.
- Chen, C.H., Wang, C.H., Hsu, Y.J., Yu, S.B., and Kuo, L.C., 2010. Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan. Eng Geol 115:122–131.
- Galloway, D.L., 2001. Geological subsidence interest group conference. In: Proceedings of technical meeting, Galveston. Texas, pp 27–29.



- Galloway, D.L., Jones, D.R., and Ingebritsen, S.E., 1999. Land subsidence in the United States U.S. Geological Survey circular 1182.U.S. Geological Survey, Reston (VA) [cited 2015 Sep. 14]; 175 p.
- Gong, H., Pan, Y., Zheng, L., Li, X., Zhu, L., Zhang, C., Huang, Z., Li, Z., Wang, H., and Zhou, C., 2018. Long-term Groundwater Storage Changes and Land Subsidence Development in the North China Plain (1971–2015), *Hydrogeology Journal* 26 (5): 1417–1427.
- Holzer, T.L., and Galloway, D.L., 2005. Impacts of land subsidence caused by with drawal of underground fluids in the United States. *Reviews in Engineering Geology.*, XVI, pp. 87–99.
- Motagh, M., Shamshiri, R., Haghghi, M.H., Wetzal, H.U., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S., and Arabi, S., 2017. Quantifying Groundwater Exploitation Induced Subsidence in the Rafsanjan Plain, Southeastern Iran, Using InSAR Time-series and in Situ Measurements. *Engineering Geology* 218:134–151.
- Nateqi, M., and Niroumand, H., 2019. sinkhole Effects on Bridges in the World. The 5<sup>th</sup> international. Conference on Bridges.
- Sedaghat, M., Ghazifard, A., Ajalloeian, R., and Shirani, K., 2019. Evaluation of the subsidence hazard due to groundwater withdrawal in Isfahan Metropolis, *Geotech Geol Eng.*
- Simeoni, U., Tessari, U., Corbau, C., Tosatto, O., Polo, P., and Teatini, P., 2017. Impact of land subsidence due to residual gas production on surficial infrastructures: The Dosso Degli Angeli field study (Ravenna, Northern Italy), *Eng Geol* 229:1–12.
- Stephen, A.N., 2011. Subsidence: dissolution & human related causes, natural disasters, Tulane University, 2011, pp 1–10.
- Wang, Y., Guo, Y., Hu, S., Li, Y., Wang, J., Liu, X., and Wang, L., 2019. Ground Deformation Analysis Using InSAR and Backpropagation Prediction with Influencing Factors in Erhai Region. *Sustainability* 11: 10.
- Wu, Y., and Lan, H., 2019. Landslide Analyst—A Landslide Propagation Model considering Block Size Heterogeneity. *Landslides* 16 (6): 1107–1120.
- Zhao, R., Zhi-wei, L., Feng, G.C., Wang, Q.J., and Hu, J., 2016. Monitoring Surface Deformation over Permafrost with an Improved SBAS-InSAR Algorithm: With Emphasis on Climatic Factors Modeling. *Remote Sensing of Environment* 184: 276–287.
- Zhu, L., Gong, H., Li, X., Wang, R., Chen, B., Dai, Z., and Teatini, P., 2015. Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal in the Northern Beijing Plain, China. *Engineering Geology* 193:243–255.

## پیش بینی فرونشست زمین تحت اثر افت سطح آب زیرزمینی با رویکردهای اجزاء

### محدود و تفاضل محدود

زهرا یزدی<sup>۱\*</sup>، حامد نیرومند<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

<sup>۲</sup> فوق دکتری، استادیار، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

[yazdizahra96@gmail.com](mailto:yazdizahra96@gmail.com)

#### چکیده:

با توجه به وجود نرم افزارهای مختلف با قابلیت های متعدد، انتخاب برنامه ای مناسب جهت تحلیل های عددی مورد نیاز بسیار حائز اهمیت می باشد. نتایج حاصل از مدل سازی و تحلیل یک سازه معلوم توسط نرم افزارهای مختلف، معمولاً یکسان نمی باشند. هدف از این مطالعه استفاده از دو نرم افزار اجزاء محدود PLAXIS و تفاضل محدود FLAC که مناسب ترین نرم افزارها در زمینه مهندسی ژئوتکنیک هستند، می باشد که اقدام به تحلیل عددی فرونشست تحت اثر کاهش تراز آب زیرزمینی در دو نوع خاک ریزدانه و درشت دانه شده و با قیاس نتایج، تفاوت های دو نرم افزار بررسی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده میزان نشست در خاک درشت دانه و ریزدانه با مشخصات مفروض، در نرم افزار FLAC، به ترتیب ۰/۱۸۷ متر و ۱/۳۶ متر و در نرم افزار PLAXIS، به ترتیب ۰/۱۳۴ متر و ۰/۷۶۱ متر به دست آمد. لذا توجه به قابلیت ها و روش های مورد استفاده هر دو نرم افزار و ارزیابی نتایج حاصل از عملکرد آنها می تواند کمک شایانی جهت انجام قضاوت صحیح مهندسی در رابطه با نحوه فرونشست تحت تأثیر کاهش تراز آب زیرزمینی در خاک درشت دانه و ریزدانه نماید. کلیدواژه: فرونشست زمین، تغییرات تراز آب زیرزمینی، اجزاء محدود، تفاضل محدود

## Assessment of Land Subsidence due to Groundwater Exploitation by Finite Elements and Finite Difference Methods

Zahra Yazdi<sup>1\*</sup>, Hamed Niroumand<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Department of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

<sup>2</sup> Post-Doc, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

#### Abstract

Due to the existence of various softwares with the high capabilities, Choosing the right program for the required numerical analysis is very important. Generally, the results of modeling and analyzing a structure by different softwares are not the same. The purpose of this study was to use FLAC and PLAXIS softwares, with using finite elements and finite difference methods, which are the most suitable softwares in the geotechnical engineering, The differences between the two softwares have been investigated. Numerical analysis of subsidence was performed caused by groundwater level drop in the two types of fine-grained and coarse-grained soils, and by comparing the results, the differences between the two softwares have been investigated. based on the obtained results, subsidence rates in coarse-grained and fine-grained soils with the assumed characteristics, was 0.187 (m) and 1.36 (m) in FLAC software and 0.134 (m) and 0.761 (m) in PLAXIS software. Therefore, paying attention to the capabilities and methods used by both software and evaluating the results of their performance can be a great help to make correct engineering judgments about the subsidence caused by groundwater level drop in coarse-grained and fine-grained soils.

#### مقدمه:

عموماً خسارت های ناشی از پدیده فرونشست و فروچاله زمین، دارای قدرت تخریب زیاد، غیرقابل ترمیم و پرهزینه است. فرونشست زمین، ناشی از عوامل گوناگون از جمله طبیعی یا حاصل از فعالیت های انسانی می باشد (Wu and Lan, 2019).

این پدیده یک خطر بالقوه زمین شناسی-زیست محیطی است که باعث پایین رفتن آرام سطح زمین در یک منطقه گسترده می شود و می تواند منتهی به خسارات اقتصادی همچون تخریب زیرساخت های شهری، سازه های زیرزمینی همچون متروها (Chen et al., 2017)، معادن و سایر ساختارهای زمینی شود (Fathi et al., 2017). در نهایت این پدیده منجر به در خطر قرار گرفتن جوامع انسانی، اکوسیستم طبیعی و اقتصاد می گردد (Galloway, 2005). یکی از روش های جلوگیری از فرونشست زمین، کنترل برداشت بی رویه آب های زیرزمینی و شارژ مصنوعی آبخوان ها می باشد (Galloway et al., 2011). طبق تعریف یونسکو، پدیده فرونشست به حرکات قائم روبه پایین سطح زمین که همراه با تغییر مکان اندک افقی می باشد، می گویند. این رویداد بر دو محیط مختلف و با دو سازوکار متفاوت شامل رسوبات تحکیم نیافته انحلال پذیر و نهشته های جوان تحکیم نیافته که دارای تخلخل بالا هستند دیده می شود. بر اساس گزارش کارگروه یونسکو، قدیمی ترین فرونشست شناخته شده در سال ۱۹۰۰ در ایالات متحده آمریکا رخ داده است (Galloway et al., 2016). فرونشست، پتانسیل تخریب سازه های زیرزمینی مانند تونل ها، قنات ها و معادن زیرزمینی را دارد (Fathi et al., 2017). در کشور ایران در سال های اخیر حدود ۶۰۰ دشت مورد بررسی قرار گرفته اند که بیش از نیمی از آن ها در معرض فرونشست هستند (Motagh et al., 2017). ارزیابی فرونشست، گامی مهم برای مدیریت خطرات این پدیده می باشد (Hu et al., 2004). در ایران برای نخستین بار فرونشست زمین به دلیل برداشت آب های زیرزمینی در ناحیه ای در دشت رفسنجان در سال ۱۹۶۷ گزارش گردیده است. بر اساس این گزارش، در پی کاهش هر متر تراز آب زیرزمینی، نشست بین ۵ تا ۱۵ سانتی متر رخ داده است (Iranian Ministry of Energy, 2009).

عوامل ژئوتکنیکی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان ها بر مقدار و وسعت فرونشست تأثیر دارند. به طور معمول وقوع فرونشست زمین به دلیل متراکم شدن رسوبات ریزدانه در نتیجه کاهش سطح آب های زیرزمینی در یک ناحیه وسیع رخ می دهد و فرونشست های موضعی به دلیل وجود خاک های ناپایدار و یا بارگذاری های بیش از حد می باشد. اگر حداکثر فشاری که ذرات خاک در معرض آن قرار گرفته اند، از فشاری که قبلاً تحمل کرده اند کمتر باشد، تغییر شکل ها برگشت پذیر خواهند بود که این پدیده را نشست الاستیک می نامند ولی مقدار آن در مقابل فرونشست بسیار ناچیز می باشد. به دلیل وقوع گسترده فرونشست در ایران و ایجاد خسارات فراوان، بررسی این پدیده و امکان پیش بینی آن حائز اهمیت است. به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل فرونشست و پیش بینی فرونشست احتمالی ناشی از افت تراز آب زیرزمینی در مناطق مستعد، نیاز به بهره گیری از روش هایی همچون بکارگیری روش های تحلیل عددی می باشد که به دلیل زمان بر بودن و وسعت زیاد محاسبات با کمک گرفتن از کامپیوتر انجام می شود. دو مورد از پرکاربردترین نرم افزارها در زمینه علوم ژئوتکنیک، جهت مدل سازی عددی، محاسبه و پیش بینی فرونشست زمین تحت اثر افت تراز آب زیرزمینی، نرم افزارهای FLAC 2D و PLAXIS 2D می باشند. در ادامه به طور مختصر به معرفی هر دو نرم افزار پرداخته می شود.

### نرم افزار FLAC 2D

برنامه FLAC نرم افزاری برای تحلیل رفتار مصالح در فرایندهای مکانیکی، هیدرولیکی و حرارتی می باشد که بر پایه حل عددی و به روش تفاضل محدود عمل می کند (Rutqvist and Stephansson, 2003). نرم افزار FLAC در تحلیل مدل های دو بعدی با حالت های کرنش-صفحه ای، تنش-صفحه ای و تقارن محوری عمل می کند. روش تحلیل این نرم افزار به صورت مش بندی هندسه محیط به اجزاء کوچک تر با خصوصیات یکسان با مصالح اصلی می باشد و از طریق حل معادله دیفرانسیل هر جزء به تعادل نسبی می رسد (Users Manuals FLAC Version 7.0). در این نرم افزار، مدل های رفتاری متنوعی برای مصالح مختلف معرفی گردیده که قابل بکارگیری در حالت های خطی و غیرخطی هستند که در این پژوهش از مدل رفتاری

موهر-کلمب که رایج‌ترین مدل برای نمایش گسیختگی در سنگ‌ها و خاک‌ها می‌باشد استفاده می‌شود. این معیار، بر پایه شکست برشی و همچنین حد نهایی کشش، رفتار مصالح را توصیف می‌کند و بر اساس سه مقدار تنش اصلی  $(\sigma_3, \sigma_2, \sigma_1)$  ارائه شده است. معادله شکست موهر-کلمب در صفحه تنش‌های اصلی حداکثر و حداقل به صورت ذیل بیان می‌گردد:

$$\sigma_1 = \frac{2C \cos \phi}{1 - \sin \phi} + \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \sigma_3 \quad (1)$$

### نرم‌افزار PLAXIS 2D

PLAXIS نرم‌افزاری بر اساس روش حل عددی اجزاء محدود می‌باشد که برای تحلیل پایداری، به دست آوردن تغییر شکل‌ها و نیروهای داخلی در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد دارد. این نرم‌افزار با استفاده از المان‌های مثلثی ۶ گره‌ای و ۱۵ گره‌ای برای ایجاد شبکه در مصالح، قابلیت شبیه سازی شرایط مختلف بارگذاری، خاک برداری و خاک‌ریزی و تنش‌های وارده از المان‌های سازه ای را به مصالح موردنظر که شرایط مختلف مرزی را برای آن می‌توان تعریف نمود، به صورت گام به گام دارد. نمونه‌ای از کاربرد این قابلیت، انجام آنالیز لایه به لایه در پایداری شیب‌ها، سدها و تونل‌ها است. معمولاً در مسائل مهم ژئوتکنیکی، یک مدل رفتاری پیشرفته برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی و وابسته به زمان برای خاک‌ها با توجه به هدف موردنظر لازم است. در نرم‌افزار PLAXIS می‌توان مسائل هیدرواستاتیک و غیرهیدرواستاتیک فشار آب منفذی را با شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در خاک تحلیل کرد. مش بندی دوبعدی و ایجاد مدل سه‌بعدی در PLAXIS خودکار است. نحوه بارگذاری در آن به دو صورت اعمال بار و یا ایجاد تغییر مکان می‌باشد. PLAXIS در فضای دو بعدی قابلیت‌های متعددی دارد از جمله می‌توان به شبیه سازی تحکیم ناشی از کاهش فشار آب منفذی اولیه، تحلیل در حالت کرنش صفحه‌ای، تحلیل در حالت متقارن محوری و تحلیل پایداری در شیروانی‌ها و ارائه ضریب اطمینان، تحلیل شرایط مرزی جریان آب اشاره نمود.

### مروری بر فرونشست

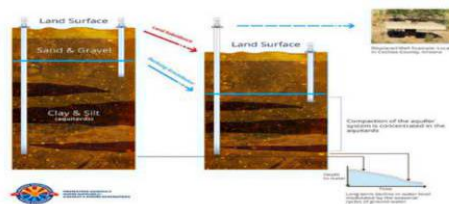
با توجه به تاریخچه مطالعات فرونشست و نشست خاک، می‌توان این موضوع را تحت دو قالب مطالعات عددی و آزمایشگاهی قرار داد. نخستین گام‌ها در جهت شناخت رفتار مکانیکی خاک توسط کلمب در سال ۱۷۷۳ میلادی با عنوان اصلی ترین موضوع علم مکانیک خاک انجام گرفت. کارل ترزاقی در سال ۱۹۲۵ به عنوان اولین محققی بود که در زمینه نشست خاک تلاش بسیاری نمود و بیشترین گام‌ها را در این مسیر پیمود. همچنین ترزاقی با مطرح کردن تئوری تحکیم به بررسی نشست تحکیمی پرداخته است. پس از ترزاقی دانشمندان متعددی بر روی نشست تحکیم مطالعه کرده اند که نتیجه تلاش آن‌ها منتهی به تئوری محاسبه نشست متوسط شالوده‌های انعطاف‌پذیر بر روی خاک‌های رسی اشباع توسط جانبو و بیروم در سال ۱۹۶۵ شده است. همچنین پک و همکاران در سال ۱۹۶۹ بر روی اثرات حفاری تونل در نشست خاک بررسی‌هایی انجام دادند. همچنین در زمینه نشست خاک، روابط گوناگونی توسط ویتمن و ریچارت در سال ۱۹۷۶ و باترفیلد در سال ۱۹۸۸ ارائه شده است. روابط نشست گوناگونی توسط دانشمندان از قبیل بایوت و وسیک در سال‌های اخیر ارائه شده است (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۲).

یکی از پیشرفت‌ها در زمینه حل عددی مسائل نظریه‌های ارتجاعی و خمیری توسط هرنیکوف در سال ۱۹۴۱ بر اساس تقسیم مصالح به اجزاء کوچک ارائه گشت. در ادامه تلاش‌ها برای حل مسائل خمیری، کلاف در دهه ۶۰ میلادی روش اجزاء محدود را برای حل مسائل تنش-کرنش ارائه نمود که گامی مهم در آغاز مدل سازی عددی مسائل ژئوتکنیکی می‌باشد.

### سازوکار فرونشست

بر اساس تعریف آیین نامه معادن آمریکا هنگامی که کاهش تراز سطح زمین در اثر حذف شدن تکیه‌گاه‌های زیرزمینی به آرامی رخ دهد، فرونشست زمین به وقوع پیوسته است (USGS, 2020). حذف شدن تکیه‌گاه‌های زیرزمینی در بازه های زمانی طولانی و به آهستگی انجام می‌شود و عوامل گوناگونی دارد. عموماً از مهم‌ترین این عوامل می‌توان وجود رسوبات ریزدانه تحکیم نیافته (Holzer, 1984) در آبخوان‌ها که در مجاورت لایه های شن و ماسه قرار دارند (Galloway et al., 2011) و تحت اثر افت سطح آب زیرزمینی هستند (Budhu and Adiyaman, 2010) را نام برد. با برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی، مناطقی که لایه ای ضخیم از مصالح ریز دانه که تحکیم پذیر هستند را دارا می‌باشند، در اثر افت فشارهیدرولیکی بین دانه های خاک، تراکمی برگشت ناپذیر در لایه های خاک رخ می دهد و آن منطقه در معرض خطر فرونشست قرار می‌گیرد. بنابراین برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از آبخوان را می‌توان به‌عنوان عاملی محرک برای فرونشست زمین دانست (Martinez et al., 2015).

در هر عمقی از خاک، تنش موثر با تفاضل تنش کل از فشار آب منفذی به دست می آید. با افت تراز آب زیرزمینی که می‌تواند در پی عوامل گوناگونی رخ دهد، تنش مؤثر خاک افزایش یافته و تنش‌های اعمال شده بر لایه‌های زیرین افزایش می‌یابد و در اثر آن خلل و فرج‌ها و فضای خالی بین دانه های خاک با درهم فرو رفتن دانه ها پر می‌شود و در نتیجه، توده خاک متراکم و چگال تر می‌شود. با تجمیع این فرایند در عمق و لایه‌های مختلف، پدیده فرونشست زمین اتفاق می‌افتد. برداشت آب زیرزمینی موجب تغییر فشار آب منفذی در لایه‌های خاک می‌شود که این تغییر فشار منجر به تغییر شکل ارتجاعی که برگشت پذیر و تغییر شکل غیر ارتجاعی که برگشت ناپذیر است می‌گردد. سازوکار فرونشست زمین در اثر تراکم آبخوان در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. سازوکار فرونشست زمین در اثر تراکم (Arizona Department of Water Resources, 2018)

### مشخصات خاک‌های مورد مطالعه

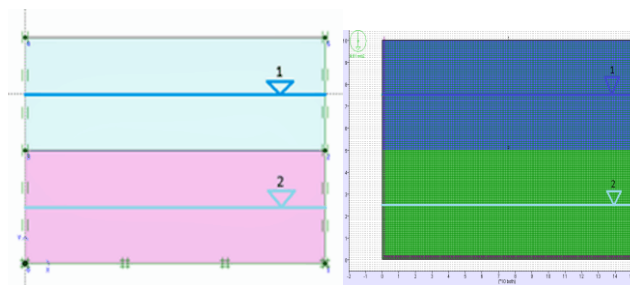
در این مطالعه به منظور بررسی رویکرد نرم‌افزارهای موردنظر در محاسبه فرونشست حاصل از کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و تاثیر نوع خاک بر آن، مشخصات ژئوتکنیکی دو نوع خاک ریزدانه و دو نوع خاک درشت‌دانه با استفاده از تعاریف، جداول و روابط ارائه شده در مراجع معتبر ژئوتکنیکی استخراج شد تا بتوان تأثیر افت تراز آب زیرزمینی در خاک‌های ریزدانه و درشت‌دانه را به خوبی مقایسه نمود. مشخصات خاک‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. اطلاعات ژئوتکنیکی خاک‌های مورد مطالعه (استخراج شده از روابط کتاب زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک)

نوع خاک	مدول الاستیسیته )KPa(	چسبندگی )KPa(	زاویه اصطکاک داخلی )°(	وزن مخصوص مرطوب )KN/m <sup>3</sup> (	وزن مخصوص اشباع )KN/m <sup>3</sup> (	نسبت پواسون	نفوذپذیری )m/s(
GW	۱۰۰۰۰۰	۰	۳۶	۲۰/۸	۲۲/۹	۰/۳۵	۳-۱۰
SW	۵۰۰۰۰	۰	۳۸	۱۷/۹	۲۱/۱	۰/۲۵	۵-۱۰
ML	۲۰۰۰۰	۱۰۰	۱۹	۱۴/۱	۱۸/۷	۰/۳	۷-۱۰
CL	۸۰۰۰	۲۰۰	۱۰	۱۷/۱	۲۰/۸	۰/۴	۱-۱۰

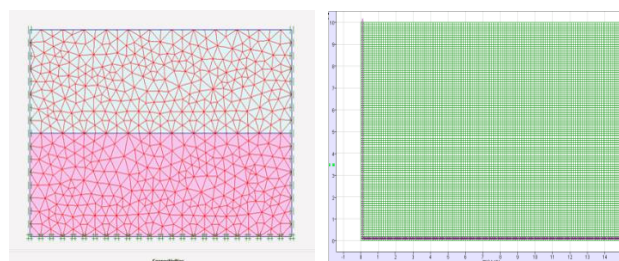
### روش تحقیق

در پژوهش حاضر، فرونشست زمین با استفاده از نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC 2D و اجزاء محدود PLAXIS 2D شبیه‌سازی شده است. هندسه مدل با استفاده از حالت کرنش مسطح به صورت دو بعدی تعریف و عرض مدل هندسی در جهت افقی برای حداقل کردن تأثیر مرزها بر نتایج ۱۵۰ متر در نظر گرفته شده است. عمق مدل ۱۰۰ متر می‌باشد که به دولایه خاک با ضخامت هر کدام از لایه‌ها، ۵۰ متر تقسیم بندی شده است. در کف مدل شرایط مرزی کاملاً گیردار و در دو ضلع عمودی مدل شرایط مرزی، غلتک قائم در نظر گرفته شده است، همچنین جداره‌های مدل نفوذپذیر و خاک در شرایط زهکشی شده قرار دارد. عمق اولیه تراز آب زیرزمینی ۲۵ متر از سطح زمین در نظر گرفته شده است که در طول بازه ۵۰ سال، تراز ثانویه آب زیرزمینی به عمق ۷۵ متری کاهش می‌یابد. مدل ساختاری رفتار خاک‌ها برای تحلیل مدل موهر-کلمب انتخاب و تنش‌ها بر اساس وزن توده خاک و شتاب جاذبه زمین به مدل اعمال شده است. مِش بندی در نرم‌افزار FLAC به صورت شبکه منظم به ابعاد یک در یک متر انجام شده است و مش بندی در نرم‌افزار PLAXIS به صورت المان‌های مثلثی ۱۵ گره‌ای با تنظیم خیلی ریز در نرم‌افزار انجام شده است. هندسه کلی مدل در نرم‌افزار FLAC و PLAXIS در شکل (۲) نشان داده شده است و لایه بندی خاک به وسیله تفکیک رنگ نمایان است.



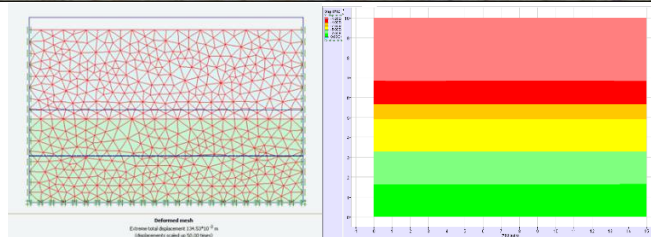
شکل ۲: هندسه مدل ایجاد شده در FLAC و PLAXIS

پس از ترسیم مدل و تعیین مشخصات مصالح مدل و تعریف سطح آب زیرزمینی اولیه و اعمال شرایط مرزی، اقدام به کالیبراسیون و حل مدل جهت به تعادل رسیدن المان‌ها و به صفر رسیدن تنش‌ها شده است. سپس اقدام به صفر کردن کلیه تغییر مکان‌های رخ داده می‌شود و پس از آن تغییرات سطح آب زیرزمینی و بازه زمانی این تغییر برای نرم‌افزار تعریف و مدل عددی مجدد حل می‌گردد. در شکل (۳) هندسه شبکه نواحی تفاضل محدود در نرم‌افزار FLAC و هندسه شبکه اجزاء محدود مدل در نرم‌افزار PLAXIS نمایش داده شده است.



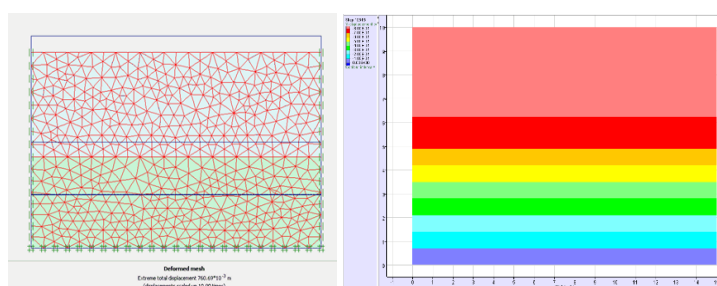
شکل ۳: هندسه شبکه نواحی اجزاء محدود و تفاضل محدود

هندسه تغییر شکل یافته شبیه سازی فرونشست تحت اثر کاهش آب‌های زیرزمینی در خاک‌های درشت دانه در شکل (۴) برای هر دو روش نمایش داده شده است.



شکل ۴: هندسه تغییر شکل یافته مدل ایجاد شده برای خاک درشت دانه در PLAXIS و FLAC

همان طور که مشاهده می شود نشست الاستیک خاک های درشت دانه بر اثر افت ۵۰ متری تراز آب زیرزمینی در نرم افزار FLAC برابر ۰/۱۸۷ متر و در نرم افزار PLAXIS برابر ۰/۱۳۴ متر محاسبه شده است. تغییر شکل هندسه مدل خاک های ریزدانه پس از فرونشست در شکل (۵) نمایش داده شده است.

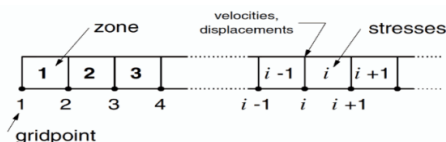


شکل ۵: هندسه تغییر شکل یافته مدل ایجاد شده برای خاک ریزدانه در PLAXIS و FLAC

همان طور که مشاهده می شود نشست تحکیم خاک های ریزدانه بر اثر افت ۵۰ متری تراز آب زیرزمینی در نرم افزار FLAC برابر ۱/۳۶ متر و در نرم افزار PLAXIS برابر ۰/۷۶۱ متر محاسبه شده است.

### مقایسه رویکرد دو نرم افزار

گام های حل عددی در نواحی شبکه تفاضل محدود نرم افزار FLAC در شکل (۶) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل نمایان است، تنش های محاسبه شده در ناحیه  $i$  ام ناشی از جابه جایی های رخ داده در ناحیه  $i-1$  می باشد. در نتیجه محاسبه تنش ها یک گام از تغییر شکل ها عقب هستند که در یک برنامه صریح این خطا کوچک است زیرا گام ها کوچک می باشند.



شکل ۶: گام های زمانی حل عددی روش تفاضل محدود

در روش اجزاء محدود، هر المان به واسطه گره های پیرامونی اش تعریف می گردد و به واسطه گره های مشترک با یکدیگر در ارتباط می باشند. همچنین می بایست مشخصات هندسه سازه ای و رفتاری هر المان به واسطه کاربر تعریف شود. این المان ها عموماً به شکل های مستطیلی و مثلثی می باشند. در الگوهای محیط خاک از اجزاء مثلثی ۶ و ۱۵ گره ای استفاده می گردد با این تفاوت که در اجزاء ۱۵ گره ای، تابع نوع درجه چهارم برای انتروپولاسیون جابه جایی و تغییر مکان ها به کار برده می شود که



از دقت بسیار بالایی برخوردار است و در اجزاء ۶ گره‌ای، تابع نوع درجه دوم به کار می‌رود و دقت پایین تری دارد که ماتریس سختی اجزاء از طریق انتگرال گیری عددی قابل محاسبه می‌باشند. همچنین در اجزاء مثلثی ۶ گره‌ای از ۳ نقطه انتگرال گیری گوس و در اجزاء مثلثی ۱۵ گره‌ای از ۱۲ نقطه انتگرال گیری گوس استفاده می‌شود. محل قرارگیری نقاط مورد محاسبه تنش و تغییر مکان در روش اجزاء محدود در شکل (۷) نمایان است.



شکل ۷: نواحی مثلثی و محل قرارگیری نقاط مورد محاسبه تنش و تغییر مکان در روش حل عددی اجزاء محدود

### صحت سنجی برای نشست تحکیمی خاک

در این بخش با استفاده از روابط ترزاقی و متغیرهای مربوطه با انجام محاسبات دستی، نشست حاصل از تغییر تدریجی تراز آب زیرزمینی در یک لایه خاک ریزدانه رسی بررسی شده است. در واقع، نتایج نرم افزار برای تغییر تراز آب زیرزمینی با نتایج محاسبه نشست تحکیم با استفاده از روابط ترزاقی مقایسه شده است. به این منظور لازم است تغییرات تنش مؤثر خاک در اثر افت تراز آب زیرزمینی، ضخامت لایه ریزدانه و ضریب تراکم پذیری حجمی خاک با توجه به عمق نقطه مورد نظر محاسبه نشست تحکیم تعیین گردد. نشست تحکیم را می‌توان از رابطه (۲) به دست آورد:

$$Sc = mv \cdot z \cdot \Delta = mv \cdot Z \cdot \Delta H (\gamma_{sat} - \gamma') \quad (2)$$

که در آن  $Sc$  میزان نشست تحکیم ناشی از افت تراز آب زیرزمینی  $(m)$ ،  $Z$  ضخامت لایه خاک ریزدانه  $(m)$ ،  $\Delta\sigma$  تغییرات تنش مؤثر  $(KPa)$ ، تغییرات تراز آب  $(m)$ ،  $mv$  ضریب تراکم‌پذیری حجمی  $(\frac{m^2}{KN})$ ،  $\gamma_{sat}$  وزن مخصوص اشباع  $(\frac{KN}{m^3})$  و  $\gamma'$  وزن مخصوص غوطه وری  $(\frac{KN}{m^3})$  است. مقدار ضریب تراکم‌پذیری حجمی از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$\left(\frac{1}{m_v}\right) = \frac{E(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)} \Rightarrow m_v = \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{E(1-\nu)} \quad (3)$$

با توجه به مشخصات ذکر شده در جدول (۱) برای لایه‌های خاک، مقدار ضریب تراکم‌پذیری حجمی  $(m_v)$  برای خاک‌های ریزدانه (ML) برابر با  $۳/۷۱۴ \times ۱۰^{-۵}$  و برای (CL)،  $۵/۸۳۳ \times ۱۰^{-۵}$  به دست می‌آید. برای محاسبه نشست تحکیم، لایه‌های خاک به قسمتهایی به ضخامت ۱۰ متر تقسیم شده است و نشست در وسط هر یک از این قسمت‌ها با استفاده از ضرایب تراکم‌پذیری حجمی  $(m_v)$  محاسبه گردید. جزئیات حل دستی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲: محاسبه نشست تحکیمی خاک

عمق لایه (متر)	تنش مؤثر اولیه	تنش مؤثر ثانویه	تغییرات تنش مؤثر	ضریب تراکم پذیری	نشست (متر)
۵	۷۰/۵	۷۰/۵	۰	$3.71 \times 10^{-5}$	۰
۱۵	۲۱۱/۵	۲۱۱/۵	۰		۰
۲۵	۳۵۲/۵	۳۵۲/۵	۰		۰
۳۵	۴۳۹/۵	۴۹۳/۵	۵۴		$2.01 \times 10^{-2}$
۴۵	۵۲۶/۵	۶۳۴/۵	۱۰۸		$4.01 \times 10^{-2}$
۵۵	۶۲۴	۷۹۰/۵	۱۶۶/۵	$5.83 \times 10^{-5}$	$9.71 \times 10^{-2}$
۶۵	۷۳۲	۹۶۱/۵	۲۲۹/۵		$1.34 \times 10^{-1}$
۷۵	۸۴۰	۱۱۳۲/۵	۲۹۲/۵		$1.71 \times 10^{-1}$
۸۵	۹۴۸	۱۲۴۰/۵	۲۹۲/۵		$1.71 \times 10^{-1}$
۹۵	۱۰۵۶	۱۳۴۸/۵	۲۹۲/۵		$8.03 \times 10^{-1}$

### صحت سنجی برای نشست الاستیک خاک

به منظور شبیه سازی افزایش تنش مؤثر در اثر افت تراز آب زیرزمینی، بار خطی ای در تراز ثانویه سطح آب زیرزمینی در نظر گرفته می شود که شدت آن برابر با ارتفاع کاهش سطح آب زیرزمینی در وزن مخصوص آب است و از رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$W = (z_2 - z_1) \times \gamma_w = (75 - 25) \times 10 = 500 \text{ KPa} \quad (4)$$

با استفاده از رابطه نشست الاستیک که در آن ضخامت لایه خاک ( $m$ )، بار به ازای واحد سطح ( $KPa$ )،  $E$  مدول الاستیسیته خاک ( $KPa$ ) و  $I_{st}$  ضریب تأثیر عرض و عمق بار است که از نمودار برابر با  $0.38$  برداشت شده است. با استفاده از رابطه (۵) می توان نشست الاستیک را محاسبه نمود:

$$d = \frac{P \times h}{\pi \times E} \times I_{st} = \frac{500 \times 25}{\pi \times 8000} \times 0.38 = 0.189 \text{ m} \quad (5)$$

مشاهده می شود که نشست الاستیک بر مبنای محاسبات دستی برابر با  $18/9$  سانتی متر محاسبه شده است.

### نتیجه گیری

در این مطالعه مطابق با تحلیل های عددی صورت گرفته بر روی دو نوع خاک درشت دانه و ریزدانه با روش های تفاضل محدود و اجزاء محدود، نتایج حاصل از محاسبات دستی در جدول (۳)، مشاهده می شود. مطابق با نتایج به دست آمده از مقدار نشست در خاک های ریزدانه و درشت دانه، قسمت اعظمی از نشست تحت اثر کاهش تراز آب های زیرزمینی، ناشی از نشست تحکیمی در خاک های ریزانه می باشد در حالیکه میزان نشست در خاک های درشت دانه کم تر است. با توجه به ابعاد بسیار ریز مش بندی در FLAC، نتایج نشست در خاک های درشت دانه به محاسبات دستی صورت گرفته نزدیک تر است و در PLAXIS مطابق با ابعاد درشت تر مش بندی آن، نتایج نشست در خاک های ریزدانه به محاسبات دستی صورت گرفته نزدیک تر بوده و قابل اعتمادتر خواهد بود.

جدول ۳: مقایسه نرخ فرونشست به دست آمده از PLAXIS و FLAC

میزان نشست (متر)			
نوع خاک	FLAC	PLAXIS	محاسبات دستی
درشت دانه	۰/۱۸۷	۰/۱۳۴	۰/۱۸۹
ریزدانه	۱/۳۶	۰/۷۶۱	۰/۸۰۳

منابع:

- شهبازی، ع، رامشت، م، ۱۳۹۲. سیر تحولات نظریهٔ سوبسیدانس از داروین تا دورن کامپ، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۴، صص ۲۸-۱۵
- Budhu, M., and Adiyaman, I.B., 2010. Mechanics of land subsidence due to groundwater pumping, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech*, Vol. 34, pp. 1459-1478.
- Chen, W.F., Gong, H.L., Chen, B.B., Liu, K.S., Gao, M., and Zhou, C.F., 2017. Spatiotemporal Evolution of Land Subsidence Around a Subway Using InSAR Time-series and the Entropy Method, *GIScience & Remote Sensing* 54 (1): pp. 78-94.
- Fathi, S.E., Nazem, B.M., Karakusc, M., 2017. Numerical Analysis of a Large Landslide Induced by Coal Mining Subsidence, 2017, *Eng Geol* 217: p. 141-152.
- Galloway, D.L., 2005. Maternal Effects Provide Phenotypic Adaptation to Local Environmental Conditions, First published: 17 January.
- Galloway, D.L., and Burbey, T.J., 2011. Review: Regional Land Subsidence Accompanying Groundwater Extraction, *Hydrogeol. J.*, Vol. 19, PP. 1459-1486.
- Galloway, D.L., Teatini, P., Carreon, D., Ye, S., 2016. The UNESCO-IHP (International Hydrological Decade) Working Group on Land Subsidence: Four Decades of International Contributions to Hydrogeological Related Subsidence Research and Knowledge Exchange, In: RAUGM2016, Puerto Vallarta.
- Holzer, T.L., 1984. Ground Failure Induced By Ground-water Withdrawal From Unconsolidated Sediments, *Geol. Soc. Am. Rev. Eng. Geol.*, Vol. VI, pp. 67-105.
- Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, L.C., and Wang, S.J., 2004. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China, *Journal of Engineering Geology*, Vol. 76, pp. 65-77.
- Hunziker, D., Burg, J.P., Bouilhol, P., von Quadt, A., 2015. Jurassic rifting at the Eurasian Tethys margin: geochemical and geochronological constraints from granitoids of north Makran, southeastern Iran. *Tectonics* 34, 571-593.
- Martinez, J.P., Cabral-Cano, E., Wdowinski, S., Marin, M.H., Ortiz-Lozano, J.A., and Zermenode-Leon, M.E., 2015. Application of InSAR and gravimetry for land subsidence hazard zoning in Aguascalientes, Mexico, *Remote Sensing*, Vol. 7, pp. 17035-17050
- Motagh, M., Shamshiri, R., Haghghi, M.H., Wetzel, H., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S., Arabi, S., 2017. Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan Plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements, *Eng Geol* 218: pp. 134-151.
- Rutqvist, J., and Stephansson, Ove., 2003. The role of hydromechanical coupling in fractured rock engineering, *Hydrogeology Journal* vo. 11, pp. 7-40.
- USGS, Mineral Commodity Summaries, 2020.
- Wu, Y., and Lan, H., 2019. Landslide Analyst—A Landslide Propagation Model considering Block Size Heterogeneity, *Landslides* 16 (6): pp. 1107-1120.

## بررسی مخاطرات زمین‌شناسی قطعه دوم آزادراه تهران شمال

شیدا ذاکری مقدم<sup>۱\*</sup>، سید محمود فاطمی عقدا<sup>۲</sup>، مهدی تلخابلو<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲. دکترای زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۳. دکترای زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

zakerimoghadam@gmail.com

### چکیده:

شناسایی مخاطرات زمین‌شناسی مسیر آزادراه‌ها و سازه‌های آن‌ها چون پل‌ها و تونل‌ها از مهم‌ترین بخش‌های مطالعات آزادراه‌ها می‌باشد. چنین مطالعاتی منجر به شناخت ویژگی‌های بستر مسیر راه و برآورد مخاطرات احتمالی که سازه‌های آن حین ساخت و یا در زمان بهره‌برداری با آن‌ها مواجه می‌گردند، می‌شود. عدم شناخت دقیق مخاطراتی چون اثر گسل، زمین‌لغزش، وضعیت گازها و عناصر سمی، منجر به بروز مشکلات اجرایی در ساخت، توقف‌های خارج از پیش‌بینی در حین کار و هدر رفتن زمان ساخت پروژه می‌گردد. بدین منظور هدف اصلی این تحقیق، بررسی ۳ مخاطره زمین‌شناسی مهندسی حائز اهمیت در قطعه دوم آزادراه تهران شمال است. بنابراین ابتدا به کمک کارشناسان زبده، تعدادی عوامل موثر در ایجاد مخاطرات انتخاب شدند و هر یک از عوامل به تنهایی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. سپس لایه اطلاعاتی مربوط به هر عامل در نرم افزار ArcGIS 10.5 تهیه شد. در مرحله‌ی بعد با استفاده از نرم افزار Expert Choice مقایسات زوجی بین عوامل موثر انجام شده و وزن‌های محاسبه شده برای هر یک از عوامل بر لایه اطلاعاتی لحاظ گردید. در مرحله‌ی آخر با ترکیب و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وزن-دار، نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی تهیه گردید و به چند کلاس طبقه‌بندی شد. خروجی‌های این تحقیق به صورت نقشه‌های تک منظوره و تفکیکی ارائه شده است که قابل توسعه و به روزرسانی می‌باشند.

کلیدواژه: آزادراه تهران-شمال، مخاطرات، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، زمین‌لغزش.

## Geological hazards Investigation of the second section of North Tehran Freeway

Sheida Zakeri moghadam<sup>1</sup>; Seyed Mahmoud Fatemi Aghda<sup>2</sup>; Mehdi Talkhablou<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MSc of Engineering Geology, Kharazmi University, Tehran

<sup>2</sup>PhD, Engineering Geology, Kharazmi University, Tehran

<sup>3</sup>PhD, Engineering Geology, Kharazmi University, Tehran

### Abstract

Identifying the geological hazards of freeway routes and their structures such as bridges and tunnels is one of the most important parts of freeway studies. Such studies lead to the recognition of the characteristics of the roadway bed and the estimation of the potential hazards that its structures face during construction or during operation. Lack of accurate knowledge of hazards such as fault effects, landslides, gases and toxic elements, leading to construction problems in construction, unforeseen interruptions during work and wasted project construction time. For this purpose, the main purpose of this study is to investigate 3 important engineering geological hazards in the second section of North

Tehran Freeway. Therefore, first, with the help of the best experts, a number of effective factors in creating risks were selected and each factor was examined and evaluated alone. Then the information layer related to each factor was prepared in ArcGIS 10.5 software. In the next step, using Expert Choice software, pairwise comparisons were made between the effective factors and the weights calculated for each factor were considered on the information layer. In the last stage, by combining weighted information layers, engineering geological maps were prepared and classified into several classes. The outputs of this research are presented in the form of single-purpose and segregated maps that can be developed and updated.

#### مقدمه:

پروژه آزادراه تهران شمال به منظور تامین ارتباط مطمئن و سریع بین مناطق شمالی و مرکزی کشور و سهولت ارتباط با کشورهای همسایه شمالی اجرا می‌شود. این آزادراه بخشی از آزادراه سراسری شمال به جنوب است که کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی دریای خزر با خلیج فارس بوده و در ترانزیت منطقه عمده‌ترین نقش را بر عهده خواهد داشت. این آزادراه در اجرا به چهار قطعه تقسیم شده است که در این تحقیق قطعه دوم با طول تقریبی ۲۲ کیلومتر که حدفاصل دو آب شهرستانک تا پل زنگوله قرار می‌گیرد، مد نظر است. این قطعه دارای ۹ رشته تونل به طول حدود ۱۶/۵ کیلومتر و ۵ دستگاہ پل به طول حدود ۲۷۰ متر می‌باشد. مطالعه و شناخت مخاطرات زمین‌شناسی محدوده‌ی پروژه‌های عمرانی بزرگ از جمله راه‌ها به ویژه در شرایط محیطی با پیچیدگی‌های زمین‌شناسی نظیر مناطق کوهستانی، از مهم‌ترین بخش‌های مطالعات در این پروژه است. عدم شناخت دقیق مخاطراتی چون وجود اثر گسل، زمین‌لغزش، وضعیت گازها و عناصر سمی و ... منجر به بروز مشکلات اجرایی در ساخت، توقف‌های خارج از پیش‌بینی در حین کار، هدر رفتن زمان ساخت پروژه و افزایش هزینه‌های پروژه حین ساخت و در زمان بهره‌برداری می‌گردد. احداث قطعه دوم آزادراه تهران شمال به دلیل واقع شدن در مناطق صعب‌العبور رشته‌کوه‌های البرز و داشتن شرایط زمین‌شناسی بسیار پیچیده، از چالش‌های اساسی پیش روی این پروژه‌ی عظیم ملی است.

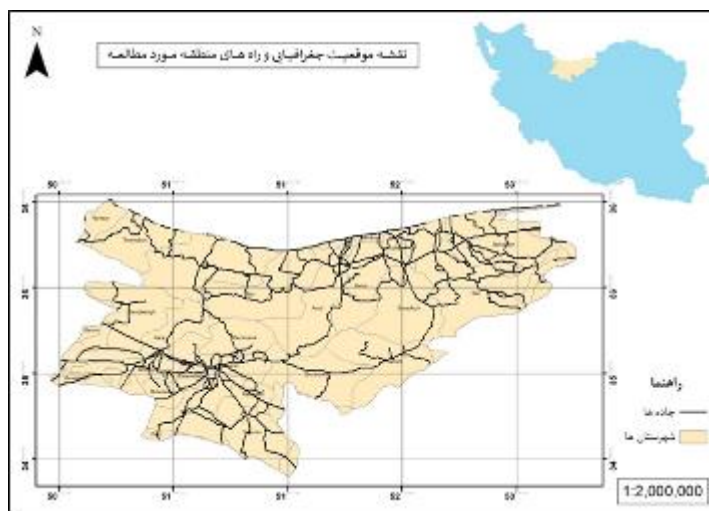
#### روش مطالعه:

به منظور مطالعه و بررسی ۳ مخاطره اثر گسل، زمین‌لغزش، وضعیت گازها و عناصر سمی که در این قطعه از آزادراه بسیار حائز اهمیت است، در ابتدا تمامی اسناد و مدارک کتابخانه‌ای، تحقیقات گذشته، گزارشات زمین‌شناسی مرحله ۱ و ۲ جمع‌آوری شدند. سپس تمامی اطلاعات موجود در بانک اطلاعاتی طبقه‌بندی شدند. در مرحله‌ی بعد، با توجه به شرایط زمین‌شناسی منطقه به کمک کارشناسان زبده، تعدادی از عوامل موثر بر ایجاد مخاطرات در قطعه دوم آزادراه راه تهران شمال انتخاب گردید. در این بخش از تحقیق با توجه به ارتباط متقابل بین عوامل موثر در ایجاد مخاطرات، برای هر مخاطره چند عامل مهم در نظر گرفته شد. کارشناسان به این عوامل بسته به اهمیت و ارجحیت، امتیازی بین ۰ تا ۱۰ اختصاص دادند. مقایسات زوجی بین عوامل موثر توسط نرم‌افزار Expert Choice انجام شده و به هر یک از عوامل موثر یک وزن تعلق گرفت. لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به روزرسانی شدند و وزن‌های محاسبه شده از مرحله‌ی قبل، بر لایه‌ها اعمال گردید. در نهایت با تلفیق، ترکیب و هم‌پوشانی لایه‌های وزن‌دار با استفاده از الگوریتم‌های متفاوت، برای هر یک از مخاطرات یک نقشه چند منظوره یا به عبارتی نقشه تفکیکی حاصل شد که قابلیت به روزرسانی نیز دارد. برای هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی، درصد مساحت پهنه محاسبه شد که استفاده از این اطلاعات کمی به مهندسين اجرایی کمک شایانی می‌کند.

#### موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

گستره مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در منطقه‌ی مابین استان البرز در جنوب و استان مازندران در شمال قرار گرفته است، گرچه بیش از ۱۸ کیلومتر از کل ۲۲ کیلومتر مسیر در استان البرز است. رشته کوه البرز جایی که بلندترین ارتفاعات گستره را با ارتفاع بیش از ۳۸۰۰ متر در خود جای می‌دهد مرز بین این دو استان است. منطقه‌ی مورد مطالعه در فاصله طول جغرافیایی ۱۵°۵۱ تا ۲۳°۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۰۰°۳۶ تا ۱۲°۳۶ شمالی قرار دارد و دارای مساحت حدود ۱۵۰ کیلومتر مربع و بازه‌ی ارتفاع ۱۹۵۰ تا ۳۵۴۸ متر از سطح دریا می‌باشد (مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۲).

مرتفع‌ترین قله در گستره مطالعه، کوه آزادکوه است. در دامنه شمالی رشته کوه البرز واقع در استان مازندران مسیر آزادراه از میزان بارندگی سالیانه، تنوع پوشش گیاهی بیشتری از دامنه جنوبی آن در استان البرز برخوردار است. رودخانه کرج، رودخانه اصلی منطقه مورد مطالعه است که با راستایی تقریباً شمالی-جنوبی جریان دارد و به سد کرج منتهی می‌شود. تمامی رودخانه-های دیگر منطقه در جنوب ارتفاعات البرز به این رودخانه متصل می‌گردند. رودخانه‌های وارنگه رود، دره سرهنگ، خرگوش دره، دره کهنه ده، دره نساء، دره حسنکدر، دره گرماب، دره سرخدر از سرشاخه‌های رودخانه کرج می‌باشد. رودخانه دونا در بخش شمالی ارتفاعات البرز و مسیر گستره مطالعه به رودخانه چالوس منتهی می‌گردد. ابتدای مسیر در شمال دره لانیز و در نزدیکی دو راهی شهرستانک قرار گرفته است. مسیر آزادراه پس از گذر از دو راهی شهرستانک به سمت شمال و در دامنه شرقی دره رودخانه کرج ادامه مسیر می‌نماید. در مسیر آزادراه به سمت شمال ارتفاعات بسیار با دره‌های عمیق مابین آن‌ها قرار دارد، لذا بیش از ۷۰ درصد مسیر از طریق تونل صورت می‌گیرد.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های منطقه مورد مطالعه

امتداد کلی آزادراه تهران شمال، شمالی-جنوبی و تقریباً به موازات رودخانه چالوس قرار خواهد گرفت. دسترسی به محدوده این قطعه از آزادراه به وسیله جاده اصلی کرج-چالوس امکان‌پذیر است. همچنین می‌توان از راه‌هایی که از این جاده به سمت روستاهای اطراف مانند اشترک، حسنکدر، نسا، گاجره و آزادبر منشعب می‌شوند برای بازدیدهای صحرائی و برداشت‌های میدانی از کل محدوده‌ی مورد مطالعه استفاده نمود. موقعیت جغرافیایی کلی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

### زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه قسمتی از بخش مرکزی رشته کوه البرز می باشد، در واقع در پهنه رسوبی-ساختاری البرز واقع است. پهنه رسوبی-ساختاری البرز شامل بلندی های شمال صفحه ایران است که به شکل تاقدیسی مرکب در یک راستای عمومی شرقی-غربی، از آذربایجان تا خراسان امتداد دارد. از نگاه زمین ریخت شناسی، مرز شمالی البرز منطبق بر تپه ماهورهای متشکل از نهشته های ترشیری و دشت ساحلی خزر است. از نگاه زمین شناختی، مرز شمالی البرز محدود به زمین درز تئیس کهن است که از برخورد سنگ کره قاره ای البرز با سنگ کره توران، در تریاس پسین به وجود آمده است. ولی در بیشتر نقاط، محل زمین درز با ورق های رانده شده از شمال به جنوب پوشیده شده است. یافته های دیرینه شناسی البرز، گویای آن است که کهن ترین سنگ های رخنمون شده البرز، در سازند کهر است (آقنابتی، ۱۳۸۳).

### ژئومورفولوژی منطقه

ژئومورفولوژی منطقه عمدتاً تحت تاثیر سه عامل فرایندهای فرسایشی، ساختارهای ناحیه ای و لیتولوژی سازندهای منطقه است. پست ترین نقطه در گستره مسیر منطقه مورد مطالعه در جنوبی ترین قسمت محدوده، با ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا، در حاشیه رودخانه کرج و مرتفع ترین نقطه نیز با ارتفاع ۳۴۵۰ متر در قسمت شمالی محدوده و در مسیر تونل بزرگ البرز می باشد (مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۲). دره های باریک و عمیق، دامنه های لغزیده و تختگاه های مرتبط، واریزه های پای دامنه ها، پرتگاه ها و فروچاله ها از اشکال اصلی ژئومورفولوژیکی منطقه هستند. رسوب های همجنس در اقلیم های مختلف و رسوب هایی با جنس های مختلف در اقلیم های مشابه، هر یک ژئومورفولوژی و چشم انداز مخصوص ایجاد می کنند. جوان ترین ناهمواری های زمین مربوط به دوران سوم بوده و دوران چهارم نیز به دلیل تسلط عوامل بیرونی فرسایش حائز اهمیت می باشد. منطقه مورد مطالعه بخشی از جنوب رشته کوه های البرز مرکزی می باشد. رشته کوه های البرز از رشته کوه تالش در باختر تا کپه داغ در خاور گسترده شده است. این رشته کوه ها بخشی از رشته کوه های آلپ-همیالیا محسوب می شود که تحت تاثیر کوهزادهای سیمین به سن تریاس پسین و آلبی به سن الیگومیوسن قرار گرفته است (Alavi, 1996). پوسته البرز حدود ۳۵ کیلومتر ضخامت دارد (Tatar, 2001) و شامل ردیف های ضخیمی از سنگ های پرکامبرین پسین تا عهد حاضر است. سنگ بستر دگرگونی پرکامبرین در هیچ جای البرز دیده نشده است ولی تخریبی های پروتروزوئیک پسین (سازند کهر) قدیمی ترین سنگ های شناخته شده در البرز می باشند.

### مخاطرات بررسی شده در منطقه

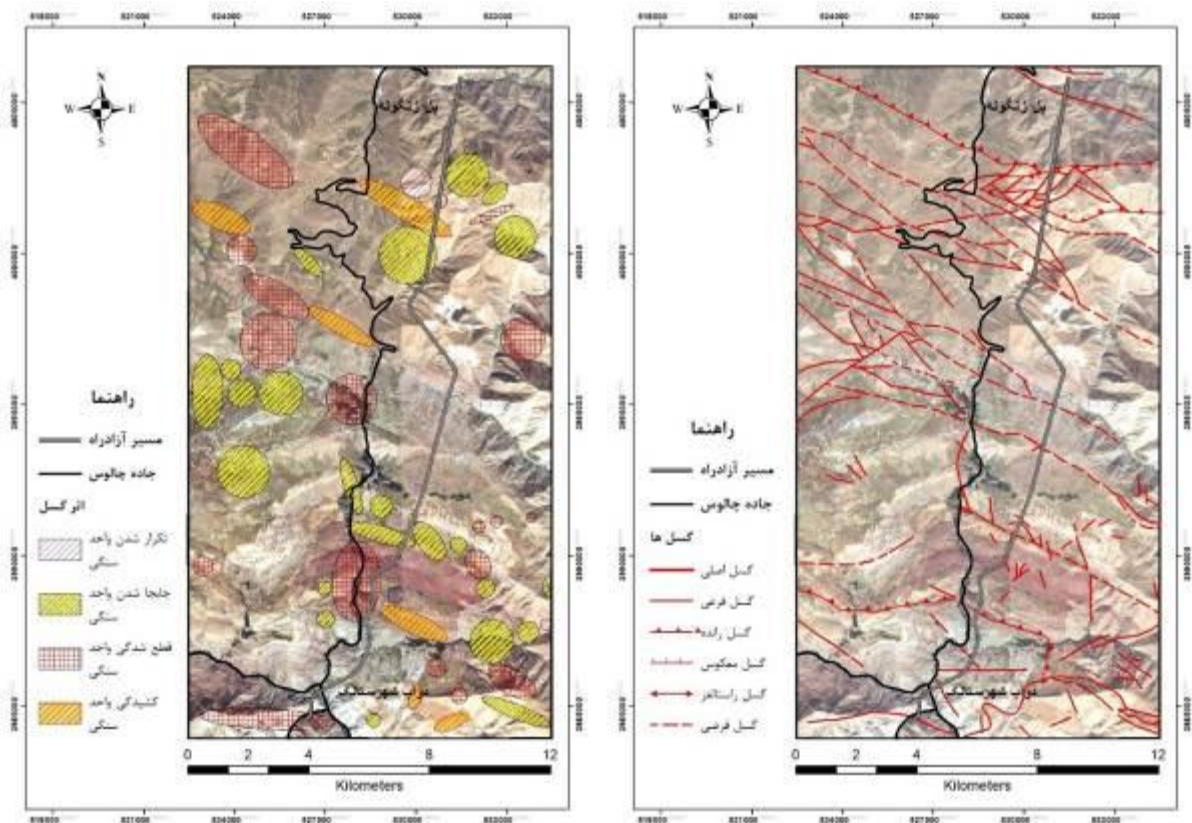
#### اثر گسل

در شکل ۲ موقعیت گسل های مسیر آزادراه به همراه نوع گسل ها نشان داده شده است. گسل های منطقه مورد مطالعه عمدتاً از انواع معکوس و راستالغز می باشند. گسل های معکوس با روند عمومی غرب-شمال غرب دارای جهت شیب های متفاوت به سوی شمال شرق و جنوب غرب است. گسل های بنیادین مشا، کندوان و طالقان از این دسته می باشند. گسل های راستالغز با روند عمومی شمال-شمال غرب از درجات بعدی اهمیت می باشند. گسل ها فارغ از سازوکارشان موجب جابجایی و خردشدگی توده سنگ ها می شوند. درجه خردشدگی سنگ ها در اثر گسل خوردگی از خارج از پهنه گسل خورده به طرف مرکز آن افزایش می یابد، به گونه ای که این پهنه گسل خورده را می توان به سه بخش متاثر، خرد شده و گوژ گسلی تقسیم نمود (مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۲).

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



اثر گسل‌ها بر واحدهای زمین‌شناسی یک پارامتر مهم به شمار می‌آید زیرا سبب ایجاد سطح لغزش و ناپایداری می‌شود. برای تهیه نقشه اثر گسل، ابتدا موقعیت و نوع تمام گسل‌ها اعم از اصلی، فرعی، رانده، معکوس، راستالغز و فرضی در منطقه مشخص شدند. سپس به بررسی هر یک از گسل‌ها و سازوکارشان پرداخته شد. طبق بررسی‌های صورت گرفته در منطقه، اثر گسل‌ها بر واحدهای زمین‌شناسی در قطعه دوم آزادراه به ۴ کلاس تکرار شدن واحد سنگی، جابجا شدن واحد سنگی، قطع شدگی واحد سنگی و کشیدگی واحد سنگی یا طبقات در شکل ۳ تقسیم‌بندی می‌شود (ذاکری مقدم، ۱۳۹۹). در ۴۳/۹۷ درصد از مساحت پهنه، اثر گسل به صورت قطع شدگی واحد سنگی بوده و در ۲/۲۲ درصد از مساحت پهنه، اثر گسل به صورت تکرار شدن واحد سنگی است (جدول ۱).



شکل ۲: نقشه موقعیت و نوع گسل‌های منطقه

شکل ۳: نقشه اثر گسل

جدول ۱: اطلاعات نقشه خطر اثر گسل

امتیاز	درصد مساحت پهنه	مساحت پهنه (متر مربع)	کلاس	اثر گسل
۳	۲/۲۲	۱۱۴۱۲۰۰	۱	تکرار شدن واحد سنگی
۱	۴۱/۲۸	۲۱۱۵۱۷۰۰	۲	جابجا شدن واحد سنگی
۲	۴۳/۹۷	۲۲۵۲۹۶۰۰	۳	قطع شدگی واحد سنگی
۴	۱۲/۵۰	۶۴۰۵۵۰۰	۴	کشیدگی واحد سنگی

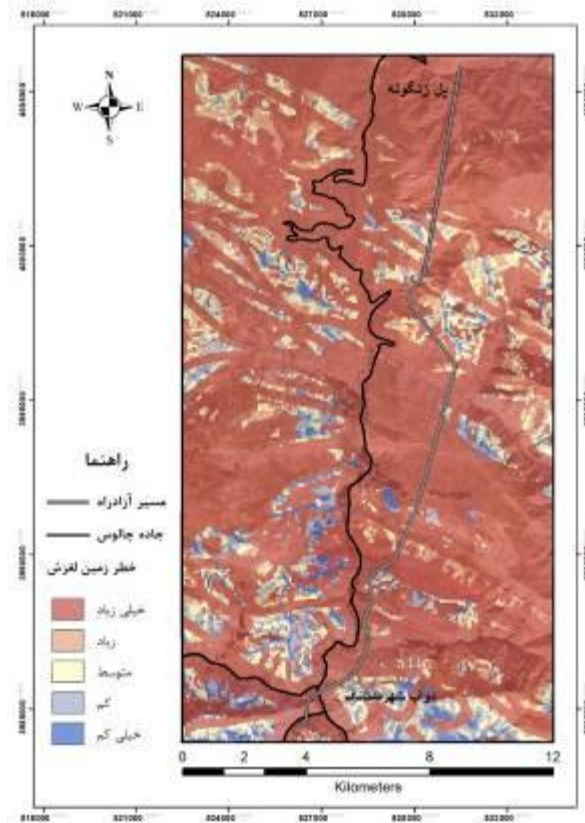


### زمین لغزش

پدیده زمین لغزش که ناشی از حرکت توده‌ای مواد تشکیل دهنده زمین از یک شیب به سمت پایین است، یکی از مخاطرات طبیعی بوده که خسارات جانی، مالی و زیست محیطی را به همراه دارد. این حرکت رو به پایین مواد سطحی، تحت تاثیر گرانش زمین صورت گرفته و میزان تحرک این مواد با حضور آب موجود در رسوبات افزایش می‌یابد (Pareta et al., 2012). زمین لغزش‌ها از جمله مهم‌ترین مخاطرات زمین‌شناسی تهدید کننده راه‌ها در مناطق کوهستانی به شمار می‌آیند، از این رو بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش و شناسایی مناطق مستعد این پدیده قبل از احداث راه‌ها در مناطق کوهستانی امری ضروری است. برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش ابتدا ۹ عامل موثر در وقوع این پدیده در منطقه توسط کارشناسان انتخاب شدند که شامل میزان شیب، جهت شیب، ارتفاع، واحدهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، تراکم شبکه آبراهه، فاصله از جاده و فاصله از گسل می‌باشند. پس از بررسی هر ۹ عامل موثر، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 آماده شده و وزن‌های محاسبه شده از نرم‌افزار Expert Choice بر لایه‌ها لحاظ شد. با توجه به این مورد که روش‌های متعدد کمی، کیفی و نیمه کمی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش وجود دارند لذا در این تحقیق، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با ترکیب و تلفیق ۹ لایه‌ی اطلاعاتی آماده شده در مراحل قبلی توسط عمل‌گر گاما ۰/۹ در ۵ کلاس در شکل ۴ تهیه گردید (ذاکری مقدم، ۱۳۹۹). ۷۷/۷۳ درصد از مساحت پهنه دارای خطر زمین لغزش خیلی زیاد و ۲/۶۴ درصد از مساحت پهنه دارای خطر زمین لغزش خیلی کم است.

جدول ۲: اطلاعات نقشه خطر زمین لغزش

امتیاز	درصد مساحت پهنه	مساحت پهنه (متر مربع)	کلاس	خطر زمین لغزش
۵	۲/۶۴	۷۰۴۳۱۰۰	۱	خیلی کم (Very Low)
۴	۶/۲۸	۱۶۷۳۲۹۰۰	۲	کم (Low)
۳	۸/۱۶	۲۱۷۳۴۵۰۰	۳	متوسط (Medium)
۲	۵/۱۶	۱۳۷۴۰۵۰۰	۴	زیاد (High)
۱	۷۷/۷۳	۲۰۶۸۴۶۹۰	۵	خیلی زیاد (Very High)

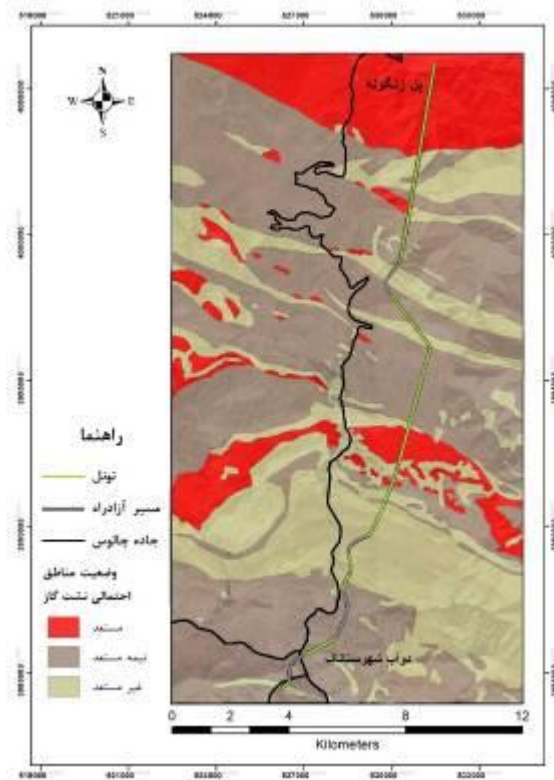


شکل ۴: نقشه خطر زمین لغزش

#### وضعیت گازها و عناصر سمی

گاهی اوقات سنگ‌های مسیر دارای گازهایی هستند که به هنگام حفر تونل، مشکل‌ساز می‌شوند. مهم‌ترین این گازها دی‌اکسید کربن، متان، دی‌اکسید گوگرد، سولفید هیدروژن و به ندرت هیدروژن می‌باشند. دی‌اکسید کربن موجود در سنگ‌ها، حاصل اکسایش مواد کربن‌دار است اما در عین حال ممکن است با آب‌های داغ معدنی و آب‌ها با منشا آذرین نیز همراه باشند. متان از جمله گازهایی است که در حوضه‌های ذغالی و میدان‌های نفتی وجود دارد. متان ممکن است در اثر تجزیه مواد آلی در سایر سنگ‌ها نیز یافت شود. باید توجه داشت که متان علاوه بر سنگ‌های درون‌گیر لایه‌های ذغالی، ممکن است تا ده‌ها متر در سنگ‌های دورتر نیز وجود داشته باشد. وجود متان در سنگ‌ها، سیستم آتش‌باری ویژه‌ای را می‌طلبد، زیرا آتش‌باری معمولی، خطر انفجار را در پی دارد. سولفید هیدروژن نیز حاصل تجزیه ترکیبات گوگرددار است و ممکن است با آب‌های داغ و عمیق معدنی همراه باشد (فریدونی، ۱۳۹۳). با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در قطعه دوم آزادراه تهران شمال، نشت گاز همراه با آب‌های زیرزمینی و عمدتاً در راستای شکستگی‌های بزرگ و گسل‌ها به داخل تونل‌ها از پدیده‌های متداول غالب تونل‌ها به‌ویژه در حین حفاری می‌باشد. این گازها عمدتاً CO و H<sub>2</sub>S و CH<sub>4</sub> می‌باشد. علاوه بر این گازها، گاز خطرناک سیانید هیدروژن در برخورد با شکستگی‌های عمیق نیز متداول است. گاز متان در شیل‌های ذغال‌دار سازند شمشک، در معادن ذغال‌سنگ که از این سازند ذغال استخراج می‌گردد، معمول است. معادن ذغال‌سنگ بسیاری در خارج از منطقه مورد مطالعه در البرز در واحد-های شیلی سازند شمشک، با پتانسیل نشت گاز، استخراج می‌گردد. شواهدی از این معادن قدیمی در منطقه مورد مطالعه در مسیر جاده نسا پایین به نسا بالا در این واحد دیده می‌شود که در گذشته از آن‌ها ذغال‌سنگ استخراج می‌گردیده است. به‌نظر می‌رسد که توف‌سنگ‌های سازند کرج، مخاطرات کمتری نسبت به دیگر واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه داشته باشند و لیکن شواهدی از نشت گاز CO در پهنه‌های گسلی در توف‌سنگ‌های سازند کرج حین حفاری تونل تالون ثبت شده است. بنابر

موارد ذکر شده در بالا، برای تهیه نقشه وضعیت گازها و عناصر سمی در مسیر قطعه دوم آزادراه تهران شمال، از واحدهای زمین‌شناسی استفاده شد و نقشه با ۳ کلاس غیر مستعد، نیمه مستعد و مستعد در شکل ۵ ارائه گردید (ذاکری مقدم، ۱۳۹۹). ۵۱/۸۱ درصد از مساحت پهنه در وضعیت نیمه مستعد احتمالی نشت گاز قرار دارد که لازم است جوانب احتیاط جهت جلوگیری از مخاطرات جبران ناپذیر رعایت شود.



شکل ۵: نقشه وضعیت مناطق احتمالی نشت گاز

جدول ۳: اطلاعات وضعیت مناطق احتمالی نشت گاز

امتیاز	درصد مساحت پهنه	مساحت پهنه (متر مربع)	کلاس	وضعیت مناطق احتمالی نشت گاز
۳	۳۱/۳۴	۸۳۵۶۱۷۳۶	۱	غیر مستعد
۲	۵۱/۸۱	۱۳۸۱۱۸۴۱۳	۲	نیمه مستعد
۱	۱۶/۸۴	۴۴۹۰۰۹۷۱	۳	مستعد

### نتیجه‌گیری:

مطالعات زمین‌شناسی مهندسی در اجرای پروژه‌های مختلف عمرانی به دلیل کاربرد فراوان آن، یکی از مهم‌ترین مراحل انجام بسیاری از طرح‌های مرتبط با فعالیت‌های عمرانی در دنیا می‌باشد که اطلاعات حاصل از آن می‌تواند به عنوان مطالعات پایه در تمام پروژه‌های عمرانی توسط مهندسين طراح مورد استفاده قرار گیرد. اگر این مطالعات و بررسی‌ها به درستی انجام گیرد، می‌تواند نقش بسزایی در افزایش راندمان پروژه در مراحل مختلف ساخت و بهره‌برداری داشته باشد. با توجه به مطالعات زمین‌شناسی مهندسی صورت گرفته در قطعه دوم آزادراه تهران شمال، نقشه‌های تولید شده و درصد مساحت پهنه‌های

محاسبه شده، ۴۳/۹۷ درصد از مساحت پهنه با اثر گسل قطع شدگی واحد سنگی، ۷۷/۷۳ درصد از مساحت پهنه با میزان خطر خیلی زیاد زمین لغزش و ۵۱/۸۱ درصد از مساحت پهنه در وضعیت نیمه مستعد احتمالی نشت گازها و عناصر سمی قرار دارد.

#### منابع:

- آقاباتی، ع.، (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۳ ص.
- ذاکری مقدم، ش.، (۱۳۹۹). ارائه مدل زمین شناسی مهندسی قطعه دوم آزادراه تهران شمال. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی.
- فریدونی، د.، (۱۳۹۳). زمین شناسی عمومی و مهندسی. انتشارات دانشجو، ۴۶۸ ص.
- مهندسین مشاور ساحل، (۱۳۹۲). گزارش مقدماتی زمین شناسی مهندسی آزادراه شهرستانک- مرزن آباد، ۱۷۹ ص.
- Alavi, M., 1996. Sedimentary and Structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geology Journal*, 983-99 p.
- Pareta, K., Kumar, J., Pareta, U., 2012. Landslide Hazard Zonation using Quantitative Methods in GIS. *International Journal of Geospatial Engineering and Technology*, 1-9 p.
- Tatar, M., 2001. Etude seismotectonique de deluxe zones de collision continentale: le Zagros Central el l'Alborz (Iran). Ph.D. Thesis, University de Joseph Fourier.

## تأثیر خاک ریزدانه بر دانسیته خشک و درصد رطوبت اپتیمم ماسه بادی

ابوالفضل صحراگرد<sup>۱\*</sup>، اکبر چشمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

[Sahragard.abolfaz@ut.ac.ir](mailto:Sahragard.abolfaz@ut.ac.ir)

### چکیده

گسترش ماسه‌های بادی در بسیاری از مناطق کشور لزوم استفاده از آن‌ها را به‌عنوان منبع قرضه در ساخت و سازها مطرح می‌کند. با توجه به ویژگی‌های خاص ماسه‌های بادی استفاده از آن‌ها به‌عنوان منبع قرضه بدون اضافه کردن مواد طبیعی یا شیمیایی مقدور نیست. لذا مطالعه‌ی روش‌های بهبود پارامترهای مهندسی این دسته از خاک‌ها ضروری است. با توجه به گسترش ماسه‌های بادی در مناطق جنوب کشور در این تحقیق نمونه‌هایی از ماسه‌های بادی منطقه هورالعظیم تهیه و با اضافه کردن مصالح ریزدانه (سیلت و رس) موجود در همان منطقه، تأثیر افزودن این مصالح ریزدانه بر دانسیته خشک حداکثر و رطوبت بهینه ماسه‌های بادی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از آزمایش‌های دانه بندی، هیدرومتری، حدود اتربرگ و تراکم استاندارد استفاده شده است. نتایج نشان داد که افزودن سیلت و رس به ماسه بادی منحنی دانه‌بندی خاک را از حالت یکنواختی خارج کرده و باعث افزایش ۲۰ درصدی دانسیته خشک حداکثر و کاهش رطوبت بهینه ماسه بادی شده است. افزایش دانسیته خشک و کاهش رطوبت بهینه دو فاکتور مهم در عملیات‌های تراکم بستر در مناطق بیابانی است.

کلیدواژه: ماسه بادی، بهسازی خاک، تراکم استاندارد، حدود اتربرگ، خاک ریزدانه

## Effect of fine-grained soil on dry density and optimum water content of aeolian sand

Abolfazl Sahragard<sup>1\*</sup>, Akbar Cheshomi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Geology, College of Science, University of Tehran

<sup>2</sup>School of Geology, College of Science, University of Tehran

[Sahragard.abolfaz@ut.ac.ir](mailto:Sahragard.abolfaz@ut.ac.ir)

### Abstract

Due to the spread of aeolian sand in different parts of the country, the use of them as borrows materials is necessary. According to the engineering characterization of aeolian sands, it is not possible to use them as borrowed materials without adding natural or chemical materials. Therefore, it is necessary to study the methods of improving the engineering parameters of these soils. Due to the spread of aeolian sands in the southern regions of the country, in this study, samples of aeolian sands of Hur al-Azim region were prepared and by adding fine-grained materials (silt and clay) that from this area has been prepared, the effect of adding these fine-grained materials on Maximum dry density and optimum moisture content have been investigated. for this purpose, laboratory test such as Granulation and Hydrometry test, Atterberg and standard compaction tests have been used. The results showed that the addition of silt and clay to the aeolian sand removed the soil granulation curve from the uniform state and increased the maximum dry density by 20% and decreased the optimum water

content aeolian sand. Increasing density and decreasing optimum water content are two important factors in subgrade compaction operations in desert areas.

#### مقدمه:

امروزه رشد چشمگیر زیرساخت‌های حمل و نقل در مناطق خشک جهان، استفاده از ماسه‌های بادی را به عنوان مصالحی جهت ساخت و ساز ضروری کرده است. این نوع از خاک‌ها به عنوان مصالحی ویژه و پرچالش جهت کاربرد در زیرسازی جاده‌ها و راه-آهن شناخته می‌شوند. اگرچه این نوع از خاک‌ها به عنوان مصالحی دانه‌ای با انعطاف پذیری کم شناخته می‌شوند (که از نظر مهندسی ژئوتکنیک به عنوان یک خاصیت مطلوب در نظر گرفته می‌شود)، اما دو ویژگی شاخص آنها که مربوط به توزیع یکنواخت اندازه ذرات و گردشگری بالای آنها می‌باشد، تراکم این خاک‌ها را بسیار مشکل کرده لذا ظرفیت باربری آنها پایین می‌باشد. این مشکلات به ویژه در مناطقی که شرایط محصور شده ندارد شدت پیدا می‌کند (Arias-Trujillo et al., 2020). به طور معمول در حین اجرای پروژه‌های مهندسی، ماسه بادی با مصالح دیگر جایگزین می‌شوند اما در بسیاری از مناطق جهان، به ویژه در مناطق وسیع بیابانی، ماسه‌های بادی تنها مصالح موجود در منطقه بوده و امکان جایگزین کردن آنها وجود ندارد. بنابراین بهبود ویژگی‌های مهندسی این خاک‌ها در این مناطق جهت استفاده در پروژه‌های مهندسی ضروری است. در طول قرن ۱۹ و ۲۰ میلادی مطالعات مرتبط بسیاری با تمرکز بر مبدا و مشخصات ماسه‌های بادی، و همچنین با توجه ویژه‌ای به جنبه‌های زمین شناسی، ژئومورفولوژی و مشخصات رسوب شناسی آنها صورت پذیرفته است (Lopez-Querol et al., 2017). اولین تلاش‌ها برای ارزیابی مناسب بودن این خاک‌ها به عنوان مصالحی جهت ساخت و ساز توسط خان (Khan, 1982) و بر اساس تجزیه و تحلیل چندین نمونه اتخاذ شده از کشور لیبی که قرار بود برای ساخت بزرگراه استفاده شوند صورت پذیرفت. نتایج یک تحقیق جامع از رایج‌ترین خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه‌های بادی در جهان را می‌توان در مجموعه‌ای که توسط لویز-کرول و همکاران (Lopez-Querol et al., 2017) جمع‌آوری و تدوین کرده‌اند، مشاهده کرد. گزینه‌های موجود برای بهسازی این خاک‌ها و اجتناب از جایگزین کردن آن، تغییر در پارامترهای مهندسی با اضافه کردن افزودنی‌هایی از قبیل سیمان، امولسیون‌های قیر و امولسیون‌های شیمیایی، مواد تقویت کننده، مواد زائد، کاشی و سرامیک و دیگر مواد تقویت کننده است که می‌توان از چند گزینه با نسبت‌های مختلف استفاده کرد (Elipe & Lopez-Querol, 2014). از میان موارد ذکر شده، استفاده از سیمان پورتلند برای بهسازی ماسه بادی بیشتر گزارش شده است (Aiban, 1994; Ghrieb et al., 2014). طی پژوهشی که بر روی ماسه‌های بادی عربستان سعودی انجام شد تاثیر افزودن سیمان بر روی پارامترهای مهندسی ماسه بادی مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار سیمان به کار گرفته شده در این تحقیق ۲، ۴، و ۶ درصد از وزن خاک خشک را شامل شده و پارامترهای ژئوتکنیکی که طی این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت شامل روابط میان درصد رطوبت و چگالی خشک (با استفاده از آزمایش تراکم) و ظرفیت باربری خاک (با آزمایش CBR<sup>1</sup>) در دو وضعیت محصور و نامحصور بوده است. نتایج آزمایشها ارتباط خطی واضحی را میان درصد سیمان و بهبود حاصل شده در تراکم و ظرفیت باربری نشان می‌دهد بطوریکه هرچه درصد سیمان بالاتر می‌رود، چگالی خشک حداکثر و همچنین ظرفیت باربری افزایش یافته اما درصد رطوبت بهینه کاهش می‌یابد که یک مزیت برای مناطق خشک محسوب می‌شود. همچنین مشخص شد انرژی تراکم بالاتر در فرایند تراکم تاثیر بسیار کمی را بر روی ظرفیت باربری ایجاد می‌کند و در واقع می‌توان گفت که ظرفیت باربری خاک مستقل از انرژی کوبش می‌باشد که وجه تمایز این ماسه‌های بادی از انواع دیگر خاک‌ها است (Lopez-Querol et al., 2017). در طی

<sup>1</sup> California Bearing Ratio

تحقیق دیگری که بر روی ماسه های بادی آن منطقه انجام شد تاثیر افزودن مقادیر پایین وینیل اکلیریک (یک امولسیون پلیمری) بر روی پارامترهای مهندسی ماسه های بادی مورد ارزیابی قرار گرفت. مشاهده شد که هرچه مقدار پلیمر افزایش می- یابد چگالی حداکثر خشک نیز افزایش می-یابد اما درصد رطوبت اپتیمم کاهش یافته که این میزان کاهش تا حدود سی درصد برای بالاترین دوز پلیمر (۱/۵ درصد) مشاهده گردید با آنالیز تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ الکترونی<sup>۱</sup> مشاهده شد که امولسیون پلیمر ذرات جدا از هم را به یک ذره واحد بزرگتر تبدیل می-کند و بدین روش یک ساختار باثبات تر ایجاد می-شود (Arias-Trujillo et al., 2020).

روش های تثبیت مصالح دانه ای در مهندسی ژئوتکنیک به خوبی شناخته شده اند و دو افزودنی سیمان و قیر رایج ترین آن ها بوده و تجربیات موفق از آن ها در ادبیات فنی گزارش شده است (Aiban, 1994; Lopez-Querol, 2017). با این حال این مواد گاهی اوقات مشکلاتی را ایجاد کرده که از جمله آن ها می-توان به هزینه ی بالای اجرای آن، عدم دسترسی به آن ها در بعضی از مناطق، ایجاد شکستگی به علت مقاومت خمشی کم و اشکالات زیست محیطی آن اشاره کرد. این مشکلات گاهی باعث کشف روش های جدید و جایگزین کردن آن ها به جای روش های قدیمی می-شود (Arias-Trujillo et al., 2020).

با توجه به گسترش ماسه های بادی در برخی مناطق ایران، در تحقیق حاضر بر اساس مطالعات آزمایشگاهی تاثیر افزودن مصالح ریزدانه رسی بر دانسیته خشک و درصد رطوبت اپتیمم ماسه های بادی بررسی شده است. از آنجا که در حال حاضر عملیات احداث راه های دسترسی به محل چاه های نفت، سرلرها و تاسیسات سرچاهی در دشت هورالعظیم در حال انجام بوده و برای احداث این راه ها از منابع قرضه محلی (ماسه های بادی، خاک های ریزدانه) استفاده می-شود لذا در این مطالعه نمونه هایی از ماسه بادی منطقه هورالعظیم به عنوان خاک پایه انتخاب شده و با افزودن خاک ریزدانه همان منطقه با درصدهای مختلف به خاک پایه، تاثیر افزودن خاک ریزدانه بر دانسیته خشک و درصد رطوبت اپتیمم ماسه های بادی مورد بررسی قرار گرفته است.

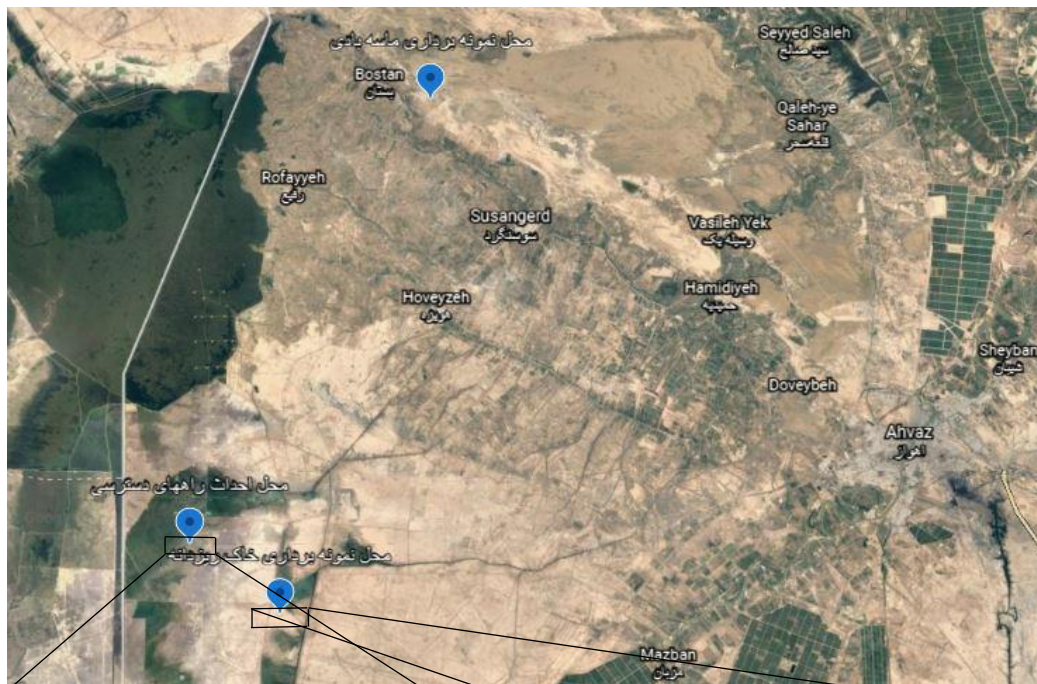
### روش مطالعه

در این بخش ابتدا مواد استفاده در تحقیق معرفی شده و در ادامه روش انجام تحقیق که شامل آزمایشهای آزمایشگاهی میباشد بیان میگردد. جهت انجام آزمایشهای آزمایشگاهی، با توجه به فراوانی ماسه بادی در بخشهایی از هورالعظیم و نیز گسترش راه های دسترسی و عملیات خاکی در آن مناطق، ماسه بادی این منطقه به عنوان خاک پایه در نظر گرفته شد. از طرف دیگر به دلیل وجود برخی رسوبات ریزدانه و رسی در منطقه، از این مصالح ریزدانه به عنوان مصالح افزودنی به خاک پایه استفاد گردید. محل نمونه برداری ماسه بادی، خاک ریزدانه و همچنین محل احداث راه های دسترسی به چاه های نفت در شکل شماره ۱ آورده شده است. ماسه بادی به ترتیب با ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد از افزودنی ریزدانه مخلوط شده و آزمایش های دانه بندی، حدود اتربرگ و تراکم استاندارد بر روی نمونه های ساخته شده انجام شد. بر این اساس نمونه های استفاده شده در تحقیق حاضر به شرح جدول ۱ معرفی می-گردد. لازم به ذکر است درصدهای افزودنی ذکر شده در این تحقیق نسبت وزنی خاک ریزدانه به ماسه بادی است.

<sup>۱</sup> SEM

جدول ۱: لیست نمونه‌های ساخته شده در تحقیق و نسبت‌های میان اجزای آن

نام خاک	درصد ریزدانه به ماسه بادی	درصد ریزدانه از کل خاک	درصد ماسه بادی از کل خاک
ماسه بادی	۰	۰	۱۰۰
ماسه بادی + ۲۰ درصد ریزدانه	۲۰	۱۶/۷	۸۳/۳
ماسه بادی + ۳۰ درصد ریزدانه	۳۰	۲۳/۱	۷۶/۹
ماسه بادی + ۴۰ درصد ریزدانه	۴۰	۲۸/۶	۷۱/۴
ماسه بادی + ۵۰ درصد ریزدانه	۵۰	۳۳/۳	۶۶/۷
ماسه بادی + ۶۰ درصد ریزدانه	۶۰	۳۷/۵	۶۲/۵



(ب)



(الف)

شکل ۱: (الف) محل نمونه برداری و همچنین منبع قرضه خاک ریزدانه (ب) محل ساخت راه‌های دسترسی به چاه‌های نفت در میدان نفتی آزادگان جنوبی

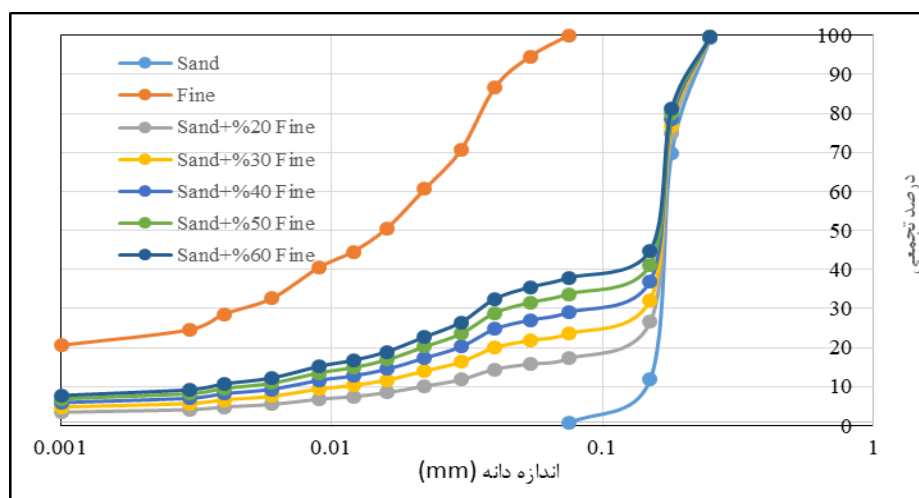


با توجه به اینکه تحقیق حاضر یک تحقیق مبتنی بر روش‌های آزمایشگاهی است در ادامه به توضیح آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده پرداخته می‌شود.

- آزمایش دانه بندی: برای مشخص کردن منحنی توزیع اندازه ذرات آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد ASTM D 422-87 روی نمونه‌ها انجام شد.
- آزمایش هیدرومتری: برای مشخص کردن منحنی توزیع اندازه ذرات برای ذرات ریزتر از ۰.۰۷۵ میلیمتر، از آزمایش هیدرومتری استفاده شد. این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D 421-58 بر روی نمونه‌ها انجام شد.
- آزمایش تعیین حدود اتربرگ: برای تعیین حد خمیری<sup>۱</sup>، حد روانی<sup>۲</sup> و در نهایت شاخص خمیری مصالح ریزدانه، این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D 4318-87 بر روی کلیه نمونه‌ها انجام شد.
- آزمایش تراکم استاندارد: به منظور تعیین دانسیته خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه آزمایش تراکم طبق استاندارد ASTM D 698-78 بر روی نمونه‌ها انجام شد.

#### بحث

در این بخش مقاله ابتدا نتایج آزمایش‌ها ارائه شده و سپس نتایج مورد تجزیه و تحلیل و بحث قرار گرفته است. نتایج آزمایش دانه بندی و هیدرومتری بر روی نمونه‌های جدول ۱، در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است اضافه کردن خاک ریزدانه باعث تغییر شکل منحنی دانه بندی شده بطوریکه منحنی را از حالت جورشدگی بسیار بالا خارج کرده است. با افزایش فراوانی خاک ریزدانه شیب نمودار کاهش پیدا کرده است.



شکل ۲: نمودار دانه بندی ماسه بادی، خاک ریزدانه و پنج ترکیب خاکی ساخته شده از این دو

آزمایش‌های حد روانی و حد خمیری بر روی هفت نمونه ذکر شده انجام شد. سه نمونه‌ی ماسه بادی، ماسه بادی باضافه ۲۰٪ ریزدانه و ماسه بادی باضافه ۳۰٪ ریزدانه به دلیل وجود مقادیر بالای ماسه فاقد حدود اتربرگ بودند. مقادیر حد روانی و حدخمیری چهار نمونه دیگر در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است مقادیر حد روانی برای سه ترکیب خاکی ساخته شده تقریباً برابر باهم و کمتر از مقدار آن در خاک ریزدانه خالص است. همچنین مقدار حد خمیری در

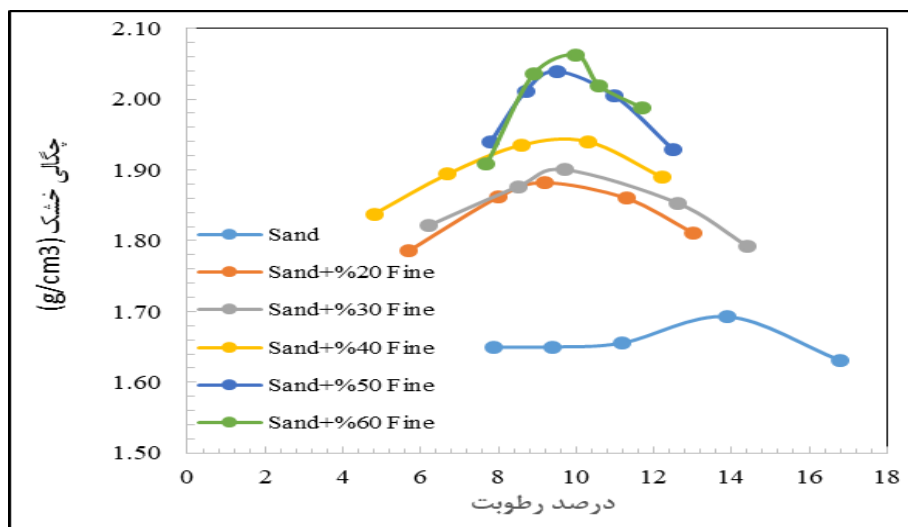
<sup>1</sup> PL  
<sup>2</sup> LL

ترکیب‌های ساخته شده کمتر از خاک ریزدانه خالص است، مقادیر حد خمیری در این خاک‌ها با افزایش درصد ریزدانه به مقدار آن در خاک ریزدانه خالص نزدیک می‌شود. شاخص خمیری در همه‌ی خاک‌ها پایین بوده و مقدار آن برای سه ترکیب خاکی ساخته شده کمتر از ۱۰ می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که خاک ریزدانه استفاده شده دارای ویژگیهای خمیری پایین می‌باشد.

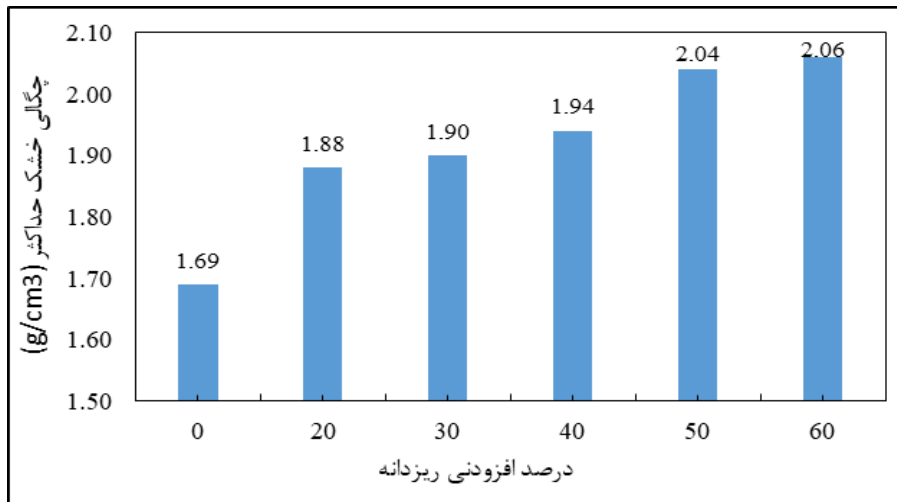
جدول ۲: مقادیر حدود اتربرگ

ترکیب خاک	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری
خاک ریزدانه خالص	۲۸	۱۸	۱۰
ماسه بادی	-	-	-
ماسه بادی + ۲۰٪ ریزدانه	-	-	-
ماسه بادی + ۳۰٪ ریزدانه	-	-	-
ماسه بادی + ۴۰٪ ریزدانه	۱۹	۱۱	۷
ماسه بادی + ۵۰٪ ریزدانه	۱۹/۵	۱۴	۵/۵
ماسه بادی + ۶۰٪ ریزدانه	۱۹	۱۵	۴

نمودار تغییرات دانسیته خشک حداکثر در مقابل درصد رطوبت برای نمونه‌های تحقیق حاضر در شکل ۳ ارائه شده است. با مقایسه منحنی‌های تراکم برای نمونه‌های مختلف مشاهده می‌گردد که افزایش ریزدانه باعث افزایش دانسیته خشک حداکثر و کاهش رطوبت بهینه شده است. نتایج آزمایشات افزایش چشمگیری را در دانسیته‌ی خشک حداکثر و کاهش قابل ملاحظه‌ای در رطوبت بهینه را نشان می‌دهد. به طوری که دانسیته خشک حداکثر در ماسه‌بادی برابر با ۱,۶۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب و رطوبت بهینه ۱۴٪، بوده و در ترکیب خاکی شامل ماسه بادی با اضافه ۶۰٪ ریزدانه دانسیته خشک حداکثر به ۲,۰۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش یافته و رطوبت بهینه به ۹,۵٪ کاهش می‌یابد. افزایش ۲۲ درصدی در دانسیته خشک حداکثر و کاهش ۴۷ درصد در رطوبت بهینه نشان دهنده تاثیر قابل توجهی افزودن خاک ریزدانه به ماسه بادی جهت بهبود دانسیته خشک خاک است. در شکل ۴ مقادیر دانسیته خشک حداکثر بازای فراوانی خاک ریزدانه روی نمونه‌های تحقیق حاضر نشان داده شده است.



شکل ۳: نتایج آزمایش‌های تراکم انجام شده بر روی نمونه‌های جدول ۱



شکل ۴: تغییرات دانسیته خشک حداکثر در مقابل درصد فراوانی ریزدانه

### نتیجه گیری

با توجه به وجود منابع ماسه بادی در برخی مناطق ایران مثل منطقه هورالعظیم و عدم امکان استفاده از این مصالح در ساخت و سازها به دلیل عدم تراکم پذیری و یکنواخت بودن اندازه ذرات، اضافه کردن خاک ریزدانه جهت بهبود ویژگی‌های مهندسی آن‌ها در این تحقیق بررسی شد بدین منظور ۶ نمونه خاک از ترکیب ماسه بادی و درصد‌های مختلف خاک ریزدانه تولید و آزمایش‌های دانه بندی، هیدرومتری، حدود اتربرگ و تراکم بر روی نمونه‌ها انجام و نتایج زیر بدست آمد:

- ماسه بادی دارای منحنی بد دانه بندی شده<sup>۱</sup> بوده به طوری که اندازه ذرات آن در محدوده ۰,۱۸ تا ۰,۰۷۵ میلی‌متر هستند. اضافه کردن خاک ریزدانه (سیلت و رس) به ماسه بادی با درصد‌های مختلف باعث تغییر شکل منحنی دانه بندی شد.
- از آن‌جا که خاک رس مورد استفاده در این تحقیق رس لاغر<sup>۲</sup> بوده، اضافه کردن آن به ماسه بادی تا حد ۳۰ درصد تاثیری در وضعیت خاک تولید شده نداشته و خاک فاقد حدود اتربرگ است لیکن با افزایش مقدار ریزدانه به ۴۰ درصد، خاک ویژگی خمیری پیدا کرده و دارای حد خمیری و حد روانی است.
- نتایج آزمایش تراکم استاندارد نشان می‌دهد که با افزایش درصد فراوانی ریزدانه، دانسیته خشک حداکثر تا ۲,۰۶ گرم بر سانتی متر مکعب افزایش یافته و رطوبت بهینه به ۹,۵٪ کند. بیشترین دانسیته خشک حداکثر مربوط به نمونه حاوی ۶۰ درصد ریزدانه بوده که با افزودن این مقدار ریزدانه به ماسه بادی ۲۲ درصد افزایش در دانسیته خشک حداکثر و ۴۷ درصد کاهش در رطوبت بهینه نسبت به ماسه بادی مشاهده میشود. با افزایش درصد ریزدانه شیب نمودار دانسیته خشک حداکثر در مقابل درصد رطوبت بهینه در دو طرف افزایش یافته که نشان دهنده حساسیت نمونه به رطوبت می‌باشد.

<sup>1</sup> Poorly graded

<sup>2</sup> CL

- با توجه به نتایج آزمایش‌های تراکم، ترکیب ماسه بادی و خاک ریزدانه با نسبت ۶۷٪ و ۳۳٪ بهینه ترین نسبت برای تولید خاک مناسب از نظر دانسیته خشک حداکثر و رطوبت بهینه است.

#### منابع

- Aiban, S. A., 1994. A study of sand stabilization in eastern Saudi Arabia. *Engineering Geology*, 38(1-2), 65-79 .
- Arias-Trujillo, J., Matías-Sánchez, A., Cantero, B., & López-Querol, S., 2020. Effect of polymer emulsion on the bearing capacity of aeolian sand under extreme confinement conditions. *Construction and Building Materials*, 236, 117473 .
- Elipe, M. G., & Lopez-Querol, S., 2014. Aeolian sands: Characterization, options of improvement and possible employment in construction–The State-of-the-art. *Construction and Building Materials*, 73, 728-739 .
- Khan, I. H., 1982. Soil studies for highway construction in arid zones. *Engineering Geology*, 19(1), 47-62 .
- Lopez-Querol, S., Arias-Trujillo, J., Maria, G.-E., Matias-Sanchez, A., & Cantero, B., 2017. Improvement of the bearing capacity of confined and unconfined cement-stabilized aeolian sand. *Construction and Building Materials*, 153, 374-384 .

## ارزیابی درجه هوازدگی باتولیت گرانیتی شیرکوه در جنوب غرب یزد با استفاده از

### شاخص‌های فیزیکی و مکانیکی

فاطمه سلیمیان ریزی<sup>۱\*</sup>، مهدی ترابی کاوه<sup>۲</sup>، غلامرضا تاجبخش<sup>۲</sup>، مهناز خدای<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه یزد

<sup>۲</sup> - استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه یزد

Salimian.fateme74@yahoo.com

#### چکیده:

از مهمترین عوامل در انجام پروژه‌های مهندسی آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی سنگ‌ها می‌باشد. هوازدگی یکی از عوامل محیطی تاثیرگذار در مقاومت سنگ می‌باشد. بی توجهی به عملکرد هوازدگی توسط مهندسين طراح در برخی موارد باعث شکست پروژه و تحمیل هزینه‌های اضافی می‌شود. متأسفانه پیچیدگی و پرهزینه بودن چنین مطالعاتی، منجر به مطالعه‌ی کمتر رفتار سنگ‌ها در ارتباط با هوازدگی شده است. در این مطالعه با اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی (تخلخل، درصد جذب آب، سختی چکش اشمیت، شاخص بار نقطه‌ای و سرعت سیر موج) سنگ‌های گرانیتی شیرکوه، ارتباط بین پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به همبستگی قابل توجه بین درجه هوازدگی و خصوصیات فیزیکی- مکانیکی اندازه گیری شده مشخص گردید که با افزایش درجه‌ی هوازدگی میزان تخلخل و درصد جذب آب افزایش نشان داده و شاخص‌های مکانیکی نظیر سختی چکش اشمیت، شاخص بار نقطه‌ای، شاخص دوام و ارتنگی و سرعت سیر موج روند کاهشی دارند. روابط تجربی مستخرج از این مطالعه به خوبی قابلیت تخمین ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی گرانیت‌های شیرکوه یزد را داشته و می‌توانند بصورت قابل اطمینانی مورد استفاده قرار گیرند.

کلیدواژه: شاخص‌های فیزیکی، شاخص‌های مکانیکی، گرانیت، هوازدگی، یزد

## Evaluation of weathering degree of Shirkuh granite batholith in southwest of Yazd using physical and mechanical indices

Fatemeh Salimian-Rizi<sup>1\*</sup>, Mehdi Torabi-Kaveh<sup>2</sup>, Gholam Reza Tajbakhsh<sup>2</sup>, Mahnaz Khodami<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> MSc student, Department of Geology, Yazd University

<sup>2</sup>. Assistant Professor, Department of Geology, Yazd University

#### Abstract

One of the most important factors in performing engineering projects is awareness of the physical and mechanical properties of rocks. Weathering is one of the environmental factors affecting rock strength. Ignorance of weathering performance by design engineers in some cases can lead to project failure and impose additional costs. Unfortunately, the complexity and cost of such studies has led to less study of the behavior of rocks in relation to weathering. In this study, by measuring the physical and mechanical properties (porosity, water absorption percentage, Schmidt hammer hardness, point load index and P-wave velocity) of Shirkuh granitic rocks, the relationship between these parameters was investigated. Regarding significant correlation between the degree of weathering and the measured physical-mechanical properties, it was concluded that with increasing the degree of weathering, the porosity and water absorption percentage increased and mechanical parameters such as Schmidt hammer stiffness, point load index, durability index and P-wave velocity decreased.

The experimental relationship extracted from this study has a good ability to estimate the physical-mechanical properties of granites of Shirkuh and can be used reliably.

#### مقدمه:

یکی از ویژگی‌های مهم سنگ‌ها، تغییر رفتار آن‌ها در طول زمان بر اثر فرآیندهای هوازدگی و سایر عوامل محیطی می‌باشد. هوازدگی یکی از مکانیسم‌های مهم تابع زمان در سنگ‌ها است که باعث به وجود آمدن تغییرات در ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی و ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی آن‌ها شده است و معمولاً مقاومت سنگ‌ها را کاهش می‌دهد. سنگ‌های آذرین درونی در شرایطی کاملاً متفاوت با سطح زمین از نظر دما و فشار تشکیل می‌شوند، در نتیجه، کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها تمایل دارند به کانی‌های پایدارتر و سازگارتر با شرایط سطح زمین مانند کانی‌های رسی تبدیل شوند. سنگ‌های گرانیتی معمول‌ترین سنگ‌های آذرین درونی هستند که در قسمت‌های جنوب و جنوب غربی شهر یزد نیز به وفور یافت می‌شوند. شاخص‌های هوازدگی مورد توجه پژوهشگران زیادی بوده است (CERYAN, 2007; Chiu and Ng, 2014; E and A, 2001; Gupta and Rao, 2001; Khanlari et al., 2012; Ohta and Arai, 2007; Ruxton, 1968; Tuğrul and Zarif, 1999). در این پژوهش، شاخص‌های هوازدگی باتولیت گرانیتی شیرکوه در جنوب غرب یزد مورد مطالعه قرار گرفته است.

#### موقعیت جغرافیایی و آب و هوای منطقه

منطقه مورد مطالعه، باتولیت گرانیتی شیرکوه در غرب و جنوب غربی شهر یزد به مختصات  $31^{\circ} 45'$  و  $31^{\circ} 25'$  عرض شمالی و  $53^{\circ} 52'$  و  $54^{\circ} 20'$  موقعیت طول‌های شرقی قرار دارد. براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ رطوبت نسبی سالانه‌ی منطقه  $38/3$  درصد است که کمترین میزان میانگین درصد رطوبت در تیر ماه و مرداد ماه و بیشترین میزان میانگین درصد رطوبت در آذر ماه است. میزان تبخیر سالانه در منطقه ۱۸۸ میلی‌متر است که کمترین میزان بارندگی در شهریور ماه و بیشترین میزان آن در آذر ماه است. میزان تبخیر سالانه نیز  $2388/6$  میلی‌متر می‌باشد که بیشترین میزان تبخیر در تیر ماه و کمترین میزان آن در زمستان می‌باشد. بطور کلی با توجه به اقلیم منطقه سنگ‌های این ناحیه بطور متناوب در معرض انواع هوازدگی از قبیل گرم و سرد شدن و انجماد و آب شدن هستند که این از استحکام آن‌ها می‌کاهد و خصوصیات مکانیکی آن‌ها را بصورت چشمگیری تحت تاثیر قرار می‌دهد.

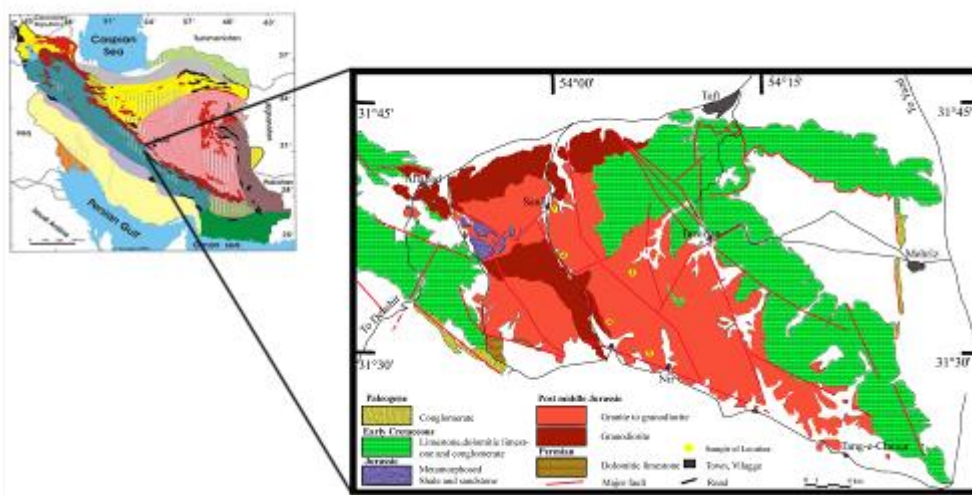
#### زمین شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه براساس تقسیم‌بندی‌های ساختمانی- رسوبی در خرده قاره ایران مرکزی قرار می‌گیرد این باتولیت از سه واحد اصلی گرانودیوریت، مونزوگرانیت و لوکوگرانیت تشکیل شده است (Sheibi et al., 2010). سنگ‌های دگرگونی مجاورتی در حاشیه‌های شمالی و غربی این باتولیت رخنمون دارند. تزریق واحد گرانودیوریتی در حاشیه‌ی شمالی سبب دگرگونی واحدهای آواری سازند نایبند- شمشک و تبدیل آن‌ها به شیسست و هورنفلس‌های کردیریت دار شده است (Sheibi et al., 2010). در حاشیه‌ی غربی که لوکوگرانیتها قرار دارند، دگرگونی مجاورتی ضعیفی در ماسه سنگ، شیل، کوارتزیت و میان لایه‌های آهکی مربوط به سازندهای شمشک و نایبند رخ داده است. در نتیجه با توجه به اینکه باتولیت گرانیتیوئیدی شیرکوه سازندهای نایبند و شمشک با سن تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین را دگرگون نموده و از طرف دیگر سازند سنگستان با واحد ماسه سنگی و با سن

کرتاسه زیرین روی آن نهشته شده است؛ سن نسبی این باتولیت را می‌توان به ژوراسیک میانی (سیمرین پسین) در نظر گرفت.

با توجه به داده‌های ایزوتوپی سن ۱۵۹-۱۸۶ میلیون سال با استفاده از روش K-Ar بدست آمده است (Reyre and Mohafez, 1972). سن این گرانیت‌ها با روش Rb-Sr بر روی چهار نمونه از گرانیت شیرکوه  $10 \pm 176$  میلیون سال نشان داده شد (Förster, 1978). آنالیزهای ایزوتوپی به روش U-Pb که اخیراً روی تعدادی از زیرکن‌های گرانیت شیرکوه انجام شد، سن  $5 \pm 136$  میلیون سال را نشان می‌دهد.

به طور کلی سنگ‌های گرانیتی براساس ترکیب شیمیایی، کانی شناسی و خاستگاه تکتونیکی به چهار نوع M, I, A و S تقسیم‌بندی می‌شوند. در منطقه‌ی مورد مطالعه گرانیت‌های نوع S (دو میکایی) گسترش دارند (Sheibi et al., 2010). این گرانیت‌ها حاصل ذوب‌بخشی از مواد پوسته‌ی قاره‌ای هستند و به گرانیت‌های رسوبی معروف می‌باشند. نمونه برداری پژوهش حاضر عمدتاً از بخش مرکزی باتولیت انجام شده است.



شکل ۱: نقشه زمین شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

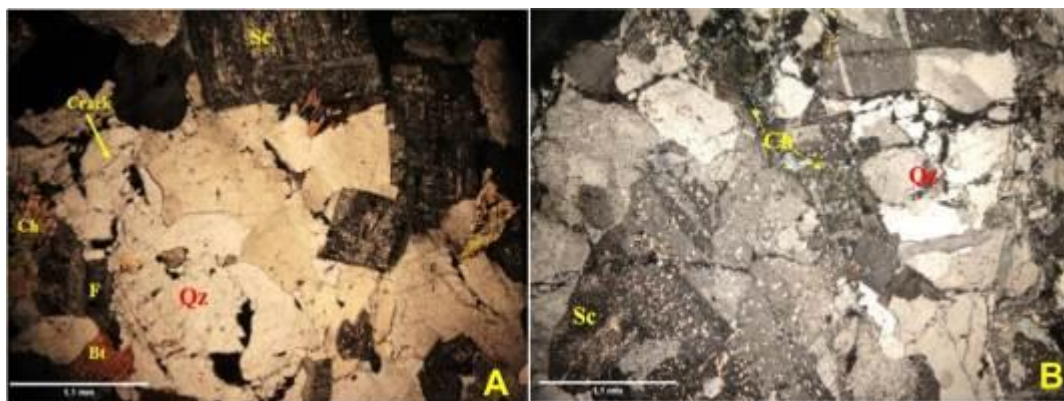
### روش مطالعه:

پس از مشاهدات میدانی نمونه‌برداری بلوک‌های سنگی با درجات مختلف هوازدگی انجام گرفت. سپس برای انجام آزمایش‌های مورد نظر با توجه به استانداردهای ASTM و ISRM نمونه‌ها آماده شدند. سختی تابعی از عوامل ذاتی مانند نوع کانی‌های تشکیل دهنده، ابعاد دانه‌ها، مقاومت و رفتار الاستیک و پلاستیک سنگ‌ها می‌باشد. ترکیب و واکنش بین این عوامل، تعیین کننده‌ی میزان سختی یک سنگ است (Malomo, 1980). برای بدست آوردن میزان مقاومت سنگ در صحرا از آزمایش چکش اشमित استفاده شد. انجام ۳۰ آزمون را انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM) پیشنهاد می‌کند که متوسط نتایج ۲۰ آزمونی که بیشترین عدد را نشان می‌دهد، سختی چکش اشमित را ارائه می‌دهد. برای آزمایش شاخص بار نقطه‌ای در این مطالعه (در حالت کلوخه‌ای) از استاندارد ASTM D5731 استفاده شده است. از هر نمونه سنگ با درجه مختلف هوازدگی سه کلوخه تهیه شد و شاخص بار نقطه‌ای با دوازده کلوخه‌ی سنگی در حالت مرطوب و با استفاده از روابط مربوطه میزان  $I(s)50$  اندازه‌گیری شد. برای آنالیز سرعت سیر موج که یکی از مهمترین و پرکاربردترین آزمایش‌های غیرمخرب است و به عنوان روشی آسان و اقتصادی در آزمایشگاه و صحرا برای ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی سنگ کاربرد دارد، استفاده شد. در مطالعه

حاضر از دستگاه التراسونیک پیشرفته مدل C327M با استاندارد ASTM D2845 استفاده شده است. آزمایش دوام وارفنگی با استاندارد ASTM D 4644-87 مورد استفاده قرار گرفت و این شاخص برای دو چرخه اندازه گیری شد. به منظور مطالعات سنگ شناسی، مقاطع نازک از هر نمونه با درجه هوازگی متفاوت تهیه گردیده و با میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شد و همچنین جهت اطلاع از ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) انجام گرفت.

سنگ شناسی

نتایج حاصل از مطالعه‌ی مقاطع نازک و آنالیز XRD نشان می‌دهد سنگ‌های مورد مطالعه شامل کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، آلکالی فلدسپات، موسکویت، دیکیت، آلبیت، آنورتوکلاز، آلیگوکلاز، کلدیریت، ایلمنیت، زیرکن، آپاتیت، موناژیت و مقادیر ناچیزی تورمالین به عنوان کانی‌های فرعی می‌باشد. بافت اصلی و عمومی سنگ گرانولار و در نمونه‌ی بسیار هوازده کاتاکلاستی تا گرانولار می‌باشد. در نمونه‌های هوازده میزان خردشدگی کوارتز و سریسیتی شدن پلاژیوکلازها شدیدتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد. همچنین بدلیل هوازگی بیوتیت‌ها نیز به کلریت تجزیه شده اند. شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از گرانیت‌های شیرکوه با درجه هوازگی کم و زیاد را نشان می‌دهد.



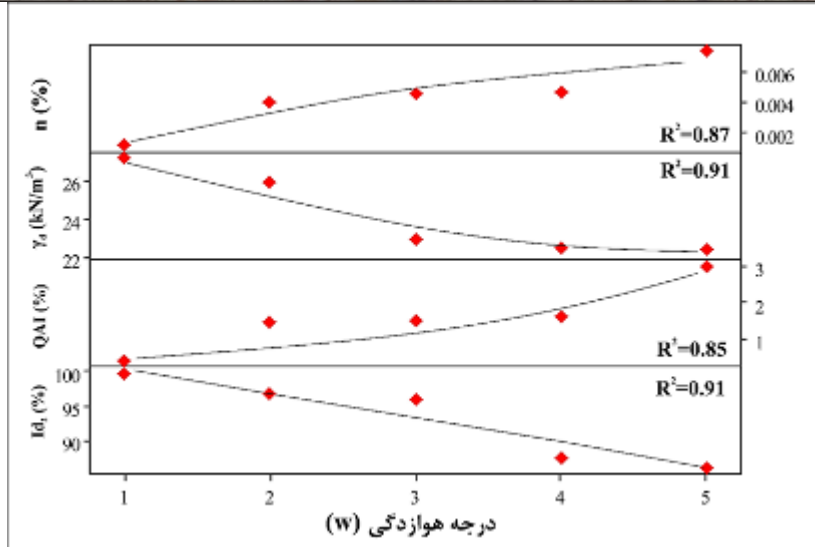
شکل ۲: تصاویر میکروسکوپی گرانیت مورد مطالعه. A: گرانیت تازه. B: گرانیت هوازده. QZ کوارتز، F فلدسپات، Bt بیوتیت، Sc سریسیت، Ch کلریت.

بحث:

#### ارتباط شاخص‌های فیزیکی و مکانیکی با درجه هوازگی

شکل ۳ نمودار تغییرات بین خصوصیات فیزیکی و درجه هوازگی سنگ‌های گرانیتی شیرکوه را نشان می‌دهد. با افزایش درجه هوازگی خلل و فرج سنگ بدلیل هوازگی افزایش و در پی آن تخلخل سنگ نیز افزایش یافته است. از آنجایی که هرچه فضای خالی سنگ‌ها افزایش یابد سنگ قابلیت جذب آب بیشتری را دارد، در نتیجه شاخص جذب آب با تخلخل و همچنین درجه هوازگی رابطه‌ی مستقیمی داشته و شاخص کمی مناسبی برای تخمین میزان درجه هوازگی سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به این نکته که هرچه درجه هوازگی سنگ‌ها افزایش یابد و تراکم آنها کاهش می‌یابد در نتیجه میزان دانسیته‌ی خشک سنگ نیز کاهش می‌یابد که این امر در ارتباط با این مطالعه نیز مشهود است. براساس نتایج بدست آمده میزان شاخص دوام چرخه دوم با درجه هوازگی، رابطه‌ی عکس دارد به این معنی که با افزایش میزان شاخص دوام، دوام سنگ کاهش می‌یابد.

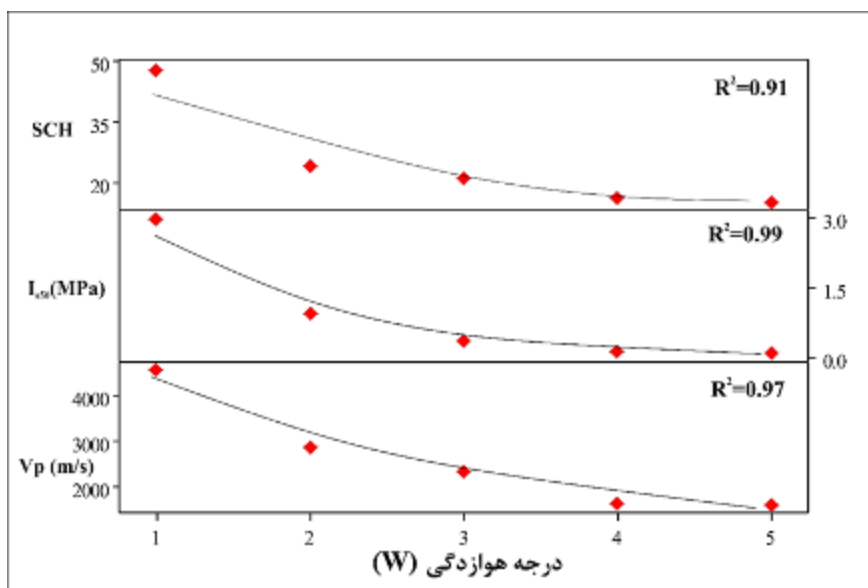




شکل ۳: نمودار تغییرات تخلخل (n)، دانسیته‌ی خشک ( $\gamma_d$ )، شاخص جذب آب (QAI) و شاخص دوام وارفتگی ( $Id_2$ ) نسبت به درجه‌ی هوازدگی

چکش اشمیت معیار مناسبی برای تعیین سختی سنگ است. مفهوم سختی تا حدودی معرف میزان مقاومت سنگ می‌باشد و برای توصیف رفتار سنگ‌ها بکار می‌رود. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود میزان سختی اندازه‌گیری شده توسط چکش اشمیت با درجه هوازدگی سنگ رابطه‌ی معکوس با همبستگی زیادی را نشان می‌دهد. تشکیل کانی‌های ثانویه سست از قبیل کانی‌های گروه میکا در اثر هوازدگی در سنگ‌های مورد مطالعه علت اصلی مشاهده روند مذکور است.

بطور کلی هرچه سنگ متراکم‌تر، فاقد هوازدگی و درز و شکستگی و تخلخل کمتری داشته باشد، سرعت عبور موج در آن بیشتر است. فضاهای خالی در سنگ‌هایی که درجه هوازدگی زیاد، درز و شکستگی و تخلخل زیاد دارند موجب کاهش سرعت عبور موج می‌شوند. در این مطالعه نیز این مطلب به خوبی دیده می‌شود. بطوریکه تغییر درجه هوازدگی از رده سالم به رده شدیداً هوازده موجب افت ۳ برابری سرعت سیر موج شده است (شکل ۴).

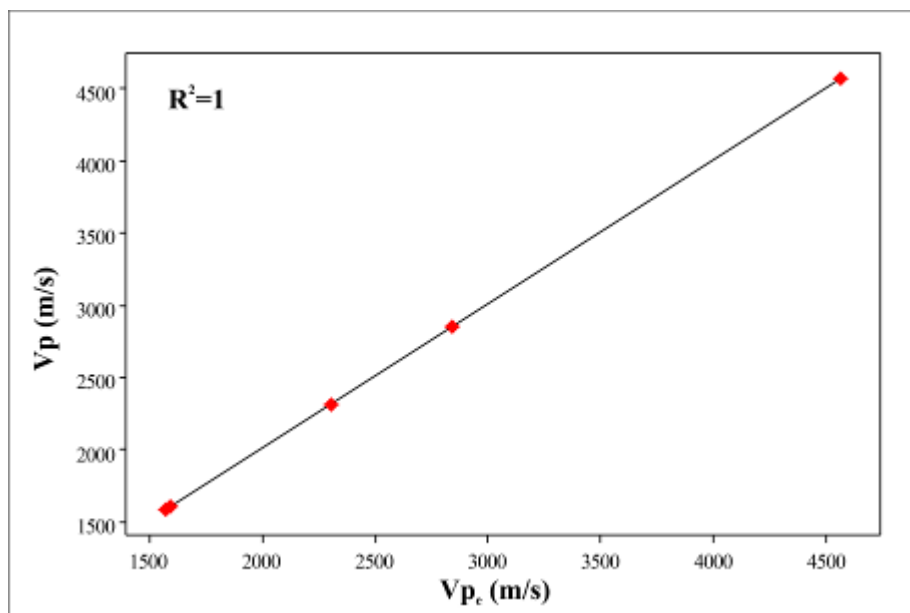


شکل ۴: نمودار بین شاخص‌های مکانیکی سختی چکش اشمیت (SCH)، شاخص بار نقطه‌ای ( $I_{s50}$ ) و سرعت سیر موج ( $V_p$ ) و درجه هوازدگی سنگ‌های گرانیتی شیرکوه

شاخص بار نقطه ای، شاخصی مناسب برای بیان تغییر رفتار سنگ و مقاومت آن در اثر هوازدگی می باشد. یکی از روش ها برای اندازه گیری مقاومت کششی سنگ بصورت غیر مستقیم استفاده از این شاخص است. با افزایش هوازدگی میزان شاخص بار نقطه ای نیز کاهش محسوسی داشته است. عمده افت مشاهده شده مربوط به واپاشی فیزیکی سنگ ها در اثر هوازدگی می باشد.

در این مطالعه بین پارامتر سرعت سیر موج و پارامترهای سختی چکش اشمیت، شاخص بار نقطه ای، شاخص دوام و تخلخل سنگ با استفاده از نرم افزار Minitab آنالیز چند متغیره انجام گرفته است و میزان سرعت سیر موج تخمین زده شده است. رابطه استخراج شده در ذیل ارائه شده است. همچنین در شکل ۵ همبستگی بسیار قوی و کامل بین سرعت سیر موج نمونه های مورد مطالعه و سرعت سیر موج تخمین زده شده با رابطه بدست آمده قابل مشاهده است.

$$V_{pe} \text{ (m/s)} = -4201 + 31924 n \text{ (\%)} - 15.1 SCH + 958 I_{s50} + 66.1 Id_2 \quad \text{(رابطه ۱)}$$



شکل ۵: نمودار همبستگی بین سرعت سیر موج نمونه ها (Vp) و سرعت سیر موج تخمین زده (V<sub>pe</sub>) حاصل از روابط چند متغیره

#### نتیجه گیری:

با افزایش درجه هوازدگی سنگ های گرانیتی شیرکوه میزان تخلخل و مقدار جذب آب در سنگ بصورت صعودی افزایش می یابند. با توجه به روابط بدست آمده، ارتباط بین تخلخل، دانسیته ی خشک، سختی چکش اشمیت و سرعت سیر موج با درجه هوازدگی از طریق یک تابع لگاریتمی با ضریب تعیین قابل توجه، قابل بررسی است. شاخص جذب آب سریع و شاخص بار نقطه ای رابطه ای نمایی با درجه هوازدگی داشته و همبستگی خوبی نشان می دهند. همچنین ارتباط بین شاخص دوام و وارفتگی و درجه هوازدگی با یک تابع خطی قابل بیان است. استفاده از آنالیز چند متغیره خطی در تخمین سرعت سیر موج در سنگها با استفاده از پارامترهای سختی چکش اشمیت، شاخص بار نقطه ای، شاخص دوام و تخلخل سنگ بسیار موفق بوده و ارتباط کاملاً معنی داری با ضریب تعیین برابر با ۱ برقرار شده است.

- احمدی کافشانی، علی. ۱۳۹۲. مطالعه‌ی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی گرانیت شیرکوه (جنوب غربی شهرستان یزد). پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه یزد، ۲۰۱ ص.
- خانلری و همکاران، ۱۳۸۹. زمین‌شناس مهندسی و ژئوتکنیک. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
- رسولی و همکاران، ۱۳۸۹. ارتباط خصوصیات مکانیکی با ویژگی‌های کانی‌شناسی گرانیت‌های بروجرد، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.
- زارعی سهامیه، ر. و امینی، ص. ۱۳۸۰. پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد. نشریه‌ی علوم دانشگاه تربیت مدرس. (۱)۱.
- شیبی، م. و اسماعیلی، د. ۱۳۸۸. پترورنز گرانیتوئیدهای پرآلومین شیرکوه (جنوب غرب یزد). مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۵(۳)، ۷۱-۸۳.
- فهیمی‌فر، ا. سروش، ح. ۱۳۸۰. آزمایش‌های مکانیک سنگ مبانی نظری و استانداردها، شرکت سهامی آزمایشگاه فنی مکانیک خاک، ۷۱۰ ص.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the zagros orogenic belt of iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238, doi: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- Aldeeky, H. & Hattamleh, O.A., 2018. Prediction of Engineering Properties of Basalt Rock in Jordan Using Ultrasonic Pulse Velocity Test. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 3511-3525.
- Basu, A. & Aydin, A. 2006. Evaluation of ultrasonic testing in rock material characterization. *Geotechnical Testing Journal*, 29, 117-125.
- CERYAN, Ş., 2007. New Chemical Weathering Indices for Estimating the Mechanical Properties of Rocks: A Case Study from the Kürtün Granodiorite, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 187-207.
- Chiu, C.F. & Ng, C.W.W., 2014. Relationships between chemical weathering indices and physical and mechanical properties of decomposed granite. *Engineering Geology*, 179, 76-89, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.06.021>.
- Crosta, G., 1998. Slake durability vs ultrasonic treatment for rock durability determinations. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 35, 815-824.
- E, A. & A, T., 2001. Weathering and its relation to geomechanical properties of Cavusbasi granitic rocks in northwestern Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60, 123-133, doi: 10.1007/s100640000091.
- Förster, H., 1978. Mesozoic–cenozoic metallogenesis in Iran. *Journal of the Geological society*, 135, 443-455.
- Franklin, J. & Chandra, R., 1972. The slake-durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. Elsevier, 325-328.
- Gupta, A.S. & Rao, S.K., 2001. Weathering indices and their applicability for crystalline rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60, 201-221, doi: 10.1007/s100640100113.
- Khanlari, G.R., Heidari, M. & Momeni, A.A., 2012. Assessment of weathering processes effect on engineering properties of Alvand granitic rocks (west of Iran), based on weathering indices. *Environmental Earth Sciences*, 67, 713-725, doi: 10.1007/s12665-011-1518-6.
- Kim, S. & Park, H.-D., 2003. The relationship between physical and chemical weathering indices of granites around Seoul, Korea. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 207-212, doi: 10.1007/s10064-003-0192-7.
- Liu, J.-C., Sue, M.-L. & Kou, C.-H., 2009. Estimating the strength of concrete using surface rebound value and design parameters of concrete material. *Journal of Applied Science and Engineering*, 12, 1-7.
- Malomo, S., 1980. Abrasive pH of feldspars as an engineering index for weathered granite.
- Ohta, T. & Arai, H., 2007. Statistical empirical index of chemical weathering in igneous rocks: A new tool for evaluating the degree of weathering. *Chemical Geology*, 240, 280-297, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.02.017>.
- Reyre, D. & Mohafez, S., 1972. A first contribution of the NIOC-ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology. Editions Technip Paris.
- Ruxton, B.P., 1968. Measures of the Degree of Chemical Weathering of Rocks. *The Journal of Geology*, 76, 518-527, doi: 10.1086/627357.

- Sheibi, M., Esmaily, D., Nédélec, A., Bouchez, J.L. & Kananian, A., 2010. Geochemistry and petrology of garnet-bearing S-type Shir-Kuh Granite, southwest Yazd, Central Iran. *Island Arc*, 19, 292-312.
- Smith, H.J., 1997. The point load test for weak rock in dredging applications. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34, 295. e291-295. e213.
- Tuğrul, A. & Zarif, I.H., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology*, 51, 303-317, doi: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00071-4).
- Ulusay, R., 2014. *The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007-2014*. Springer.

## مروری بر روش‌های ارزیابی فرونشست زمین با در نظر گیری معیارهای تخمین خرابی

زهرا یزدی<sup>۱\*</sup>، حامد نیرومند<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

<sup>۲</sup> فوق‌دکتری، استادیار، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

[Yazdizahra96@gmail.com](mailto:Yazdizahra96@gmail.com)

### چکیده:

رشد سریع جمعیت و نیاز روزافزون به آب شیرین، منجر به حفر چاه‌های جدید و استخراج بیش از حد مجاز از منابع آب‌های زیرزمینی گردیده که این عمل، نوسانات و افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن را به دنبال خواهد داشت. این پدیده می‌تواند در مقیاس‌های بزرگ و به دلایل گوناگونی روی داده و منجر به خرابی شود. پایش، مکان‌یابی و اندازه‌گیری میزان فرونشست می‌تواند با روش‌های نوین همچون نقشه‌برداری و دورسنجی انجام پذیرد. در این پژوهش، با مطالعه و جمع‌بندی مقالات و گزارش‌های علمی و روش‌های مقایسه‌ای، پدیده فرونشست در برخی از کشورهای درگیر بررسی شده است. نتایج این بررسی نشان داد که با روش‌های کنونی نمی‌توان پدیده فرونشست را مهار نمود. هدف از این پژوهش، بررسی معیارهای خرابی حاصل از فرونشست زمین از دیدگاه محققین جهت پیش‌بینی و جلوگیری از توسعه فرونشست است. به نظر می‌رسد یکی از مؤثرترین روش‌های جلوگیری از فرونشست زمین، توقف برداشت آب‌های زیرزمینی و تزریق آب به داخل سفره آب زیرزمینی یا تغذیه مصنوعی می‌باشد. این مطالعه به دلیل وقوع خسارات زیاد ناشی از فرونشست از دیدگاه گسترده بودن وقوع این پدیده به بررسی فرونشست می‌پردازد.

کلیدواژه: فرونشست زمین، تغییرات سطح آب زیرزمینی، معیار خرابی، دشت‌های ایران

## An Overview of Land Subsidence Assessment Methods by Considering Criteria for Estimating Failure

Zahra Yazdi<sup>1\*</sup>, Hamed Niroumand<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Department of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

<sup>2</sup> Post-Doc, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

### Abstract

Rapid population growth and increasing need for fresh water have led to the drilling of new wells and the excessive extraction of groundwater resources, which will lead to severe fluctuations in groundwater levels and their consequences. This phenomenon can occur on a large scale for a variety of reasons and can lead to failure. Monitoring, locating and measuring the amount of subsidence can be done with new methods such as mapping and do remote sensing. In this study, by studying and summarizing scientific articles and reports and comparative methods, the phenomenon of subsidence has been studied in some countries involved. The results of this study showed that current methods cannot control the subsidence phenomenon. The purpose of this study is to investigate the criteria for failure of land subsidence from the perspective of researchers to predict and prevent the development of subsidence. One of the most effective ways to prevent landslides seems to be to stop draining groundwater and injecting water into the groundwater aquifer or artificial feeding. This study examines depression due to the widespread damage caused by subsidence from the perspective of the widespread occurrence of this phenomenon.

مقدمه:

رشد جمعیت و نیاز به گسترش صنعت و کشاورزی، عاملی تأثیرگذار در افت سطح آب‌های زیرزمینی است که بدین سبب شهرهای زیادی در جهان، دچار فرونشست ناشی از کاهش سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشند. در ایران در پی خشک‌سالی‌های مکرر با افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در نواحی خشک و نیمه خشک مرکزی، پدیده فرونشست مشاهده می‌شود که منجر به ایجاد تهدیدات و خسارات در نواحی مسکونی شده است (شریفی کیا، ۱۳۸۹).

فرونشست در واقع نشست رو به پایین، آرام و غیرقابل بازگشت سطح زمین است که می‌تواند خسارات اقتصادی جبران ناپذیر را منجر شود. فرونشست زمین، پدیده‌ای پیچیده همراه با دلایلی متعدد و تأثیرات مختلف ناشی از آن بر طبیعت می‌باشد. به‌طور کلی بر اساس اعلام آیین‌نامه معادن آمریکا (USGS, 2017)، زمانی که در اثر حذف شدن تکیه گاه‌های زیرزمینی، تراز آب زیرزمینی در یک ناحیه به آرامی پایین می‌رود فرونشست رخ داده است. عوامل گوناگونی در حذف شدن تکیه‌گاه‌های زیرزمینی تأثیر گذار هستند که از آن جمله می‌توان به وجود رسوبات تحکیم‌نیافته گوناگون در ساختار آبخوان‌ها (2011 Galloway) و کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی به دلیل استخراج بی‌رویه از آن نام برد (Budhu, 2010). هنگامی که لایه‌های خاک، قابلیت متراکم شدن غیرقابل بازگشت (همانند رس و سیلت) داشته باشند، در اثر برداشت آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ای که دارای این لایه می‌باشد، خطر وقوع فرونشست اجتناب ناپذیر است. بنابراین برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از آبخوان را می‌توان به‌عنوان اصلی‌ترین عامل مؤثر در فرونشست زمین بشمار آورد (Martinez, 2015). جدول (۱) خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده برای تعیین میزان فرونشست در نقاط مختلف ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۱: نرخ فرونشست سالانه زمین در برخی از دشت‌های ایران

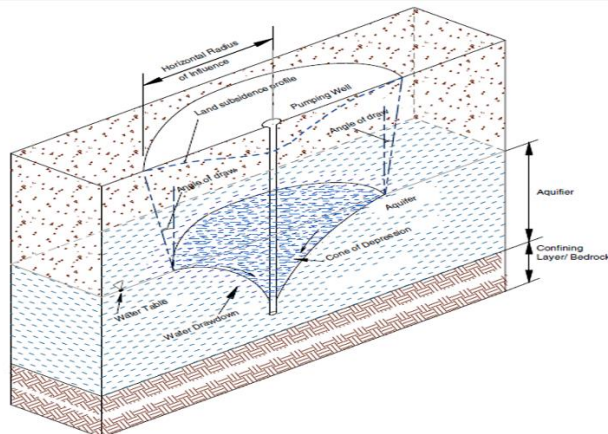
موقعیت	نرخ فرونشست (سانتی‌متر)	بازه زمانی	منبع
دشت قزوین	۴	۲۰۰۳ - ۲۰۱۰	بابایی و همکاران، ۱۳۹۵
دشت همدان	۶	۲۰۰۳ - ۲۰۰۷	شیخ احمدی و همکاران، ۱۳۹۵
دشت شبستر-آذربایجان شرقی	۵۰	۱۳۶۵ - ۱۳۸۸	زینالی و همکاران، ۱۳۸۸
دشت جعفرآباد-قم	۲۴/۵	۲۰۰۳ - ۲۰۱۰	حاجب و همکاران، ۱۳۹۷
دشت قنات-قم	۱۹/۶	۲۰۰۳ - ۲۰۱۰	حاجب و همکاران، ۱۳۹۷
دشت کوه‌دشت-لرستان	۷	۲۰۰۳ - ۲۰۱۰	شریفی، ۱۳۹۴
دشت سمنان	۱۳/۳	۱۳۸۲ - ۱۳۸۳	حداد، ۲۰۱۹
دشت خرمدره-زنجان	۷	۲۰۰۳ - ۲۰۰۵	احمدی و همکاران، ۱۳۹۴
دشت دامغان	۱۴	۲۰۱۰ - ۲۰۱۱	شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۴
دشت کاشان	۴/۳	۲۰۰۳ - ۲۰۰۸	قاضی فرد و همکاران، ۱۳۹۰
دشت نیشابور	۱۶	۲۰۰۴ - ۲۰۰۵	دهقانی، ۲۰۱۹
دشت اردکان یزد	۱۲	۲۰۰۳ - ۲۰۰۶	Amighpey and arabi., ۲۰۱۶
دشت نوق، بهرمان	۳۰	۱۳۸۴ - ۱۳۸۹	شریفی کیا، ۱۳۹۱
دشت شهریار	۲۸	۱۳۷۱ - ۱۳۹۲	پیروزی، ۱۳۹۲
دشت مهیار	۸/۲	۲۰۰۳ - ۲۰۰۶	صالحی، ۱۳۹۱

یکی دیگر از کشورهای درگیر فرونشست در جهان، آریزونا در ایالات‌متحده آمریکا است. تراز آب زیرزمینی از دهه ۱۹۴۰ در این ناحیه تحت افت شدید است که علتی برای وقوع ترک و درزه‌هایی روی سطح زمین می‌باشد. در جنوب غربی آریزونا، در طی یک بازه زمانی ۹ ساله و طی سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۴ بیشترین مقدار فرونشست زمین، ۱۲ سانتی‌متر در سال گزارش شده است (Conway et al., 2016). فرونشست بر اثر استخراج بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افت شدید سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی در دشت شانگهای در چین در دو مرحله قابل رویت بود. مرحله اول در یک دوره ۹ ساله طی

سال‌های ۱۹۵۶ الی ۱۹۶۵ فرونشستی با نرخ ۸۳ میلی‌متر در سال و مرحله دوم در یک دوره ۸ ساله طی سال‌های ۱۹۹۰ الی ۱۹۹۸ میزان فرونشستی با نرخ ۱۶ میلی‌متر در سال را تجربه نمود (Ye et al., 2014 ; Wu et al., 2010). طی مطالعات صورت گرفته در دشت بانکوک در تایلند در اثر برداشت آب زیرزمینی از چاه‌های حفاری شده، فرونشست در یک بازه زمانی ۳۵ ساله رخ داده است. در دهه ۱۹۸۰، میزان فرونشست به بیشترین مقدار خود که برابر ۱۲۰ میلی‌متر در سال بوده است رسید. مشخص گردید که در ازای هر ۱ مترمکعب برداشت از آب زیرزمینی، نشست معادل با ۰/۱ مترمکعب رخ داده است (Phien et al., 2006).

#### حالت‌های فرونشست:

وقوع پدیده فرونشست در مناطق مستعد، با ایجاد تغییر شکل و جابه جایی در سطح زمین با الگوی V شکل به صورت یک کاسه نشست همراه است. شکل حقیقی کاسه نشست تابعی از دو عامل شرایط زمین شناسی منطقه و محدوده استخراج آب زیرزمینی می باشد که پهنه آن در بازه های زمانی متفاوت، قابل تغییر است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، پروفیل نشست در پی کاهش سطح ایستابی سفره های آب زیرزمینی، مطابق شکل (۱) خواهد بود (Ren et al., 2014).



شکل ۱: تغییر شکل‌های ایجاد شده در زمین تحت اثر افت سطح آب زیرزمینی (Ren et al., 2014)

حالت‌های فرونشست و مجموعه حرکت‌های زمین شامل نشست قائم، غیریکنواخت، چرخش و کرنش‌های افقی می باشد از میان آن‌ها نشست قائم، متغیر مؤثرتری برای توصیف حرکت زمین در برابر نشست می‌باشد که مقدار آن به صورت قائم از سطح اولیه زمین تا سطح تغییر شکل یافته اندازه‌گیری می‌شود و عموماً این نشست همراه با خرابی نیست اما هنگامی که محدوده وقوع نشست قائم در مجاور یک محدوده آبی مانند دریاچه‌ها قرار بگیرد، احتمال خطر وقوع سیل در ناحیه اجتناب ناپذیر می‌باشد (Viets., 2010). اگر میزان فرونشست در منطقه ای با وسعت کم تشدید یابد، حرکت چرخشی زمین نیز گسترش می‌یابد که در این حالت، نقاط روی سطح زمین در داخل کاسه نشست جابه جا می‌شوند و به سمت مرکز کاسه نشست تغییر مکان افقی پیدا می‌کنند که طی این حرکت خرابی‌هایی حاصل می‌گردد. برای ارزیابی میزان خرابی‌های وارده، باید حرکت چرخشی را در دو وضعیت برای جسم صلب و نشست غیریکنواخت در نظر گرفت (Viets., 2010). درزه‌ها و شکاف‌های ناشی از فرونشست، زمانی در سطح زمین ظاهر می‌شوند که کرنش‌های کششی بزرگی در این زمان حاصل شود. در یک پروفیل نمایان از کاسه نشست، قسمت میانی آن تحت فشار و قسمت بیرونی این کاسه در کشش است. اتخاذ روش‌های متناسب و همینطور نحوه تشخیص خرابی‌های ناشی از فرونشست زمین امری دشوار است؛ زیرا خرابی‌های حاصل از آن در

ابتدای وقوع شدید نبوده و در طی یک دوره زمانی طولانی مدت اتفاق می‌افتند و در صورت ادامه داشتن این روند برای فرونشست، احتمال خسارت جدی به ابنیه فنی وجود دارد.

همچنین ضرورت دارد که پیش از طراحی سازه‌ها، مقادیر نشست پیش‌بینی شده کنترل گردد تا میزان نشست حاصله از مقدار مجاز آن تجاوز نکند. در این زمینه افرادی همچون ترزاقی، ۱۹۲۵ و اسکمپتون، ۱۹۵۶ در پی آن، مقادیر مجازی که تحت تاثیر عوامل متعددی هستند را جهت محدودسازی نشست‌های غیریکنواخت، ارائه دادند. جهت تخمین میزان خسارت و خرابی‌های وارد بر سازه‌ها باید میزان جابه‌جایی‌های مجاز سازه‌ها تعیین شود. مطابق با مطالعات صورت گرفته توسط اسکمپتون و مک‌دونالد، ۱۹۵۶ می‌توان میزان خرابی ساختمان‌ها را در دسته سازه‌ای، کاربردی و معماری قرار داد. خرابی سازه‌ای قادر است تا پایداری کل سازه را مختل کند که عموماً این خرابی با ایجاد چرخش‌هایی در اعضای اصلی سازه مربوطه مانند تیرها، ستون‌ها و دیوارهای باربر همراه است و خرابی کاربردی رویکرد سازه را تغییر داده و با وقوع ترک‌های گسترده در این نوع از خرابی موجب ایجاد اختلال‌هایی غیر سازه‌ای در نوع عملکرد کل سازه می‌شود.

در خرابی معماری سبب ایجاد تغییرات بر زیبایی و ظاهر سازه‌ها گردیده و منجر به بروز درزه‌ها و ترک‌هایی در سطوح دیوارها یا کف‌ها می‌شود. برای دیوارهای گچی عرض ترک‌ها بیش از ۰/۵ میلی‌متر و برای دیوارهای بتنی عرض ترک‌ها بیش از ۱ میلی‌متر خواهد بود (O'Rourke et al., 1976; Burland et al., 1977). میرهوف، ۱۹۵۶ مقادیر حداکثر اعوجاج زاویه‌ای را برای ساختمان‌های دارای قاب سازه‌ای و ساختمان‌های با دیوارهای باربر آجری به‌صورت جدول (۲) ارائه داده است.

جدول ۲: مقادیر پیشنهادی میرهوف برای حداکثر اعوجاج زاویه‌ای سازه‌ها (Meyerhof, ۱۹۵۶)

نوع سازه	حداکثر اعوجاج زاویه‌ای
سازه‌های با دیواره باربر آجری	$\frac{1}{100}$
قاب‌های باز	$\frac{1}{250}$
قاب‌های توپر	$\frac{1}{500}$

بیروم، ۱۹۶۳ در این زمینه، جدول (۳) را ارائه داده است.

جدول ۳: نتایج تحقیقات بیروم در زمینه معیارهای آسیب ساختمان‌ها (Bjerrum, 1963)

اعوجاج زاویه‌ای	آسیب	اعوجاج زاویه‌ای	آسیب
$\frac{1}{750} >$	ایجاد اختلالات در دستگاه‌های حساس به نشست	$\frac{1}{200} >$	ایجاد اولین ترک‌خوردگی
$\frac{1}{600} >$	احتمال آسیب به قاب‌های سازه‌ای دارای المان مورب	$\frac{1}{250} >$	ایجاد کج شدگی در ساختمان‌های مرتفع
$\frac{1}{500} >$	عدم ترک در ساختمان	$\frac{1}{150} >$	احتمال آسیب سازه‌ای

برلند و همکاران، ۱۹۷۷ به دنبال نتایج تحقیقات جنینگزو کریچ، ۱۹۶۲ و مک‌لد و لیتلجان، ۱۹۷۴ در زمینه تخمین خرابی‌ها، نوعی طبقه‌بندی را بر مبنای عرض ترک‌های ایجاد شده در سازه، ارائه کردند که در جدول (۴) نشان داده شده است.



بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۴: دسته‌بندی خرابی بر مبنای عرض ترک (Burland, 1977)

عرض ترک (mm)	شرح خرابی	درجه خرابی
< 0.1	ایجاد ترک‌های جزئی	قابل چشم‌پوشی
< 1	ایجاد ترک‌های ریزی در دیوارهای داخلی که با انجام نازک‌کاری رفع می‌گردد	بسیار ناچیز
< 5	ایجاد ترک‌هایی که به‌آسانی پر می‌شوند به همراه چندین شکست جزئی که داخل سازه قابل‌رویت است	ناچیز
5 - 15	ایجاد ترک‌های زیاد و آسیب متوسط شامل ترک‌هایی که نیاز به پر شدگی، بازسازی و ترمیم دارند	متوسط
15 - 25	آسیب شدید شامل ایجاد ترک‌های بزرگی در دیوار که نیازمند تعمیرات اساسی در بخشی از دیوار یا کل آن بوده و همینطور ایجاد اختلالات در رویکردهای ساختاری سازه	شدید
> 25	آسیب بسیار شدید و اغلب نیازمند بازسازی کامل و خطر گسیختگی کامل سازه	بسیار شدید

تربن و هاتچسون، ۱۹۸۵ جدول (۵) را برای تعیین درجه خرابی در انواع سازه‌ها بر مبنای عرض ترک در دیوارها ارائه کردند.

جدول ۵: حدود سرویس‌دهی بر اساس عرض ترک (Thorburn et al., 1985)

عرض ترک (mm)	درجه خرابی			تأثیر بر سازه و کاربری آن
	ساختمان صنعتی	ساختمان تجاری و یا عمومی	ساختمان مسکونی	
< 0.1	غیر مهم	غیر مهم	غیر مهم	هیچ
0.1 - 0.3	غیر مهم	بسیار ناچیز	بسیار ناچیز	هیچ
0.3 - 1	بسیار ناچیز	ناچیز	ناچیز	زیبایی
1 - 2	بسیار ناچیز	ناچیز تا متوسط	ناچیز تا متوسط	تسریع هواز دگی
2 - 5	ناچیز	متوسط	متوسط	خدمات‌رسانی ساختمان تحت تأثیر قرار می‌گیرد و امکان دارد پایداری سازه را تهدید کند
5 - 15	متوسط	متوسط تا شدید	متوسط تا شدید	افزایش ریسک خطر در ساختمان
15 - 25	متوسط تا شدید	متوسط تا شدید	شدید تا بسیار شدید	
> 25	شدید تا خطرناک	شدید تا خطرناک	بسیار شدید تا خطرناک	

رنکین، ۱۹۸۸ درجات خرابی مختلف برای ساختمان‌ها را بر اساس حداکثر شیب زمین و حداکثر نشست ساختمان به صورت جدول (۶) و بوسکاردین و کردینگ، ۱۹۸۹ جدول (۷) را تحت عنوان روابط میان درجه خرابی و کرنش کششی ارائه دادند.

جدول ۶: حداکثر نشست و شیب در ارزیابی ریسک خرابی ساختمان (Rankin, 1988)

درجه خرابی	میزان خرابی	حداکثر شیب زمین	حداکثر نشست ساختمان (mm)
۰	قابل چشم‌پوشی		
۱	بسیار ناچیز	$< \frac{1}{500}$	< 10
۲	ناچیز	$\frac{1}{500} - \frac{1}{200}$	10 - 50
۳	متوسط	$\frac{1}{200} - \frac{1}{50}$	50 - 75
۴	شدید	$\frac{1}{200} - \frac{1}{50}$	> 75
۵	بسیار شدید	$> \frac{1}{50}$	> 75

جدول ۷: رابطه درجه خرابی و حد کرنش کششی (Boscardin and Cording, 1989)

درجه خرابی	میزان خرابی	کرنش کششی (درصد)
۰	قابل چشمپوشی	۰ - ۰/۰۵
۱	بسیار ناچیز	۰/۰۵ - ۰/۷۵
۲	ناچیز	۰/۷۵ - ۰/۱۵
۳	متوسط	۰/۱۵ - ۰/۳
۴ و ۵	شدید و بسیار شدید	> ۰/۳

برلند و همکارانش، ۱۹۹۵ مقدار نشست کلی و حداکثر شیب و نشست را مطابق جدول (۸) ارائه دادند.

جدول ۸: حداکثر نشست کلی و شیب ساختمان (Burland et al., 1995)

خطر	حداکثر نشست ساختمان (mm)	حداکثر شیب نشست
بسیار ناچیز	> ۱۰	$\frac{1}{500}$
ناچیز	۱۰ - ۵۰	$\frac{1}{500} - \frac{1}{200}$
متوسط	۵۰ - ۷۵	$\frac{1}{200} - \frac{1}{50}$
شدید	> ۷۵	$\frac{1}{50}$

دی، ۱۹۹۰ و ۱۹۹۸ بر مبنای عرض ترک‌های حاصله در سازه، شدت خرابی را در قالب جدول (۹) ارائه نمود.

جدول ۹: شدت خرابی ناشی از ترک‌ها و نشست (Day, 1998)

میزان خرابی	شرح خرابی	عرض ترک (mm)	نشست غیریکنواخت (cm)	اعوجاج زاویه‌ای
قابل چشمپوشی	ایجاد ترک‌های جزئی	< ۰/۱	< ۳	$\frac{1}{300} <$
بسیار ناچیز	شامل ترک‌های ریزی که با نازک‌کاری قابل رفع شدن هستند.	۱	۳ - ۴	$\frac{1}{300} - \frac{1}{240}$
ناچیز	ایجاد آسیب کم، چندین شکست جزئی و نیاز به تعمیر سطحی.	۳	۴ - ۵	$\frac{1}{240} - \frac{1}{175}$
متوسط	ایجاد ترک‌های زیاد و آسیب متوسط توسط ترک‌ها که نیاز به تعمیرات دارند.	۵ - ۱۵	۵ - ۸	$\frac{1}{175} - \frac{1}{120}$
شدید	ایجاد ترک‌های زیاد و آسیب شدید توسط ترک‌ها که نیازمند ترمیم و تعمیرات اساسی دارند.	۱۵ - ۲۵	۸ - ۱۳	$\frac{1}{120} - \frac{1}{70}$
بسیار شدید	ایجاد آسیب بسیار شدید و اغلب نیاز به بازسازی کامل، از بین رفتن مقاومت در کل سازه	> ۲۵	> ۱۳	$\frac{1}{70} >$

مارش و همکاران، ۱۹۹۹ تخمین خرابی را بر مبنای عرض ترک حاصل شده در سازه به صورت جدول (۱۰) ارائه دادند.

جدول ۱۰: تخمین خرابی بر اساس نشست (Marsh, 1999)

عرض ترک (mm)	اعوجاج زاویه‌ای	نشست (in)	سطح خرابی
۰/۲۵	$\frac{1}{240} - \frac{1}{220}$	< ۱/۱	قابل چشم‌پوشی
۰/۵	$\frac{1}{240} - \frac{1}{220}$	۱ - ۱/۷۵	ناچیز تا کم
۱ - ۲	$\frac{1}{180} - \frac{1}{160}$	۱/۵ - ۲/۵	کم تا متوسط
۲ - ۳	$\frac{1}{130} - \frac{1}{110}$	۲/۵ - ۴	متوسط
۵ - ۱۰	$\frac{1}{100} - \frac{1}{80}$	۴ - ۶	متوسط تا شدید
۱۵ - ۲۰	$\frac{1}{80} - \frac{1}{50}$	۶ - ۱۰	شدید
> ۲۵	$\frac{1}{50} - \frac{1}{30}$	> ۱۰	بسیار شدید

### نتیجه‌گیری

در پی وقوع پدیده فرونشست و خرابی‌های حاصل از آن، جهت ارزیابی خسارت‌های وارده بر سازه‌ها، ضروری است که میزان تغییر مکان‌های مجاز سازه‌ها تعیین شود. مطابق با تحقیقات صورت گرفته محققین متعدد، این نتیجه به دست آمد که جهت حفظ ایمنی، پایداری سازه و عدم ایجاد اختلال در کاربری ساختمان‌ها، حداکثر مقادیر نشست غیریکنواخت پی، عرض ترک

ناشی از نشست و اعوجاج زاویه‌ای نباید به ترتیب از مقادیر ۵۰ میلی‌متر، ۵ میلی‌متر و  $\frac{1}{175}$  تجاوز نماید.

با توجه به مقادیر بالا تحت عنوان معیارهای خرابی، بدیهی است که توجه به پدیده فرونشست و خرابی‌های حاصل از آن امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و با توجه به عواملی همچون: زمان‌بر بودن روش‌های سنجش از راه دور فرونشست، دقت پایین آن‌ها و در دسترس نبودن اطلاعات دقیق در رابطه با وضعیت ژئوتکنیکی حاضر منطقه مستعد فرونشست، امکان تحلیل وضعیت کنونی و پیش‌بینی پدیده فرونشست در آینده را به درستی ایفا نمی‌کند لذا به روش‌هایی تحت رویکردهایی با قابلیت بالا همچون: دقت، برخط بودن، چند منظوره بودن و... همچون سیستم مونیترینگ تراز آب زیرزمینی و فرونشست، نیاز بیشتری محسوس است.

### منابع

احمدی، ن، ز، موسوی، ز، معصومی، ۱۳۹۴. مطالعه فرونشست دشت خرمدره زنجان با استفاده از تکنیک پراکنش کننده‌های پایدار.  
 بابایی، س، موسوی، ز، روستایی، م، ۱۳۹۵. آنالیز سری زمانی تصاویر راداری با استفاده از روش‌های طول خط مبنای کوتاه (SBAS) و پراکنش کننده‌های دائمی (PS) در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین. نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری.

پیروزی، ا.، ۱۳۹۲. بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی فرونشست خاکهای جنوب تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد.  
حاجب، ز.، موسوی، ز.، معصومی، ز.، رضایی، ا.، ۱۳۹۷. مطالعه فرونشست دشت قم با استفاده از تداخل سنجی راداری و ویژگی های هیدروژئولوژیکی آبخوان.  
حداد، ع.، خراسانی، ا.، ۲۰۱۹. اثر تغییرات سطح آب زیرزمینی بر فرونشست دشت تهران.  
دهقانی، مریم، ۱۳۹۶. پایش فرونشست در ایران به کمک تصاویر ماهواره ای، دومین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست شهر مشهد، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد - انجمن زمین شناسی مهندسی ایران.  
زینالی، ع.، نجیب، م.، حسن پور اقدم، م.، ۱۳۸۸. فرونشست زمین در دشت شبستر- صوفیان به دلیل افت سطح آب زیرزمینی.  
شرفی، م.، ۱۳۹۱. پایش پدیده فرونشست زمین در دشت کوهدهشت لرستان بر پایه تکنیک تداخل سنجی تفاضلی رادار، دانشگاه شهیدبهشتی.  
شریفی کیا، م.، ۱۳۸۹. بررسی پیامدهای ناشی از پدیده فرونشست در اراضی و دشت های مسکونی ایران، مجله انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد سوم، شماره ۳ و ۴، صفحه ۴۳ تا ۵۸.  
شریفی کیا، م.، ۱۳۹۱. تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق-بهرمان.  
شریفی کیا، م.، افضلی، ع.، شاپان، س.، ۱۳۹۴. استخراج و ارزیابی اثرات پدیده های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در دشت دامغان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲.  
شیخ احمدی، پ.، معتق، م.، اکبری، ب.، ۱۳۹۵. بررسی پدیده ی فرونشست زمین در دشت همدان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری تصاویر ماهواره ای. هشتمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران.  
صالحی، ر.، ۱۳۹۱. بررسی علل فرونشست زمین در دشت مهاباد جنوبی، دانشگاه فردوسی مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد.  
قاضی فرد، ا.، مصلحی بهارانچی، ع.، روستایی، م.، و صفایی، ه.، ۱۳۹۰. پایش فرونشست زمین در دشت کاشان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.

- Amighpey, M., and Arabi, S., 2016. Studying land subsidence in Yazd province, Iran, by integration of InSAR and levelling measurements, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 4, pp. 1-8.
- Bjerrum, L., 1963. Discussion, Wiesbaden, European Conference on Soil Mech and Found Eng.
- Boscardin, M.D., and Cording, E.G. 1989. Building response to excavation-induced settlement, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 115.
- Budhu, M., and Adiyaman, I. B., 2010. Mechanics of land subsidence due to groundwater pumping, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech*, Vol 34, 1459-1478.
- Burland J.B., and Wroth C.P., 1975. Settlement of Buildings and Associated Damage, Building Research Establishment Current Paper, Building Research Establishment, Watford.
- Burland, J. B., Broms, B. B., and de Mello, V. F. B., 1977. Behavior of foundations and structures. State-of-the-Art Report. Proc, 9th Int'l. Conf. on Soil Mech. and Found. Engr., II, Tokyo, Japan, pp. 495-546.
- Burland, J.B., 1995. Assessment of Risk of damage to Buildings due to Tunnelling and Excavations, Invited special lecture to IS-Tokyo '95, 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.
- Conway, B. D., 2016. Land subsidence and earth fissures in south-central and southern Arizona, USA, *Hydrogeol J*, vol. 24, pp. 649-655.
- Day, W., 1998. Ground-movement-related building damage, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 124, pp. 462-465.
- Galloway, D. L., and Burbey, T. J., 2011. Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction., *Hydrogeol. J.*, Vol 19, 1459-1486.
- Jennings, J. E., and Kerrich, J. E., 1962. The heaving of buildings and the associated economic consequences, with particular reference to the Orange Free State goldfields, *The Civ. Engr. in South Africa*, Vol. 4.

- MacLeod, I. A., and Littlejohn, G. S., 1974. Discussion of session 5. Proc. Conf. on Settlement of Structures, Pentech Press, London, England, pp. 792-795.
- Marsh, E. T., and Thoeny, S. A., 1999. Damage and distortion criteria for residential slab-on-grade structures, Journal of Performance of Constructed Facilities, vol.13, pp. 121-127.
- Martínez, J. P., Cabral-Cano, E., Wdowinski, S., Marín, M. H., Ortiz-Lozano, J. A., and Zermeñode-León, M. E., 2015. Application of InSAR and gravimetry for land subsidence hazard zoning in Aguascalientes, Mexico, Remote Sensing, Vol. 7, pp. 17035-17050.
- Meyerhof, G., 1956. Discussion on paper by Skempton, A. W. and MacDonald, D. H. The allowable settlements of buildings. Proc Inst Civ Engrs, Volume 5, p. 774.
- O'Rourke, T. D., Cording, E. J., and Boscardin, M., 1976. The ground movements related to braced excavation and their influence on adjacent structures, University of Illinois Report for U.S. Dept. of Transportation, Report No. DOT-TST-76T22.
- Phien-wej, N., Giao, P., and Nutalaya, P., 2006. Land subsidence in Bangkok, Thailand, Engineering Geology.
- Rankin, W.J., 1988. Ground Movements Resulting from Urban Tunnelling: Predictions and Effects, Engineering Geology of underground Movements, F.G. Bell et al. (eds), Geological Society, 82 -98 , London.
- Ren. G., Buckeridge, J., and Li, J., 2014. Estimating Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Unconfined Aquifers Using an Influence Function Method
- Terzaghi, K., 1925. Principles of soil mechanics, IV—Settlement and consolidation of clay, Engineering News-Record 95.3, pp. 874-878.
- Thorburn, S., and Hutchison, J.F., 1985. Underpiping, Surrey University Press, London.
- Viets, V.F., 2010. Environmental and economic effects of subsidence, Lawrence Berkeley national laboratory.
- Wu, J., Shi, X., Ye, S., Xue, Y., Zhang, Y., Wei, Z., and Fang, Z., 2010. Numerical simulation of viscoelastoplastic land subsidence due to groundwater overdrafting in Shanghai, China, Journal of Hydrologic Engineering, vol. 15, pp. 223-236.
- Ye, S., Lou, Y., Wu, J., Yan, X., Wang, H., Jiao, X., and Teatini, P., 2014. Three-dimensional numerical modeling of land subsidence in Shanghai, China, Hydrogeol J, vol. 24, pp. 695-709.

## معرفی پتانسیل های گردشگری با تأکید بر ژئوتوریسم در راین کرمان

بیتا قاسم شیرازی<sup>۱\*</sup>، لیدابخشنده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کهنوج، گروه زمین شناسی، کهنوج

<sup>۲</sup>سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

[bitashirazi49@yahoo.com](mailto:bitashirazi49@yahoo.com)

### چکیده:

امروزه رویکرد جهانیان به موضوع گردشگری طبیعت (اکوتوریسم) در حال گسترش است و روز به روز بر جذابیت این شاخه از گردشگری افزوده می شود. در همین راستا شاخه جدید گردشگری زمین شناسی (ژئوتوریسم) که ارتباط تنگاتنگی با طبیعت دارد نیز مورد توجه همگانی قرار گرفته است. شهرستان راین استان کرمان با وجود مناظر و مکان های مختلف فرهنگی، تاریخی و ژئومورفولوژی مختلف و متنوع گردشگری و امکان بازدید طیف های مختلف گردشگران، توان تبدیل به یک قطب ژئوتوریسم کشوری و ژئوپارک را دارد. این پژوهش درصدد معرفی پتانسیل های گردشگری جهت جذب گردشگر در منطقه راین می باشد. با شیوع و گسترش ویروس کرونا کاهش چشمگیری در ورود گردشگران داخلی و خارجی به منطقه گردشگری مورد مطالعه رخ داده است و امیدواریم با غلبه انسان به این مشکل در پسا کرونا شاهد رشد و رونق گردشگری در این منطقه باشیم.

کلیدواژه: اکوتوریسم، راین، ژئوتوریسم، ژئوپارک، گردشگری

## Introducing tourism potentials with emphasis on geotourism in Rayen Kerman

<sup>1</sup>[Bita Ghasemshirazi](mailto:Bitashirazi49@yahoo.com)

<sup>2</sup>Lida Bakhshandeh

### Abstract

Today, the world's approach to the subject of nature tourism (ecotourism) is expanding and the attractiveness of this branch of tourism is increasing day by day. In this regard, the new branch of geological tourism (geotourism), which is closely related to nature, has also received public attention. Rayen city of Kerman province, despite different landscapes and different cultural, historical and geomorphological places and various tourism and the possibility of visiting different groups of tourists, has the potential to become a national geotourism hub and geopark. This study aims to introduce tourism potentials to attract tourists in the Rayen region. With the spread of the Corona virus, there has been a significant decrease in the number of domestic and foreign tourists entering the study area, and we hope to see the growth and prosperity of tourism in the post-Corona area by overcoming this problem.

### مقدمه:

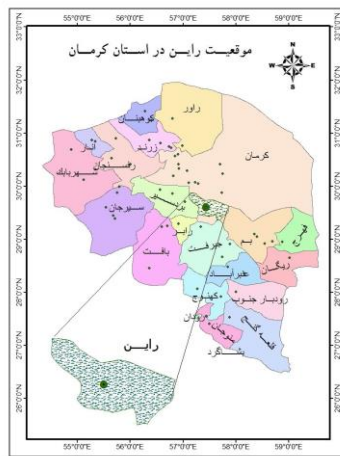
ژئوتوریسم یکی از مهمترین و جدیدترین روش ها در ارائه جاذبه های گردشگری است که به مانند رشته جغرافیا با دید کلی به پدیده ها نگاه می کند. ژئوتوریسم علاوه بر جاذبه های زمین شناسی، جاذبه های تاریخی را نیز در برمی گیرد. ژئوتوریسم موجب ارتقای گردشگری همچنین حفظ ژئوسایت های متنوع زمین شناسی و درک بهتر علوم زمین می شود و این موضوع با مشاهده مشخصه های زمین شناسی و استفاده از ژئوتریل ها برای مشاهده نقاط

مختلف، تورهای هدایت شده، فعالیت های زمین شناسی و حمایت از مراکز بازدیدی ژئوسایتها محقق می شود (گلی مختاری و همکاران، ۱۳۹۷). ژئوسایت به مکان دارای میراث زمین شناسی گویند. از گذشته های دور، برای حفاظت از مکانهای ارزشمند و مهم علمی از نظر زمین شناسی و ژئومورفولوژی مکانهایی تعیین و حفاظت شده اند که امروزه به نام ژئوسایت نامیده می شوند. تنوع زمین شناسی کم و بیش در تمامی کشورها وجود دارد. تنوع زمین شناسی جزو دارایی ها و هویت زمین شناسی یک کشور است و نیازمند حفاظت است. بخشی از تنوع زمین شناسی، میراث زمین شناسی به شمار می رود که این میراث را ژئوسایت گویند (نکوئی صدری، ۱۳۹۳). ژئوپارکها یکی از مهمترین این ژئوسایتها محسوب می شود. ژئوپارک سرزمینی است با محدوده های کاملا تعریف شده و دارای مساحت کافی به منظور توسعه اقتصادی در آینده. این محدوده باید شامل چندین موقعیت جالب زمین شناسی باشد با ترکیبی از ویژگی های علمی، کمیایی یا زیبایی پدیده ها و نمایش تاریخ زمین شناسی منطقه (نکوئی صدری، ۱۳۹۳). صنعت گردشگری به عنوان یکی از بزرگترین و متنوع ترین صنایع در دنیا به حساب می آید. بسیاری از کشورها این صنعت پویا را به عنوان منبع اصلی درآمد، اشتغال، رشد بخش خصوصی و توسعه ساختار زیربنایی میدانند که میتواند به عنوان یک فعالیت اقتصادی جایگزین اقتصاد تک محصولی گردد (زند مقدم، ۱۳۸۸). ژئوتوریسم موجب ارتقای توریسم، همچنین حفظ ژئوسایتها متنوع زمین شناسی و درک بهتر علوم زمین می شود و این موضوع با مشاهده مشخصه های زمین شناسی و استفاده از ژئوتریلها برای مشاهده نقاط مختلف، تورهای هدایت شده، فعالیت های زمین شناسی و حمایت از مراکز بازدیدی ژئوسایتها محقق می شود (گلی مختاری و همکاران، ۱۳۹۷). ایران از جمله کشورهای مستعد ژئوتوریسم است. تنوع زمین شناسی به وسیله بلاای طبیعی و مداخله بشر در طبیعت در معرض خطر است و حفاظت از تنوع زمین شناسی به این دلیل مهم است که درک ما را نسبت به همه اشکال سیکل زمین شناسی افزایش دهد بنابراین، بررسی همه لندفرم جنبه مدنظر باید ژئومورفولوژیکی های پژوهشگران قرار گیرد (نوحه گر و همکاران، ۱۳۹۴). گردشگری اهمیت فراوانی دارد که توسعه آن در هر منطقه باعث رشد و پیشرفت اقتصادی و اجتماعی آن منطقه خواهد شد (زنگی آبادی و همکاران، ۱۳۹۱). اقتصاددانان افزایش درآمدهای ارزی، ایجاد اشتغال و افزایش درآمدهای مالیاتی را از جمله دلایل تأثیرگذار گردشگری بر توسعه اقتصادی قلمداد می کنند (Holzar, 2010). صنعت گردشگری نقش مهمی در جهت دهی به فعالیت های اقتصادی و کمک به اشتغال و افزایش درآمد جوامع محلی ایفا میکنند (Chin et al., 2014). گردشگری ابزاری برای تعامل فرهنگی و عاملی اشتغالزا و همچنین یکی از راههای کسب درآمد شناخته میشود (رنجریان و زاهدی، ۱۳۸۹). در قرن بیست و یکم، گردشگری تحت تأثیر مکانهای جغرافیایی و فضاهای جدید بود (Azizi et al., 2011). برنامه ریزی برای شناسایی ویژگیهای مقصد گردشگری باعث تنوع منطقه و رشد گردشگری و عامل محرکه های حیاتی در هر منطقه می شود (Liu et al., 2013). ارزیابی شهرستانها به لحاظ برخورداری از شاخصهای گردشگری به برنامه ریزی توسعه اجتماعی و اقتصادی مخصوص هر یک از مناطق نیاز دارد (Balezentis et al., 2012). این پژوهش به شناسایی و معرفی صنعت گردشگری شهر راین جهت توسعه آن پرداخته است.

بحث

موقعیت و زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی در طول ۵۷,۴۴ درجه شرقی و عرض ۲۹,۵۹ درجه شمالی، در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهر کرمان و ۱۱۵ کیلومتری شمال جیرفت قرار دارد (شکل ۱). این منطقه جاذبه های زیارتی، فرهنگی، تاریخی و به خصوص طبیعی فراوانی دارد که جاذبه های گردشگری آن کمتر شناخته شده اند و معمولاً گردشگران استانی و کشوری اطلاع کمتری دارند. توانمندیهای بالای ژئوتوریسم و همچنین عبور جاده های شهرستانهای جیرفت، بافت و آب و هوای مناسب مخصوصاً در فصل گرم سال از مزیت های نسبی توجه ویژه به بخش گردشگری در این منطقه می باشد ( شکل ۲). این شهر بر دامنه کوه هزار با ارتفاع ۴۵۰۱ متر، مرتفع ترین کوه جنوب ایران و ارتفاعات مرکزی کشور قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۲۲۰۱ متر است و از مناطق سردسیر استان کرمان محسوب می شود .



شکل ۱: نقشه موقعیت نسبی منطقه تحقیق

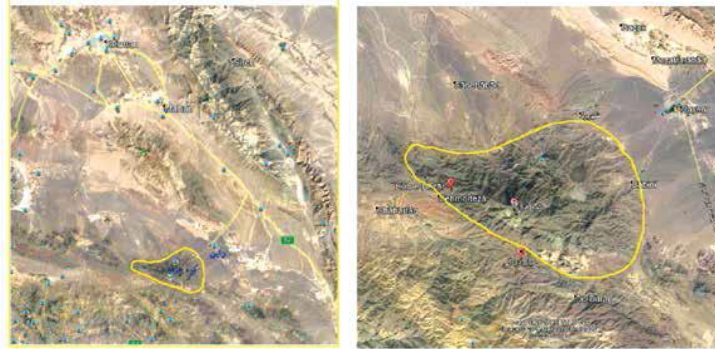
محدوده مطالعاتی رایسن از نظر زمین شناسی جزو زون ایران مرکزی طبقه بندی شده و در پایان بخش خاوری و جنوب خاوری آن، در مجاورت بلوک لوت قرار دارد. سازندها و واحدهای زمین شناسی که در ارتفاعات و دشت این محدوده رخمون دارند متعلق به دوران های مزوزوئیک و سنوزوئیک هستند.

#### معرفی ژئوسایت های منطقه:

##### کوه هزار :

رایسن شهری تاریخی و توریستی در استان کرمان و در دامنه کوه هزار است. کوه هزار در حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهر کرمان و در فاصله ۱۴ کیلومتری جنوب غربی شهر رایسن قرار دارد (شکل ۲).





(ب)

(الف)

شکل ۲: موقعیت کوه هزار در جنوب شهر کرمان و جنوب غرب شهر راین (الف) و روستاهای اطراف آن (ب).

کوه هزار، با داشتن هزار نوع گیاه گوناگون، هزار نامیده شده است. ارتفاع قله حدود ۴۴۵۰ متر از سطح دریا بوده و از این حیث بلندترین کوه استان کرمان و چهارمین قله مرتفع ایران محسوب می شود (Rajaei et al., 2011). آبشار راین یا زر رود در دامنه های شرقی کوه هزار قرار دارد. از دیگر جاذبه های منطقه می توان به روستای باب زنگی یا در زنگی اشاره کرد که در دامنه جنوبی کوه هزار و در ارتفاع حدود ۳۳۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. اگرچه این روستا کوچک بوده و دارای جمعیت حدود ۵۰ نفر (۱۰ خانوار) است ولی از لحاظ ارتفاع بلندترین روستای ایران می باشد و با داشتن طبیعت زیبا و خانه های سنتی یکی از روستاهای گردشگری کشور محسوب می شود.

### زمین شناسی کوه هزار

کوه هزار مجموعه ای آتشفشانی بوده و شامل سنگ های آتشفشانی (گدازه و آذرین) و سنگ های رسوبی (ماسه سنگ آتشفشانی) است (رشیدی و بهلگردی، ۱۳۹۱). منطقه جنوب غربی کرمان، از لحاظ زمین شناسی، به کمربند آتشفشانی ارومیه تعلق دارد. دیمتریویچ (Dimitrijevic, 1973) ناحیه کرمان را از لحاظ ساختاری به چند واحد ساختاری تقسیم بندی می کند. وی در تقسیم بندی خود تنها بخشی از کمربند ارومیه را جزو نوار دهج - ساردوئیه قرار می دهد.

### آبشار راین:

این آبشار در ۱۴ کیلومتری جنوب غربی شهر راین و بر دامنه های جبهه ی شرقی کوه هزار فرو می ریزد (شکل ۳). آبشار راین از ریزش رودخانه ای پدید می آید که سرچشمه های آن در ارتفاعات بالادست و از دل دامنه ها و دیواره های برف گیر هزار طی ۴ مرحله فرو می ریزد. از نکات قابل توجه وجود شیاری در محل ریزش آب است که حرکت نمودن از زیر آبشار را آسان میکند. از این آبشار برای آبیاری باغات حومه شهر استفاده میشود. مسیر اصلی صعود، به قله از دامنه روبروی آبشار آغاز می شود. مسیر حرکت تا ارتفاع ۳۲۰۰ متری در حاشیه ی رودخانه ادامه دارد و یکی از زیباترین مسیرهای کوهپایه ای استان کرمان را به وجود آورده است.



شکل ۳: آبشار راین

### آبشار گیشیگان:

آبشار گیشیگان در روستای زیبا و بیلاقی گیشیگان، در ۳۰ کیلومتری راین واقع شده است. رودخانه گیشیگان که از ارتفاعات قله سرمشک سرچشمه می‌گیرد، با ریزش از ارتفاع هفت متری، آبشار گیشیگان را شکل می‌دهد. دسترسی به این روستا از طریق جاده کرمان، راین به درب بهشت، سه راهی عنبرونک و سپس روستای گیشیگان ممکن است. رودخانه گیشیگان از ارتفاعات قله سرمشک جریان می‌یابد. در قسمت های ابتدای رودخانه، در نقطه ای اختلاف ارتفاعی ۷ متری نیز وجود دارد که همین اختلاف ارتفاع باعث به وجود آمدن آبشار گیشیگان شده است.

### چشمه های آب معدنی راین

ساختار زمین شناسی این منطقه به گونه ای است که محل بوجود آمدن تعداد زیادی آبگرم معدنی بوده است. وجود این چشمه ها می تواند به رونق صنعت توریسم منجر شود البته در صورتی که امکانات جانبی جذب گردشگر در مناطق دارای چشمه های آب گرم نیز ایجاد شود. خواص درمانی جالب توجه چشمه های آب گرم همیشه عاملی بوده است تا مسئولان برای شناساندن و افزایش امکانات گردشگری مناطق اطراف چشمه های آب گرم تلاش کنند. در مسیر یکی از رودخانه های کوه هزار در منطقه راین، چشمه های آب معدنی از دسته آب های کلروه سدیک بی کربنات کلسیک سنگین و مشابه آب معدنی اوریاژ ایزر فرانسه وجود دارد. آب این چشمه ها آشامیدنی نیست اما گفته می شود برای درمان خارجی بیماری های راشیتیس، لنفاتیس و رماتیسم موثر هستند.

### چشمه آب گرم گور

چشمه آب گرم گور نیز در روستای گور بالا با طول جغرافیایی ۲۶، ۴۲، ۵۷ شرقی و عرض جغرافیایی ۴۴، ۱۰، ۲۹ شمالی و در ۶۰ کیلومتری جنوب شرقی راین واقع شده است، این چشمه در فاصله ۵۰۰ متری این روستا و در ارتفاع ۲۵۰۰ متر از زمین خارج میشود. چشمه گور از نوع گسلی است و دمای آن ۵۷ درجه سانتیگراد است.

### چشمه معدنی غرغره (باباترش)

چشمه معدنی غرغره در فاصله ۴۰ کیلومتری راین کرمان واقع شده است. این منطقه پوشیده از رسوبات کویری و حاوی املاح نمکی فراوان است. آب چشمه غرغره از دسته آب های کلروره سدیک و بی کربنات کلسیک است. این نوع آب در درمان خارجی بیماریهای لنفاتسم، راشیتیسسم و بیماری های پوستی، رماتیسمی و همچنین بیماری های زنانه موثر است.

### چشمه آب گرم گسک

روستای گسک با مختصات ۲۹، ۲۳، ۵۷ طول شرقی و ۸، ۲۹، ۴۰ عرض شمالی و ارتفاع ۲۱۴۰ متر و در ۱۰ کیلومتری شمال غربی راین قرار دارد. در فاصله ۳ کیلومتری شمال غرب روستای گسک چشمه آب گرم با درجه حرارت ۲۷ درجه سانتیگراد از محل شکستگیهای مکانی به نام تل آب گسک خارج می شود و پس از رسیدن به روستا از آن برای استحمام و کشاورزی استفاده می شود. این چشمه در مسیر گسل فعال راین است و ۲۷ درجه سانتی گراد حرارت داشت. این چشمه که در مسیر گسل فعال راین قرار داشت پس از حدود پانصد سال آب دهی چند سال قبل خشک شد.

### چشمه حسین آباد در راین:

این چشمه در ۳۳ کیلومتری شمال غربی راین- کرمان واقع شده است. این نوع آب ها در درمان مشکلات دستگاه گوارش اثر بهبود بخشی دارند.

### دره اردیکان:

یکی از دره های سرسبز کوهستان هزار می باشد. این دره از طریق جاده ماشین رو به بخش راین متصل می شود. اردیکان روستایی است که بلندترین نقطه ی مسکونی ایران بوده و ارتفاع آن ۳۳۰۰ متر است.

### دهانه آتشفشانی راین:

از دیگر جاذبه های طبیعی راین می توان به بزرگترین دهانه آتشفشانی ایران با قطر ۱۲۰۰ متر و عمق ۳۵۰ متر در نزدیکی روستای قلعه حسن علی به همراه ۱۴ دهانه انفجاری کوچکتر و چشمه های آب معدنی اشاره کرد که در حدود ۳۰ کیلومتری جنوب شرق شهر راین در اطراف دهکده های قلعه حیدر و توتک قرار دارند (شکل ۴). فعالیت این دهانه ها به ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال قبل برمی گردد. محققان در ابتدا این دهانه ها را محل برخورد سنگ های آسمانی می دانستند اما پس از تحقیقات بیشتر، آنها را دهانه های آتشفشانی تشخیص دادند که بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال قبل فعال بوده اند. با وجود اینکه آخرین زمان فوران این آتشفشان مشخص نیست اما احتمالاً زمان شکل گیری آن دوره چهارم زمین شناسی است. وجود تعداد زیادی سنگ های فسیلی در منطقه راین نشان می دهد بیش از ۳۰۰ میلیون سال قبل آبزیان بسیاری در این محل وجود داشته اند.

کراترها بطور عمده گرد و بندرت بیضی شکل هستند که در اکثر آنها سولفات سدیم و یا کلرور سدیم وجود دارد که متاسفانه با بهره برداری غیر اصولی بسیاری از دهانه ها تخریب شده است. گفتنی است که نمک موجود در ته

این کراتر از کیفیت و مرغوبیت بالایی برخوردار است و به همین دلیل این دهانه آتشفشانی بیشتر با معدن نمک شناخته می شود.



شکل ۴ : بزرگترین دهانه آتشفشانی ایران

منطقه قلعه حسن علی جدای از مسافران و گردشگرانی که دارد، مورد توجه اساتید و دانشجویان زمین شناسی و رشته های معدن و شیمی نیز هست؛ با این وجود اما این منطقه هنوز برای بسیاری از گردشگران ناشناخته است.

### معادن رایین

ظرفیت های معادن بی نظیرشهر رایین شامل سنگ مرمر سفید، صورتی و سبز، مس، آهن، سولفات سدیم است و می توان با ایجاد صنایع وابسته، زمینه توسعه اشتغال در منطقه فراهم کرد. معادن مرمر رایین شهری جهانی دارند.

### سایر پتانسیلهای گردشگری رایین

سایر جاذبه های گردشگری شهرستان رایین شامل : حمام گیشیگان، غار چهل دختر گیشیگان، خانه های دستکند اطراف رایین - قلعه ها و کاروانسراهای اطراف رایین، غار جن، قلعه مسکونی ده میرزا . اماکن مذهبی امام زاده های شیر خدا ( ابوالبشائر )، سلطان سید علی، امامزاده زید، سید محمد زمان، بی بی منصوره و زیارتگاه فاطمه اطهر در شهر رایین و امامزاده های سید محمد زمان و بی بی منصوره در روستاهای گیشیگان و کرچ و همچنین چنارهای هزار ساله، سرو چهارصد ساله، بافت تاریخی، خانه های تاریخی، بقایای آسیاب های آبی و آب انبارها می باشد که میزبان گردشگران و سرمایه گذاران است. ناحیه صنعتی رایین مکان مناسبی برای سرمایه گذاری و رونق اقتصادی منطقه می باشد. در زمینه صنایع دستی نیز می توان از فلزکاری، قالی بافی، پته دوزی و نجاری نام برد. همچنین بر اساس تحقیق کارشناسان، منطقه رایین مکان مناسبی برای احداث نیروگاه بادی ( روستای گودر)، نیروگاه خورشیدی و رصد خانه می باشد.

### ارگ رایین کرمان

مهمترین اثر تاریخی مربوط به دوره ساسانی ارگ رایین است. (شکل ۵) این ارگ زیبا در فاصله ۱۰۵ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان قرار دارد و یکی از جاهای دیدنی رایین محسوب می شود. این قلعه در جنوب غربی شهر رایین در دامنه کوه هزار واقع شده است و دومین بنای خشتی جهان بعد از ارگ بم محسوب می شود. این ارگ که

سندی معتبر برای تاریخ هزار ساله‌ی منطقه‌ی راین به شمار می‌رود، امروزه مورد توجه هزاران گردشگر داخلی و خارجی قرار گرفته است.



شکل ۶: ارگ راین

#### بقعه متبرکه شیر خدا

در این بقعه متبرکه قبر امام زاده ابوالبشائر هاشم معروف به شیر خدا، که با نه واسطه، نسب شریفش به امام جعفر صادق (ع) می‌رسد. آرامگاه قدیمی آن، به کاشی کاری زیبای دوران اسلامی مزین بوده که در سال‌های اخیر مجدداً بازسازی است.

#### بلوار افلاطون خان

یکی از جاذبه‌های طبیعی شهر تاریخی راین، بلوار افلاطون می‌باشد که حدود سال ۱۳۳۲ احداث شده است. بلوار افلاطون، بلواری با چنارهای هزارساله و باغ‌های بزرگ میوه خصوصاً گلابی و سیب که در پاییز پر از برگ‌های خشکیده زرد و قرمز است.

#### صنایع دستی

در گذشته صنایع سفالگری، سنگ تراشی، نمد مالی، سبد بافی، پارچه بافی و اسلحه سازی در راین وجود داشته است. امروزه نیز در این منطقه صنایع فلزکاری، قالی بافی، پته دوزی و نجاری وجود دارد.

#### نتیجه‌گیری:

قدمت سکونت در راین بالای هفت هزار سال تخمین زده شده است و این بخش در حوزه میراثی و گردشگری نیز صاحب جایگاه ویژه‌ای است و از سوی دیگر نیز به عنوان منطقه‌ای ارتباطی و شاهراه شناخته می‌شود. شهر راین دارای ۹۰۰ هکتار وسعت است و این شهر در حوزه‌های گردشگری، صنایع دستی، تاریخی، طبیعی، گردشگری، کشاورزی، صنعت و معدن و فرهنگی و مذهبی دارای قابلیت‌های بی‌نظیری است. همچنین بر اساس تحقیق کارشناسان، منطقه راین مکان مناسبی برای احداث نیروگاه بادی (روستای گودر)، نیروگاه خورشیدی و رصدخانه می‌باشد. مطالعه حاضر به معرفی توانهای ژئوتوریسمی و اهمیت عوارض ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی جهت درآمدزایی و اشتغال و مهمتر از آن پایداری و ارزشهای حفاظتی اکوسیستمها پرداخته است و به دلیل وجود دومین بنای خشتی جهان (ارگ راین)، وجود ۱۵ دهانه آتشفشانی، وجود آبشارهای مختلف از جمله آبشار راین و آبشار گیشیگان، وجود اقامتگاههای بوم گردی، ارتفاعات برفگیر برای کوهنوردی میتوان گفت این منطقه قابلیت تبدیل به یک قطب ژئوتوریسم و ژئوپارک را دارد.

توجه به بخش طبیعت گردی به عنوان یک راهبرد جدید اشتغالزایی و توسعه پایدار در راین بدون آسیب به طبیعت می تواند فشار استفاده از منابع آب زیرزمینی را هم کاهش دهد.

#### منابع:

- رشیدی، ا؛ بهلگردی، ا، ۱۳۹۱، بررسی کانه‌زایی و دگرسانی مجموعه آتشفشانی کوه هزار راین، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی، بیرجند، صفحات ۹۳-۹۸.
- رنجریان، ب؛ زاهدی، م، ۱۳۸۸، شناخت گردشگری اصفهان، انتشارات چهار باغ.
- زندمقدم، م، ۱۳۸۸، بررسی توانمندیهای دشت کویر به عنوان ژئوپارک ایران مرکزی و نقش آن در توسعه پایدار استان سمنان، فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره ۶، صفحات ۹۹-۱۱۹.
- زنگی آبادی، ع؛ عیدیوند، ل؛ حیدری پور، ا، ۱۳۹۱، تحلیل فضایی شاخصهای توسعه گردشگری با استفاده از مدل Topsis، مجله جغرافیا و توسعه شهری، شماره ۱، صفحات ۷۳-۵۱.
- گلی مختاری، ل؛ بهرام آبادی، ا؛ سلگی، ل، ۱۳۹۷، بررسی تطبیقی توانمندیهای ژئوتوریسم شهرستان الشتر با استفاده از مدل‌های پراونگ و پیرا، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۵۲، صفحات ۶۹-۹۶.
- نکوئی صدری، ب، ۱۳۹۳، مبانی زمین گردشگری با تأکید بر ایران. تهران: انتشارات سمت.
- نوحه گر، ا؛ روستا، ح؛ ریاهی، س؛ بهنام مرشدی، ح، ۱۳۹۴، ارزیابی پتانسیلهای ژئومورفوتوریستی ژئوپارک قشم با استفاده از روش پراونگ، فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال سوم، شماره ۵، صفحات ۲۷-۴۴.

- Azizi, H., Biglgribe M., Joudia, P., 2011. Assessment the feasibility of sustainable tourism in urban environments employing the eumulative linear model, International conference on Green Building s and sustainable cities, procedia engineering 21, pp:24-33.
- Balezentis, T., krisciukaitene, I., Balezentis, A., Garland, R., 2012 . A quantitative analysis ralar tourism development in lihu Ania (2003-2010), tourism management perspective analysis 2-3, pp. 1-6.
- Dimitrijevic, M.D., 1973. Geology of Kerman region. Geology survey of Iran, 52: 334
- Holzar, M., 2010. Tourism and development, the berch disease, Tourism management, 32, pp. 922-933.
- Liu, chui -Hua., Tzenge Gwo -Hshiang, lee, ming huei and lee, po-yeh., 2013. Improving metro airport connection services for tourism development: using hybrid MCD models tourism management perspectives, Tourism management, 6. 95- 107.
- Rajaei, P., Maassoumi, A.A., Mozaffarian, V., Nejad Sattari, T. and Pourmirzaei, A., 2011. Alpine flora Hezar mountain (SE Iran). Rostaniha, 12(2): 111-127.

## جاذبه‌های زمین گردشگری منطقه آب اسک (بخش لاریجان شهرستان آمل، استان مازندران)

مهدی بادپا<sup>۱\*</sup>، میعاد بادپا<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> مدرس گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور، قم

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری اکتشاف معدن، گروه معدن، دانشگاه تهران

mahdibadpaa@gmail.com

### چکیده:

تنوع زمین شناختی گوناگون و اقلیم های متنوع در کشورمان باعث ایجاد پدیده های زمین شناسی کم نظیر در منطقه خاورمیانه شده است. با استفاده از جاذبه های گردشگری ایران و توجه به توسعه زمین گردشگری و نیز تأسیس ژئوپارک ها می-تواند سهم بسزایی در پویایی اقتصاد کشور داشته باشد. در راستای این هدف معرفی جاذبه های زمین گردشگری و میراث زمین شناختی می تواند قدم اول جهت ثبت و شناسنامه دار کردن ژئوسایت های بالقوه متعدد در کشور و راهنمایی برای رشد این صنعت باشد.

در این پژوهش سعی شده است تا ضمن معرفی اجمالی از ویژگی های زمین گردشگری منطقه آب اسک (بخش لاریجان شهرستان آمل)، بخشی از پدیده های زمین شناختی جذاب این منطقه معرفی گردد.

از جاذبه های زمین گردشگری این منطقه می توان به موارد زیر اشاره نمود: وجود قله آتش فشان دماوند، گدازه های منشوری دماوند، رودخانه هراز و باغات اطراف آن، دریاچه امامزاده علی و ساختار زمین لغزش آن، چشمه های معدنی و ساختارهای برجسته تراورتن در مسیر جاده، غارهای دستکند (کافرکلی)، چشم انداز زیبای مرتع اسک وش، معدن تراورتن و پوکه معدنی.

این مناظر و پدیده ها مناظر و ژئوسایتهای جذابی را در منطقه مورد مطالعه ایجاد نموده اند که از دیدگاه زمین گردشگری اهمیت زیادی دارند لذا با توجه به غنای ژئوسایت ها و ایجاد نمودن زیرساخت های لازم، می توان منطقه آب اسک را به عنوان یک ژئوپارک و منطقه هدف زمین گردشگری معرفی نمود.

کلیدواژه: ژئوتوریسم، پدیده های زمین شناسی، میراث زمین شناختی، آمل، آب اسک.

## Ab-Ask Geotourist attractions (Larijan District, Amol County, Mazandaran province)

Mahdi Badpa<sup>1</sup>, Miad Badpa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Geology, faculty of Science, Payame-Noor university, Qom

<sup>2</sup> PhD student of Mineral Exploration, School of Mining Engineering, University of Tehran

mahdibadpaa@gmail.com

### Abstract

Geological diversity and various climates in our country cause geological phenomena. It is unique or at least rare in the Middle East. By using tourist attractions in Iran and paying attention to the development of geotourism and the establishment of geoparks can have a significant contribution to the dynamism of the country's economy. In line with this goal introducing the geotourist attractions

and geoheritage can be the first step to register and identify many potential geosites in the country and guide the growth of this industry.

In this research, while briefly introducing the characteristics of geotourism land in Ab-Ask (Larijan district of Amol county in north of Iran), a part of attractive geological phenomena of this region is introduced. Among the geotourist attractions of this region, the following can be mentioned: existence of Damavand Volcano Mountain, prismatic lavas, Haraz River and surrounding gardens, Imamzadeh Ali Lake and its landslide structure, Mineral springs and prominent travertine (Fresh water lime) structures along the road, Caves (Kafr Keli), Beautiful view of Ask-e-vash Plain, Travertine mine and Ask-e-vash mineral pumice mine.

These landscapes and phenomena have created attractive geosites in the study area, which are very important from the view of geotourism. Therefore, due to the richness of geosites and the creation of the necessary infrastructure, the Ab-Ask area can be introduced as a geopark and the target area of geotourism.

#### مقدمه:

روستای ییلاقی آب اسک از توابع بخش لاریجان، شهرستان آمل است. این روستا در استان مازندران واقع شده است. فاصله آب اسک تا آمل ۸۵ کیلومتر، تا ساری ۱۶۰ کیلومتر و از شمال شرق تهران ۹۰ کیلومتر است. دسترسی به ناحیه ییلاقی آب اسک به واسطه موقعیت منحصر به فرد این ناحیه نسبت به جاده ارتباطی تهران - آمل (محور هراز) و نیز در دسترس بودن امکانات گسترده حمل و نقل به سهولت امکان پذیر است. نام این روستا بر اساس قول معروف به نام اشک اول پادشاه اشکانیان، اشک نامگذاری شد که به مرور زمان به اسک تغییر یافته است. اشک اول پادشاه اشکانیان که سرسلسله سلاطین اشکانیان بود بعد از غلبه اسکندر در کوهستانهای طبرستان متواری شد، وی پس از غلبه بر حاکم سلوکی در ایران سایر ملوک دیگر را به دور خود جمع کرد و با یونانیان جنگید و سلطنت ایران را مجدداً تشکیل داد. این روستای زیبا و منطقه ییلاقی دارای جاذبه‌های بومی، فرهنگی و گردشگری زیادی است.

از جاذبه‌های طبیعی و زمین گردشگری این روستا میتوان به چشم‌انداز زیبای روستا، چشم‌انداز زیبای مرتع اسک وش، قله آتش فشان دماوند، گدازه‌های منشوری، رودخانه هراز و باغ‌های اطراف آن، دریاچه امامزاده علی و ساختار رانشی آن، چشمه‌های معدنی، و ساختارهای تراورتن منطقه، غارهای تاریخی و دستکند (کافرکلی)، معدن تراورتن و پوکه معدنی اشاره نمود. وجود ۹ چشمه آب معدنی با خواص درمانی در داخل و اطراف روستا مانند چشمه طلا، زاغ چشمه، چشمه قل قله‌سر، چشمه آب نادعلی، قای‌بال چشمه، چشمه هشتی کنا، اسکلا، اسکو و... از دیگر جاذبه‌های سفر به این ناحیه می‌باشد (شکل ۱) لذا این منطقه ظرفیت این را دارد که به یکی از قطب‌های گردشگری سلامت در حوزه چشمه‌های معدنی در ایران تبدیل شود. از جاذبه‌های فرهنگی و بوم‌شناسی این روستا می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: مراسم سنتی معروف "برف چال" و "زن شاهی" که در یک روز خاص از سال برگزار میشود.

سنت کهن "برف چال" یا در گویش مازندرانی "ورف چال": ورف چال محلی است در منطقه اسک وش (مرتع و دشت منطقه اسک) نزدیکی روستای آب اسک که در گذشته یعنی در قرن نهم، چاهی به عمق ۱۲ متر و قطر ۱۰ متر برای جمع آوری برف در نیمه دوم سال در آن حفر شد. مردهای روستای آب اسک و نیاک و مناطق مجاور نیز به دامنه‌های کوه‌ها می‌روند تا با جمع آوری قطعات بزرگ برف باقیمانده از زمستان کوهستان منطقه و انبار کردن آنها در این چاه، در تابستان که گوسفندهای خود را برای چرا به دامنه‌ی این کوه‌ها می‌آورند، آب برای آشامیدن داشته باشند.

زمان مراسم برف چال با توجه به شرایط آب و هوا در یک روز خاص اجرا میشود و از چند روز قبل توسط اهالی روستا به



دیگران اعلام می‌شود.

مراسم زن شاهی یا مادر شاهی: همه ساله در یکی از جمعه‌های اردیبهشت ماه، روستای آب اسک هیچ مردی را در خود نمی‌پذیرد. در این روز که با تصمیم بزرگان روستا انتخاب میشود زنان روستا مردان را با اسفند به بیرون روستا بدرقه میکنند و خود به درون روستای آب اسک باز میگردند. از میان زنان روستا، یک زن به عنوان ملکه و یا شاه و یکی به عنوان وزیر، تعدادی به عنوان سرباز و یا نگهبان انتخاب میشوند. وظیفه‌ی نگهبانان و سربازها این است که به هیچ عنوان اجازه‌ی ورود مردان را به داخل روستا ندهند. در روز اجرای مراسم برف چال هیچ زنی حق شرکت و حضور در مراسم را ندارد. در این روز در روستا نیز هیچ مردی چه از اهالی روستا و چه غریبه حق حضور در روستا را ندارد. مراسم زن شاهی تا عصر که زمان برگشتن مردان از برف چال است ادامه دارد.

از دیگر مراسم‌های خاص و فرهنگی منطقه آب اسک، مراسم تعزیه خوانی و شبیه خوانی محرم است. سابقه تعزیه خوانی در منطقه کوهستانی اسک لاریجان به اواخر دوره قاجار بر می‌گردد. هر ساله در دهه اول محرم به ویژه تعزیه خوانی روز تاسوعا با حضور پرشور مردم منطقه لاریجان در تکیه آب اسک برگزار می‌شود.

براساس مطالب فوق منطقه بیلاقی و تفریحی آب اسک دارای مناظر طبیعی و زمین‌گردشگری زیبا و مراسم‌های محلی خاص هست که هر ساله مسافران زیادی را به خود جذب میکند. این منطقه براساس جغرافیایی به دلیل واقع شدن در محور مواصلاتی تهران به مازندران و ظرفیت‌های بومی و فرهنگی خود، مسافران زیادی را به خود جذب می‌کند ولی در زمینه معرفی پدیده‌های ژئوتوریسم منطقه اطلاع‌رسانی و مطالعه مدونی انجام نشد.

#### روش مطالعه:

روش پژوهش غالباً برپایه مشاهدات مستقیم پدیده‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و معادن و تعیین ارتباط آنها با مباحث زمین‌گردشگری است. بر این اساس در این پژوهش ضمن استفاده از مشاهدات مستقیم، از مطالعات کتابخانه‌ای مرتبط با زمین‌شناسی منطقه در کتابها، مقالات و نقشه زمین‌شناسی و نیز بناهای تاریخی و اطلاعات محلی بهره‌برده شد.

#### بحث:

ژئوتوریسم از دیدگاه‌های متفاوت به زیر شاخه‌های اکوتوریسم-توریسم آموزشی-توریسم اکتشافی-توریسم تجربی و حتی توریسم ماجراجویانه طبقه‌بندی شده است. یکی از اهداف عمده این مقاله شناساندن بخشی از جاذبه‌های ژئوتوریسمی شهرستان آمل و دره هراز برای زمین‌شناسان، گردشگران داخلی و خارجی به منظور توسعه صنعت ژئوتوریسم و کمک به اقتصاد استان و کشور می‌باشد. از دیگر سو، منطقه مورد مطالعه به دلیل واقع شدن در محور مواصلاتی تهران به مازندران مسافران هفتگی زیادی دارد، با آموزش مردم محلی در این منطقه می‌توان باعث آشنایی عموم مردم با زیبایی‌های علم زمین‌شناسی در محیط پیرامونی خود و توجه به اهمیت اکوسیستم طبیعی و میراث زمین‌شناسی گردند.

ژئوتوریسم گردشگری آگاهانه و مسئولانه در طبیعت با هدف تماشا و شناخت پدیده‌ها و فرآیندهای زمین‌شناختی و آموختن نحوه شکل‌گیری و سیر تکامل آن‌هاست (امری کاظمی، ۱۳۸۸) و در واقع راهکاری نوین برای تبیین و تشریح علوم زمین و شناخت سرمایه‌های طبیعی هر منطقه است که علاوه بر ایفای نقش آموزشی-علمی سبب توسعه توریستی منطقه شده و علاقه‌مندان و محققین ژئوتوریستی را به مناطق جاذبه‌مند زمین‌شناسی کشانده و این جاذبه سبب انگیزه در سایر محققان جهت بازدید از این گونه مناطق می‌گردد.

در اکثر کشورهای در حال توسعه این پدیده ها در برنامه ریزی های گردشگری و جذب توریست جایگاه ویژه ای را به خود اختصاص داده اند، چراکه این جاذبه های گردشگری در عرصه تجارت بین الملل به عنوان منبع در آمد ارزی به حساب می آیند.

تعریف ژئوسایت و انواع آن: به مکان هایی که دارای شکل ها و فرآیند های جالب زمین شناسی و ژئومورفولوژی هستند و امکان ایجاد زیر ساخت های گردشگری مانند هتل ها، اقامتگاه های بوم گردی، رستوران ها و... در آن منطقه باشد، ژئوسایت میگویند.

### تقسیم بندی ژئوتوریسم

ژئوتوریسم بخشی از صنعت گردشگری است که ژئوسایت ها را برای گردشگران مورد توجه قرار میدهد. ژئوسایت میتواند یک رخنمون سنگی، لایه های فسیل دار، معادن زیرزمین و روباز و یا یک غار باشد. بنابراین در جدول ۱ به طور مختصر انواع ژئوسایت ها برای رونق بخش ژئوتوریسم در کشور ایران آورده شده است (حاج علیلو و نکویی صدر، ۱۳۹۰).

### معرفی جاذبه های زمین گردشگری آب اسک:

۱- قله آتش فشان دماوند: قله دماوند (شکل ۱-۱) بلندترین کوه ایران و بلندترین آتشفشان آسیا و خاورمیانه است که در بخش لاریجان شهرستان آمل قرار دارد. کوه دماوند در تاریخ سیزدهم تیر ماه سال ۱۳۸۷ به عنوان نخستین اثر طبیعی ایران در فهرست آثار ملی ایران ثبت شد. آتش فشان جوان دماوند در دوران چهارم زمین شناسی فعالیت خود را آغاز نمود و بر اثر تناوب فازهای گدازه ای و انفجاری کواترنر مخروط آتش فشانی به ارتفاع ۵۶۷۰ متر از سطح دریا به وجود آورد که این مخروط خود از زمین های اطراف حدود ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بالاتر است. مواد گدازه ای و آذرآواری ناشی از این آتش فشان مساحتی بالغ بر ۴۰۰ کیلومتر مربع از زمین های اطراف را پوشانده است (امامی، ۱۳۶۸). کوه دماوند در دوره هولوسن تشکیل شد و نخستین فوران آن، نزدیک ۱/۷۸ میلیون سال پیش، رخ داد، با این وجود، بیشترین شمار فوران آن طی ۶۰۰ هزار الی ۲۸۰ هزار سال قبل رخ داده و عمر این کوه با استفاده از روش کربن ۱۴، ۳۸۵۰۰ سال برآورد شده است.

به اعتقاد پژوهشگران مختلف (اوف چی نی کوف (۱۹۳۰)، آلن باخ (۱۹۶۰)، نوگل سادات (۱۹۸۵) و ایران نژادی (۱۳۷۰)) گسل های ژرف منطقه توانسته اند شرایطی را پدید آوردند که از طریق آنها ماگمای آلکالن به سطح زمین رسیده باشند. گسل اسک در نزدیکی اسک تا زیر قله دماوند قابل تعقیب است (امامی، ۱۳۶۸). همچنین گسل نوا از کنار روستای نوا می گذرد و در ناحیه میان اسک و گزنک توسط گدازه های دماوند پوشیده می شود.

۲- گدازه های منشوری: در غرب آب اسک و در دیواره شمالی دره هراز تا پلور، گدازه هایی با ساخت منشوری (ستونی) زیبا وجود دارند که از سنگهای تراکیتی هورنبلند دار و تراکی آندزیت تشکیل شده اند (شکل ۱-۲). در زیر آنها گدازه های حفره دار به ضخامت متغیر وجود دارند. در مجاورت گدازه با رسوبات آواری سازند شمشک بطور محلی حالت قرمز رنگ ملاحظه میشود ولی در مجاورت با آهکها تاثیر زیادی ملاحظه نمی شود. ستونهای عمودی کم و بیش قائم بر سطح سردشدگی گدازه هاست و قطر آنها در گدازه های کم ضخامت کم است ولی در گدازه های ضخیم ممکن است به ۰/۵ تا ۱ متر برسد (امامی، ۱۳۶۸).

۳- رودخانه هراز و باغات اطراف: رود هراز یک رودخانه های دائمی است که از دره لار در جنوب کوه دماوند سرچشمه گرفته از وسط شهر آمل می گذرد و به دریای خزر می ریزد. از بین ۶۳ رودخانه مازندران، رودخانه هراز بعنوان بزرگترین رودخانه استان می باشد. این رودخانه جاذبه ای چشم نواز و با صوتی گوشنواز است که جذابیت سفر برای مسافران جاده هراز را دوچندان می کند (شکل ۱-۳). در منطقه آب اسک به دلیل وجود باغات، مناطق زیبا و بکر در حاشیه این رودخانه به ویژه در فصول بهار و تابستان و همجواری با دیگر جاذبه های طبیعی چون چشمه آب معدنی لاریجان و آماده بودن امکانات رفاهی و اقامتی مورد اقبال خیل عظیمی از گردشگران داخلی و خارجی قرار می گیرد.

۴- دریاچه رانشی امامزاده علی: در سال ۱۳۷۷ زمین لغزشی عظیم در غرب روستای آب اسک رخ داد که باعث ایجاد یک سد طبیعی بر روی رودخانه ی هراز شد، این سد دریاچه ای به طور ۹۰۰ متر و عرض ۱۳۰ متر به وجود آورده که به آن دریاچه امامزاده علی میگویند، کف این دریاچه پر از درختان و گیاهان باقی مانده از آثار قبل از رانش کوه می باشد (شکل ۱-۴). دریاچه امامزاده علی به محل مناسبی برای ماهیگیری تبدیل شده است و ماهی قزل آلا ی خال قرمز و رنگین کمانی از جمله ماهی های موجود در این دریاچه هستند. زمان مجاز ماهیگیری در این دریاچه به طور معمول از ۱۵ خرداد تا ۱۵ شهریور است.

۵- چشمه ها: روستای آب اسک با ۹ چشمه ی آب معدنی ظرفیت این را دارد که به یکی از قطب های گردشگری سلامت در ایران تبدیل شود. چشمه های معدنی آب اسک (شکل ۱-۵) با دارا بودن مواد معدنی چون بی کربنات ها، گوگرد، کلرور و هیدروژن سولفور قابلیت های درمانی بسیاری دارد، وجود نهشته ها و کلئیدهای آهن مبین وجود مقادیر زیاد آهن در این چشمه ها است. آب های معدنی چشمه های آب اسک در درمان بیماری هایی مثل امراض پوستی، عفونت های مجاری تنفسی، رماتیسم های مزمن و تورمی، لارنژیت و کلیه ی التهابات مزمن می توانند بسیار موثر واقع شوند. نام این چشمه ها عبارتند از: چشمه طلا، چشمه آب ناد علی، چشمه قل قله سر، قالی بال چشمه و زاغ چشمه، چشمه هشتی کنا، اسکلا، اسکوی مردانه و اسکوی زنانه. چشمه اسکلا در نزدیکی روستای آب اسک در قسمت فوقانی چشمه های اسکو قرار دارد و مکان پیشین روستای اسک بوده است. گازهای کربنیک و اسیدسولفوریک در مظهر چشمه ها متصاعد می شود و آن را جوشان نشان می دهد.

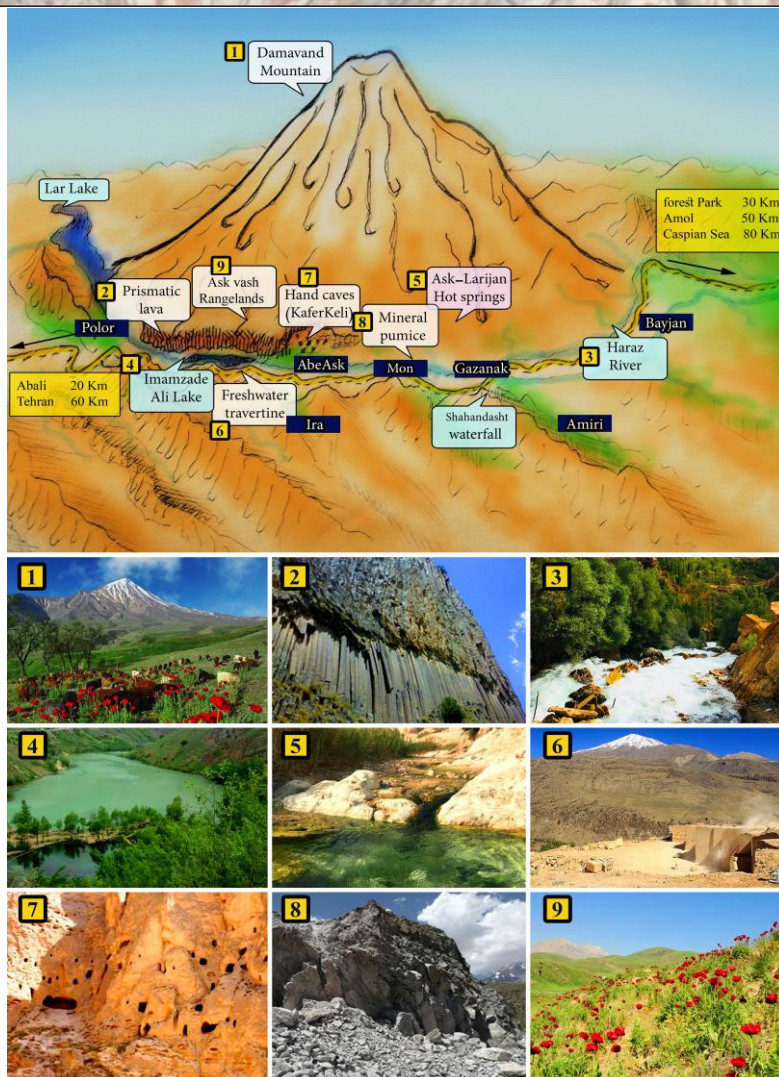
۶- آهک آب شیرین و چشمه طلای تراورتن ساز: مظهر این چشمه در مرز سنگهای آتشفشانی کواترنری (آندزیت و توف آندزیت) و سازند دورود واقع شده است. این چشمه از نوع چشمه های تکتونیک می باشد. آب چشمه طلا در ردیف آبهای هیپوترمال (ولرم) و تیپ آن از کلروره سدیک تا بیکربناته کلسیک متغیر می باشد. قسمتی از آب این چشمه دارای منشأ عمیق است و قسمت دیگر ناشی از آبهای کم عمق است که در نزدیکی سطح زمین با هم مخلوط می شوند لذا بدلیل اختلاط قابل ملاحظه آبهای کم عمق با عمیق در زمانهای مختلف ویژگیهای کیفی متغیری دارند. آب این چشمه در مسیر خود رسوبات سفید کربنات کلسیم و به مقدار کمتر کربنات منیزیم بر جای می گذارد. در مظهر چشمه گاز کربنیک (CO<sub>2</sub>) و سولفید هیدروژن (H<sub>2</sub>S) به میزان تقریباً زیادی متصاعد می گردد و آب را جوشان جلوه می دهد. بدلیل این که در ماه های مختلف و بر حسب میزان نزولات جوی و وضعیت آبهای زیرزمینی منطقه، میزان آب اختلاط یافته با آبهای عمیق متفاوت می باشد. ویژگیهای فیزیکوشیمیایی آب این چشمه در زمانهای مختلف تفاوتهای قابل ملاحظه ای نشان می دهد (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۳).

در منطقه آب اسک مواد آهکی در آب گرم چشمه ها به قدری سریع به صورت تراورتن (شکل ۱-۶) رسوب کرده که موجب انحراف رودخانه هراز به شکل مئاندر در جهت شمال گردیده است و تراورتن ها به صورت شبه جزیره مانند تظاهر دارند (امامی، ۱۳۶۸).

۷- غارهای دستکند کافر کلی: غار های دستکند محور هراز که در منطقه "کافر کلی" نامیده می شوند (شکل ۱-۷)، از محدوده ی روستای آب اسک تا روستای پنجاب امتداد یافته اند که تقریباً در طول ۴۲ کیلومتر این غارها قرار دارند ولی دسترسی به جایگاه این غارها سخت و صعب‌العبور است. برای سهولت حفر در طبقات خاکسترهای بجا مانده از آتش فشان دماوند و همچنین بعضی از نقاط در طبقات رسوبی حفر گردیده است. به اعتقاد محمدی و رستم نژاد (۱۳۹۲) در هیچ یک از نقاط ایران این غار های دستکند تا این حد متمرکز نیستند. این غارها در سمت شمال روستای آب اسک وجود دارند. در تمامی منطقه بالا لاریجان آثار باستانی فراوانی مانند بقایای راه‌های ساخته شده از دوران ساسانی تا قاجار و ده‌ها مقبره، امامزاده، قلعه، پاسگاه و آتشگاه بچشم می خورد که تمامی این مکانها نشان از اهمیت بسیار بالای این منطقه، از زمانهای دور تا به اکنون دارد. به اعتقاد محمدی و رستم نژاد (۱۳۹۲) طول غار آب اسک نزدیک به ۳۷۰ متر است و مسیرهای تودرتویی دارد، غار دستکند آب اسک دو طبقه است. این غارهای دستکند عاری از هر گونه تزیین و کتیبه هستند و کاربری مسکونی، دژ و دیده بانی دایمی یا موقت داشته‌اند. قدمت این غارهای دستکند را به اوایل دوران اسلامی نسبت وی دهند و از آنجایی که در این دوران ایران مورد هجوم اعراب قرار گرفته‌است؛ به نظر می‌رسد این غارها در دل کوه همراه با محل‌هایی برای نگهداری بخاطر عدم پذیرش کیش و آیین جدید یا بخاطر ترس از هجوم اعراب بنا شده‌است و به همین دلیل نام این غارها کافرکلی یعنی محل زندگی غیرمسلمانان است.

۸- معادن آب اسک: در منطقه آب اسک، ۲ معدن نیمه فعال قرار دارد: پوکه معدنی اسک‌وش بالا (شکل ۱-۸) در مسیر جاده هراز، پیرامون پل‌مون در شمال پادگان رینه. معدن تراورتن (شکل ۱-۶) در حاشیه جاده هراز و روبروی روستای آب اسک در نزدیکی چشمه طلا.

۹- مرتع اسک وش: این دشت و مرتع نزدیکی روستای آب اسک قرار دارد (شکل ۱-۹). مرده‌های روستای آب اسک و مناطق مجاور سنت کهن "برف چال" را در این منطقه برگزار می کنند و با جمع آوری قطعات بزرگ برف باقیمانده از زمستان کوهستان منطقه و انبار کردن آنها در این چاه، در تابستان که گوسفندهای خود را برای چرا به دامنه ی این کوه ها می‌آورند، آب برای آشامیدن داشته باشند.



شکل ۱: طراحی شماتیک منطقه مورد مطالعه و جاذبه های زمین گردشگری آن. ۱- قله آتش فشان دماوند، ۲- گدازه های منشوری، ۳- رودخانه هراز و باغات اطراف، ۴- دریاچه رانشی امامزاده علی، ۵- یکی از چشمه های آب اسک، ۶- معدن تراورتن اسک، ۷- غارهای دستکند کافر کلی، ۸- پوکه معدنی اسکوش، ۹- مرتع اسک وش و برف چال.

### نتیجه گیری:

روستای ییلاقی آب اسک از توابع بخش لاریجان، شهرستان آمل (استان مازندران) است. فاصله این منطقه تا آمل ۸۵ کیلومتر، و فاصله آن تا تهران ۹۰ کیلومتر است. دسترسی به ناحیه ییلاقی آب اسک به واسطه موقعیت منحصر به فرد این ناحیه نسبت به جاده ارتباطی تهران – آمل (محور هراز) به سهولت امکان پذیر است. از جاذبه های زمین گردشگری این منطقه می توان به موارد زیر اشاره نمود: وجود قله آتش فشان دماوند، گدازه های منشوری دماوند، رودخانه هراز و باغات اطراف آن، دریاچه امامزاده علی و ساختار زمین لغزش آن، چشمه های معدنی و ساختارهای برجسته تراورتن در مسیر جاده، غارهای دستکند (کافرکلی)، چشم انداز زیبای مرتع اسک وش، معدن تراورتن و پوکه معدنی.

معرفی و برنامه ریزی برای ارتقاء سطح عمومی نسبت به این پدیده های زمین شناختی هم باعث ترویج این علم برای عموم می گردد و هم از ظرفیت های زمین گردشگری برای ماندگاری بیشتر در منطقه و یکی از عوامل برای توسعه اقتصاد ناحیه می

**بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران**  
**۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)**  
**24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran**



شود. لذا با توجه به وجود ظرفیت‌های زمین گردشگری، ژئوسایت‌های جذاب و وجود زیرساخت‌های حمل و نقل و گردشگری، می‌توان این منطقه را به عنوان یک منطقه هدف زمین گردشگری معرفی نمود و سازوکارهای معرفی یک ژئوپارک را در بخش لاریجان آمل بررسی و پیگیری نمود.

جدول ۱: انواع ژئوسایت‌ها برای رونق بخش ژئوتوریسم (اقتباس از حاج علیلو و همکاران، ۱۳۹۰ با معرفی پتانسیل‌های موجود در منطقه

(مورد مطالعه)

انواع ژئوسایت‌ها	مثال‌ها	پتانسیل‌های موجود در منطقه آب اسک
ماجراجویانه با رویکردهای ورزشی	در کوه‌ها، غارها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، کویر و بیابان	قایقرانی در رود خروشان هراز، صخره نوردی و بازدید از غارهای دستکند، قایقرانی و ماهیگیری در دریاچه امامزاده علی
رخنمونهای جاده‌ای	-	کوه دماوند، گدازه‌های منشوری دماوند در حاشیه دره و رود هراز، سازندهای مبارک، روته، شمشک، زیارت، تیزکوه، زمین لغزش و سطح رانشی امامزاده علی، چشمه‌های معدنی، آهک آب شیرین چشمه‌ها در حاشیه رود و دره
زمین شناسی و شکل شناسی زمین	فرایندهای زمین مثل آتشفشانها شکل‌های زمین مثل پیچ رودخانه‌ها	کوه دماوند، گدازه‌های منشوری دماوند دره و رود هراز، آهک آب شیرین و تراورتن‌ها که موجب انحراف رود هراز به شکل متاندر در جهت شمال گردید و تراورتن‌ها بصورت شبه جزیره‌ای در حاشیه رود هراز دیده می‌شوند، مرتع اسکوش
بناهای صخره‌ای، سنگی و دستکند	مصالح بکار رفته یا نوع سازندهای سنگی	غارهای دستکند (کافرکلی) در خاکسترهای آتشفشانی
معدنکاری	معدن در حال استخراج امروزی معدن متروکه معاصر میراث معدنکاری و فلزکاری کهن	پوکه معدنی اسکوش معدن تراورتن -
فسیلهای انسان (انسان شناسی)	-	-
ژئوتوریسم اکتشافی	ژئورکتولوژی (زمین باستان شناسی) اکتشاف کانی جواهری و فلزات قیمتی	آثار باستانی منطقه بالا لاریجان مانند بقایای راه‌های ساخته شده از دوران ساسانی تا قاجار، ده‌ها مقبره، امامزاده، قلعه، پاسگاه و آتشگاه -

**منابع:**

امامی، م.ه، ۱۳۶۸. آتشفشان دماوند و فعالیت احتمالی آن. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 امری کاظمی، ع، ۱۳۸۵. نگاهی به مفاهیم کلی ژئوپارک، میراث زمین شناسی و ژئوتوریسم و بررسی جایگاه ایران در این زمینه، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.  
 امری کاظمی، ع، ۱۳۸۸. اطلس توانمندی های ژئوپارک و ژئوتوریسم ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، چاپ نخست، ایران.  
 شمشکی، ا، بلورچی، م.ج، انصاری مقدم، ف، ۱۳۸۳. بررسی‌های اولیه آب زمین شناسی و جا نمایی نقاط پایش (طرح رفتارسنجی پوسته زمین در البرز مرکزی). گزارش سازمان زمین شناسی کشور.  
 حاج علیلو، ب، نکویی صدر، ب، ۱۳۹۰. ژئوتوریسم، تهران، دانشگاه پیام نور.  
 قربانی، م، ۱۳۷۸. پرلیت و پوکه های معدنی. سازمان زمین شناسی کشور.  
 محمدی نشلی، ج، رستم نژاد نشلی، ع، ۱۳۹۲. معرفی و بررسی غار های دستکند کافر کلی keli بخش لاریجان شهرستان آمل. اولین همایش ملی باستان شناسی ایران.

## GIS-برنامه های کاربردی برای گزارش محیط زیست در بخش معدن

سمیه خواجهوند<sup>۱</sup>، عرفان جباری<sup>۲</sup>، زهرا حسنعلی زاده<sup>۳\*</sup>، فاطمه ضیاالدینی دشتخاکی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد معدن استخراج، مجتمع آموزش عالی زرند

<sup>۳</sup>فارغ التحصیل کارشناسی ارشد استخراج معدن دانشگاه صنعتی همدان

<sup>۴</sup>دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرند

[Zahra.hasanalizade@gmail.com](mailto:Zahra.hasanalizade@gmail.com)\*

### چکیده:

"GIS" یک سامانه رایانه‌ای برای مدیریت و واکاوی اطلاعات جغرافیایی بوده که توانایی گردآوری، ذخیره، واکاوی و نمایش اطلاعات جغرافیایی را دارد. این مقاله قدرت برنامه های GIS و اهمیت آن را برای حفاظت از محیط زیست در صنعت معدن توصیف می کند. از [GIS](#) (سیستم اطلاعات جغرافیایی) بطور گسترده ای در اکتشافات معدنی به عنوان یک ابزار جمع آوری، تحلیل و تصمیم گیری های پیچیده جهت جستجوی لایه های رسوبی و نهشت های با صرفه اقتصادی استفاده شده است. GIS با ایجاد یک پایگاه داده مناسب شامل مجموعه داده های زمین شناسی، کانی شناسی، سنگ شناسی، تصاویر نقشه برداری ماهواره ای، هوایی، زمینی و ژئوفیزیکی، و اطلاعات فضایی محیط مناسبی را برای دسترسی به اطلاعات معدنی و تحلیل داده ها و تعیین مناطق جدید اکتشافی پدید می آورد.

کلیدواژه: معدن، GIS، مدیریت محیط زیست، اطلاعات محیطی، تجزیه و تحلیل محیطی-ذهنی

## GIS-Applications for Environmental Reporting in the Mining Sector

Somayah Khajvand<sup>1</sup>, Erfan Jabbari<sup>2</sup>, Zahra Hassan Alizadeh<sup>3\*</sup>, Fatemeh Zia ADini Dashtkhaki<sup>4</sup>

1-Mining student of Tarbiat Modares University

- Master student of Mining, Zarand Higher Education Complex

- Graduate of Hamadan University of Technology

4-BS student in Mining Engineering, Zarand Higher Education Complex,

[Zahra.hasanalizade@gmail.com](mailto:Zahra.hasanalizade@gmail.com)

### Abstract

"GIS" is a computer system for managing and analyzing geographic information that has the ability to collect, store, analyze and display geographic information. This article describes the power of GIS applications and their importance for environmental protection in the mining industry. GIS (GIS) has been widely used in mineral exploration as a tool for complex collection, analysis and decision making to search for sedimentary layers and economically viable deposits. GIS provides a suitable database for accessing mineral information and data analysis and zoning by creating a suitable database

including geological, mineralogical, lithological data sets, satellite, aerial, terrestrial and geophysical mapping images, and spatial information. New creates exploration.

#### مقدمه:

سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) همه سیستم هایی هستند که اطلاعات جغرافیایی را ذخیره ، ویرایش ، تجزیه و تحلیل ، به اشتراک گذاری و نمایش داده می کنند. برنامه های GIS را می توان به عنوان ابزارهایی توصیف کرد که به کاربران اجازه می دهد پرس و جوهای تعاملی انجام دهند، اطلاعات مکانی را تجزیه و تحلیل کنند، داده ها و نقشه ها را ویرایش کرده و نتایج این روش ها را ارائه دهند (Stiels et al., 2018). امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با توجه به پیشرفت علوم و سیستم های کامپیوتری در مباحث مختلف علمی و اجرایی از قبیل زمین شناسی، زیست محیطی، منابع آب، شبکه آب و فاضلاب شهری، روستایی شبکه های برق، گاز، تلفن، آب خیزداری، کشاورزی، جنگلداری شهرسازی، ژئوتکنیک، تجارت صنعت به کار گرفته شده است (کرباسی و سنایی راد، ۱۳۸۶). با ظهور رایانه های قدرتمند و مقرون به صرفه از دهه ۱۹۸۰، برنامه های GIS در علم محیط زیست به سرعت رشد کرد. گسترش روزافزون شبکه کاربری این سیستمها از جمله نکات اساسی است که می تواند به قابلیتها و تواناییهای این سیستم بیفزاید (صدیقی، ۱۳۸۳).

بخش معدن با پدیده ها و فرایندهای محیطی پیچیده ای مشخص می شود که در فضا و زمان بسیار متغیر بوده و مناطق وسیعی را در بر می گیرد (Broemme and Stolpe, 2007). مدیریت محیط زیست برای تمام مراحل سایت معدن از جمله مراحل اکتشاف ، بهره برداری و احیای مورد نیاز است. برای مدیریت اطلاعات محیطی مربوط به سایت معدن به عنوان بخشی از مدیریت محیط زیست ، GIS یک ابزار ضروری است (Stiels et al., 2010).

#### گزارش زیست محیطی

گزارش زیست محیطی افشای اطلاعات در مورد مدیریت و نظارت بر تأثیرات زیست محیطی صنایع استخراجی است. این شامل اطلاعات مربوط به مقررات و مقررات قانونی است. همچنین شامل اطلاعاتی در مورد شیوه های مدیریت محیط زیست در چارچوب مقررات است. مقررات گزارش زیست محیطی در استاندارد EITI 2019 هم انتشار داده های پرداخت های اجباری و اختیاری مربوط به چارچوب مقررات زیست محیطی در هر کشور و هم اطلاعات مربوط به تأثیرات زیست محیطی را پوشش می دهد. گزارش های زیست محیطی را می توان بر اساس گروه مورد نظر که مورد توجه قرار گرفته اند ، متمایز کرد. گزارشات داخلی و خارجی وجود دارد. گزارشات زیست محیطی داخلی خطاب به تصمیم گیرندگان یک شرکت است. هدف آنها اطلاع رسانی به تصمیم گیرندگان به منظور افزایش عملکرد محیطی یک شرکت با هدایت مدیریت و سرمایه گذاری های زیست محیطی است. در مقایسه با انواع دیگر گزارشات زیست محیطی، گزارشات داخلی جزئیات بیشتری دارند و می توانند حاوی داده ها باشند. مقاصد آنها نه تنها اطلاع رسانی در مورد وضع موجود بلکه شناسایی نیاز به اقدام و شانس برای بهبود محیطی یا مالی است. در اینجا نقشه ها به تجسم مطالب و تجزیه و تحلیل مشکلات محیطی کمک می کنند. از پردازش داده های فضایی



می‌توان برای اولویت بندی اقدامات و سرمایه گذاری های محیطی استفاده کرد. گزارش خارجی می‌تواند به گزارش اجباری و داوطلبانه تقسیم شود (Stiels et al., 2018).

گزارش برای عموم مردم در بیشتر کشورها داوطلبانه است. افزایش پرداخت های زیست محیطی به شهروندان کمک می‌کند تا بفهمند که عملیات معدن، نفت و گاز با قوانین و مقررات ملی مطابقت دارد یا خیر. اطلاعات مربوط به اثرات زیست محیطی عملیات مربوط به جوامعی است که تحت تأثیر عملیات قرار گرفته‌اند. این امر به ویژه برای جوامعی که به معیشت خود یا تفریح وابسته به در دسترس بودن زمین، آب یا ذخایر طبیعی هستند بستگی دارد. داده های مربوط به درآمدهای بخش استخراج می‌تواند به شهروندان در درک میزان وابستگی آنها به معادن، درآمد نفت و گاز و چگونگی تغییر این درآمدها با پیشرفت انتقال انرژی کمک کند.

### گزارش زیست محیطی داخلی مبتنی بر GIS

این گزارش دارای یک قسمت مقدماتی کلی است که در ادامه آن فصل های اصلی به تجزیه و تحلیل وضعیت محیطی زمینه های فعالیت در معدن می‌پردازد. زمینه فعالیت آب است. زباله ها، ضایعات و زباله های خطرناک؛ گرد و غبار و هوا؛ سر و صدا و ارتعاش این گزارش با فصلی در مورد سازمان، توسعه و ارتباطات سازمان و نتیجه گیری نهایی به پایان می‌رسد (Stiels et al., 2018).

### قسمت مقدماتی

سیاست زیست محیطی یا خط مشی زیست محیطی، به تعهدات در خصوص مسائل زیست محیطی با سازماندهی قوانین، مقررات، خط‌مشی‌ها و سایر سازوکارهای سیاسی اطلاق می‌شود. این مسائل عموماً شامل آلودگی هوا و آب، مدیریت پسماند، مدیریت اکوسیستم، حفظ تنوع زیستی، حفاظت از منابع طبیعی، حیات وحش و گونه‌های در معرض خطر می‌باشد. سیاست‌های مربوط به بخش انرژی، یا تنظیم سموم از جمله آفت‌کش‌ها و بسیاری از انواع زباله‌های صنعتی، بخشی از چالش‌های سیاست‌های زیست محیطی را به خود اختصاص می‌دهند. این سیاست‌ها می‌توانند با نظارت بر فعالیت‌های انسانی، از اثرات مضر آن بر محیط بیوفیزیکی و منابع طبیعی، همچنین از تغییرات محیط زیست و اثرات مضر آن بر زندگی انسان‌ها جلوگیری نمایند. سیاست های زیست محیطی پایه و اساس یک مدیریت زیست محیطی خوب است زیرا ایده های ملموس مدیریت شرکت در زمینه مسائل زیست محیطی مربوط به فعالیت های شرکت را نشان می‌دهد. این بسیار مهم است زیرا مدیریت محیط زیست تنها در صورتی می‌تواند کار کند که مدیریت واقعاً از آن حمایت کند. سیاست های زیست محیطی و اهداف زیست محیطی باید به طور مرتب به روز شوند (Stiels et al., 2018).

قسمت اول گزارش شرح ناحیه است که احیاناً تحت تاثیر فعالیت های معدنی است. که شامل توضیحات توپوگرافی، مورفولوژی، هیدرولوژی و... است که به شکل نقشه تهیه می‌شوند. اطلاعات مربوطه باید به طور منظم به روز شوند که هنگام استفاده از پایگاه داده GIS به راحتی قابل انجام است.

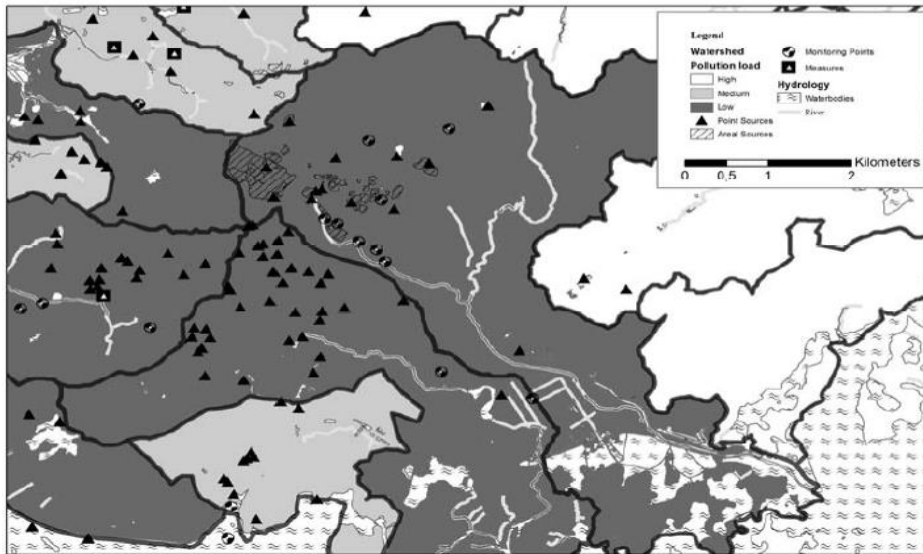
### زمینه های فعالیت

زمینه‌های فعالیت رسانه‌های زیست محیطی مربوطه هستند که تحت تأثیر معدن قرار گرفته‌اند. که هر فصل می‌تواند شامل موضوعاتی برای آب، ضایعات، گرد و غبار، سرو صدا و... باشد. اهداف فعالیت به صورت برنامه‌های کوتاه مدت و بلندمدت هستند

که اهداف کوتاه مدت شامل یک گزارش یک ساله است. همچنین برای هر منطقه خاص یک مسئول مشخص می شود. از جمله پارامترهایی که در دسته بندی موثر است میزان حساسیت زیست محیطی است که برای هر منطقه باید تعریف شود. پارامتر بعدی برای اولویت بندی اقدامات آلودگی محیط زیست است. وضعیت فعلی آلودگی در قسمت بعدی گزارش محیط زیست برای حوزه فعالیت مربوطه توصیف و تجزیه و تحلیل می شود. آلودگی محیط زیست بر اساس داده های منابع آلودگی، اقدامات زیست محیطی و نتایج نظارت طبقه بندی می شود. اطلاعات خلاصه شده در نقشه نشان داده شده است (شکل ۱). پس از یک مرور کلی کوتاه، منابع آلودگی در هر MU شرح داده شده است. منابع آلاینده با استفاده از نقشه های CAD موجود، تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای، داده های موجود از شرکت های معدنی و نقشه برداری مستقیم GPS در این زمینه تعیین می شود. همه منابع آلودگی در کاداستر جداگانه برای هر سال ذخیره می شود. این امر امکان شناسایی محل های آلوده احتمالی را پس از بسته شدن محل معدن و آماده سازی برای بازسازی فراهم می کند. هر منبع آلودگی در کاداستر در کنار اطلاعات مکانی حاوی داده های اضافی است. ویژگیهای اضافی عبارتند از بار آلودگی در سال، مواد مرتبط که باعث آلودگی می شوند، شرح مختصری از فرآیند ایجاد آلودگی، اطلاعاتی در مورد اقدامات زیست محیطی در صورت وجود و ... اقدامات زیست محیطی موجود با استفاده از نقشه های CAD موجود، تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای، داده های موجود از شرکت های معدنی و نقشه برداری مستقیم GPS در این زمینه تعیین می شود. علاوه بر این، اطلاعات گزارشات سرمایه گذاری و نقشه های دقیق طراحی مورد استفاده قرار می گیرد. داده های مشخصه برای اقدامات موجود، نوع اندازه گیری اجرا شده، دستگاه های اندازه گیری شده، ظرفیت درمان، فناوری درمان، وضعیت اجرا و ... (Stiels et al., 2010; Clarke, 1986; ) ... (Cowan and Gadenne, 2005).

شاخص های مهم آلودگی محیط زیست نتایج پایش در دوره گزارش است. این نتایج می تواند از نقاط نظارت دائمی باشد که در آن نظارت به طور منظم همیشه در یک مکان انجام می شود. راه حل حتی بهتر، دستگاه های نظارتی دائمی نصب شده است. نقاط نظارتی دائمی در مکانهایی که احتمال آلودگی وجود دارد یا در نقاطی با کاربری حساس تعریف شده است. علاوه بر این، نتایج اندازه گیری می تواند از نقاط موقت وجود داشته باشد. آنها برای اهداف تحقیق یا در مرحله مفهومی برای اندازه گیری محیطی استفاده می شوند. همه نقاط نظارتی با داده های مربوط به نظارت در پایگاه اطلاعات جغرافیایی ذخیره می شوند. به منظور اطمینان از ویژگی منحصر به فرد داده های نظارت، هر مکان نظارت یک شناسه دریافت می کند. مانند این مکانهای مختلف نظارت و گاهی اوقات فقط کمی تغییر یافته نمی توان آنها را با هم ترکیب کرد حتی اگر آنها توصیف جغرافیایی مشابهی داشته باشند. تجزیه و تحلیل نتایج نظارت در یک مکان در زمان های مختلف، نکات مهمی را در مورد تأثیر فزاینده منبع آلودگی یا اثربخشی اقدامات محیطی ارائه می دهد (Clarke, 1986).

گام بعدی طبقه بندی آلودگی محیط زیست برای هر MU است. در مورد حساسیت سه طبقه تعریف می شود: آلودگی زیاد، متوسط و کم محیط. بسته به در دسترس بودن داده ها، روشهای مختلف ارزیابی در دسترس است. در اینجا روشی انتخاب شد که بار آلودگی تجمعی در MU را در نظر می گیرد و آن را به مساحت MU مرتبط می کند. بار آلودگی از داده های منابع آلودگی، داده های نظارت و داده های فرآیند تعیین می شود. ارزش اطلاعات بار آلودگی تجمعی را می توان با استفاده از عوامل وزنی مختلف برای پارامترهای مختلف آلودگی بهبود بخشید. وزن با میزان خطر فرین بودن یک ماده افزایش می یابد. مقررات قانونی خاص و خواسته های ذی نفعان نیز باید مورد توجه قرار گیرد. آلودگی طبقه بندی شده مجدد محیط زیست در نقشه ای نشان داده می شود که منابع آلودگی، اقدامات زیست محیطی موجود و نقاط نظارت را نشان می دهد (شکل ۱) (Clarke, 1986; Cowan and Gadenne, 2005; Deming, 1986).



شکل ۱: نقشه نمونه طبقه بندی آلودگی محیط زیست برای آبهای سطحی

بر اساس طبقه بندی های مشتق شده از حساسیت محیطی از یک سو و آلودگی محیطی از سوی دیگر، در نهایت تاثیر محیط بر هر MU تعیین می شود تا MU های اولویت دار برای توصیه اقدامات محیطی شناسایی شوند. از آنجا که بخش معدن هنوز در مرحله آغاز اجرای اقدامات زیست محیطی است، تمرکز بر MUs است که در آن حساسیت محیطی بالا با آلودگی محیطی بالا ترکیب شده است. MU های مربوطه به عنوان MU های با اولویت بالا انتخاب می شوند، در نقشه تجسم می شوند و در برگه های داده به تفصیل توضیح داده می شوند. چنین برگه های تمام اطلاعات مربوط به حساسیت زیست محیطی، منابع آلودگی، اقدامات زیست محیطی موجود، نتایج نظارت، آلودگی محیط زیست و تأثیرات زیست محیطی را خلاصه می کند. در یک نگاه خواننده می تواند بفهمد که چرا یک MU با اولویت بالا است و در کجا اقدامات احتمالی کاهش باید اجرا شود.

در MU های دارای اولویت بالا، منابع آلودگی با توجه به اقدامات احتمالی کاهش مورد بررسی قرار می گیرد. منابع آلودگی با مواد خطرناک و بارهای آلودگی بالا باید ابتدا درمان شوند. بر اساس برآورد هزینه های سرمایه گذاری برای اقدامات، نسبت هزینه/سود مشخص نمی شود. اقدامات با نسبت هزینه/سود بالا اقدامات توصیه شده هستند و در نقشه نمایش داده می شوند. علاوه بر این، توصیه هایی برای تعدیل شبکه نظارت ارائه شده است. معیارهای اصلی برای تعدیلات MU های اولویت دار، مناطق با حساسیت زیست محیطی بالا و مناطق با داده های مفقود در مورد آلودگی محیط زیست است. تنظیمات پیشنهادی شبکه مانیتورینگ در نقشه نمایش داده می شود.

الگوریتم شرح داده شده در بالا برای هر زمینه فعالیت به روشی مشابه انجام می شود. ابتدا حساسیت محیطی و آلودگی محیط تجزیه و تحلیل و طبقه بندی می شوند. بر این اساس، اثرات زیست محیطی تعیین می شود و MU های اولویت دار مشخص می شوند. برای آنها اقدامات کاهش و تعدیل در شبکه نظارت توصیه می شود (Clarke, 1986).

پس از اجرای گزارش در سال دوم، اثربخشی اقدامات اجرا شده باید به دقت بررسی شود تا بتوان تصمیم گرفت که آیا اجرای همان نوع اقدامات را ادامه می دهد یا اقدامات دیگری را مجدداً تنظیم و توصیه می کند. این امر در مورد محل اقدامات توصیه شده نیز صدق می کند. این گزارش ابزاری برای مدیریت و برنامه ریزی محیطی است که خود را کنترل می کند و باید به طور منظم با الزامات واقعیت تنظیم شود.

سازمان، توسعه سازمان و ارتباطات

این بخش از گزارش زیست محیطی به مسائل سازمانی در مدیریت محیط زیست می پردازد تا خواننده را از گزارش مدیریت ساختار محیطی در شرکت مطلع کند و در صورت لزوم پیشنهادهای ارائه دهد. منابع انسانی، نقشه ها، مسئولیتها و مجوزهای مربوط به مدیریت محیط زیست شرح داده شده و توضیح داده شده است. ارتباطات داخلی بین تمام سطوح مدیریتی و درون آنها و همچنین ارتباط خارجی مسائل زیست محیطی نقش مهمی ایفا می کند و در گزارش ثابت شده است. قوانین و الزامات مربوط به مستندات مدیریت محیط زیست و اطلاعات زیست محیطی شرح داده شده است. علاوه بر این، اقدامات ایجاد شده و برنامه ریزی شده برای افزایش ظرفیت و همچنین برنامه های توسعه سازمان شرح داده شده است (Cowan and Gadenne, 2005; Deming, 1986).

### مروری بر برنامه های کاربردی GIS

سنجش از دور در بسیاری از زمینه های علمی و تحقیقاتی کاربردهای گسترده ای دارد. از جمله کاربردهای فن سنجش از دور می توان به استفاده از آن در زمین شناسی، آب شناسی، معدن، شیلات، کارتوگرافی، جغرافیا، مطالعات زیست شناسی، مطالعات زیست محیطی، سیستم های اطلاعات جغرافیایی، هواشناسی، کشاورزی، جنگل داری، توسعه اراضی و به طور کلی مدیریت منابع زمینی و غیره اشاره کرد. سنجش از دور می تواند تغییرات دوره ای پدیده های سطح زمین را نشان دهد و در مواردی چون بررسی تغییر مسیر رودخانه ها، تغییر حد و مرز پیکره های آبی چون دریاچه ها، دریاها و اقیانوس ها، تغییر مورفولوژی سطح زمین و غیره بسیار کارساز است. افزون بر این یک سیستم سنجش از دور با توجه به این که بر اساس ثبت تغییرات و اختلاف های بازتابش الکترومغناطیسی از پدیده های مختلف کار می کند، می تواند حد و مرز پدیده های زمینی اعم از مرز انواع خاک ها، سنگ ها، گیاهان، محصولات کشاورزی گوناگون و... را مشخص کند.

کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در حال حاضر از ابزاری در مدل سازی زیست محیطی فراتر رفته و آن را به ابزاری برای پشتیبانی از اهداف توسعه پایدار به واسطه تکنولوژی های خلاق و جدید تبدیل کرده است. تجزیه و تحلیل های زیست محیطی شامل محدوده متنوع و وسیعی از فنون می باشند که هدف آنها تعیین فاکتورهای خاص آلودگی ها و فشار بر محیط زیست است. در این حوزه، پایش و مدل سازی زیست محیطی با هدف تخمین زدن کیفیت وضعیت موجود محیط زیست و تغییرات بالقوه کوتاه مدت و بلند مدت در آن بکار می رود GIS می تواند به عنوان ابزار پشتیبانی کننده تصمیمات استراتژیک برای توسعه و بسط مدل هایی بکار رود که این مدل ها می توانند وضعیت واقعی و حقیقی محیط زیست را شبیه سازی کرده و پیامدها و خسارات بالقوه یک پروژه توسعه جدید یا موجود را مدل سازی کنند (Deming, 1986).

چندین برنامه GIS برای تهیه گزارش زیست محیطی که در بالا شرح داده شده است مورد استفاده قرار می گیرد. همه داده های موجود در گزارش در یک پایگاه داده رابطه ای ذخیره می شوند. پایگاه اطلاعاتی رابطه ای این مزیت را دارد که داده ها یکپارچه، به وضوح مرتب و به راحتی به روز می شوند. تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای با وضوح بالا برای به روز رسانی نقشه های topographic موجود، ایجاد تغییرات در کاربری اراضی و استفاده از زمین، شناسایی منابع آلودگی و تاثیرات محیطی استفاده می شود. با توجه به تعداد زیادی ماهواره برای مقاصد زیست محیطی و سایر اهداف ارائه داده های تصویری، قیمت داده های ماهواره ای با وضوح بالا امروزه بسیار مقرون به صرفه است. در مورد حوزه آب فعال، حوضه های آبریز طبیعی باید تعیین شوند، ArcGis ArcHydroTool برای ترسیم حوضه های نمایانگر MU استفاده شد. سایر ابزارهای تجزیه و

تحلیل داده های زیست محیطی شامل ارزیابی خطر فرسایش، تجزیه و تحلیل مسیر و تجزیه و تحلیل نقاط داغ است. برای مقایسه وضعیت بین دو سال گزارش مختلف، GIS همچنین یک ابزار تشخیص تغییر ارائه می دهد (Stiels et al., 2010).

### نتیجه گیری و چشم انداز

تقسیم ناحیه گزارش در واحدهای مدیریتی (MU) که می تواند برای هر حوزه فعالیت متفاوت باشد، امکان مدیریت زیست محیطی انعطاف پذیر را بر اساس شرایط مرزی طبیعی و اداری فراهم می آورد. سیستم گزارش توسعه یافته نه تنها داده های نظارتی را نمایش می دهد، بلکه میزان انتشار، آلودگی و تأثیرات زیست محیطی را در منطقه گزارش ارزیابی می کند. بر اساس این اطلاعات، اولویت بندی واحدهای مدیریتی (MUs) انجام می شود که با اولویت بندی منابع آلودگی در واحد مدیریت دنبال می شود. اولویت بندی منابع آلودگی برای اقدامات کاهش به طور مستقیم از تصمیم گیرندگان در مدیریت مسائل زیست محیطی و اختصاص سرمایه گذاری به پروژه های زیست محیطی که بیشترین تأثیر مثبت را دارند، پشتیبانی می کند. پس از اجرای اقدامات برای کاهش آلودگی، می توان اثربخشی آنها را ارزیابی کرد و به راحتی در نقشه ها ارزیابی و تجسم شد. روش پیشنهادی پتانسیل بالایی برای کمک به بهبود وضعیت زیست محیطی در بخش معدن دارد. به ویژه در کشورهایی که با چالش تصمیم گیری در زمینه حفاظت از محیط زیست با منابع داده محدود و منابع مالی محدود روبرو هستند.

### منابع:

صدیقی، مهری، ۱۳۸۳، بررسی کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (جی آی اس) در ساماندهی مدارک علوم زمین موجود در مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران، علوم اطلاعات، دوره ۲۰، شماره ۱ و ۲، پاییز و زمستان ۱۳۸۳ (۴-۲۹)  
کرباسی راوری، مهین، سنایی راد، علی، ۱۳۸۶، کاربرد GIS در مدیریت معادن استان مرکزی. اولین همایش GIS شهری.

Broemme, K. and Stolpe, H., 2007. October. Developing environmental concepts for Vietnamese coal mines. In International Workshop Geoecology and Environmental Technology (Vol. 25, p. 27).

Clarke, K. C., 1986. Advances in Geographic Information Systems. Computers, Environment and Urban Systems. 10 (3-4): 175-184.

Cowan, S. and Gadenne, D., 2005. Australian corporate environmental reporting: a comparative analysis of disclosure practices across voluntary and mandatory disclosure systems. Journal of Accounting & Organizational Change. 1: 165 - 179.

Deming, W. E., 1986. Out of the Crisis. Massachusetts: MIT Center for Advanced Engineering Study.

Stiels, C., Brömme, K. and Stolpe, H., 2018. GIS-Applications for Environmental Reporting in the Mining Sector. Institute of Environmental Engineering and Ecology, Ruhr University of Bochum. Available online: [http://www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/mam/content/rame/paper\\_cstiels\\_final.pdfstart](http://www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/mam/content/rame/paper_cstiels_final.pdfstart)

Stiels, C., Brömme, K., Stolpe, H., 2010. GIS-Application for Environmental Management in Mining Areas on the Example of the Quang Ninh province, Vietnam, in: International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, Hanoi, Vietnam.

## بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس

حسین مهدیخانی<sup>۱\*</sup>، اسفندیار عباس نوین پور<sup>۲</sup>، امید اسدی گلمز<sup>۳</sup>  
<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه  
<sup>۲</sup>استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه  
<sup>۳</sup>کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه  
mhdykhanyhysn@gmail.com

### چکیده:

آب به عنوان مظهر زندگی و مهم ترین نیاز بشری در روی کره زمین می باشد و اکثر تمدن ها در نزدیکی رودها و رودخانه ها به وجود آمده اند که این امر نشان دهنده این است که مهم ترین دغدغه و فکر بشر تأمین آب بوده است، شناخت کیفیت و کمیت آب های زیرزمینی به عنوان یکی از مهم ترین و آسیب پذیرترین منابع تأمین آب در دهه های اخیر یک امر کاملاً بدیهی است. هدف این تحقیق بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس می باشد. در این راستا از پارامترهای Na, Cl, TDS و EC مربوط به ۳۲ حلقه چاه طی سال های ۸۷ و ۹۷ انتخاب شدند. از روش های کریجینگ و کوکریجینگ برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس پارامترهای فوق استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که مقدار پارامترهای فوق در سال ۹۷ نسبت به ۸۷ افزایش یافته اند.  
کلیدواژه: آب زیرزمینی، کریجینگ، کوکریجینگ، کیفیت آب

## Investigation of temporal and spatial changes in groundwater quality of Salmas plain aquifer

Hossein Mehdikhani<sup>1\*</sup>, Esfandiar Abbas Novinpour<sup>2</sup>, Omid Asadi Golmaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master student of hydrogeology, Faculty of Science, Urmia University

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University

<sup>3</sup>Master of Hydrogeology, Faculty of Science, Urmia University

### Abstract

Water is the manifestation of life and the most important human need on the planet and most civilizations have emerged near rivers and streams, which shows that the most important concern and human thought has been water supply, recognizing the quality and quantity of groundwater as one of the most important and vulnerable sources of water supply in recent decades is quite obvious. The purpose of this study is to investigate the temporal and spatial changes of groundwater quality in the Salmas plain aquifer. In this regard, the parameters of Na, Cl, TDS and EC related to 32 wells during the years 87 and 97 were selected. The study of spatial and temporal changes in groundwater quality was used based on the above parameters. The results show that the amount of the above parameters has increased in 1997 compared to 87.

#### مقدمه:

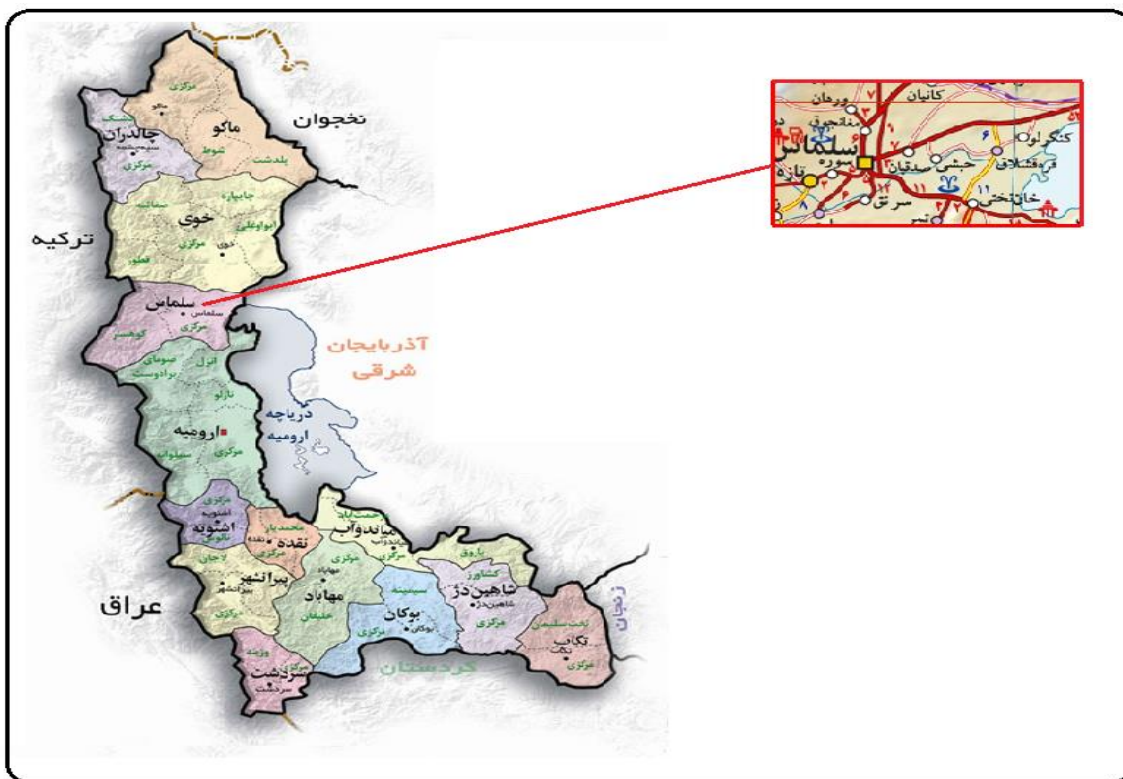
با توجه به رشد روزافزون جمعیت، آب زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب آشامیدنی در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران به شمار می‌آید. این منابع در نقاط مختلف به صورت طبیعی یا از طریق فعالیت‌های انسانی دچار تغییر کیفیت شده و آلوده می‌شوند. در سال‌های اخیر استفاده از مواد شیمیایی و سموم مختلف در کشاورزی و دامداری در مناطق مختلف باعث تشدید آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است. اولین قدم در شناخت آب، بررسی پارامترهای آب شرب و سالم است که در درازمدت مصرف آن خطری برای مصرف کننده ایجاد نکند. بررسی کیفیت هیدرو شیمیایی منابع آب زیرزمینی شاخص مناسبی برای تعیین قابلیت مصارف گوناگون است (زیرک جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۲). نظر به اینکه کیفیت آب به طور مستقیم سلامت مصرف کنندگان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بررسی کیفیت آب و عوامل مؤثر از نظر هیدرو شیمیایی و آنالیز شیمیایی ضروری به نظر می‌رسد که دارای ویژگی و معیارهای مشخصی باید داشته باشد. به دلیل اینکه آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی مؤلفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی نیست، از زمین‌آمار به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌گردد. به طور کلی آنالیز زمین‌آمار به بررسی پدیده‌های متغیر در زمان و مکان و آنالیز نقاط نمونه برداری شده با موقعیت‌های متفاوت به منظور تولید یک سطح پیوسته می‌پردازد (Isaaks and Srivastava, 1989). در این تحقیق، تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش کریجینگ زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش‌های زیادی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار در خصوص کیفیت منابع آب زیرزمینی صورت گرفته است. رجیت و همکاران (Rejith et al., 2009) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی روستای هیگلاند واقع در ایالت کرالا برای مصارف آشامیدنی پرداختند و برای آنالیز داده‌ها از دو نمونه برداری در ماه‌های ژوئن و مارس ۲۰۰۷ استفاده کردند و نقشه کیفیت آب را برای سه پارامتر pH، کادمیوم و فکال کالیفورم تهیه کردند. حبیبی اربطانی و همکاران (۱۳۸۸) مدل سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت شریف‌آباد قم را به کمک روش‌های زمین‌آمار انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد روش‌های زمین‌آمار برتری بالایی نسبت به روش‌های معین داشته و بهترین روش برای مدل سازی پارامترهای کلر، مجموع کاتیون‌ها و شوری روش کوکریجینگ و برای پارامترهای بی‌کربنات و سدیم روش کریجینگ می‌باشند. اوسطی و سلاجقه (۱۳۸۹) از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی به عنوان بهترین روش درونیاب برای پهنه‌بندی نیترات در آب زیرزمینی دشت کردان بهره بردند. در مطالعه‌ای دیگر ژانو و همکاران به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۷۸۱ چاه واقع در دشت بهای در شمال کشور چین پرداخته شد، نتایج نشان داد که بهترین مدل‌های برازش داده شده به لگاریتم داده‌ها شامل تراز آب زیرزمینی و TDS مدل کروی، برای TH مدل نمایی و برای EC مدل گوسین بودند. با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که تراز آب زیرزمینی از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده و روند تغییرات TDS و EC به صورت افزایشی می‌باشند و بیشترین میزان TH مربوط به قسمت میانی و خط ساحلی دشت است. مراتی و همکاران (۲۰۱۷)، به پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS حوضه آبخیز سلیمان‌شاه پرداختند، این پژوهش با هدف بررسی پراکنش کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز سلیمان‌شاه در استان کرمانشاه و تهیه نقشه آلودگی آب‌های زیرزمینی در اراضی تحت کشاورزی با استفاده از روش زمین‌آمار صورت گرفت. آنان از پارامترهای مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کلر و نیترات آب‌های زیرزمینی از ۶۰ چاه موجود در محدوده نمونه برداری شده، جهت درون‌یابی از روش‌های کریجینگ و IDW و به منظور انتخاب مدل مناسب از شاخص RSS استفاده گردید، نتایج نشان داد که برای پهنه‌بندی پارامترهای مذکور روش کریجینگ معمولی - نمایی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد. در مطالعه‌ای دیگر که توسط بیرانوند و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی کیفی آب‌های

زیرزمینی آبخوان دشت لرستان با روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله انجام دادند، نتیجه گرفتند که روند تغییر متغیرهای کیفی آب زیرزمینی مطابق با جهت جریان آب می‌باشد. هدف این پژوهش بررسی تغییرات زمانی و مکانی آبخوان دشت سلماس با استفاده از پارامترهای PH،Cl،Na و TDS برای سال‌های ۸۷ و ۹۷ می‌باشد.

### روش مطالعه:

### منطقه مطالعاتی

شهرستان سلماس در شمال غربی ایران و در طول‌های جغرافیایی "۴۵°،۲'،۰۰" و "۴۴°،۴۶'،۰۰" درجه شرقی و در عرض‌های جغرافیایی "۳۸°،۱'،۳۰" و "۳۸°،۱۸'،۰۰" شمالی در محدوده‌ی استان آذربایجان غربی جای دارد. (شکل ۱-) موقعیت استان آذربایجان غربی در نقشه ایران را مشخص کرده است. این شهرستان از شمال با خوی از شرق با تسوج و دریاچه ارومیه و از جنوب با ارومیه و از غرب با ترکیه همسایه است.



شکل ۱۶: موقعیت منطقه مطالعاتی

دشت سلماس بین ارتفاعات نه‌چندان بلند قرار دارد؛ که از طرف شمال با رسوبات تبخیری و از طرف جنوب از طریق کمپلکس قوشچی و از طرف غرب کوه وار شورا احاطه شده و از طرف شرق ساحل دریاچه ارومیه می‌باشد. متوسط بارش سالانه برای ۱۲ سال در ایستگاه سینوپتیک سلماس ۲۴۱/۷ میلی‌متر می‌باشد. کمترین مقدار بارش برای مردادماه و بیشترین مقدار برای اردیبهشت‌ماه است؛ و بیشترین دمای متوسط به‌دست‌آمده از منطقه ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار آن ۲/۵- می‌باشد. از دیدگاه ریخت‌شناختی نزدیک به یک‌پنجم دشت سلماس و دشت خوی در بخش شرقی و شمال شرقی با نهشته‌های کواترنر پوشیده شده است. ارتفاع در پایین‌ترین بخش دشت سلماس و در حاشیه دریاچه ارومیه، ۱۲۷۵ متر از سطح دریا است. در منطقه بررسی‌شده، به‌طورکلی از شرق به غرب بر ارتفاعات منطقه افزوده می‌شود. بلندترین نقطه در بلندی‌های شمال



چهارستون کوه‌های کومیدلو و برلوک ۳۰۶۹ متر و در ارتفاعات جنوبی در کوه اوغام ۲۷۳۱ متر و در کوه یونجه لیق ۲۵۶۵ متر از سطح دریا است. امروزه به‌طور وسیعی از روش‌های مختلف زمین‌آماری برای بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود (صفری ۱۳۸۱). زمین‌آمار در مفهوم اروپایی خود به شاخه‌ای از علم آمار گفته می‌شود که مبتنی بر «تئوری متغیرهای ناحیه‌ای» است که توسط ماترون پایه‌گذاری شده و به‌اصطلاح با داده‌ها یا «متغیر فضایی» سروکار دارد و از این رو مترادف با آمار فضایی است. زمین‌آمار به مفهوم آمریکایی خود به کاربرد تمامی روش‌های آماری که در علوم زمین مورد استفاده هستند، از جمله آمار کلاسیک و آمار فضایی اطلاق می‌شود. این تعریف از زمین‌آمار مفهومی به‌مراتب کلی‌تر و وسیع‌تر از مفهوم نظیر آن در کشورهای اروپایی در بردارد؛ بنابراین در زمین‌آمار به بررسی آن دسته از متغیر پرداخته می‌شود که ساختار فضایی از خود بروز می‌دهند. به‌عبارت‌دیگر، ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار فضایی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار فضایی، تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد.

### روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق (میانگین متحرک وزن‌دار) استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمینگر خطی است (Wang, 2016). این روش با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند و میزان خطای آن تابع مشخصات تغییر نما می‌باشد. میزان دقت این روش بر مبنای مطالعات دقیق مربوط به تشخیص مدل تغییرنا استوار است (قهروردی تالی، ۱۳۸۴).

### روش کوکریجینگ

این روش در شرایطی استفاده می‌شود که از یک متغیر به‌اندازه‌ی کافی نمونه‌برداری نشده باشد در چنین مواردی می‌توان از یک متغیر ثانویه که تعداد بیشتری داده از آن در دسترس است استفاده و بدین‌صورت که رابطه‌ی بین متغیر اولیه و ثانویه برقرار نمود بنابراین به نظر می‌رسد کوکریجینگ می‌تواند با استفاده از متغیر ثانویه به کاهش واریانس تخمین و بهبود مقدار تخمین زده‌شده کمک نماید. قبل از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی لازم است داده‌ها نرمال شوند. برای تعیین نرمال بودن داده‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت با آزمون کولموگروف اسمیرموف پراکندگی این داده‌ها از لحاظ کیفی مورد بررسی قرار گرفت؛ بنابراین تحلیل‌گر لازم است تا قبل از پرداختن به تحلیل‌های آماری بررسی متغیرها، نوع توزیع متغیرها را بداند. با توجه به اینکه داده‌های کیفی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار هستند در نتیجه فرضیه نرمال بودن داده‌ها تأیید می‌شود. با انتخاب پارامترهای EC, Na, Cl, TDS برای بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی به مقایسه روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و انتخاب بهترین مدل بر اساس معیار ارزیابی RMSE پرداخته شد. نتایج اعتبار سنجی متقابل مربوط به سال‌های ۸۷ و ۹۷ در جدول‌های زیر آورده شده‌اند.

جدول ۱: اعتبار سنجی متقابل سال ۸۷

متغیر	معیار ارزیابی	کریجینگ	کوکریجینگ	بهترین مدل
TDS	RMSE	۱۳۶,۵۳	۱۰۳,۷۶	کوکریجینگ
CL	RMSE	۰,۲۳۱	۰,۳۸۷	کریجینگ
Na	RMSE	۱,۰۸	۱,۳۲۳	کریجینگ
EC	RMSE	۱۶۷,۸۶	۱۲۸,۷۰۴	کوکریجینگ

جدول ۲: اعتبار سنجی متقابل سال ۹۷

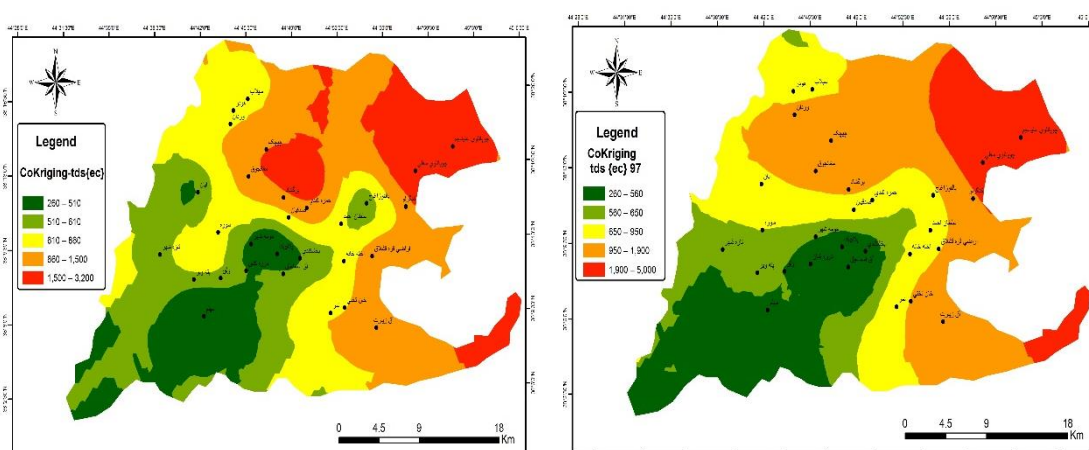
متغیر	معیار ارزیابی	کریجینگ	کوکریجینگ	بهترین مدل
TDS	RMSE	۱۶۵,۷۳	۱۰۱,۶۶	کوکریجینگ
CL	RMSE	۰,۲۱۹	۰,۲۸۹	کریجینگ
Na	RMSE	۱,۱۱	۱,۱۲۴	کریجینگ
EC	RMSE	۱۸۷,۸۶	۱۲۴,۷۶۶	کوکریجینگ

### بحث:

در این پژوهش با بررسی پارامترهای Na, Cl, TDS و EC بر اساس معیار ارزیابی RMSE مشخص شد که روش کریجینگ برای پارامترهای Na و CL و روش کوکریجینگ برای پارامترهای TDS و EC بهترین نتایج را ارائه داده است. نتایج تحلیل‌های پارامترهای ذکر شده بر اساس روش‌های درون‌یابی منتخب در نرم‌افزار GIS 10.3 انجام گرفت. نقشه‌های پهنه‌بندی شده در دو دوره زمانی ۸۷ و ۹۷ در زیر آورده شده‌اند.

### TDS

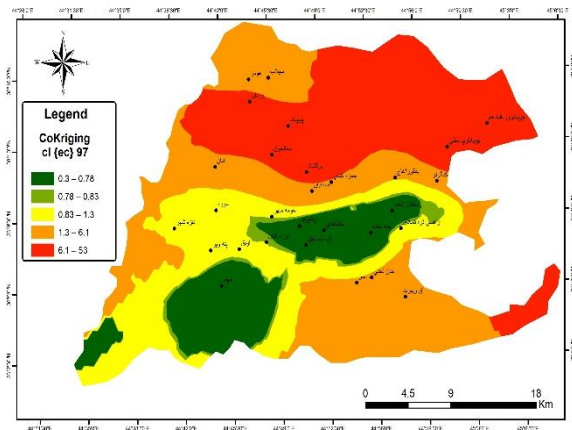
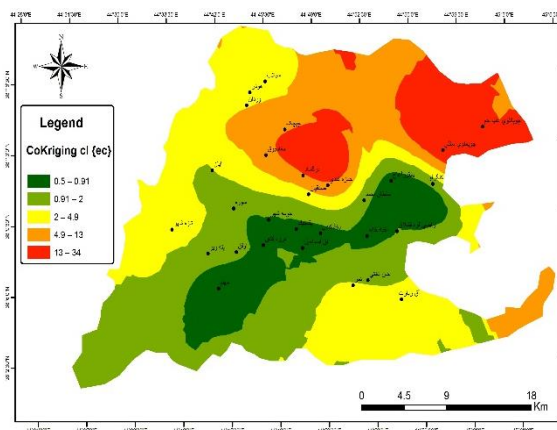
از مجموع یون‌ها به‌اضافه سیلیس محاسبه می‌گردد. TDS با EC همبستگی زیادی دارد و با افزایش EC, TDS نیز افزایش می‌یابد. مقدار آن در آب شرب نباید بیشتر از 1000mg/lit باشد. بر اساس پهنه‌بندی، تغییرات مکانی آن در سال ۸۷ به‌گونه‌ای است که از سمت غرب به شرق مقدار TDS بیشتر می‌شود که به دلیل انباشت مواد محلول در قسمت انتهایی آبخوان است. از لحاظ تغییرات زمانی به‌طور کلی TDS منطقه در بین سال‌های ۸۷ تا ۹۷ افزایش داشته و بیشترین مقدار آن در سال ۸۷ مربوط به روستای چوبانلو از ۵/۳۱۶۵ به ۵۰۳۱ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است.



شکل ۱۷: تغییرات TDS در سال‌های ۸۷ و ۹۷

### کلر $Cl^-$

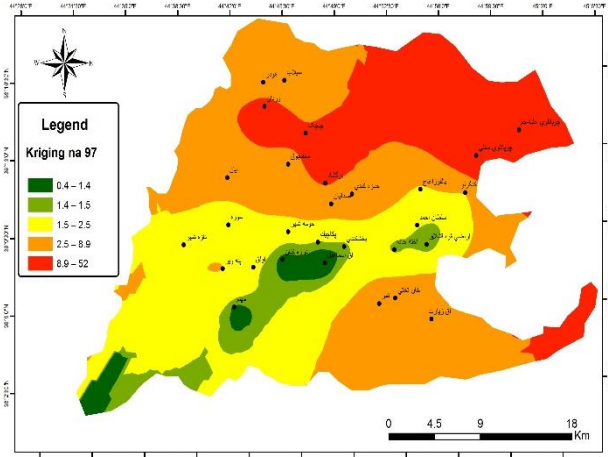
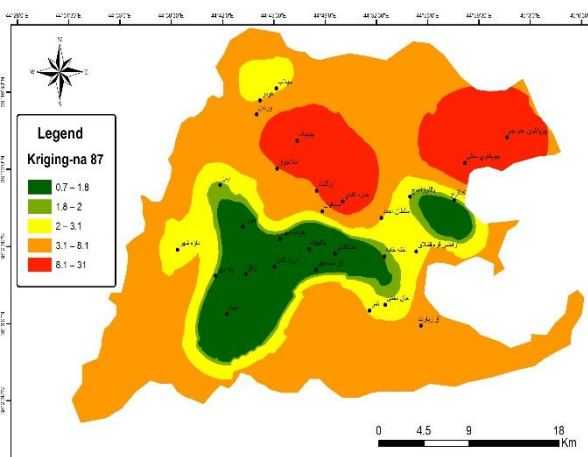
یک آنیون با یک بار منفی هست، تغییرات مقدار کلر در سال‌های ۸۷ و ۹۷ به صورت مکانی و زمانی بررسی شد، نقشه تغییرات مکانی و زمانی یون کلر در نقشه ذیل آمده است. به طوریکه مقدار کلر در شرق و شمال شرق منطقه بیشتر بوده و بیشترین مقدار آن در روستای چوبانلو به علت انحلال سنگ‌های تبخیری و نمک موجود در منطقه می‌باشد. از نظر زمانی نیز تغییرات میزان کلر در آب زیرزمینی به طوری است که باگذشت زمان در اثر انحلال نهشته‌های تبخیری میزان کلر در چوبانلوی علیا از ۲۵/۲ به ۳۷ و در چوبانلوی سفلی از ۳۷ به ۵۳/۲ افزایش یافته است.



شکل 18: تغییرات  $Cl^-$  سال‌های ۸۷ و ۹۷

### سدیم $Na^+$

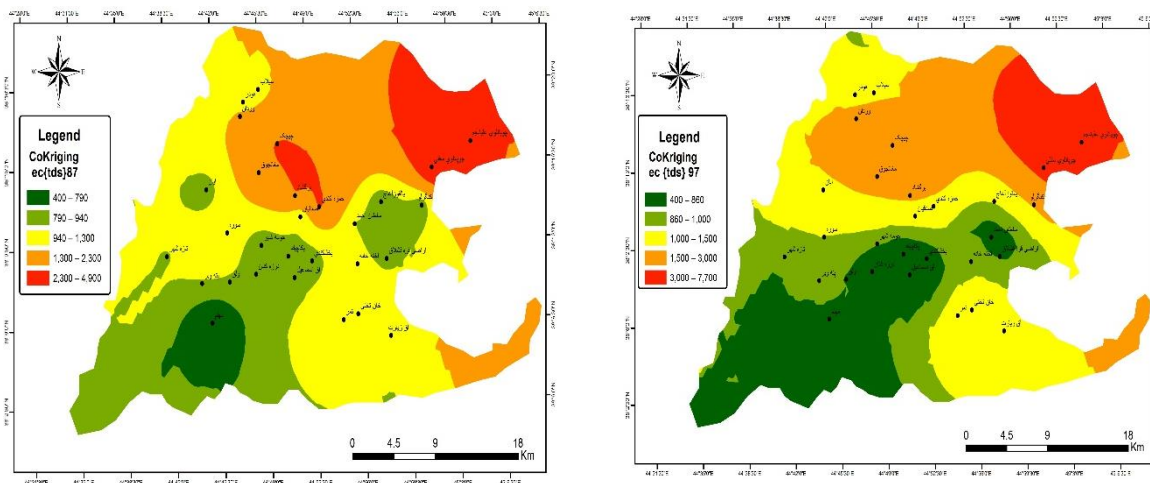
مقدار این کاتیون در اثر انحلال سنگ‌های تبخیری مثل نمک و همچنین هجوم آب‌های شور در آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد، در پهنه‌بندی سدیم که به روش کریجینگ (Kriging) رسم شده است، میزان این کاتیون از نظر مکانی در سال ۸۷ در قسمت‌های شمال شرقی روستای چوبانلو و شرقی روستای کنگرلو- آغ زیارت به دلیل وجود نهشته‌های تبخیری و هجوم آب‌های شور بیشترین مقدار می‌باشد و در سال ۹۷ ملاحظه می‌کنیم که میزان سدیم در آب‌های زیرزمینی به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است که این افزایش در اثر انحلال سنگ‌های تبخیری و نفوذ آب شور می‌باشد؛ از طرفی برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی نیز به افزایش غلظت یون‌های سدیم در کل منطقه کمک می‌کند.



شکل 19: تغییرات  $Na^+$  سال‌های ۸۷ و ۹۷

### هدایت الکتریکی EC

میزان هدایت الکتریکی یک دیدگاه جامعی از توزیع آنیون‌ها و کاتیون‌ها و غلظت نسبی آن‌ها در آب به ما ارائه می‌دهد و در واقع سنجش نمک‌های یونی آب می‌باشد (Karanth, 1987). EC آب یکی از پارمترهای مهم در رده‌بندی آب‌های کشاورزی است؛ EC به روش کوکریجینگ یعنی با استفاده از یک پارامتر کمکی مثل TDS که همبستگی زیادی با EC دارد پهنه‌بندی شده است. همان‌طور که تغییرات مکانی سال ۸۷ در پهنه‌بندی نشان می‌دهد مقدار هدایت الکتریکی از غرب به شرق، یعنی با افزایش کل مواد جامد محلول، افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در قسمت‌های شمال شرقی یعنی روستا چوبانلوی سفلی به مقدار ۴۸۷۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به دلیل نفوذ آب شور و وجود نهشته‌های تبخیری و مارنی و آهکی در آن منطقه است که این مقدار در سال ۹۷ به ۷۷۴۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر رسیده است که این موضوع نشان‌دهنده افزایش شوری آب به دلیل انحلال سنگ‌های تبخیری و کربنات‌ها و نفوذ آب شور می‌باشد.



شکل 20: تغییرات EC سال‌های ۸۷ و ۹۷

### نتیجه‌گیری:

در این پژوهش به بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس از نظر پارامترهای کیفی TDS، Na، EC و CL صورت گرفت. به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان پارامترهای فوق در آبخوان دشت سلماس از سال ۸۷ تا ۹۷ می‌باشد. همچنین نتایج اعتبار سنجی متقابل نشان داد که روش‌های کوکریجینگ بهترین روش میان یابی برای متغیرهای کیفی TDS و EC و روش کریجینگ بهترین روش برای پارامترهای CL و Na می‌باشد.

### منابع:

اوسطی و خ؛ و ع. سلاجقه ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی نیترات در آب زیرزمینی با استفاده از GIS (مطالعه موردی دشت کردان)، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۸ و ۹ اردیبهشت و دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی پردیس بین‌الملل دانشگاه تربیت مدرس مازندران، نور، ۸ صفحه.

زیرک جوانمرد، فاطمه، مهدوی، محمد، ملک، محمدرضا، خیرخواه زرکش، میر مسعود. (۱۳۹۲). مدل سازی عدم قطعیت آسیب پذیری آبخوان با استفاده از GIS و مجموعه راف. تحقیقات منابع آب ایران، ۳۸-۲۶، (۱): ۱۰.

حبیبی اربطانی و. احمدی، ع؛ و م. م. فتاحی. ۱۳۸۸. مدل سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی های شیمیایی آب های زیرزمینی را به کمک روش های زمین آماری. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳ (۷): ۳۳-۲۳

حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۸۶ زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. صفحات ۳۰۶-۳۱۴

صفری، م؛ ۱۳۸۱ تعیین شبکه بهینه ی پایش آب های زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آماری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی.

قهرودی تالی، منیژه، ۱۳۸۴، سیستم های اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی ArcGIS، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم.

مرآتی، انسیه، طاهری، عبدالله، پارسافر، نصرالدین. (۱۳۹۶). پهنه بندی کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آمار و GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز سلیمان شاه. دانش آب و خاک. ۲۴۸-۲۳۷، (۲): ۲۷.

نظری زاده، فرزاد؛ بهناز ارشادیان؛ کامران زند وکیلی و محمدرضا نوری امامزاده ای، ۱۳۸۵، بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان، اولین همایش منطقه ای بهره برداری از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود (فرصت ها و چالش ها)، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، صفحات ۱۲۴۰-۱۲۳۶، ۱۴ و ۱۵ شهریور

- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989. Applied geostatistics". New York: Oxford University Press, 561 pp.
- Rejith P.G., Ieeva S.P., Vijith H., Sowmya M., Mohamed Hatha A.A., Determination of groundwater quality index of a highland village of kerala (india) using geographical information system", Journal of environmental health, 71:51-57.
- Safarbeiranvand M., Amanipoor H, Battaleb-Looie S., Ghanemi K, Ebrahimi B., 2018. Quality evaluation of groundwater resources using geostatistical methods (Case study: Central Lorestan Plain, Iran). Water Resources Management. 32: 3611-3628. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2009-2>.
- Wang Q., Yang Z.. Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. Environ Pollut. 218:358-65
- Zhou, Z., Zhang, G., Yan, M., & Wang, J., 2012. Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the Bohai Sea, North China. Environmental monitoring and assessment, 184(6), 3697-3710.

## تحلیل فیزیک و ساختار سنگی - رسوبی آبخوان آبرفتی، سنگ کف و اهمیت آن در

### مدیریت و برنامه ریزی منابع آب زیرزمینی (دشت دهرود-تنگ ارم)

امید آزادی جو

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر

o.azadijoo@gmail.com

چکیده:

بدلیل کاهش شدید ظرفیت آبدهی آبخوان های آبرفتی، تقاضا برای دسترسی به آب بیشتر شده و این مهم در قالب پدیده کف شکنی چاه ها در حال رشد و توسعه است. کف شکنی، تغییر در فیزیک و ساختار سنگی- رسوبی آبخوان است. دادن جایگاه و ارزش بیشتر برای شاخص کمیت فیزیک و ساختار سنگی- رسوبی آبخوان را می توان در این دانست که اجازه دسترسی به هر سانتیمتر از اعماق بیشتر آبخوان و تغییر در طبیعت سنگ چینه ای، آبخوان را به شکل غیر قابل کنترل و جبرانی از بین خواهد برد که ابعاد فنی، حقوقی، اجتماعی و مدیریتی آن بسیار پیچیده و گسترده است. تعمیق چاههای آب در پهنه مکانی دشت دهرود- تنگ ارم در استان بوشهر به شکل گسترده ای توسط بهره برداران غیر مجاز و مجاز بدون توجه به ظرفیت آبدهی آبخوان در حال انجام است. این رخداد سبب کاهش شدید حجم ذخایر آبی شده و طی ۲۰ سال گذشته متوسط عمق چاهها ۴۸,۵ درصد نسبت به متوسط عمق اولیه افزایش یافته اند؛ به بیانی دیگر؛ به ازاء هر ۱,۰۴ متر افت سطح ایستابی، ۱ متر به عمق کف شکنی افزوده شده است. در این مطالعه، فرمول ضریب آسیب ساختار سنگی- رسوبی آبخوان تعریف و برای دشت مذکور در ابتدا و انتهای دوره آماری به ترتیب: اعداد  $\alpha=0,84$  و  $\alpha=1,24$  به دست آمده است.

کلیدواژه: فیزیک آبخوان، ساختار سنگی- رسوبی، کف شکنی چاه، آبخوان دهرود- تنگ ارم، استان بوشهر

## Analysis of Physics and Litho-Sedimentary Structure of alluvial aquifer, Bed Rock and its Importance in Management and Planning of Groundwater Resources (Dehroud-Tangeram Plain)

Omid Azadijoo

### Abstract

Due to the drastic reduction of the discharge capacity of alluvial aquifers, the demand for more water access in the form of well deepening phenomenon is growing and developing. Well deepening is a change in the physics and rock-sediment structure of the aquifer. Giving more position and value to the index of physics quantity and litho-sedimentary structure of the aquifer can be considered in allowing access to each centimeter from more depths of the aquifer and changing the nature of stratigraphic rocks, the aquifer in an uncontrollable and compensatory way. It will take that its technical, legal, social and managerial dimensions are very complex and extensive. Well deepening of water wells in the place zone of Dehroud-Tangeram plain in Bushehr province is being carried out extensively by unauthorized and authorized operators, regardless of the aquifer discharge capacity. This event has caused a sharp decrease in the volume of water reserves and during the last 20 years, the average depth of wells has increased by 48.5% compared to the average initial depth; In other words; for every 1.04 meters of water table drop, 1 meter has been added to the depth of floor breaking. In this study, the damage coefficient formula of the rock-sediment structure of the aquifer is defined and for the mentioned plain at the beginning and end of the statistical period, respectively:  $\alpha=0.84$  and  $\alpha=1.24$  is obtained.

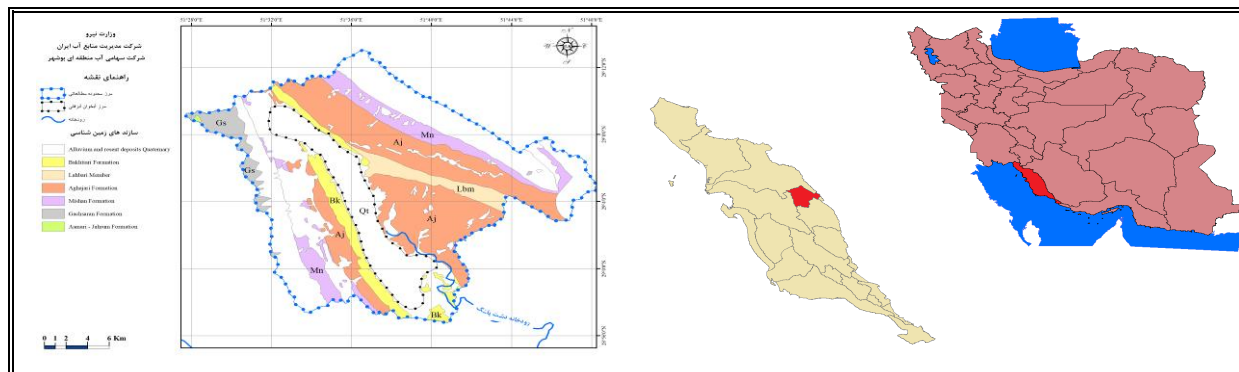
#### مقدمه:

ذخیره منابع آب زیرزمینی آبخوان های آبرفتی کشور به حداقل سابقه تاریخی خود رسیده و حفظ شرایط موجود برای احیاء و یا تعادل بخشیدن به آبخوان ها، مستلزم تحقیقات بیشتر، مهیا نمودن بستر مناسب برای تصمیمات جدید و همچنین مدیریت سختگیرانه تر است که توجه به این مسئله اجتناب ناپذیر است. تجزیه و تحلیل نتایج مطالعات ژئوفیزیک، حفاری و بررسی نمونه های صحرایی سنگ و رسوب در اطراف چاه های بهره برداری آب که دارای سابقه کف شکنی می باشند، حاکی از آنست که یکی از عوامل عمده آسیب رسانی به آبخوان های آبرفتی، عدم توجه به مسئله فیزیک آبخوان و ساختار سنگی-رسوبی آن است. بررسی دستورالعمل ها و استاندارد های موجود نشان می دهد، خیلی کمتر به اهمیت مسئله ساختار سنگی-رسوبی و اصطلاحاً فیزیک آبخوان های آبرفتی پرداخته شده است؛ اما قبل از آن، به دو عامل مرتبط دیگر، یعنی مسئله تغییرات سطح ایستابی و کیفیت به میزان گسترده ای در استانداردها و قوانین اشاره و تاکید شده است؛ لیکن، حلقه مفقوده و اثرگذار مهم در مدیریت آبخوان، چالش تغییرات در ساختمان طبیعی چینه های رسوبی آبرفت و سنگ بستر است، که کمتر اثرات و شواهد آن اولویت تصمیم گیری و برنامه ریزی منابع آب زیرزمینی بوده است. بعد دیگری از پایش آبخوان، یعنی پایش فیزیک و ساختار سنگی-رسوبی از طریق رصد تعمیق چاه نسبت به ضخامت آبخوان و سنگ کف، اشاره دارد تا که آثار غیر قابل جبران آسیب به آبخوان، از طریق حفاری غیر اصولی و کف شکنی معرفی گردد. (Noori et al., 2021) وضعیت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی دشت ابهر و تعیین حداکثر عمق کف شکنی چاهها را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند قسمت وسیعی از بخش غربی دشت طی ۲۵ سال آینده کاملاً خشک شده و وسعت اشباع آبخوان به ۶۵ درصد اندازه فعلی کاهش خواهد یافت (Bijani et al., 2017) به بررسی تأثیرات کف شکنی چاهها بر پتانسیل برداشت از آبخوان دشت علی آباد ساوه با استفاده از مدل ریاضی پرداختند و تعیین کردند مناطق جنوب غربی و جنوب شرقی دشت از پتانسیل بالاتری جهت خشک شدن آبخوان برخوردار بوده و عمق بحرانی کف شکنی در کل منطقه مورد مطالعه ۸۲ متر بوده که در قسمت جنوب غربی رخ داده است. صفری و همکاران (۱۳۸۳)، در تحقیق خود یک مدل برنامه ریزی غیرخطی برای تعیین عمق بهینه چاه ها جهت کف شکنی معرفی نمودند. آنچه که از تحقیقات، دستورالعمل ها، آئین نامه ها و قوانین منتج می شود، تاکنون این پایش عملیاتی با اثر بخشی در مدیریت اجرایی آبخوان، بصورت سیستماتیک و هدفمند انجام نشده است؛ این کوشش که توسط نگارنده به انجام رسیده، حاصل بررسی های چندین ساله در کل دشت های استان بوده و نتایج متفاوتی را برای تصمیم سازی در این زمینه حاصل کرده است که این نوشتار به معرفی و ارایه مسئله با تاکید بر آبخوان دشت دهرود-تنگ ارم می باشد.

#### روش مطالعه:

برای شناخت و توصیف فیزیک آبخوان و یا وضعیت ساختار سنگی-رسوبی آبخوان آبرفتی، از نتایج مطالعات ژئوفیزیک، ترازیابی، حفاری (لاگ چاه) و همچنین مطالعات صحرایی هیدروژئولوژی و سنگ چینه ای استفاده شده است. به دنبال آن از طریق نرم افزار Arc GIS و Arc Scene پهنه بندی و آنالیز موقعیت مکانی جنس سنگ کف و عملیات کف شکنی در کل دشت صورت پذیرفته است؛ بدین صورت که از طریق تعداد ۱۰۳ سونداژ ژئوالکتریک ویژگی های آبرفت، تراز و جنس سنگ کف آبخوان و تغییرات مکانی آن شناسایی شده است. سپس از طریق داده های حاصل از نمونه های حفاری و اندازه گیری ماهانه عمق سطح ایستابی و تبدیل به تراز، اطلاعات ژئوالکتریک تدقیق شده است. نقشه برداری سطح دشت در محل چاههای مشاهده ای انجام شده و با کمک نقشه های DEM منطقه، سطح توپوگرافی دشت، هیدروگراف، عمق کف شکنی چاه ها، تراز سنگ کف معرفی شده است. دشت دهرود-تنگ ارم در فاصله ۱۲۱ کیلومتری و با مساحت ۹۸ کیلومتر مربع در شرق مرکز

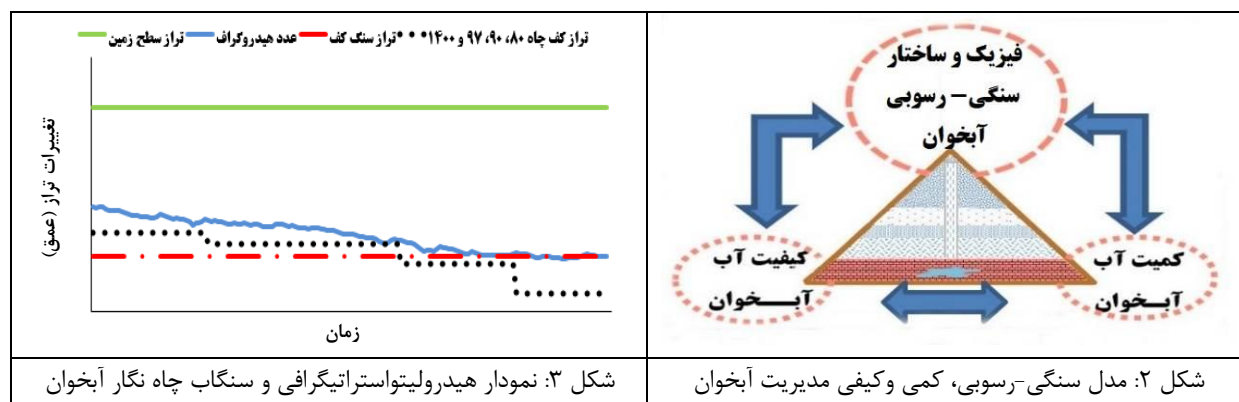
استان (بوشهر) قرار دارد. آبرفت دشت در مناطق شمالی و میانی دارای رسوبات نسبتاً درشت و در بخش‌های جنوبی ذرات رسوبی آبخوان ریز دانه است. مطالعات زمین شناسی نشان می‌دهد رخنمون سازندهای میشان، آغاچاری و کنگلومرای بختیاری پهنه دشت را احاطه نموده اند و به ترتیب در محدودیت و یا پتانسیل کمی و کیفی آبخوان موثر هستند (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه و شرایط زمین شناسی (استان بوشهر)

### مسئله شناسی و تعریف مفهوم جدید کمیت فیزیکی یا ساختار سنگی - رسوبی آبخوان:

اصولاً آبخوان های آبرفتی بر اساس دو فاکتور کمیت و کیفیت بطور سیستماتیک، ماهانه و فصلی پایش می‌شوند و عمده تصمیمات بر پایه اطلاعات این دو شاخص است؛ ولی اما شاخص و کمیت سوم که با اهمیت تر است، تحت عنوان: "فیزیک و ساختار سنگی - رسوبی آبخوان" نیز وجود دارد، اما در عمل به قدر و ارزش دو پارامتر دیگر، تعریف و جایگاهی مستقل فنی - حقوقی برای آن تاکنون در نظر گرفته نشده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، تجربه عملیاتی و شواهد صحرایی، "فیزیک یا ساختار سنگی - رسوبی آبخوان" به عنوان یک کمیت مهم اندازه گیری در پایش سیستماتیک به همراه دو شاخص دیگر (کمیت و کیفیت آب)، بصورت "مدل شماتیک سنگی - رسوبی، کمی و کیفی مدیریت آبخوان" در شکل شماره ۲ ارائه و پیشنهاد شده است. در همین راستا نمودار ترکیبی "هیدرولیتواستراتیگرافی و سنگاب چاه نگار"، با داشتن همزمان چهار شاخص اطلاعاتی شامل: تراز سطح توپوگرافی دشت، تراز سطح ایستابی ماهانه، تراز عمق کف چاه و تراز موقعیت سنگ کف آبخوان، می تواند اطلاعات پیدا و پنهان شرایط کامل و واقعی آبخوان زیرزمینی را برای مطالعه، رصد، برنامه ریزی و مدیریت تخصیص، حفاظت و بهره برداری بهینه فراهم نماید که در شکل شماره ۳ برای آبخوان معرفی و پیشنهاد شده است.



شکل ۳: نمودار هیدرولیتواستراتیگرافی و سنگاب چاه نگار آبخوان

شکل ۲: مدل سنگی - رسوبی، کمی و کیفی مدیریت آبخوان

بر اساس اهمیت و کاربرد، در این تحقیق به تعریف عملیاتی شاخص و کمیت مذکور مطابق مدل شماتیک و نمودار معرفی شده پرداخته می شود. شاخص فیزیکی و ساختار سنگی - رسوبی آبخوان آبرفتی را می توان بدین گونه تعریف نمود: به لایه های آبرفت و سنگ بستر آبخوان اطلاق می شود که ساختمان چاه و قنات به عنوان منابع آبد در ضخامت از آن قرار دارند و در





طول زمان به دلایل طبیعی و عمدتاً انسان ساز دچار تغییرات هیدروژئولوژیکی می شود که در ادامه تحت عنوان ضریب (پیشنهادی) آسیب ساختار سنگی - رسوبی و فیزیک آبخوان آبرفتی (DALSS) محاسبه و معرفی شده است.

#### بحث:

۱- ضرورت شناخت و اهمیت مسئله تعمیق چاه های آبرفتی و کف شکنی در تصمیم گیری های عملیاتی  
اجازه دسترسی به هر سانتیمتر از اعماق بیشتر آبخوان و تغییر در طبیعت سنگ چینه ای آن، اثرات کمی و کیفی غیر قابل کنترل و جبرانی را به همراه خواهد داشت که ابعاد فنی، حقوقی، اجتماعی و مدیریت و برنامه ریزی آن بسیار پیچیده و گسترده است. خساراتی که جبران آن به مراتب سخت تر و ناممکن تر از جبران افت سطح ایستابی و افت کیفیتی است که طی این فرآیند رخ می دهد. عامل انسانی مهم و اصلی تاثیرگذار بر این شاخص، پدیده تعمیق و کف شکنی چاه است که به شکل گسترده و غیر قابل کنترلی در تمام پهنه دشت مورد مطالعه و البته سایر دشت های کشور در حال رخ دادن است و توانسته علیرغم کاهش شدید ظرفیت و توان طبیعی آبخوان ها، به شکل غیرپایدار و ناعادلانه ای تامین آب بیشتر را با اثرگذاری بر ساختار سنگی، آبدهی و کیفیت در کوتاه مدت میسر نماید. کف شکنی چاه با صدور مجوز (حالت مجاز) و بدون مجوز (حالت غیرمجاز) به معنای دسترسی به آب بیشتر در شرایط کمی آبی و یا بی آبی آبخوان است و در واقع همان توسعه بهره برداری است که در شرایط کنونی تمامی ذخیره استاتیک و استراتژیک آب زیرزمینی کشور را تحت تاثیر قرار داده و در برنامه ریزی ها و هدف گذاری ها نسبت به دو شاخص دیگر یعنی کمیت و کیفیت آب، کمتر مورد توجه جدی قانون گذاران و تصمیم گیران بوده و در بلند مدت اثرات زیست محیطی به مراتب زیانباری را به دنبال خواهد داشت. در شرایط بهره برداری شدید و افت مداوم سطح آب در ذخیره استاتیک (شرایط اخیر بر آبخوان مورد مطالعه حاکم است)، شش حالت کلی را می توان برای تغییرات ضخامت لایه اشباع از آب و رخداد کف شکنی چاه بر اساس نوع آبخوان آبرفتی، سنگ کف، ساحلی و غیرساحلی بودن برای کلیه آبخوان های آبرفتی متصور بود که در این نوشتار به دلیل محدودیت حجم مطالب، به تشریح و معرفی دو حالت اول و دوم (مورد مصداق برای آبخوان دشت دهرود- تنگ ارم) پرداخته می شود و سایر موارد با توجه به اینکه روابط ۱ تا ۳ در حالت هایی از آنها نیز صادق است (بدون در نظر گرفتن جزئیات)، صرفاً به معرفی عنوان آنها اکتفا می-شود.

الف) آبخوان آبرفتی آزاد با سنگ کف نفوذ ناپذیر:

رابطه معکوسی بین پارامترهای ضخامت بخش اشباع آبخوان و عمق چاه وجود دارد. به عبارتی با کاهش ضخامت بخش اشباع آبخوان آزاد با سنگ کف نفوذناپذیر (مانند: رس، مارن وغیره)، افزایش پی در پی عمق چاه را تا سنگ کف خواهیم داشت که رابطه شماره ۱ پیشنهاد می گردد.

$$T_s = 1/H_{Well}$$

رابطه ۱:

$$T_s = \text{ضخامت بخش اشباع}$$

$$H_{Well} = \text{عمق چاه}$$

در این شرایط ورود به سنگ کف آبخوان از طریق حفاری تاثیری خاصی بر آبدهی و تغییرات سطح آب آبخوان در چاه ندارد.

ب) آبخوان آبرفتی آزاد با سنگ کف آب دار:

در این حالت نیز رابطه معکوس بین پارامتر ضخامت بخش اشباع آبخوان و عمق چاه تا مرز سنگ کف وجود دارد. به عبارتی با کاهش ضخامت بخش اشباع آبخوان آزاد با سنگ کف آبدار، افزایش پی در پی عمق چاه را تا مرز سنگ کف خواهیم داشت و رابطه پیشنهاد شده شماره ۱ همچنان برقرار است. اما اگر چاه بطور غیرمجاز وارد سنگ کف آبدار (مانند: آهک، کنگومرا و

غیره) شود، احتمال دسترسی و حتی صعود آب در چاه حفاری شده و حتی سایر چاههای اطراف وجود دارد، که به سبب تخریب و برهم ریختن تعادل بین سنگ کف و آبرفت بالایی، ذخیره فوق استراتژیک دستخوش تغییر و آسیب می گردد و رابطه مذکور برای مدت مشخصی برقرار نخواهد بود. به نحوی که برای پارامتر بخش اشباع آبخوان احتمالا افزایش موقت ضخامت را خواهیم داشت، اما دیگر کاهش دادن عمق چاه (به معنای برگشت به طبیعت اولیه) به لحاظ فنی مقدور نیست (رابطه ۳ بصورت یکطرفه برقرار است) و در شرایط کاذب و ناپایداری، آبخوان آبرفتی دارای آب است که روابط پیشنهاد شده شماره (۲) و (۳) برقرار خواهد بود.

$$T_S \neq H_{well} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$H_{W.T} = H_{well} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$H_{W.T}$ : عمق سطح ایستابی

(ج) آبخوان های آبرفتی دارای لایه تحت فشار با سنگ کف نفوذناپذیر

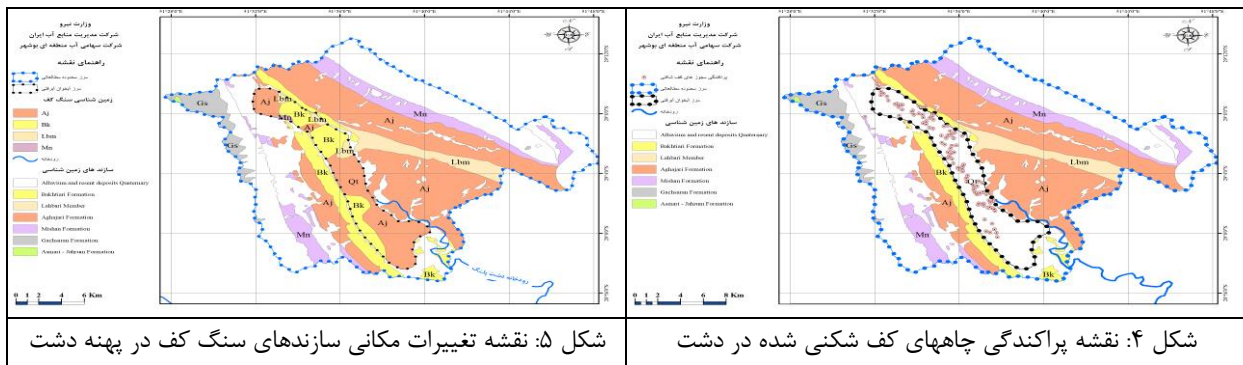
(د) آبخوان های آبرفتی دارای لایه تحت فشار با سنگ کف آبدار

(ه) آبخوان های آبرفتی آزاد با خطر هجوم آب شور

(و) آبخوان های آبرفتی تحت فشار با خطر هجوم آب شور

با تعریف حالت های کلی شش گانه فوق (به جزء استثنائات احتمالی در طبیعت)، برای آبخوان دشت دهرود-تنگ ارم، شرایط و حالت های (الف) و (ب) حاکم است.

شکل شماره ۴ نشان می دهد در سراسر پهنه دشت، تقاضا برای کف شکنی و جبران برای افت مکرر آبدهی چاه وجود دارد و بعضا هر چاه بیش از یک بار کف شکنی شده است. بر اساس مطالعات ژئوالکتریک، حفاری و البته بررسی سنگ چینه ای صحرائی، سنگ کف آبخوان آبرفتی از جنس مارن و کنگلومرا به ترتیب مربوط به سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری است (شکل ۵).



نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد تعداد چاهها در سال ۱۳۸۰ برابر با ۲۶۳ حلقه (۲۴ درصد چاه غیرمجاز) با تخلیه کل ۳۹,۰۴ میلیون متر مکعب و طبق آماربرداری سراسری در سال ۱۳۹۷ تعداد چاه ها با رشد ۴۳ درصدی به ۳۷۶ حلقه (۳۸ درصد چاه غیر مجاز) با تخلیه کل ۱۳,۹ میلیون متر مکعبی رسیده است. رشد حفر چاه غیر مجاز طی ۱۷ سال ۱۲۷ درصد بوده است. سطح ایستابی آبخوان در سال ۱۳۸۰ در عمق ۲۵,۸ متری بوده که در سال ۱۴۰۰ با افت ۲۱,۱۷ متر به ۴۶,۹۷ متر رسیده است. بررسی رفتارشناسی برداشت آب از چاهها و ظرفیت توان آبدهی آبخوان نشان می دهد که با افت تراز سطح آب و کاهش دبی چاهها، توسعه در عمق چاه برای جبران کم آبی یا بی آبی به عنوان راه حل جایگزین، انتخاب شده است. نتایج حاصل از تلفیق مطالعات اخیر، گویای وضعیت بسیار نامناسب فیزیکی و ساختار سنگی - رسوبی آبخوان است. بطوریکه در کنار

کاهش افت سطح ایستابی، آبدهی و کیفیت آب؛ طبیعت سنگ چینه ای آبخوان تا سنگ کف و با عبور از سطح آن به شیوه غیر اصولی و ناسازگار با محیط زیست بهم ریخته شده است. (شکل ۶ الف و ب).



شکل ۶: (الف) نمونه سنگ حاصل از کف شکنی و تعمیق چاه دستی (ب) آثار مارن بر مته حفاری در چاه عمیق

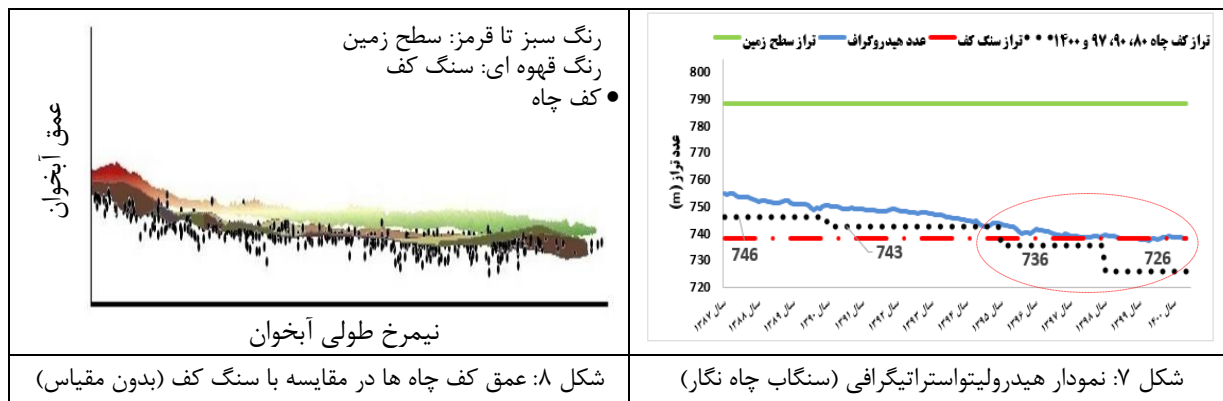
مقدار ۵۶ درصد از کل چاههای بهره برداری (۲۱۰ حلقه از ۳۷۶ حلقه چاه) برای جبران کم آبی به اعماق بیشتر هجوم برده و علاوه بر برداشت از ذخیره استاتیک که ذخیره استراتژیک آبخوان محسوب می شود، به طبقات سازند سخت سنگ بستر آبخوان نیز وارد شده و آن ذخایر را نیز جهت کشاورزی (گاهها با انواع تخلفات اضافه برداشت و انتقال غیر مجاز آب) به مصرف می رسانند. این مسئله در ساختار رسوبی ضخامت آبرفت آبخوان و سنگ بستر با ایجاد شکستگی، ارتباط هیدرولیکی غیر قابل کنترلی را در چاه های بهره برداری سبب می شود و در بسیاری از مواقع صرفه نظر از میزان و حجم، آب موجود در سنگ کف آبدار یا مستقیماً از چاه پمپاژ می شود و یا از طریق شکستگی ها و آسیب های ناشی از حفاری، به موازات آن در آبرفت برای سایر چاهها نیز اثر مثبت ولی البته مخرب و ناپایدار دارد.

این شیوه برداشت بدون محدودیت در عمق از طریق کف شکنی (که از یک منظر مخرب تر از یک چاه غیرمجاز جدید است)، خود به نوعی چاه غیر مجاز جدیدی است، در توالی چاه اولیه؛ ولی در عمق بوده که بدلیل غیرملموس بودن آثار آن در کوتاه مدت، توجه و حساسیت چندانی برای آن صورت نگرفته است؛ اما عمده آثار مخرب تغییر در فیزیک و ساختار سنگی - رسوبی آبخوان به قوت خود باقی خواهد ماند که مطابق فهرست ذیل است:

۱- برداشت آب بیش از ظرفیت طبیعی آبخوان، ۲- برداشت از سهم زیست محیطی آبخوان، ۳- افت مستمر بدون امکان احیاء آبخوان، ۴- کاهش ضریب ذخیره، ۵- کاهش قابلیت انتقال، ۶- فرونشست و ۷- آثار منفی اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی گسترده ای را نیز در دراز مدت به دنبال خواهد داشت.

۲- نمودار هیدرولیتواستراتیگرافی (Hydroolithostratigraphy) و سنگاب چاه نگار در آبخوان بطوریکه در نمودار "هیدرولیتواستراتیگرافی" و یا "سنگاب چاه نگار آبخوان" دهرود-تنگ ارم مشخص است، چهار دور آماری برای تراز کف چاه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ ثبت شده، که نشان می دهد با گذشت زمان و به تناسب افت متوسط سطح ایستابی، چاههای بهره برداری عمیق تر شده و در سال های اخیر به زیر تراز سنگ کف فرو رفته اند. مطابق نمودار شکل شماره ۷ طی ۲۰ سال گذشته متوسط عمق کف چاههای بهره برداری در دشت دهرود-تنگ ارم از ۴۱،۹۷ متر، بر اثر عملیات تعمیق و کف شکنی به ۶۲،۳۳ متر یعنی با افزایشی معادل ۲۰،۳۶ متر همراه بوده است؛ این در حالی است که متوسط عمق سنگ کف آبخوان ۴۹،۹۹ متر است؛ نکته اصلی در این نمودار رابطه مستقیم و مستمر افت تراز سطح آب و عمق کف چاهها، حتی به درون بستر سنگی یعنی سنگ کف می باشد و رابطه بدست آمده حاکی از آن است که به ازاء هر ۱۰۴ سانتیمتر افت سطح ایستابی، ۱۰۰ سانتیمتر به عمق چاهها افزوده شده است. همچنین با تلاقی و عبور نمودارهای آب شناسی و ساختار سنگی - رسوبی (کف چاه و سنگ بستر)، آبخوان از آستانه ماکزیمم تاب آوری زیست محیطی خود از حدود ۵ سال قبل

عبور کرده و به همین دلیل خاتمه ذخایر واقعی آبخوان آبرفتی و متروکه شدن تعدادی چاهها در سنگ های نفوذ ناپذیر برای اکنون رخ داده (خشک و متروکه شده ۱۳۵ حلقه چاه) و در آینده نزدیک دیگر چاه های دارای ذخیره آب کاذب، نیز خشک و متروکه خواهند شد. نیمرخ طولی دشت و موقعیت کف چاه های بهره برداری در مقایسه با عمق سنگ کف در شکل شماره ۸ بدون مقیاس رسم و نشان داده شده است.



۳- محاسبه ضریب (پیشنهادی) آسیب ساختار سنگی - رسوبی و فیزیک آبخوان آبرفتی خسارت اضافه برداشت چاههای آب و آلودگی آبهای زیرزمینی به روشنی تعریف شده و پیگیری قانونی برای جلوگیری و اخذ جرایم آن انجام می شود؛ اما خسارت زیانبارتر و ناپیدای عملیات کف شکنی (مجاز و غیرمجاز) تاکنون مورد توجه و در خور اهمیت این چالش بزرگ نبوده است. لذا این تحقیق به ابعاد موضوع و عمق خسارت و محاسبه ضریب خسارت سنگی-رسوبی و فیزیک آبخوان آبرفتی پرداخته و مطابق رابطه شماره (۴) با سه حالت زیر تعریف و پیشنهاد نموده است:

$$DALSS\alpha = (H_{avg.Well})/H_{B.R} \quad \text{رابطه ۴}$$

DALSS: آسیب ساختار سنگی - رسوبی آبخوان (Demolition of Aquifer Litho- Sedimentary Structure)

$H_{avgWell}$ : متوسط عمق چاهها در آبخوان

$H_{B.R}$ : متوسط عمق سنگ کف (Bed Rock) آبخوان

$\alpha < 1$  ← مرحله وجود آبخوان طبیعی (چاه از ضخامت بخش اشباع آبرفت آب برداشت می کند).

$\alpha = 0$  ← مرحله خطر و حد ماکزیمم تاب آوری زیست محیطی آبخوان (چاه تا مرز آبرفت و سنگ کف حفر شده است).

$\alpha > 1$  ← مرحله وجود آبخوان کاذب و مرگ آبخوان آبرفتی (چاه از سنگ کف عبور کرده و آب برداشت می کند).

که با توجه به رابطه فوق، ضریب آسیب ساختار سنگی - رسوبی آبخوان به ترتیب برای سالهای ۱۳۸۰، ۱۳۹۰، ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ محاسبه شده است. توضیح اینکه رابطه فوق برای ارزیابی هر چاه در همان نقطه نیز صادق و قابل محاسبه است.

$$DALSS\alpha_{1380} = H_{avgWell}/H_{BR} = 41.97/49.99 = 0.84 \quad , \quad DALSS\alpha_{1390} = 45.67/49.99 = 0.91$$

$$DALSS\alpha_{1397} = H_{avgWell}/H_{BR} = 52.59/49.99 = 1.05 \quad , \quad DALSS\alpha_{1400} = 62.32/49.99 = 1.24$$

و لذا اکنون در آبخوان دشت دهرود-تنگ ارم بدلیل نسبت بالاتر متوسط عمق چاهها به عمق متوسط سنگ کف، مقدار  $\alpha$  یعنی ضریب DALSS در رابطه پیشنهاد شده فوق، معادل ۱٫۲۴ است و حالت سوم ( $\alpha > 1$ ) برقرار می باشد که به مفهوم آبخوان در حالت کاذب و غیر طبیعی قرار دارد و بیشترین خسارت زیست محیطی به آن وارد شده است.

۴- اهمیت فیزیک آبخوان و ساختار سنگی - رسوبی در مطالعات و برنامه ریزی، تخصیص و مدیریت منابع آب

طراحی شبکه پایش چاههای انتخابی کمی و کیفی و معرف دشت ها، عمدتا از بین چاههای بهره برداری کشاورزی انتخاب می شوند. همچنین چاههای مشاهده ای نیز در پهنا دشت و برای ضخامت صرفا آبرفت وجود دارند؛ لذا هر گونه ناهنجاری در



فیزیک و ساختمان سنگی- رسوبی آبخوان و بخصوص سنگ کف آبخوان، نه تنها می تواند داده های مطالعات را با خسارت و خطای جدی مواجه سازد و نتیجه گیری غیر واقعی را در محاسبات بیلان آبی دشت آبرفتی سبب شود؛ بلکه این مقدمه ای خواهد بود تا فرآیند تصمیم گیری برای برنامه ریزی، تخصیص و مدیریت تقاضای آب را در حوزه آب زیرزمینی با چالش بسیار بزرگی مواجه کند. کف شکنی چاه، تحت عنوان تخصیص آب جدید، قلمداد نمی شود، در واقعیت اجازه دسترسی به آب بیشتر در قالب کف شکنی صادر می شود و این مهم نکته اصلی در برنامه ریزی و مدیریت نامناسب آبهای زیرزمینی است؛ بنابراین وقتی مطالعه، برنامه ریزی و تخصیص دچار خلل شود، می تواند حفاظت و بهره برداری را نیز با نقصان همراه سازد. لذا به عقیده نگارنده با گذشت زمان و استمرار بیلان منفی آبخوان ها، اهمیت این مسئله بیش از دو شاخص دیگر یعنی تغییرات کمی و کیفی آب آبخوان است. همچنین هرگونه تغییر توسعه ای در ساختار فیزیکی آبخوان، رابطه مستقیمی با تغییرات منفی کمی و کیفی خواهد داشت و چون با هدف توسعه بهره برداری انجام می شود، بصورت فاکتوری پنهان و غیر قابل برنامه ریزی شده، به ذخایر آب زیرزمینی آسیب می زند.

### نتیجه گیری:

- در نمودار هیدرولیتواستراتیگرافی یا سنگاب چاه نگار افزایش ۲۱,۱۷ متری عمق کف چاه های بهره برداری و تلاقی و عبور نمودار آب شناسی و ساختار سنگی-رسوبی باهم (کف چاه و سنگ بستر)، حاکی از آن است که آبخوان از آستانه ماکزیمم تاب آوری زیست محیطی خود از ۵ سال قبل عبور کرده است.

- بر اساس محاسبات، ضریب آسیب ساختار سنگی- رسوبی و فیزیک آبخوان آبرفتی (DALSS)، یعنی مقدار  $\alpha$  برابر با ۱,۲۴ بوده و این به معنی آن است که بخشی از آب تحت عنوان ذخیره آبخوان آبرفتی، از سنگ کف برداشت می شود و در واقع ذخیره آب آبخوان آبرفتی، کاذب و به لحاظ زیست محیطی ناپایدار است؛ در این حالت توسعه و تعمیق چاههای بهره برداری گرچه امکان بهره برداری و بقاء چاه را در کوتاه مدت میسر می سازند، اما سهم زیست محیطی و بقاء آبخوان با خطر جدی نابودی مواجه می نماید؛ که ضمن لزوم توجه جدی به این مسئله در مطالعات بیلان آبی، این شاخص و ضریب آن برای کلیه دشت های مشابه در کشور محاسبه و در تصمیم گیری های برنامه ریزی و مدیریت تخصیص منابع آب زیرزمینی (مانند مجوز کف شکنی) مدنظر قرار گیرد.

- بر خلاف اینکه احتمال و امکان جبران خسارت های کمیت و کیفیت آب در آبخوان برای بلند مدت وجود دارد، به هیچ عنوان تغییر غیر اصولی ناشی از حفاری در فیزیک و ساختار سنگی-رسوبی آبخوان (بویژه در ثلث پایینی و سنگ کف)، قابل جبران نیست.

### منابع:

آل بهبهانی، م. آزادی جوا، حسین زاده، م؛ ۱۳۸۸؛ مطالعه و بررسی ویژگی های آبرفت، آبخوان و سنگ کف دشت بوشکان با استفاده از روش ژئوالکترونیک و حفاری چاه های اکتشافی، کنفرانس ملی دستاوردهای نوین علوم زمین. دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان.  
- صفری حمیدرضا، نوایی نیا بهرام، شریفی محمدباقر ۱۳۸۳، تعیین عمق بهینه چاه ها جهت کف شکنی با استفاده از برنامه ریزی غیرخطی مجله آب و فاضلاب دوره ۱۵، شماره ۳ (مسلسل ۵۱)؛ صفحات ۳۵-۴۱.

Noori, A., Sarveram, H., Eshaghi Sharabiani, H., Nouri Gheidari, M.H. and Ghasemi, F., 2021. An Investigation into Groundwater Exploitation in Abhar Plain and Determination of Maximum Well Deepening. Iran-Water Resources Research 17(1):33-46 (In Persian)

Bijani, M., Moridi, A., Majdzadeh Tabatabaie, M. R., 2017. Investigation of well deepening effects on aquifer yield using numerical model. Iran-Water Resources Research 12(4):83-92 (In Persian)

## پیش بینی مقادیر دما و بارش دشت دهگلان با رویکرد تغییر اقلیم با استفاده از مدل

### ریز مقیاس نمایی SDSM

محمد نخعی<sup>۱</sup>، سهیلا احمدی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی گروه آموزشی زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی کرج

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آب زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی کرج

sohaila.ahmadi97@gmail.com

#### چکیده:

بدون شک تغییرات اقلیمی امروزه یکی از مسائل مهم و نگران کننده برای بشر است و زمانی که تغییر اقلیم با بحران کم آبی همراه شود به یکی از مهم ترین مشکلات روز دنیا تبدیل می شود. به همین دلیل بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دشت ها و پیامدهای ناشی از آن باید به صورت جدی بررسی و راهکارهای مناسبی جهت سازش با این تغییرات ارائه شود. در این تحقیق جهت انجام کار از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک قروه، استفاده کردیم. در شروع کار داده های بارش و دما با استفاده از مدل SDSM ریزمقیاس شدند. دوره پایه جهت کار مدل SDSM ۲۰۰۵-۱۹۹۰ و دوره آتی جهت بررسی تأثیرات تغییر اقلیم ۲۰۴۹-۲۰۲۰ در نظر گرفته شد. با توجه به خروجی مدل تحت سه سناریوی RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5، در دوره ی آتی، از ماه های ژانویه تا آگوست شاهد افزایش دما و در ماه های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر شاهد کاهش دما می باشیم. بارش نیز در ماه های مارس و آوریل و نوامبر و دسامبر با کاهش و در بقیه ی ماه ها با افزایش روبرو است. با این اوصاف و تغییرات در پارامترهای دما و بارش تأثیرات تغییر اقلیم در حوضه کاملاً مشهود است.

کلیدواژه: دشت دهگلان، تغییر اقلیم، اس دی اس ام

## Prediction of temperature and precipitation in Dehgolan plain with climate change approach using SDSM exponential microscale model

Mohammad nakhaei<sup>1</sup>; sohaela Ahmadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Applied Geology, Kharazmi University

<sup>2</sup> MSc student of Hydrogeology, Kharazmi University

#### Abstract:

Undoubtedly, climate change is one of the most important and worrying issues for human beings today. When climate change is accompanied by a water shortage crisis, it becomes one of the most important problems in the today's world. Therefore, investigating of the effects of climate change on water resources and its consequences should be seriously considered and appropriate solutions should be provided to adapt these changes. In this study, we used the information of Qorveh Synoptic Station. At the beginning of the work, precipitation and temperature data were micro-

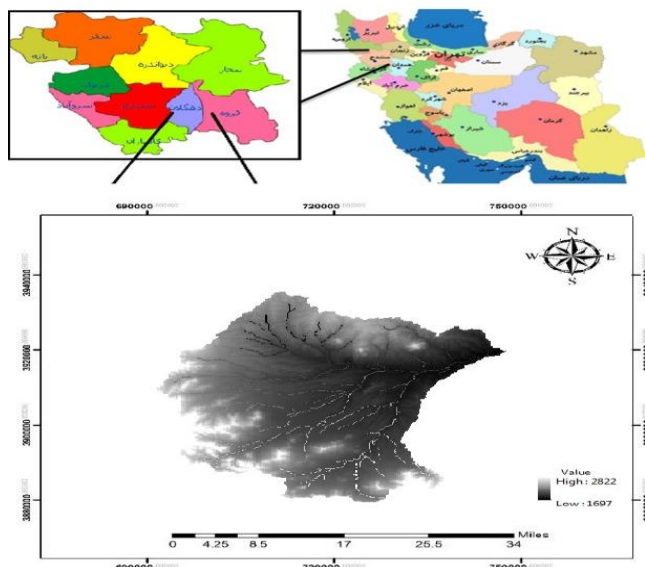
scaled by using SDSM model. The basic period for working on the SDSM model is 1990-2005 and the future period for studying the effects of climate change Was considered 2049-2020. According to the output of the model under the three scenarios; RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5, in the future period we witness an increase in temperature from January to August, and decrease in temperature in September, October, November and December. Precipitation also decreases in March, April, November and December and increases in the remaining months. With these characteristics and changes in temperature and precipitation parameters, the effects of climate change in the basin are quite evident.

#### مقدمه:

تغییرات اقلیمی یکی از مهمترین معضلات کره زمین در قرن حاضر است به همین دلیل ارزیابی و پیش بینی این تغییرات در آینده به دلیل اثرات سوء تغییرات اقلیمی بر منابع آبی و محیط طبیعی از اهمیت زیادی برخوردار است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴). بر خلاف تصور محققین، اقلیم زمین همیشه ثابت نبوده و زمین در طول عمر ۴/۵ میلیارد ساله خود، اقلیم های گوناگونی را تجربه کرده است. به ویژه این تغییرات در دوره ی کواترنری چشم گیرتر بوده است (شهاب فر و همکاران، ۱۳۸۳). تغییر اقلیم به صورت افزایش گرمای زمین، پدیده های است که طی ۲۰۰ سال اخیر شدت بسیار زیادی پیدا کرده است. یکی از دلایل مهم گرم شدن و تغییر اقلیم کره ی زمین، افزایش گازهای گلخانه ای در جو زمین است. از جمله تأثیرات مهم تغییر اقلیم و افزایش دما، ذوب شدن برف، تغییر الگوی بارش و ایجاد سیلاب است. تغییر اقلیم می تواند بر کمیت و کیفیت آب های زیرزمینی، باران، آب های سطحی و تولید انرژی و تقاضا موثر باشد. مدل SDSM برای شبیه سازی بارش و دما در دوره ی آتی استفاده می شود. این مدل ارتباط آماری بین پیش بینی کننده و پیش بینی شونده ی بزرگ مقیاس را در مقیاس محلی بر اساس روش رگرسیون خطی چند گانه برقرار می کند. این مدل آماری از معتبرترین ابزارهای ریزمقیاس گردانی در حال حاضر به حساب می آید (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴).

#### روش مطالعه:

دشت دهگلان واقع در استان کردستان، بین طول های ۴۷ ۳۶ ۵۶ و ۴۷ ۰۶ ۳۶ شرقی و ۳۵ ۴۱ ۷ و ۳۵ ۱ ۱ عرض شمالی واقع شده است که ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۸۷۶ متر است. دشت دهگلان از جنوب به استان کرمانشاه، از شمال به شهرستان بیجار، از شرق به شهرستان قروه و از غرب به شهر سنندج ختم می شود. دهگلان با وسعت حوضه آبخیز ۱۸۵۳ و مساحت دشت ۷۷۹ کیلومتر مربع در شرق استان کردستان قرار دارد. با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه، بیشتر سنگ ها از نوع شن، ماسه، خاک رس و قلوله سنگ توأم با سیلت است. اکثر منطقه جز نواحی نیمه خشک و سرد می باشد و متوسط بارندگی آن ۳۵۵ میلی متر در سال است. حداکثر مطلق دما ۴۰/۵ درجه سانتیگراد و حداقل دما ۳۳- درجه سانتیگراد می باشد، متوسط حداکثر و متوسط حداقل در این ایستگاه به ترتیب ۱۷/۸ و ۰/۵ درجه سانتیگراد است. متوسط درجه حرارت سالانه در ایستگاه قروه ۹/۱ درجه سانتیگراد است.



شکل ۱: موقعیت حوضه ی آبخیز دشت دهگلان

مدل ریز مقیاس نمایی SDSM یک مدل آماری است که توان توسعه سریع با هزینه ی کم داده های ریز مقیاس شده به صورت روزانه، ماهانه، سالانه یا فصلی را در مقیاس ایستگاهی دارد. اولین نسخه مدل اس دی اس ام در سال ۲۰۰۱ با عنوان SDSM 2.2 معرفی شد (میرسالاری و ادیب، ۱۳۹۶). اولین گام در مدل سازی برای پیش-بینی هیدرولوژیکی، استفاده از پیش-بینی کننده های مناسب است. مهم ترین پارامترهای اقلیمی موثر بر میزان متغیرهای هیدرولوژیکی یک منطقه شامل میزان بارش، دمای هوا، سرعت باد، رطوبت هوا و تشعشع خورشیدی است. به علل مختلفی نظیر کمبود اطلاعات ثبت شده و نداشتن دانش کافی در مورد فرآیند فیزیکی تاثیر این پارامترها، معمولا بارش و دما به عنوان مهم ترین پارامترهای هواشناسی در پیش بینی هیدرولوژیکی بلند مدت، مورد توجه قرار می گیرند. برای پیش بینی تغییرات اقلیمی (تغییرات در میزان بارش و دما) از مدل های چرخه عمومی و سناریوهای آن استفاده می شود. (Woldeamlak et al., 2007).

در این تحقیق، به منظور پیش بینی بارش و دما از مدل گردش عمومی جو<sup>۴۵</sup> CanESM2 استفاده می کنیم. با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی<sup>۴۶</sup> SDSM تحت سه سناریوی RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 برای ریز مقیاس نمایی داده های آتی استفاده شد (گودرزی و همکاران ۱۳۹۹). CanESM2 جزء مدل های سری CMIP و گزارش پنجم ارزیابی (AR5<sup>۴۷</sup>) هیئت جهانی تغییر اقلیم می باشد (Arora et al., 2011). در دقت شبیه سازی مدل ها نسبت به گزارش های قبلی افزایشی بوده است. همچنین در سناریوهای RCP گستره ی بیشتری از خط

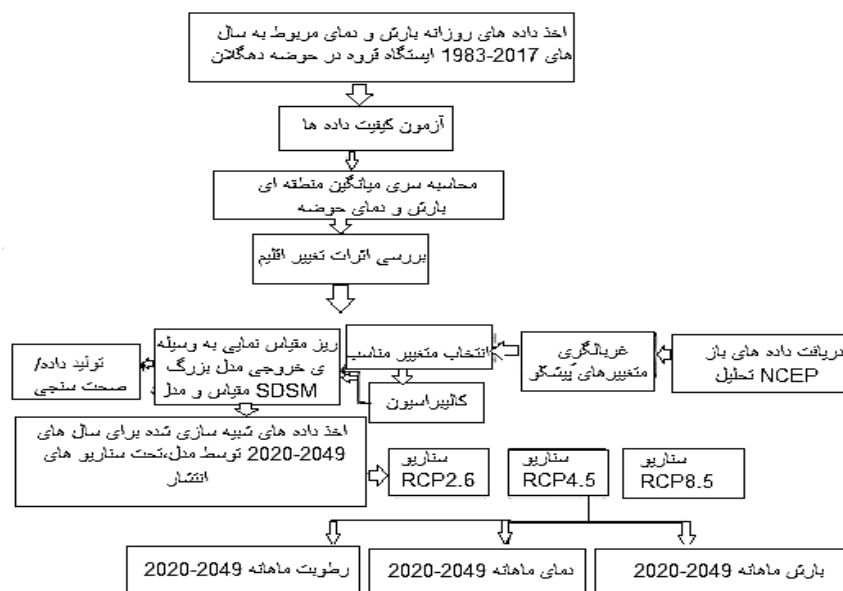
<sup>۴۵</sup> . Second generation Canadian Earth System model

<sup>۴۶</sup> . Statistical Downscaling Model

<sup>۴۷</sup> . Fifth Assessment Report



سیرهای (GHGs)، تولید گازهای گلخانه‌ای را نسبت به سناریوهای SRES در گزارش چهارم ارزیابی (AR4) نشان می‌دهد. به طور کلی عدم قطعیت‌ها در گزارش پنجم پایین آمده است. سناریوهای RCP شامل سه سناریو هستند. سناریوی کاهش و سخت‌گیرانه (RCP2.6)، سناریوی حد واسط (RCP4.5) و سناریوی بدبینانه (RCP8.5)، با تولید گازهای گلخانه‌ای زیاد می‌باشد. سناریوهای RCP 8.5، RCP 4.5 و RCP 2.6 تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر اجبار تابشی را در سال ۲۱۰۰ تا ۸/۵، ۴/۵ و ۲/۶ ( $W/m^2$ ) وات بر مترمربع تخمین می‌زنند (IPCC, 2014). عملکرد مدل SDSM در چهار مرحله خلاصه می‌شود: ارزیابی مدل، انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده، واسنجی مدل و تولید سناریوهای آینده (Wilby et al., 2014). مدل SDSM ارتباط آماری بین پیش بینی کننده‌ها و پیش بینی شونده‌ها را در مقیاس محلی بر اساس روش رگرسیون خطی چند گانه برقرار می‌کنند. در مرحله اول آن داده‌ها آماده سازی می‌شوند. هدف نهایی شبیه سازی بارش و دما می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز مدل SDSM شامل اطلاعات و داده‌های دیدبانی مربوط به سالهای ۱۹۹۰-۲۰۰۵، اطلاعات واکاوی از مرکز NCEP مربوط به ایستگاه قروه (ایستگاه منتخب جهت مطالعه) در دوره مشابه، و داده‌های گردش عمومی جو در دوره مشابه دیدبانی و دوره آتی که در اینجا ۲۰۲۰-۲۰۴۹ می‌باشد. داده‌های واکاوی و مدل‌های گردش عمومی جو (مدل HadCM3) تحت سناریوهای مختلف انتشار در دسترس همگان هستند. ساختار مدل SDSM دارای هفت مرحله می‌باشد: کنترل کیفی، غربالگری متغیرها، واسنجی، تولید داده، تجزیه و تحلیل فراوانی و تولید سناریو. در شکل ۲ مراحل انجام مدل SDSM به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۲: مراحل انجام مدل SDSM به صورت شماتیک

به منظور ارزیابی عملکرد مدل، سه مشخصه آماری را استفاده می کنیم تا دقت و صحت مدل را مورد بررسی قرار دهیم. این مشخصه ها شامل خطای جذر میانگین مربعات<sup>۴۸</sup> (RMSE)، ضریب تبیین<sup>۴۹</sup> ( $R^2$ ) و بازدهی نش-ساتکلیف<sup>۵۰</sup> (NSE) هستند.

#### بحث:

در ابتدا نتایج مربوط به دمای کمینه و سپس دمای بیشینه تحت سه سناریوی RCP شامل سناریوی کاهشی و سخت گیرانه (RCP 2.6)، سناریوی حد واسط (RCP 4.5) و سناریوی بدبینانه ی (RCP 8.5)، آورده می شود. میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه که در نمودارها نشان داده شده حاکی از همبستگی بسیار خوب بین داده های مشاهداتی و پیش بینی شده در ایستگاه قروه است. در نتیجه مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه توانایی بسیار بالایی دارد. با توجه به شکل ۳ میانگین دمای کمینه در دوره ی آتی ۲۰۴۹-۲۰۲۰ از ماه های ژانویه تا آگوست، در تمام سناریوها شاهد افزایش میانگین دمای ماهانه هستیم. بیشترین افزایش دما مربوط به ماه ژوئن با حدود ۴ درجه افزایش دما است. همچنین در ماه های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر شاهد کاهش دما هستیم و بیشترین کاهش دما مربوط به ماه اکتبر با حدود ۳ درجه کاهش است. در مجموع تحت سه سناریوی موجود از ماه های ژانویه تا آگوست شاهد گرمتر شدن هوا به میزان ۲/۲۹ درجه سانتیگراد و در ماه های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر شاهد کاهش ۱/۴۵ درجه سانتیگرادی هوا می باشیم. هرکدام از دو دوره ی ۲۰۰۰-۱۹۹۰ و ۲۰۰۵-۲۰۰۱ به ترتیب جهت واسنجی و صحت سنجی دمای بیشینه و کمینه استفاده شدند. در جدول ۱ و شکل ۳ نتایج مدل مربوط به دمای کمینه، در مقیاس ماهیانه ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در مقایسه با دوره ی پایه ی ۱۹۹۰-۲۰۰۵ نشان داده شده است.

جدول ۱: خلاصه ی نتایج مدل در مرحله ی صحت سنجی، داده های شبیه سازی شده و سناریو های RCP نسبت به داده های مشاهداتی،

دمای کمینه

RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	شبیه سازی شده	ضریب
0.94	0.94	0.95	0.98	$R^2$
0.89	0.92	0.93	0.96	$E_{NS}$
2.63	2.22	2	1.44	RMSE

مقدار RMSE برای دمای کمینه برابر ۱/۴۴ و مقدار ضریب نش برابر ۰/۹۶ و  $R^2$  برابر ۰/۹۸ است. این مقدار پایین خطا نشان از توانایی بالای مدل در ریزمقیاس نمایی دمای محل در دوره مورد نظر دارد. بیشترین اختلاف بین نتایج پیش بینی و مشاهداتی در ماه ژوئن و به میزان ۵ درجه سانتیگراد (گرمتر شده) متعلق به RCP8.5 است و کمترین اختلاف مربوط به ماه آگوست است که دما ۱/۲ درجه سانتیگراد گرمتر شده است. بنابراین طی ماه های گرم سال دما گرمتر شده است و در ماه های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر شاهد سرد شدن هوا تا میزان حداکثر ۲/۴ درجه سانتیگرادی می باشیم.

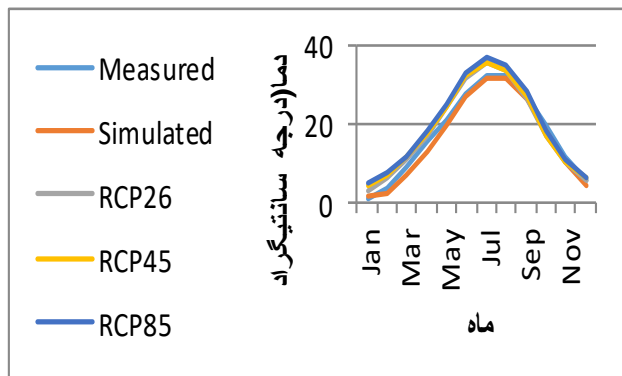
Root Mean Square Error<sup>۴۸</sup>  
 Correlation Coefficient<sup>۴۹</sup>  
 Nash-Sutcliffe Efficiency<sup>۵۰</sup>

دمای حداکثر: در جدول ۲ و شکل ۴ نتایج مدل مربوط به دمای بیشینه، در مقیاس ماهیانه ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در مقایسه با دوره-  
 ی پایه ی ۱۹۹۰-۲۰۰۵ نشان داده شده است.

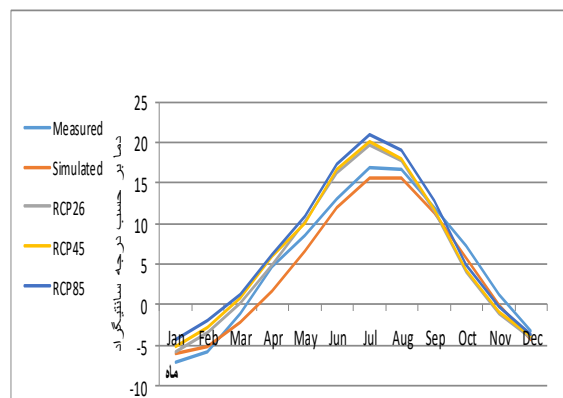
جدول ۲: خلاصه‌ی نتایج مدل در مرحله‌ی صحت سنجی، داده‌های شبیه‌سازی شده و سناریوهای RCP نسبت به داده‌های  
 مشاهداتی (دمای بیشینه)

RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	شبیه سازی شده	ضریب
0.96	0.96	0.96	0.99	$R^2$
0.91	0.94	0.95	0.98	$E_{NS}$
3.17	2.56	2.31	1.39	RMSE

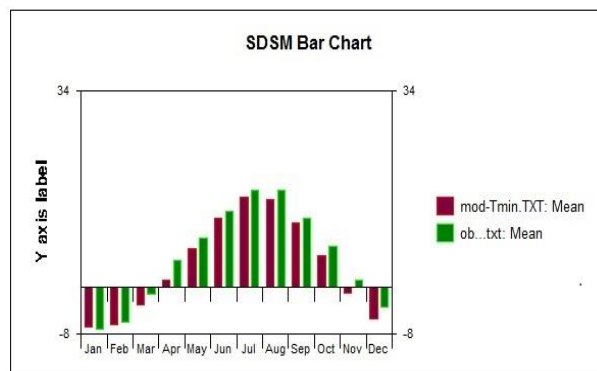
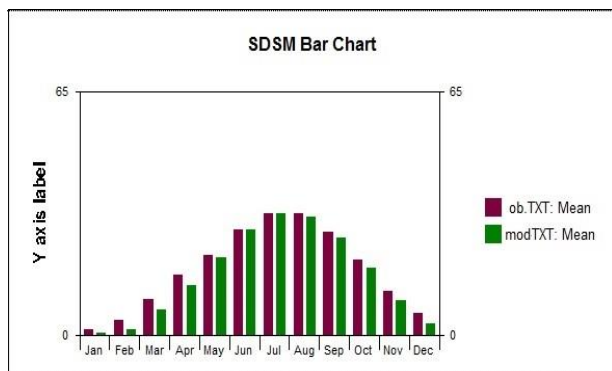
مقادیر پایین خطای ضریب نش و  $R^2$  نشان از توانایی بالای مدل در ریزمقیاس نمایی دمای بیشینه محل در دوره مورد نظر  
 دارد. در این مرحله سناریوهای اقلیمی تولید شده توسط مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سه سناریوی RCP نشان  
 داده می‌شود.



شکل ۴: مقادیر دمای بیشینه ماهیانه ۲۰۲۰-۲۰۴۹



شکل ۳: مقادیر دمای کمینه ماهیانه ۲۰۲۰-۲۰۴۹



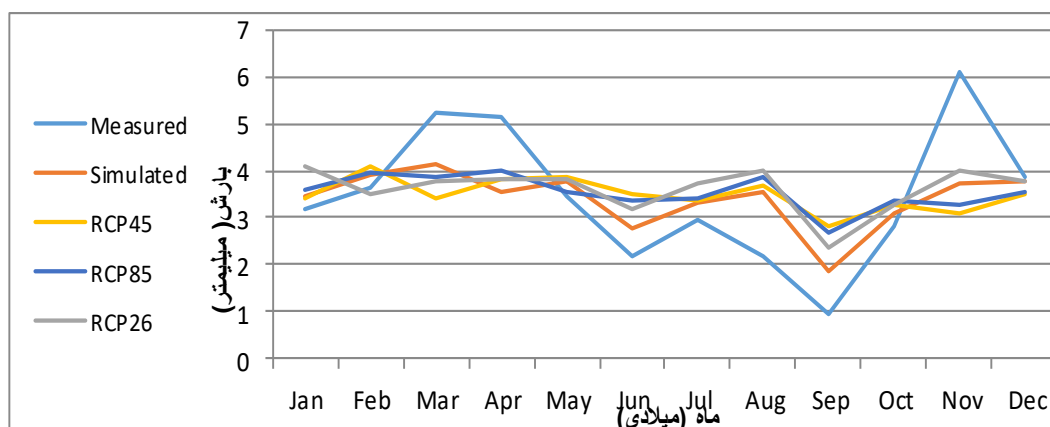
شکل ۵: دمای کمینه (راست) و بیشینه (چپ) ریزمقیاس شده در مقایسه با دمای مشاهداتی در دوره کالیبراسیون

بارش: در جدول ۳ و شکل ۶ نتایج مدل مربوط به باران، در مقیاس ماهیانه ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در مقایسه با دوره‌ی پایه‌ی ۲۰۰۵-۱۹۹۰ نشان داده شده است. در اینجا سناریوهای اقلیمی تولید شده توسط مدل جهت بارش، نشان از کاهش محسوس بارندگی در ماه‌های مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر دارد. اما در بقیه‌ی ماه‌ها شاهد افزایش بارش هستیم. بیشترین کاهش با حدود ۷۷ درصد مربوط به ماه نوامبر، و بیشترین افزایش بارش با حدود ۶۲ درصد افزایش، مربوط به ماه سپتامبر است.

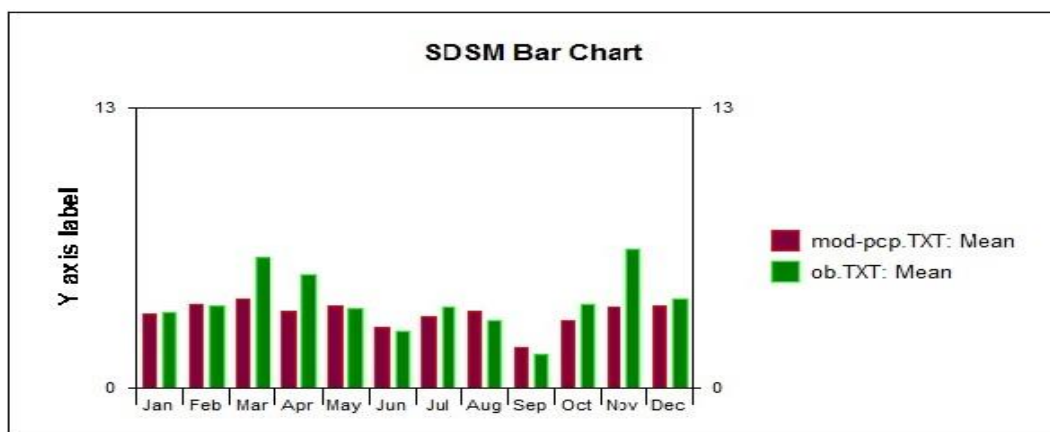
جدول ۳: نتایج مدل در مرحله‌ی واسنجی، داده‌های شبیه‌سازی شده و سناریوهای RCP نسبت به داده‌های مشاهداتی (بارش)

ENS	R <sup>۲</sup>	List
0.45	0.57	Simulated
0.30	0.40	RCP2.6
0.09	0.10	RCP4.5
0.44	0.94	RCP8.5

مدل SDSM در انتخاب مناسب‌ترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده جهت بارش و دما بسیار توانا است، به طوری که متغیرهای انتخاب شده ارتباط دینامیکی و فیزیکی خوبی با پیش‌بینی شونده دارند. با این حال جهت پیش‌بینی بارش تعدادی از متغیرهای کارآمد به مدل معرفی نمی‌شوند در نتیجه مدل SDSM در پیش‌بینی بارش به نسبت دما، همیشه ضعیف‌تر عمل می‌کند (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵) و میانگین خطاهای آن معمولاً بالاتر از میانگین خطاهای دما است.



شکل ۶: میانگین بارندگی ریز مقیاس شده در مقیاس ماهیانه ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در مقایسه با دوره پایه



شکل ۷: بارش ریز مقیاس شده در مقایسه با بارش مشاهداتی در دوره کالیبراسیون

### نتیجه گیری:

با استفاده از مدل SDSM داده‌های بارش، دما و تبخیر ریزمقیاس شدند. دوره پایه جهت کار مدل ۱۹۹۰-۲۰۰۵ و دوره آتی جهت بررسی تأثیرات تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۹ می باشد. با توجه به خروجی مدل تحت سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5، در دوره آتی از ماه‌های ژانویه تا آگوست، شاهد افزایش دما و در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر شاهد کاهش دما می‌باشیم. همچنین در ماه‌های مارس و آوریل و نوامبر و دسامبر شاهد کاهش بارندگی و در بقیه‌ی ماه‌ها شاهد افزایش مقدار بارش هستیم. بنابراین افزایش دما تأثیر بالایی بر ذوب برف، تغییر الگوی بارش، ایجاد سیلاب، وقوع و تشدید خشکسالی و کاهش رطوبت خاک را به همراه دارد و با توجه به این موضوع باید برنامه ریزی های لازم جهت مدیریت بحران افزایش دما صورت بگیرد.



#### منابع:

- حسینی، م. (۱۳۷۸). نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قروه. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شهاب فر، محمدنیا قرایی، سهراب، & معتمدی. (۱۳۸۳). آشکارسازی تغییر اقلیم محلی به کمک بررسی نوسانات زمانی روزهای یخبندان (مطالعه موردی مشهد). جغرافیایی سرزمین، ۱ (شماره ۳ (پیاپی ۳))، ۸۱-۹۱.
- سرتیپی، ا. ه.، (۱۳۸۴). نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنندج. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- گودرزی، م.، مسعود، صلاحی، برومند، حسینی، & اسعد. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله علوم ومهندسی آب‌خیزداری ایران، ۹(۳۱)، ۲۳-۱۱.
- حمیدیان پور، باعقیده، عباس نیا، & مجسن. (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱)، ۱۰۷-۱۲۳.
- میرسالاری، ب. ادیب، آ. (۱۳۹۶). پیش بینی اثرات تغییر اقلیم بر دبی رودخانه ای بر اساس تعیین روند سری های زمانی و مدل های گردش عمومی جو، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه شهید چمران اهواز - دانشکده علوم پایه.
- گودرزی، مرتضوی زاده، & فاطمه سادات. (۱۳۹۹). ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی دشت هشتگرد براساس سناریوهای RCP اکوهیدرولوژی، ۷(۳)، ۸۰۱-۸۱۴.
- Arora, V. K., Scinocca, J. F., Boer, G. J., 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases geophysical research letters, 38, L05805.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., Murphy, C., Connor, P. O., & Hawkins, E., 2014. The statistical downscaling model-decision centric (SDSM-DC): conceptual basis and applications. Climate Research, 61(3), 259-276.
- Woldeamlak, S. T., Batelaan, O., & De Smedt, F., 2007. Effects of climate change on the groundwater system in the Grote-Nete catchment, Belgium. Hydrogeology Journal, 15(5), 891-901.
- Woodward, A., Smith, K. R., Campbell-Lendrum, D., Chadee, D. D., Honda, Y., Liu, Q., ... & Haines, A., 2014. Climate change and health: on the latest IPCC report. The Lancet, 383(9924), 1185-1189.

## اثرات تغییر اقلیم و فعالیتهای انسانی بر منابع آبهای زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه

### آبریز زهره - جراحی

سمیرا زندی فر\*<sup>۱</sup> و مریم نعیمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

<sup>۲</sup> بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

zandifar@rifr-ac.ir

#### چکیده:

کاهش سطح آب زیرزمینی تابع قوانین عمومی تکامل سامانه های جوی و هیدرولوژیکی و همچنین فعالیتهای انسانی می باشد. در دهه های اخیر، کاهش منابع آب زیرزمینی در کشورهایی همچون ایران با اقلیم خشک و نیمه خشک و به دلیل تغییرات اقلیمی کره زمین و افزایش جمعیت نمود واضحی پیدا کرده است. بر این اساس، مطالعه اثرات تغییر اقلیم و مداخلات انسانی بر تغییر روند سطح آب های زیرزمینی در بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۸۱ در حوزه آبریز زهره جراحی با استفاده از شاخص های خشکسالی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی و و میزان تخلیه از آبخوان ها مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج و نقشه های پهنه بندی سطح آب زیرزمینی آبخوان در بازه زمانی مورد مطالعه نشان دهنده ی شرایط خشکسالی و به تبع آن روند افت تراز آب زیرزمینی شدیدتر در شرق حوزه نسبت به نواحی غربی و شمالی است. حسب بررسی نمودارهای هیدروگراف معرف مقدار افت کلی در دوره اندازه گیری از حداقل ۱/۹ تا حداکثر ۲۳/۷ متر مشاهده شده است، که با بررسی میزان برداشت و تخلیه، ناشی از پمپاژ بیش از حد آب زیرزمینی برای کشاورزی طی این دوره بوده است. بنابراین با بهره گیری از برنامه ریزی و اعمال مدیریت صحیح منابع آبهای زیرزمینی می توان از بروز اثرات سو بر روی منابع آبی منطقه جلوگیری کرد.

کلیدواژه: افت، آب زیرزمینی، تغییرات اقلیمی، فعالیت های انسانی

## Assessing the Effects of Climate Change and Human Interventions on Groundwater, case study of Zohreh-Jarahi watershed

Samira Zandifar\*, Maryam Naeimi

#### Abstract

Groundwater depletion is subject to the general laws of evolution of atmospheric and hydrological systems as well as human activities. In recent decades, the decline of groundwater resources in countries such as Iran with arid and semi-arid climates and due to global climate change and population growth has become evident. Accordingly, the study of the effects of climate change and human interventions on the change of groundwater levels in the period 1396-1391 in the catchment area of Zohreh Jarahi using hydrological and hydrogeological drought indices and the rate of discharge from aquifers was investigated. Examination of the results and zoning maps of the aquifer groundwater level in the studied period shows the drought conditions and consequently the trend of more severe groundwater level decline in the east of the basin than the western and northern areas. According to the hydrograph diagrams, the total drop in the measurement period from a

minimum of 1.9 to a maximum of 23.7 meters has been observed, which was due to excessive pumping of groundwater for agriculture during this period. Therefore, by using the planning and proper management of groundwater resources, it is possible to prevent adverse effects on water resources in the region.

#### مقدمه:

کمبود طولانی مدت بارش سبب بروز اولین نشانه‌های خشکسالی و در نتیجه ورودی کمتر به سیستم هیدرولوژی می‌شود. در طی یک دوره خشک، تبخیر و تعرق پتانسیل افزایش می‌یابد و پس از یک دوره زمانی کوتاه، مقدار ذخیره رطوبت خاک تحت اثر این شرایط شروع به کاهش می‌کند. در نتیجه تغذیه سیستم آب زیرزمینی کم شده و سطح تراز آب چاه‌ها ممکن است یک سال یا بیشتر پس از شروع خشکسالی به کمبود بارندگی واکنش نشان بدهد. این مسأله می‌تواند بر روی جریان سطحی که وابسته به آب‌های زیرزمینی منطقه است نیز تاثیرگذار باشد (ون لون ۲۰۱۳). روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی و خشکسالی آنها با استفاده از شاخص سطح استاندارد آب‌های زیرزمینی در حوضه رودخانه شرقی بنگال غربی هند توسط هالدر و همکاران (۲۰۲۰) مورد مطالعه قرار گرفت. روند تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از آمار آمون من کندال بررسی شده است. نتایج نشان داد این حوضه با خشکسالی شدید هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی روبرو هست که تاثیر ویژه ای بر سطح آب‌های زیرزمینی منطقه دارند. هلوینگ و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که این شاخص‌ها و مدل‌ها می‌توانند تاثیر تغییرات آب و هوایی را بر روی آب‌های زیرزمینی در مقیاس وسیعی به خوبی نشان دهند. نیکبخت و مرادی (۲۰۱۹) اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی را با استفاده از شاخص آب و هوایی SPI و شاخص خشکسالی آب زیرزمینی GRI برای دشت هشتگرد طی سالهای ۱۲۶۹ تا ۱۲۴۹ مطالعه کردند. نتایج نشان داد که شرایط آب و هوایی در ۷۲/۲ درصد از سالهای آماری نرمال بود. همچنین سطح آب زیرزمینی دشت هشتگرد در طول ۳۲ سال آبی به میزان ۱۵/۵ متر افت داشته است. و بیانگر این مطلب است که عمدتاً افت سطح تراز آب زیرزمینی ناشی از بیش برداشت از آبخوانها بوده و کاهش بارندگی نقش کمتری داشته است. به طور کلی شاخص‌های مختلفی به منظور ارزیابی و مطالعه وضعیت خشکسالی هواشناسی و بررسی اثرات کمی ناشی از آن توسط محققین ارائه شده است که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس به کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (ریچارد ۲۰۰۲، چن و همکاران ۲۰۰۴، کوپرینگ ۲۰۰۹، مایر و فارس ۲۰۱۰، ژنگ و همکاران ۲۰۱۷).

حوزه آبریز زهره- جراحی در جنوب غرب کشور با وسعت ۴۰۷۸۸ کیلومتر مربع می‌باشد. این حوزه بخشی از حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بوده که به لحاظ تقسیمات کشوری از این گستره در حدود ۵۹٪ در استان خوزستان واقع شده و به ترتیب ۲۷٪ و ۱۴٪ در استان کهگیلویه و بویراحمد و فارس قرار گرفته است. با توجه به شرایط زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی این حوضه ذخایر قابل توجهی از منابع آب زیرزمینی در مخازن سازندهای سخت و آبخوانهای آبرفتی آن ایجاد شده است. از آنجا که این حوزه آبریز در برگیرنده بخش عظیمی از کانونهای گردوغبار استان خوزستان می‌باشند و تاثیر تغییرات سطح آب زیرزمینی و خشکسالی‌ها در ایجاد کانون‌های گردوغبار این استان مهم می‌باشد، در مطالعه حاضر جهت بررسی روند نوسانهای سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری ۱۳۸۱ الی ۱۳۹۵ با استفاده از اندازه‌گیری‌های مربوط به سطح آب چاه‌های پیژومتر و تحلیل میزان



تغییرات با استفاده از تراز آب زیرزمینی، شاخص خشکسالی آبهای سطحی، شاخص آب های زیرزمینی و میزان تخلیه و مصارف از آبخوان ها صورت پذیرفته است.

### روش مطالعه:

این حوزه از نظر بررسیهای منابع آب زیرزمینی به ۲۴ محدوده مطالعاتی تقسیم شده است. هر محدوده مطالعاتی معمولاً یک پهنه آبرفتی را در بر گرفته است. این پهنه ها بدلیل استقرار مخازن آب زیرزمینی مورد بهره برداری قرار گرفته اند و نقش مهمی در توسعه اجتماعی و اقتصادی منطقه بر عهده دارند. در گزارش حاضر نحوه تغییرات سطح آبخوان و ذخیره مخزن آبرفتی در ۱۶ محدوده مطالعاتی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

جهت بررسی روند تغییرات آب زیرزمینی، در آغاز آمار و اطلاعات مربوط به منابع آب زیرزمینی از شرکت مدیریت منابع آب ایران درخواست گردید. سپس، به بررسی دقت و صحت آمار و اطلاعات جمع آوری شده و رفع نواقص آماری نسبت به تکمیل آمار و انجام تجزیه و تحلیل های الزم اقدام گردید. طول دوره آمار برداری انتخابی در این مطالعه از سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ می باشد. سپس به بررسی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی پرداخته شد. به منظور تهیه نقشه خطوط هم تراز از داده های ماه حداقل سال آخر دوره آماری (سال آبی ۹۶-۱۳۹۵) برای آبخوان استفاده گردید. همچنین به منظور بررسی میزان افت سطح آب، تراز آب زیرزمینی چاههای مشاهدهای مربوط به مهر ماه سال ۱۳۹۶ از تراز آب در مهر ماه ۱۳۹۱ و نیز تراز آب در مهر ماه ۱۳۹۱ از تراز آب در مهر ماه ۱۳۸۶ کسر شد. پهنه بندی ها توسط درون یابی در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3.1 رسم شده اند. در ادامه، مقدار شاخص خشکسالی آب های زیرزمینی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. همچنین داده های حاصل با شاخص محاسبه شده خشکسالی هیدرولوژیکی جهت بررسی اثرات اقلیمی مقایسه شد. شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از داده های دبی ماهانه در ایستگاه های هیدرومتری رودخانه های حوضه، طبق روابط (۲) و (۳) محاسبه شد.

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (1)$$

که در آن  $D_{y,m}$  مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در سال  $y$  و ماه  $m$ ،  $\mu_{D,m}$  و  $\sigma_{D,m}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر تراز آب زیرزمینی در ماه  $m$  در طول دوره آماری می باشند (مندسینو و همکاران، ۲۰۰۸). طبقه بندی مقادیر شاخص GRI در جدول ۱ نشان داده شده است.

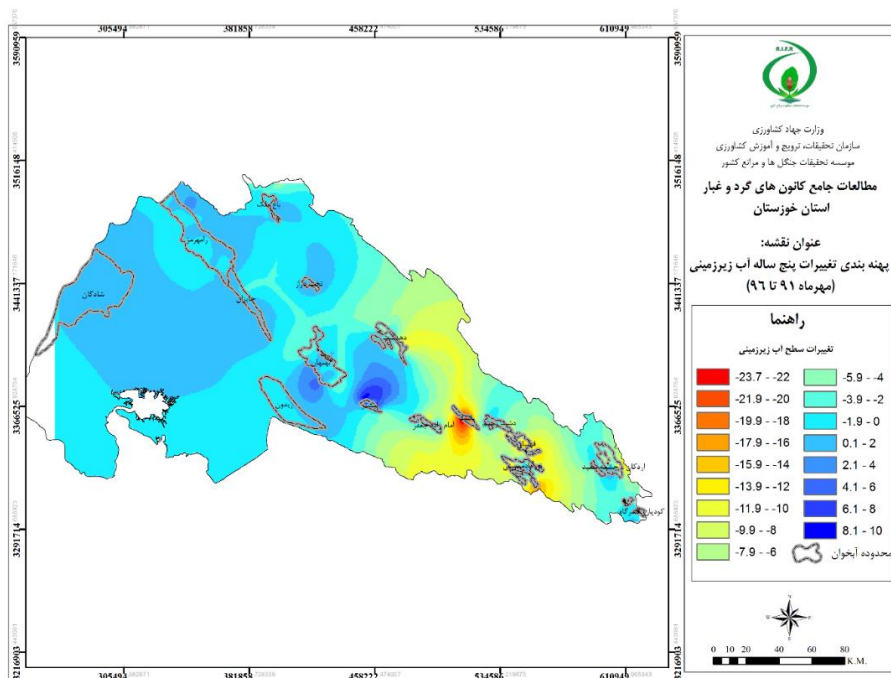
$$SDI_{j,k} = V_{j,k} - V_k / S_k \quad (2)$$

$$V_{j,k} = \sum_{i=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, \dots; k = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, 12 \quad (3)$$

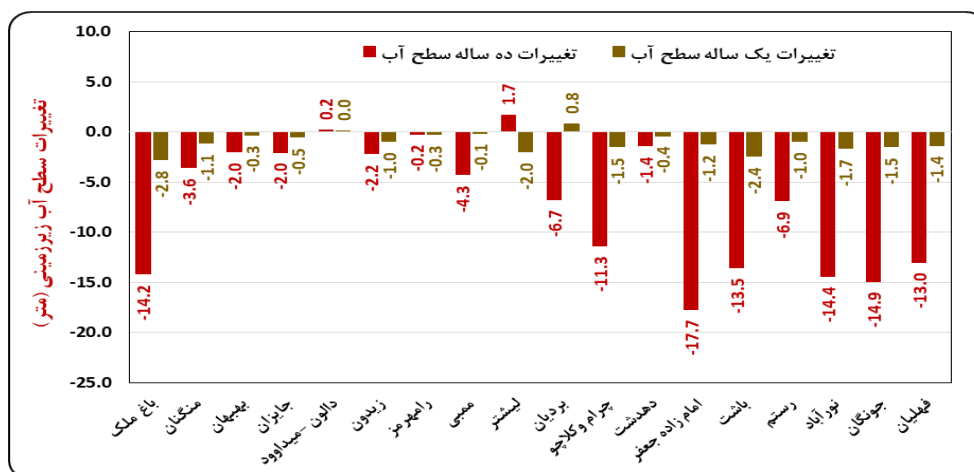
که در آن  $i$  سال هیدرولوژیکی؛  $j$  ماه (مثلاً برای ماه مهر  $j=1$  و برای ماه شهریور  $j=12$ )؛  $k$  دوره زمانی؛  $Q$  سریهای زمانی حجم جریان های رودخانه ای ماهانه،  $V$  و  $S$  به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی می-باشند.

### نتایج و بحث:

توسط اطلاعات مربوط به ۵۵۰ حلقه چاه مشاهده ای از نوع لوله ای در محدوده های مطالعاتی حوزه آبریز زهره- جراحی تا پایان سال ۹۶-۱۳۹۵ نقشه پهنه بندی پنج ساله تراز آب زیرزمینی از مهر ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۶ تهیه شده است. مطابق شکل ۱ در طی این پنج سال بیشترین کاهش تراز آب زیرزمینی در آبخوان باشت با بیش از ۲۳ متر افت رخ داده است. در برخی بخش های میانی حوزه کمترین تغییرات و در بعضی مناطق شرایطی بدون تغییر و حتی در قسمتهایی نظیر بخش هایی از آبخوان های لیستر، نورآباد، بهبهان و رامهرمز افزایش تراز آب زیرزمینی مشاهده می شود، به طوری که در طی این پنج سال، بیشترین افزایش تراز (حدود ۹ متر) در آبخوان لیستر اتفاق افتاده است. شکل ۲ تغییرات یک ساله و ده ساله سطح آب زیرزمینی در محدوده های مختلف حوزه را نشان می دهد.

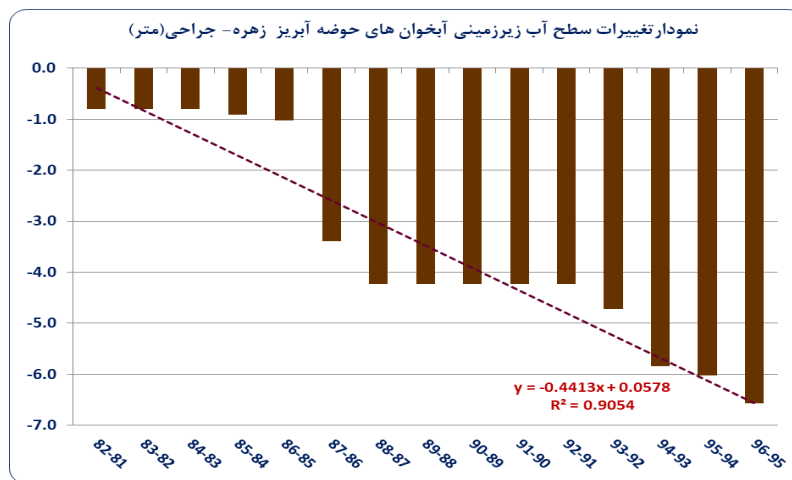


شکل ۱: پهنه بندی تغییرات پنج ساله تراز آب زیرزمینی در حوزه آبریز زهره- جراحی.

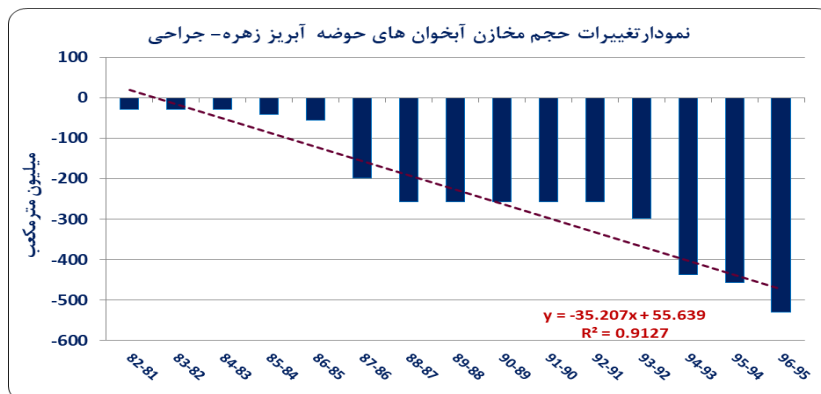


شکل ۲: تغییرات یک ساله (۹۵ و ۹۶) و ده ساله سطح آب زیرزمینی به تفکیک آبخوان در حوزه آبریز زهره- جراحی.

مطابق شکل ۳ سطح آب زیرزمینی حوزه مورد نظر در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ ۶/۵ متر افت داشته است و کاهش حجم تجمعی ذخیره آبخوان های حوزه در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ معادل ۵۲۹/۳۱ میلیون مترمکعب می باشد (شکل ۴). در واقع سالیانه بیش از ۳۵ میلیون متر مکعب از حجم ذخیره آبخوان های حوزه آبریز زهره- جراحی کاسته شده است. حداقل کاهش کل معادل ۰/۰۷ میلیون متر مکعب مربوط به محدوده دالون- میداوود و حداکثر مقدار با ۴۲/۷۹ میلیون مترمکعب متعلق به محدوده مطالعاتی فهلیان میباشد. حدود تغییرات این عامل کمتر از ۰/۱ میلیون مترمکعب در تعدادی از آبخوانها، تا بیشتر از ۱ میلیون متر مکعب در تعدادی دیگر قابل مشاهده است. بیشترین مقدار کاهش سالانه با ۳/۵۷ میلیون مترمکعب مربوط به محدوده مطالعاتی فهلیان میباشد.



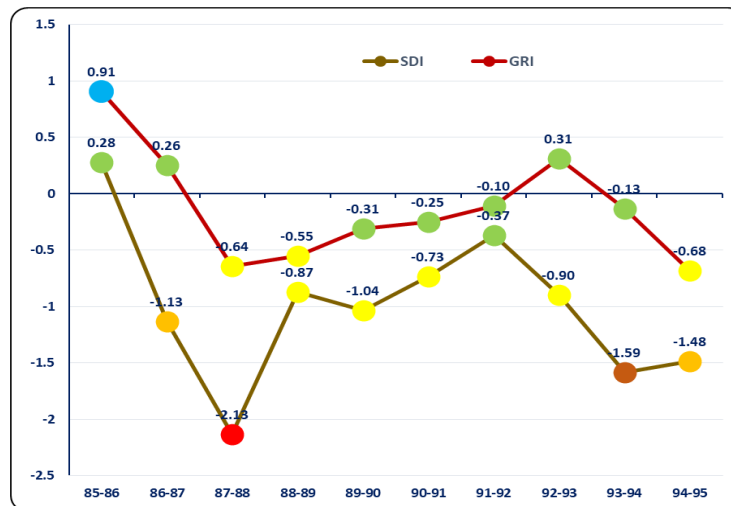
شکل ۳: تغییرات سطح آب زیرزمینی به تفکیک سال در حوزه آبریز زهره- جراحی.



شکل ۴: روند تغییرات حجم مخازن آبخوان ها به تفکیک سال در حوزه آبریز زهره- جراحی.

بررسی دلایل تغییرات افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص های خشکسالی نشان داد که در سال اول دوره آماری ۱۳۸۶-۱۳۸۵ در هیچ یک از محدوده های مطالعاتی شرایط خشکسالی حاکم نیست (شکل ۵) و حتی در برخی موارد ترسالی وجود دارد. با افزایش دوره زمانی این شرایط به تدریج به سمت خشکسالی پیش می رود. به نحوی که شدت خشکسالی به طور کلی نسبت به سال قبل افزایشی بوده است، اما در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸

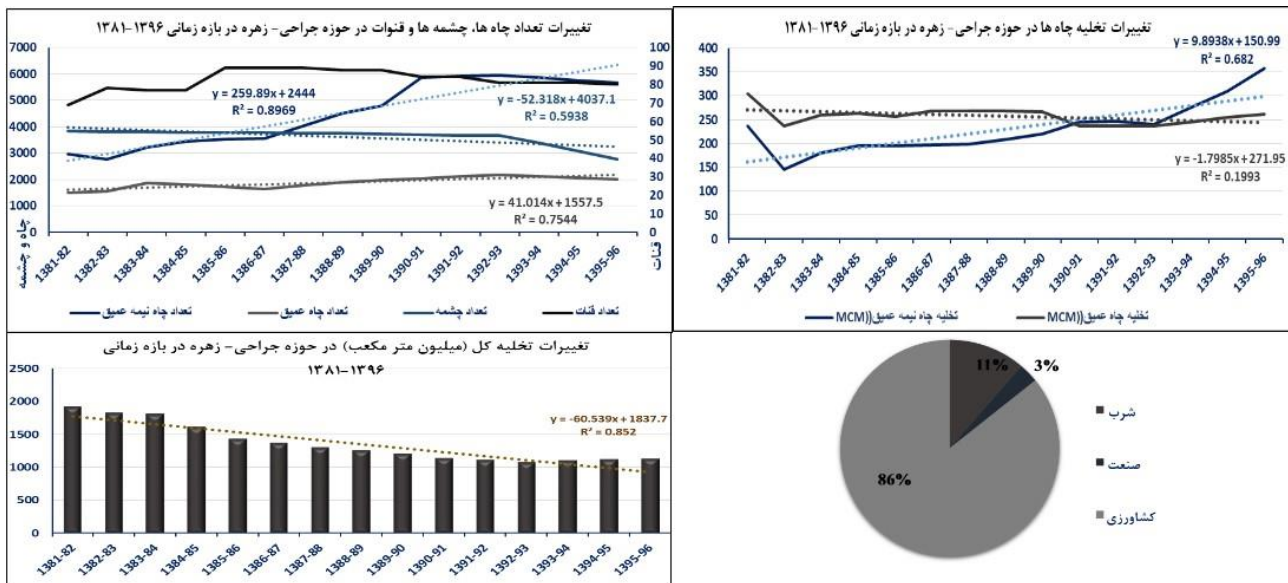
نسبت به روند کلی دوره آماری شرایط خشکسالی شدت گرفته است. به طور کلی بررسی مقادیر میانگین سالانه شاخص GRI در کل حوزه آبریز زهره- جراحی نشان دهنده وقوع خشکسالی متوسط تا ملایم در سال ۸۹-۱۳۸۸ با مقدار شاخص -۰,۶۴ و در سال ۹۵-۱۳۹۴ با مقدار شاخص -۰,۶۸ می باشد. همچنین طبق این شاخص در سال ۸۶-۱۳۸۵ ترسالی ملایمی با مقدار شاخص ۰/۹ رخ داده است. بقیه سال های دوره آماری نزدیک به نرمال و خشکسالی ملایم تعیین شده اند. مقایسه سالانه شاخص GRI با شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی نمایانگر همبستگی بین شاخص ها می باشد. در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ هردو شاخص روند متفاوتی نسبت به کل دوره نشان می دهند به طوری که در همه محدوده ها شرایط نزدیک به نرمال می باشد. این انطباق بین دو شاخص مذکور نشان از تأثیرپذیری آب زیرزمینی از شرایط اقلیمی در حوزه دارد. به طور کلی در بیشتر محدوده های مطالعاتی همبستگی بین شاخص GRI و SDI وجود دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشکسالی هیدرولوژی بر آبهای زیرزمینی با تأخیر زمانی صورت می گیرد. با توجه به نقشه های سالیانه این تاخیر ۶ ماه تا یک ساله خشکسالی آب های سطحی و زیرزمینی مشخص می باشد.



شکل ۵: مقایسه تغییرات خشکسالی SDI و GRI نسبت به زمان.

با بررسی هیدروگراف ها و وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی مشخص شد که عوامل دیگری نیز در افت سطح آب زیرزمینی حوزه مورد نظر مؤثر هستند. با توجه به شکل ۶ روند افزایشی قابل توجهی در تعداد حفر چاه های نیمه عمیق و عمیق و همچنین میزان تخلیه آنها مشخص می باشد، به طوری که تعداد چاه ها به ترتیب در سال ۱۳۸۱ نزدیک به ۲۹۷۱ و ۱۴۹۴ حلقه و تخلیه از آنها بیشتر از ۲۳۶ و ۳۰۳ میلیون متر مکعب بوده و در سال ۱۳۹۶ تعداد آنها به ۵۶۶۹ و ۲۰۰۶ حلقه و میزان تخلیه به بیشتر از ۳۵۸ و ۲۶۲ میلیون مترمکعب رسیده است. تعداد چشمه های منطقه روند کاهشی داشته و روند خشک شدگی آنها با افزایش تخلیه از چاه ها، خشکسالی اقلیمی و پایین آمدن سطح آب زیرزمینی منطقه منطبق است. تعداد آنها در سال ۱۳۸۱ نزدیک به ۳۳۹۴ دهنه و تخلیه از آنها بیشتر از ۱۳۵۰ میلیون متر مکعب بوده و در سال ۱۳۹۶ تعداد آنها به ۲۷۷۱ دهنه و میزان تخلیه به ۴۹۷ میلیون متر مکعب رسیده است. میزان تخلیه از قنوات نیز روند کاهشی مشخصی را نشان می دهد. بیشترین کمترین میزان تخلیه آبخوان های آبرفتی و سازند های سخت به ترتیب مربوط به سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ به میزان ۱۹۰۸/۹ میلیون مترمکعب و سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ به میزان ۱۰۷۲/۲ میلیون مترمکعب می باشد. مصرف عمده از

منابع آبی در این منطقه طبق نمودارهای مربوطه متعلق به بخش کشاورزی است با بیش از ۸۳ درصد است (شکل ۶) که در سال های اخیر روند افزایشی را نشان می دهد. با توجه به کاهش چشمه ها و پایین آمدن سطح آب زیرزمینی تخلیه از چاه ها افزایش یافته تا جوابگوی مصرف رو به رشد کشاورزی باشد. بررسی کمی و کیفی آبخوان گتوند نیر حاکی از اثرات مداخلت انسانی شامل سدسازی و انتقال بین حوضه ای آب از رودخانه ی کارون به حوضه های مجاور موجب افت سطح آب زیرزمینی شده است (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین مطالعات تغییر کمی آب زیرزمینی دشت بهبهان و رامهرمز با استفاده از شاخص افت آب زیرزمینی نیز نشان داده که دخالت های انسانی و تمرکز زمینهای کشاورزی از جمله دلایل این امر می باشد (زندى فر و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۶: وضعیت منابع، بهره برداری و مصارف آب زیرزمینی محدوده های مطالعاتی حوزه آبریز زهره- جراحی در طی دوره آماری ۱۵ ساله

### نتیجه گیری:

در اکثر سالهای دوره آماری اغلب آبخوانهای حوزه کمابیش با افت مداوم سطح آب زیرزمینی مواجه هستند. مقدار و شدت افت نیز در دوره های اندازه گیری متفاوت بوده و در دهه اخیر همراه با استمرار افت شدت آن نیز بیشتر شده است. به طور کلی شاخص خشکسالی GRI در طول دوره آماری ده ساله حوزه آبریز زهره- جراحی، در مرکز و حوالی شرق حوزه آبریز مذکور نمایان تر می باشد و در سال های پایانی این دوره محدوده های سمت جنوب غربی حوزه نیز درگیر خشکسالی های شدیدتری شده اند. خشکسالی آب های زیرزمینی به نحوی است که در طی دوره آماری ده ساله بطور متوسط حدود ۱/۵ متر افت سطح آب در کل حوزه آبریز اتفاق افتاده است. همچنین، نتایج نشان می دهد که با توجه به خشکیدگی چشمه ها و پایین آمدن سطح آب زیرزمینی، تخلیه از چاه ها افزایش یافته تا جوابگوی مصرف رو به رشد کشاورزی باشد. بر این اساس، لزوم برنامه ریزی و اعمال مدیریت صحیح منابع آبهای زیرزمینی در منطقه ضروری است اگر چه در بیشتر موارد وقوع خشکسالی اقلیمی و به تبع آن خشکسالی هیدرولوژی باعث افت سطح آب زیرزمینی در حوزه شده است اما نتایج مقایسه بین دو نوع خشکسالی نشان می دهد که عوامل دیگری همچون برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی نیز در این امر مؤثر هستند. با توجه به

اینکه خشکسالی اقلیمی پدیده‌ای غیرقابل پیشگیری است. کاهش سطح آب زیرزمینی در حوزه مورد نظر اثرات ثانویه زیادی مانند افزایش نشست زمین، خشک شدن چشمه‌ها، کاهش دبی پایه رودخانه‌ها، پیشروی آب های شور از دریا یا از لایه های عمیق‌تر، تغییر کیفیت آب و در نتیجه آسیب رسیدن به اکوسیستم های آبی و خاکی و غیره را می توان برشمرد.

#### تشکر و قدردانی:

پژوهش حاضر بخشی از "طرح جامع مطالعات گرد و غبار استان خوزستان" زیر پروژه "بررسی و مطالعه کمی آبهای زیرزمینی و پهنه بندی آن در سه حوزه آبخیز غرب ایران کرخه، کارون و جراحی-زهره" (با کد مصوب ۰۱۴۰۱۴-۰۹-۰۹-۰۹۹) است. در اینجا لازم میدانم از همکاری و مساعدت ریاست محترم موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور جناب آقای دکتر جلیلی و مسئول مطالعات جناب آقای مهندس فیاض و راهنماییهای ارزنده مدیران و کارشناسان دفتر مطالعات پایه سازمان مدیریت منابع آب ایران در اعتالی بیشتر تحقیق سپاسگزاری نمایم

#### منابع:

زندى فر، س.، نعیمی، م.، فیجانی، الف.، ۱۳۹۸. بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی و مدیریت منابع آب در دشت های منتهی به کانون گرد و غبار جنوب شرق اهواز، دوازدهمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز  
نعیمی، م.، زندی فر، س.، فیجانی، الف.، فرزین، س.، ۱۳۹۹. ارزیابی آثار تغییر اقلیم و فعالیت انسانی بر منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه کارون). نشریه اکوهیدرولوژی، شماره ۴، صفحات ۱۰۰۵-۹۹۳.  
نیکبخت، ج.، مرادی، الف.، ۱۳۹۷. تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت هشتگرد از دیدگاه آبیاری. تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۸۲، صفحات ۱۲۴-۱۱۴.

- Chen Z. Grasby S. Osadetz K.G., 2004. Relation between climate variability and groundwater level in the upper carbonate aquifer, south Manitoba, Canada. *Journal of Hydrology*. 290: 62-43.
- Halder S. Roy M.B. Roy P.K., 2020. Analysis of groundwater level trend and groundwater drought using Standard Groundwater Level Index: a case study of an eastern river basin of West Bengal, India. *SN Appl. Sci.* 2(507).
- Hellwig J. de Graaf I. E. M. Weiler M. Stahl, K., 2020. Large scale assessment of delayed groundwater responses to drought. *Water Resource*. 56(2).
- Mair A. Fares A., 2010. Influence of groundwater pumping and rainfall spatio-temporal variation of stream flow. *Journal of Hydrology*. 393:287-308.
- Quiring S. M., 2009. Monitoring Drought: An Evaluation of Meteorological Drought Indices. Texas A&M University. *Geography Compass* 3/1 (2009): 64-88, 10.1111/j.1749-8198.2008.00207.x
- Richard R. H., 2002. A review of twentieth century drought Indices used in the United States. *American Meteorological Society*. 1149-1165p.
- Van Loon, A.F., 2013. On the propagation of drought, Wageningen University
- Zhang L. Jiaoa. W Zhanga. H Huang. C. Tonga. Q. 2017. Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. *Remote Sensing of Environment*. Volume 190, Pages 96-106.

## تخمین بیلان آب زیرزمینی با روش خوشه‌بندی میانگین فازی (مطالعه موردی):

### آبخوان تهران-کرج

محمد نخعی<sup>۱</sup>، لیلا عبداللهی<sup>۲\*</sup>، میثم ودیعتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>عضو هیئت علمی گروه آموزشی زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آب‌زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی

<sup>۳</sup>پست دکتری، دانشگاه کالیفرنیا در دیویس

abdollahileila322@gmail.com

#### چکیده:

آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب شیرین در جهان می‌باشد و لذا برای مصرف پایدار باید استفاده از آن به طور صحیح مدیریت شود تا در آینده مشکل کمبود آب وجود نداشته باشد. در ایران با توجه به شرایط اقلیمی، بروز خشکسالی‌های پیاپی، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، مدیریت نادرست منابع آبی، حفر چاه‌های غیرمجاز کشاورزی و... تراز آب زیرزمینی آبخوان‌ها دائما در حال افت است. با توجه به شرایط ذکر شده، بررسی دقیق ذخایر آب زیرزمینی امری لازم به نظر می‌رسد تا راهکارهای مناسب جهت پیشگیری و بهبود وضعیت فعلی اتخاذ شود.

اولین گام در مدیریت بهتر این منابع، محاسبه دقیق بیلان آب زیرزمینی است. محاسبه و تخمین بیلان آب زیرزمینی در دشت‌های پهناور که آبخوان دارای پیچیدگی و ناهمگونی زیادی است؛ همواره دارای خطا بوده و از دقت کمی برخوردار است و چون با محاسبه بیلان کل آبخوان، اطلاعات مجزا از بخش‌های مختلف آبخوان در دسترس نیست، امکان مدیریت بهینه آن و ارائه راهکار مناسب وجود نخواهد داشت.

با استفاده از روش خوشه‌بندی می‌توان با توجه به شاخص‌های مختلف، آبخوان‌های گسترده و پیچیده مانند آبخوان تهران-کرج را به خوشه‌های همگن تقسیم کرده و بیلان را در هر یک از خوشه‌ها به طور مجزا بدست آورد. بدین ترتیب مدیریت آب زیرزمینی در هر یک از خوشه‌ها بهتر انجام خواهد شد. در این پژوهش از روش فازی که نوعی خوشه‌بندی نرم است، استفاده شد و نتایج حاصل مناسب بود.

کلیدواژه: بیلان آب زیرزمینی - خوشه‌بندی فازی - دشت تهران-کرج

## Estimation of Groundwater Balance by Fuzzy Mean Clustering Method

### (Case Study: Tehran-Karaj Aquifer)

Mohammad Nakhaei<sup>1</sup>, Leila Abdollahi<sup>2\*</sup>, Meysam Vadiati<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Applied Geology, Kharazmi University

<sup>2</sup> Department of Applied Geology, Kharazmi University

<sup>3</sup> University of California at Davis, Post Doc. Position

#### Abstract

Groundwater is the most important source of fresh water in the world, so for sustainable consumption, its use must be properly managed so that there is no problem of water shortage in the future. In Iran, due to the climatic conditions, the occurrence of successive droughts, over-exploitation of groundwater resources, improper management of water resources, digging of illegal agricultural wells, etc., the groundwater level of aquifers is constantly declining. Given the above conditions, a careful study of groundwater reserves seems necessary to take appropriate measures to prevent and improve the current situation.

The first step in better managing these resources is to accurately calculate the groundwater balance. Calculation and estimation of groundwater balance in vast plains where the aquifer is very complex and heterogeneous; It always has errors and has little accuracy, and because by calculating the total balance of the aquifer, separate information from different parts of the aquifer is not available, it will not be possible to manage it optimally and provide a suitable solution.

Using the clustering method, according to different indicators, wide and complex aquifers such as Tehran-Karaj aquifer can be divided into homogeneous clusters and the balance can be obtained separately in each of the clusters. In this way, groundwater management will be better in each of the clusters. In this study, the fuzzy method, which is a kind of soft clustering, was used and the results were appropriate.

#### مقدمه:

به طور معمول از دو روش جهت محاسبه بیلان آب زیرزمینی کل آبخوان استفاده می‌گردد. روش اول بر اساس پارامترهای ورودی و خروجی آبخوان و با توجه به آمارها و اطلاعات موجود به محاسبه بیلان می‌پردازد و در روش دوم محاسبه بیلان با استفاده از تیسر بندی چاه‌های پیژومتری صورت می‌گیرد.

با توجه به گستردگی و پیچیدگی در برخی آبخوان‌ها نیاز است آبخوان به مناطق کوچکتر با همگنی بیشتر تقسیم شده و بیلان هر یک جداگانه محاسبه گردد. لذا در این پژوهش از روش خوشه‌بندی جهت تقسیم آبخوان به مناطق همگن استفاده شد. برای این کار از داده‌های کمی و کیفی موجود استفاده شد و سپس برای هر خوشه بیلان آب زیرزمینی تخمین زده شد. خوشه‌بندی به دو دسته سخت و نرم تقسیم می‌شود. در خوشه‌بندی سخت هر شیء کاملاً به یک خوشه متعلق بوده و هیچگونه تعلق به خوشه‌های دیگر ندارد اما در خوشه‌بندی نرم یا خوشه‌بندی فازی هر شیء می‌تواند به چند خوشه با درجه عضویت‌های متفاوت متعلق باشد. (Zadeh, 1965)

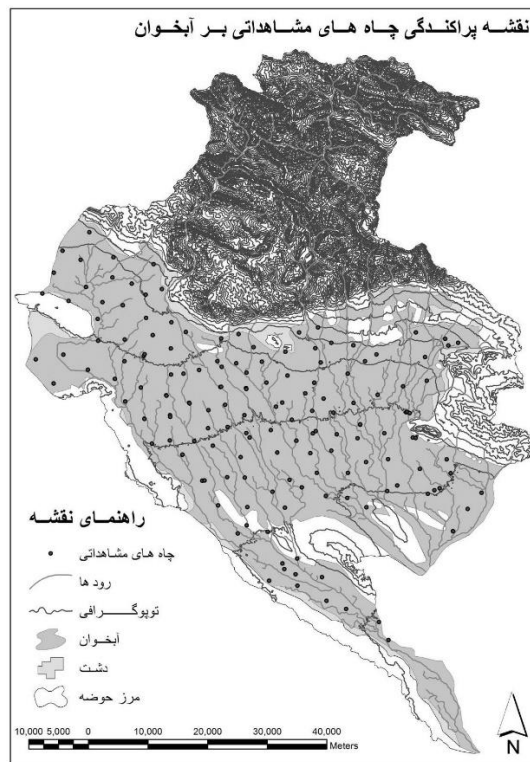
از آنجا که نتایج حاصل از خوشه‌بندی فازی دقیق‌تر است، در این پژوهش از این روش جهت خوشه‌بندی آبخوان استفاده شد.

#### روش مطالعه:

محدوده مطالعاتی تهران-کرج با کد ۴۱۳۳ بخش بزرگی از شمال شرق حوضه آبریز دریاچه نمک است. این منطقه مطالعاتی در بین عرض‌های شمالی ۲۰° ۳۵ و ۱۵° ۳۶ و طول‌های شرقی ۵۰° ۵۰ و ۱۵° ۵۲ قرار گرفته است. کل وسعت این محدوده ۵۰۸۸ کیلومترمربع است که ۲۵۷۲/۳ کیلومترمربع آن به نواحی دشتی مربوط می‌باشد و وسعت آبخوان این دشت ۲۴۰۶/۷ کیلومترمربع می‌باشد. (رجبی، ۱۳۹۷)



به دلیل گستردگی این دشت اختلاف ارتفاع بین نقاط شمالی و جنوبی دشت زیاد است. بیشترین ارتفاع این منطقه مربوط به ارتفاعات پالون گردن در شمال، با ارتفاع ۴۳۲۶ متر و کمترین آن حدود ۸۲۰ متر در نواحی جنوبی منطقه است. دشت تهران-کرج از جهت شمال به مازندران، از جهت شرق به سمنان، از جهت غرب به قزوین و از جهت جنوب به قم محدود می‌باشد. (گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی تهران-کرج، ۱۳۹۲)



شکل ۱: پراکندگی چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان دشت تهران-کرج (پاک‌خصال، ۱۳۹۴)

داده‌هایی که برای خوشه‌بندی آبخوان دشت وسیع تهران-کرج مورد استفاده قرار گرفت شامل داده‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی این محدوده مطالعاتی می‌باشد.

جدول ۱: داده‌های کمی و کیفی مورد استفاده

مشخصات جغرافیایی محل، متوسط سالانه سطح آب، ارتفاع محل	شاخص‌های کمی و هندسی
سدیم، سولفات، کلر، بی‌کربنات، نیترات، هدایت الکتریکی، سختی	شاخص‌های کیفی

داده‌های کمی ۱۰۰ حلقه چاه پیژومتری و داده‌های کیفی ۹۷ چاه مشاهده‌ای موجود در این محدوده مطالعاتی جهت خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که مشخصات جغرافیایی این چاه‌ها با هم مطابقت نداشت و از طرفی شاخص اصلی خوشه‌بندی، مشخصات جغرافیایی چاه‌های پیژومتری بود، لذا اولین گام، درونیابی مقادیر هر یک از شاخص‌های داده‌های کیفی در مشخصات جغرافیایی چاه‌های پیژومتری می‌باشد. با مقایسه روش‌های مختلف درونیابی، در نهایت از روش خطی استفاده شد. زیرا با وجود تعداد نسبتاً زیاد نقاط داده، روش خطی داده‌های دقیق‌تری نسبت به روش‌های دیگر در اختیار ما

قرار داد. جهت برونپایی داده‌ها نیز از روش نزدیکترین همسایه استفاده شد که نسبت به مابقی روش‌های برونپایی داده‌های بهتری را در اختیار ما قرار داد.

برای آنکه شاخصی در خوشه‌بندی تاثیرگذار باشد؛ لازم است ارتباط زیادی با سطح آب زیرزمینی داشته باشد. برای سنجش میزان ارتباط شاخص‌های مختلف با سطح آب زیرزمینی از ضریب همبستگی استفاده کردیم. طبق تجربه اگر مقدار ضریب همبستگی از ۰,۷ بیشتر باشد آن ویژگی در خوشه‌بندی مهم و تاثیرگذار است.

در این پژوهش برای آنکه از سادگی مدل جلوگیری شود تمام شاخص‌ها را در خوشه‌بندی تاثیر دادیم. به شاخص‌هایی که ضریب همبستگی آنها با شاخص سطح آب، عدد بزرگتری بود وزن بیشتری در خوشه‌بندی دادیم تا تاثیر بیشتری در خوشه‌بندی داشته و در نهایت جواب بهتری بگیریم (Cassalho et al., 2019).

با توجه به نتایج ضریب همبستگی شاخص‌ها با سطح آب زیرزمینی می‌توان نتیجه گرفت که ارتفاع بیشترین همبستگی را با سطح آب در چاه‌ها داشته و این رابطه بصورت یک رابطه مستقیم است و شاخص‌های دیگر با همبستگی کمتر و با رابطه معکوس، در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

شاخص	ارتفاع	سدیم	سولفات	کلر	بی‌کربنات	نیترات	هدایت الکتریکی	سختی
نام لاتین	Height	Na	SO4	Cl	HCO3	NO3	EC	TH
ضریب همبستگی	۰,۷۴	-۰,۳۶	-۰,۳۰	-۰,۳۵	-۰,۲۹	-۰,۱۹	-۰,۳۶	-۰,۳۱

جدول ۲: ضریب همبستگی شاخص‌ها نسبت به سطح آب زیرزمینی

دقت ضریب همبستگی توسط معیار p-value ارزیابی شد. هرچه عدد p-value به صفر نزدیکتر باشد، دقت ضریب همبستگی بدست آمده نیز بالاتر بوده و برعکس، هرچه عدد p-value بزرگتر باشد؛ میزان این دقت کاهش می‌یابد.

جدول ۳: مقادیر p-value شاخص‌ها

شاخص	ارتفاع	سدیم	سولفات	کلر	بی‌کربنات	نیترات	هدایت الکتریکی	سختی
نام لاتین	Height	Na	SO4	Cl	HCO3	NO3	EC	TH
p-value	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۳	۰,۰۰۲۶	۰,۰۰۰۴	۰,۰۰۲۸	۰,۰۵۸۹	۰,۰۰۰۲	۰,۰۰۱۸

سپس برای آنکه رنج داده‌ها یکی شود و همه داده‌ها در یک مقیاس واحد قرار بگیرند، نیاز به نرمال کردن داده‌ها بود. به همین جهت ابتدا هر یک از شاخص‌ها را استاندارد کردیم.

$$X_{normal} = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

نکته‌ای که در نرمال کردن داده‌ها وجود دارد این است که در محدوده مطالعاتی آبخوان دشت تهران-کرج پراکندگی چاه‌ها در

امتداد بردار X بیشتر از بردار Y است؛ به عبارتی دیگر شکل آبخوان دارای یک کشیدگی در جهت بردار X است. اگر داده‌های مختصات جغرافیایی چاه‌ها در هر یک از راستاهای X و Y تقسیم بر انحراف معیار همان راستا شوند شکل آبخوان به هم خورده و به شکل مربعی درمی‌آید و در واقع با یکی شدن مقیاس‌ها شکل آبخوان از حالت طبیعی خارج شده و فاصله‌ها رعایت نخواهد شد. برای رفع مشکل، مؤلفه X را بر انحراف معیار خودش تقسیم کرده، اما مؤلفه Y را بر انحراف معیار X تقسیم نمودیم تا در هر دو راستا به یک نسبت مقیاس انجام شود. با این روش فواصل به‌درستی رعایت شده و کشیدگی آبخوان با نرمال کردن مقیاس‌ها حفظ شد.

با توجه به ضرایب بدست آمده باید به هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در خوشه‌بندی درجه اهمیت مناسب قائل شد. این درجه اهمیت با ضرایبی که به صورت تجربی و از طریق آزمون و خطا بدست می‌آید انتخاب می‌شود. به این صورت که برحسب میزان همبستگی، ضریب مناسبی از صفر تا یک به شاخص‌ها داده می‌شود.

در این پژوهش مشخصات جغرافیایی چاه‌های پیژومتری، شاخص و معیار اصلی خوشه‌بندی بود، لذا برای این شاخص ضریب یک در نظر گرفته شد و به ترتیب سطح آب، ارتفاع، میزان سدیم و ... از درجه اهمیت کمتری برخوردار بوده و لذا ضریبی بین صفر تا یک به آنها اختصاص داده شد. به طور حدس، ضرایب مختلف با رعایت منطق فوق به شاخص‌ها داده شد و سپس خوشه‌بندی صورت گرفت و با آزمون و خطا بهترین ضرایب انتخاب گردید. این ضرایب در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: اوزان شاخص‌ها در خوشه‌بندی

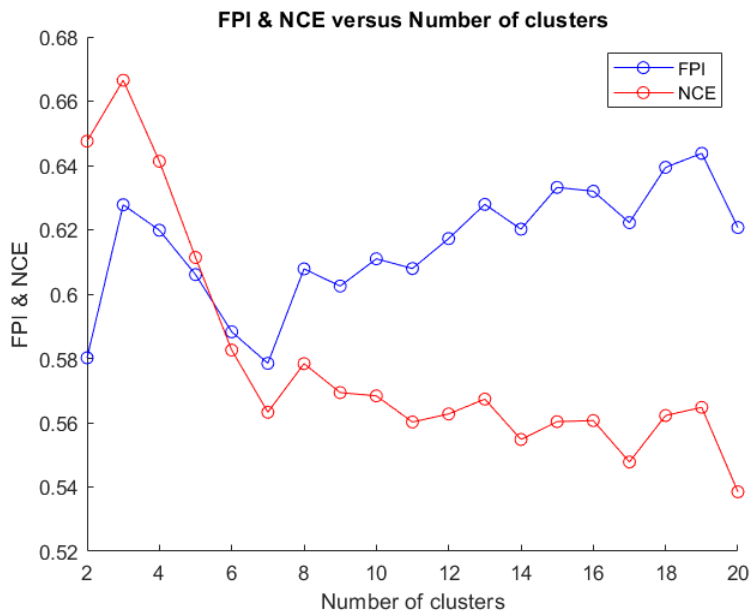
شاخص	مشخصات جغرافیایی	سطح آب	ارتفاع	سدیم	سولفات	کلر	بی‌کربنات	نیترات	هدایت الکتریکی	سختی
ضریب	۱	۰,۴۵	۰,۲	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۰۵	۰,۰۳	۰,۰۱

یکی از اقدامات مهم در خوشه‌بندی، مشخص نمودن تعداد خوشه‌ها است. در بسیاری روش‌ها، دانش تجربی یا روش‌های آماری جهت تعیین تعداد خوشه‌ها بکار می‌رود. در این تحقیق تعداد خوشه‌های بهینه با بکارگیری رابطه‌های FPI و NCE بدست آمده است.

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n (U_{ik})^2 \quad FPI = 1 - \frac{cF-1}{c-1} \quad (2)$$

$$H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n U_{ik} \times \log(U_{ik}) \quad NCE = \frac{H}{\log c} \quad (3)$$

برای آنکه تعداد خوشه بهینه انتخاب گردد باید بررسی کرد به ازای چه تعداد خوشه مقادیر این دو شاخص در درجه اول به هم نزدیکتر و در درجه دوم کمتر هستند. به این منظور تعداد ۲ تا ۲۰ خوشه را جهت خوشه‌بندی آبخوان تهران-کرج در نظر گرفتیم و به ازای این مقادیر هر بار خوشه‌بندی صورت گرفت و معیارهای FPI و NCE محاسبه گردید. در شکل زیر مقادیر شاخص‌های FPI و NCE بر حسب تعداد خوشه‌ها در خوشه‌بندی ترسیم گردید. با بررسی این نمودار، تعداد ۶ خوشه به عنوان تعداد خوشه بهینه انتخاب شد.

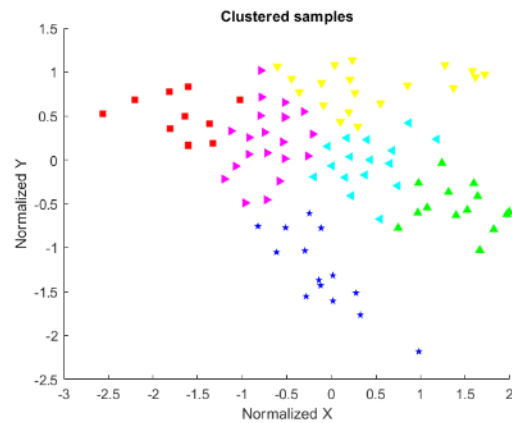


نمودار ۱: مقدار معیارهای FPI و NCE به ازای تعداد خوشه‌های مختلف

خوشه‌بندی فازی با تعداد ۶ خوشه بهینه صورت گرفت. از آنجا که هدف ما این است تا یک چاه را کاملاً به یک خوشه نسبت دهیم؛ درجه عضویت چاه‌ها به خوشه‌های مختلف را که پس از خوشه‌بندی به دست آمده بود، بررسی کردیم و هر چاه را به آن خوشه‌ای نسبت دادیم که درجه عضویت بیشتری داشت. به این صورت از روش خوشه‌بندی فازی استفاده کردیم و سپس با استفاده از نتایج آن یک خوشه‌بندی غیرفازی انجام دادیم.



- ۱) محمد شهر کرج
- ۲) ملارد کرج
- ۳) شهر قدس
- ۴) صبا شهر
- ۵) استادبوم آزادی
- ۶) نهر تبارس
- ۷) میدان آزادی
- ۸) ترمینال جنوب
- ۹) چهاردنگه
- ۱۰) شهری
- ۱۱) شورآباد
- ۱۲) فرودگاه امام خمینی
- ۱۳) زلف آباد



(ب)

(الف)

شکل ۲: (الف) خوشه‌بندی فازی چاه‌ها (ب) تیسس‌بندی چاه‌ها

سپس کل آبخوان را تیسنبندی کردیم و محدوده هر خوشه را با توجه به مرزهای چندضلعی‌ها تعیین نمودیم و در نهایت برای هر خوشه به صورت جداگانه بیلان تخمین زده شد. با مجموع بیلان شش خوشه می‌توان بیلان کل آبخوان تهران-کرج را نیز تخمین زد.

#### بحث:

نتایج حاصل در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۵: بیلان خوشه‌ها

رنگ خوشه‌ها (شکل ۲ ب)	بیلان (میلیون متر مکعب)	تغییرات سطح آب (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)
خوشه زردرنگ	-۳۵/۹۲	-۱	۵۹۷/۶۶
خوشه سبزرنگ	-۲/۲۷	-۰/۱۰	۳۶۷/۹۸
خوشه آبی‌رنگ	-۲۱/۳۵	-۰/۹۰	۳۹۴/۴۰
خوشه گلبهی‌رنگ	-۸/۱۶	-۰/۳۸	۳۶۰/۸۱
خوشه قرمزرنج	-۴/۸۳	-۰/۲۴	۳۳۱/۱۹
خوشه بنفش‌رنگ	-۶/۴۷	-۰/۳۰	۳۵۴/۷۰
کل آبخوان	-۷۹	-۰/۵۵	۲۴۰۶/۷

همانطور که ملاحظه می‌شود بیلان کل آبخوان منفی است، اما نکته قابل توجه این است که بحران مصرف بی‌رویه آب و کاهش حجم ذخیره آبخوان در برخی خوشه‌ها از حساسیت بیشتری برخوردار بوده و نیاز به مدیریت جدی‌تری احساس می‌شود. لذا با توجه به بیلان هر خوشه می‌توان راهکارهایی مناسب آن منطقه ارائه داد.

#### نتیجه‌گیری:

روش خوشه‌بندی فازی، نتایج مناسبی ارائه داد و با ایجاد خوشه‌های همگن و تخمین بیلان در هر خوشه، شناخت بهتری از شرایط آبخوان در اختیار ما قرار داد. با توجه به پژوهش انجام شده به نظر می‌رسد به دلیل محدودیت‌های منابع آب و لزوم مدیریت صحیح آن، بهتر است به موارد زیر توجه ویژه شود:

(۱) از نرم افزارهای جدید مهندسی، جهت محاسبه و تخمین بیلان استفاده نمود تا برآوردها و محاسبات از دقت و صحت بهتری برخوردار باشند. برای رسیدن به این هدف بکارگیری نیروهای جوان متخصص در زمینه هوش مصنوعی در همه رشته‌ها لازم و ضروری است و این تعامل بین رشته‌ای در بحث مطالعات آب بسیار لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

(۲) برای به دست آوردن نتیجه بهتر و واقعی، دسترسی به داده‌های کمی و کیفی آبخوان با حفر چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتری در سطح کل دشت، با پراکندگی مناسب ضروری است. لذا وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب در سطح محدوده مطالعاتی و بکارگیری افراد متخصص و متعهد جهت انجام آزمون پمپاژ و داده‌برداری می‌تواند به دقت محاسبات کمک شایانی نماید.

به امید روزی که همه ما، قدر این موهبت الهی را بیش از پیش بدانیم و جهت حفظ و صیانت از این نعمت خدادادی، در حد وظیفه خود عمل نماییم.

#### منابع:

- پاک خصال، ر.، (۱۳۹۴). تدوین الگوی بهینه شبکه پایش آبخوان در محدوده تهران-کرج توسط مدل ترکیبی زمین آمار و بهینه سازی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- رجبی یامی، ز.، (۱۳۹۷). کاربرد روش های داده مبنا در پیش بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی ( مطالعه موردی: آبخوان آبرفتی تهران-کرج). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی کرج.
- شرکت آب منطقه ای تهران، (۱۳۹۲). گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی تهران-کرج.
- کوره پزان دزفولی، ا.، (۱۳۸۷). اصول تئوری مجموعه های فازی و کاربرد آن در مدل سازی مسائل مهندسی آب. تهران، جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر.
- نخعی، م.، تلخایی، م.، ودیعتی، م.، (۱۳۹۳). برتری روش خوشه بندی C-میانگین فازی در بیان توزیع رخساره های هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت ورامین. فصلنامه زمین شناسی ایران، سال ۱۳۹۵، شماره ۳۸، صفحه ۷۱.

- Bezdek, J. C., 2013. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Springer Science & Business Media.
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W., 1984. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. Computers & geosciences, 10(2-3), 191-203.
- Cassalho, F., Beskow, S., de Mello, C. R., de Moura, M. M., de Oliveira, L. F., & de Aguiar, M. S., 2019. Artificial intelligence for identifying hydrologically homogeneous regions: a state-of-the-art regional flood frequency analysis. Hydrological Processes, 33(7), 1101-1116.
- Dunn, J. C., 1973. A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters.
- Novák, V., Perfilieva, I., & Močkoř, J., 1999. Mathematical Principles of Fuzzy Logic. 1. vyd.
- Zadeh, L. A., Klir, G. J., & Yuan, B. (1996). Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers (Vol. 6). World Scientific.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353

## بررسی های پالئوهیدرولوژی با استفاده از پدیده اسکالوپ در غار نمکی نمکسار،

### ایران

محمد نخعی<sup>۱</sup>، سارا عدالتیان<sup>۲\*</sup>، اصغر دولتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی گروه آموزشی زمین شناسی کاربردی، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد آب زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی

<sup>۳</sup> عضو هیئت علمی گروه آموزشی زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی

sarah.edalatian@khu.ac.ir

#### چکیده:

غار نمکی نمکسار در ۶۰ کیلومتری شهر مشهد قرار دارد. قدیمی ترین رسوبات این ناحیه رسوبات پرمین می باشند. حرکات کوهزایی بعد از کرتاسه پسین و قبل از ائوسن منجر به جای گرفتن مجموعه سنگهای افیولیتی و تشکیل حوضه های رسوبی ائوسن و جوانتر گردید. این غار در واحد های سنگی رسوبات تبخیری مانند گچ و نمک و واحدهای مارنی، قرار دارد. اطراف غار نمکی فروچاله های زیادی مشاهده می شود. روی سطح فروچاله ها لایه بسیار نازکی از نمک پوشیده شده است. اطراف دهانه غار کارن هایی وجود دارد که در سازندهای نمکی و ژپس شکل گرفته است. غار نمکی نمکسار طبق نقشه برداری که از آن صورت گرفت حدود ۱۵۷ متر طول و ۱۹ متر عمق دارد. این غار شامل غارنهبسته های گل کلمی، کریستال و گل غار می باشد. جهت درزه ها در راستای شمال است. از غارنهبسته گل غار نمونه برداری شد و با آنالیز پرتو X ساختار بلوری آن تعیین گردید. در سه بخش از غار، اشکال حلزونی یا اسکالویی مشاهده می گردد. تا کنون هیچ مطالعه ای بر روی این پدیده غار در غارهای ایران و بویژه غار نمکی انجام نشده است، اقتباس شرایط هیدرولیکی جریانهای گذشته، هدف اصلی مقاله قرار گرفت.

در این مقاله قطر کانال و یا عرض بین دو دیواره موازی که اسکالوپ در آن توسعه یافته، اندازه گرفته شد. با اندازه گیری طول اسکالوپها در غار و استفاده از رابطه میانگین ساتر Sauter، اندازه اسکالوپ میانگین بدست آمد و عدد رینولدز محاسبه کردیم. سپس با داشتن مقادیر چگالی و ویسکوزیته سیال، سرعت متوسط سیال تحت شرایطی که اسکالوپ گسترش یافته، محاسبه گردید. عدد رینولدز و سرعت آب، شرایط حرکت آب در غار را در گذشته نشان دهد.

کلیدواژه: غار، اسکالوپ، غارنهبسته، نمک، پالئوهیدرولوژی

Paleohydrological studies using scallop phenomenon in Namksar salt cave, Iran

Mohammad Nakhaei<sup>1</sup>; Sarah Edalatian Arasteh<sup>2</sup>; Asghar Dolati<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Applied Geology, Kharazmi University

<sup>2</sup> MSc student of Hydrogeology, Kharazmi University

<sup>3</sup> Department of Geology, Kharazmi University

## Abstract

Namaksar Salt Cave is located 60 kilometers from Mashhad where the oldest sediments of the region are Permian sediments. The orogeny movements after the late Cretaceous and before Eocene Epoch led into placement of ophiolite melange and formation of Eocene sedimentary basins and more recent ones, e.g. evaporate like plaster, salt and marl unites, where the cave is located in this stratigraphic unit. According to the mapping of cave its Length is 157 meters and depth is 19 meters which includes Cauliflower speleothem, crystals and Cave flowers. Location of joints, using their Azimuth, are specified on the cave map. Sampling cave flowers were done and by X-ray analyzing their crystalline structure was determined.

In three parts of the cave, shown on the map, flow marking or Scalloping were observed. Because almost nothing about this cave phenomenon has appeared in Iranian Speleological literatures, particularly on salt caves, the main purpose of this paper is to study deducing Paleo-hydrologic conditions in this cave.

In this paper conduit's diameter or the width between two parallel walls, where the scallops are developed, is measured. Measuring the length of scallops in this cave and applying Sauter-mean equation, the mean scallop size is obtained and Reynolds (based on mean scallop size average fluid velocity) is calculated. With having the values of density and viscosity of the fluid, the average fluid velocity under which the scallops were developed is found. The obtained Reynolds number and average fluid velocity reveals the past conditions of the fluid.

## مقدمه:

این غار در سال ۱۳۹۱ توسط چند کوهنورد و غارنورد شناسایی شده بود. در گذشته مردم محلی از این محل نمک برداشت می کردند و به عنوان معدن نمک مطرح بوده است. اما در حال حاضر هیچ برداشت نمکی در منطقه صورت نمی گیرد. غار نمکی نمکسار، غاری منحصر به فرد و زیباست که در محدوده روستای گلبرگه در مسیر جاده مشهد - تربت حیدریه و در ۶۰ کیلومتری مشهد واقع شده است. غار در کوه های منفرد و در ارتفاع حدود ۲۰ متری و با پوشش گیاهی بسیار اندکی قرار گرفته است. اطراف غار نمکی حفره های بسیار زیاد دولین مشاهده می شود. روی سطح حفرات توسط لایه بسیار نازکی از نمک پوشیده شده است. اطراف دهانه غار کارن هایی وجود دارد که در سازندهای نمکی و ژئوپس شکل گرفته است. داخل غار نیز پدیده های ژئومورفولوژی مشاهده می شود. کف غار مملو از کانی های خورد شده نمک، گچ، و ژئوپس است که در اثر ریزش از سقف و حمل مواد از خارج غار بر اثر سیلاب می باشد. در انتهای غار روی سقف اشکال اسکالوپ به چشم می خورد که در اثر انحلال ایجاد گردیده است. همچنین سنگهای ریزشی مشاهده شده که داخل آنها خار و خاشاک دیده می شود همچون خوشه های خشکیده جو یا گندم که احتمالا باید توسط سیلاب به این مکان آورده شده باشد.

**گل غار:** گل غار نوعی غارنهبسته است با گلبرگهایی که اطراف یک نقطه مرکزی شکل گرفته اند. این گلبرگها کریستالهای منشوری یا فیبرمانندی هستند که در راستای موازی رشد می کنند. آنها معمولا از کانی های سولفات مانند گچ یا اپسومیت، شکل می گیرند اما ممکن است از جنس نمک نیز باشند، مانند آنچه در غار نمکسار مشاهده گردید. گلها بر خلاف استالاکتیت ها، از پایه رشد می کنند. اغلب بخشی از دیواره را در حین رشد با خود حمل کرده و پوسته ای را در انتهای گل تشکیل می دهند. گلهای غاری که در شکافها رشد می کنند، ممکن است مرتبط شوند با بخشهایی که از دیوار جدا می شوند و تبدیل به آوار گردند. این مکانیزم رشد بیشتر شبیه اشکال فیبرمانند کانی های سولفات است. گلها در شرایط نسبتا خشک، و نه شرایطی که آب می چکد،



شکل می گیرند. آنها حاصل تغذیه محلی محلول در طول حفرات در سنگ تحت یک فشار مویین، می باشند. این زایده های پر پیچ و شکن (که بعنوان گل آن را می شناسیم) از تجمع کریستالهایی شکل گرفته اند که در طبیعت بشکل فیبری یا فیلامنت مانند هستند. از لحاظ شکل گلها به چهار دسته مومانند، کتانی، طنابی و برفی تقسیم می شوند. نوع آخری حاصل تجزیه هر کدام از انواع قبلی یعنی کتانی و مویی و طنابی، می باشد. تمامی اشکال فیبر مانند از محلول اشباعی شکل می گیرند که از منافذ سنگ بستر با فشار خارج می شوند و در برخورد با هوا رسوب می کنند. با رسوبگذاری قسمتهای جدید، آنها بخشهای قدیمی تر را به بیرون هل می دهند و جایگزین می شوند. اندازه منافذ، ضخامت کریستال را تعیین می کند. سوراخ های ریزتر اشکال مویی و کتانی را شکل می دهند و منافذ بزرگتر اشکال طنابی را ایجاد می نمایند. اغلب آنها از گچ (ژئپسوم) هستند اما ممکن است از انواع نمکهای معدنی مانند اپسومیت یا هالیت هم تشکیل شده باشند.

**اسکالوپها:** اسکالوپها اشکال صدفی شکلی هستند که در اثر عبور جریان آب یا باد در دیواره ها و سقف غار شکل می گیرد و می تواند نشاندهنده مشخصات هیدرولیکی جریان در غار باشند. اسکالوپها نامتقارن هستند. شیب آنها در پایین جریان ملایم و کم شیب و در بالای جریان پرشیب و تند است. تولید اسکالوپها بر پایه جریان آشفته حلال بر روی سطح قابل حل است. در طبیعت، اغلب این پدیده در اثر انحلال آهک با آب یا یخ توسط هوا ممکن است رخ دهد.

**پارامترهای هیدرولیکی:** پارامترهای هیدرولیکی و تخلیه سیال طبق روابط زیر قابل محاسبه اند. ضریب دارسی-ویسباخ: در مکانیک سیالات عبارت است از ضریبی که به کمک آن می توان هد یا فشار تلف شده سیال که در کانال حرکت می کند (به علت وجود اصطکاک) یافت.

$$f = \frac{8}{\left(\frac{\bar{U}}{U^*}\right)^2}$$

**عدد فرود:** نسبت نیروی اینرسی به نیروی جاذبه در حرکت یک سیال  $F = \frac{\bar{U}}{\sqrt{gD}}$  عدد فرود نام دارد. در جریان بحرانی  $F=1$  است. اگر  $F>1$  باشد جریان فوق بحرانی است و حرکت امواج جریان تنها بسمت پایین می باشد.  $F<1$  نشان از جریان زیر بحرانی است و حرکت امواج هم بسمت بالا و هم بسمت پایین است.

**تنش برشی:** مولفه ای از تنش که بر سطح مقطع یک جسم اعمال می شود.  $\bar{\tau} = (U^*)^2 \rho$  عدد رینولدز کانال  $Re = \frac{\bar{U}D\rho}{\mu}$  سرعت رسوبگذاری  $\omega_{max} \approx 0.96U^*$  و سرعت تخلیه سیال  $Q = \bar{U}a$  است که  $a$  مساحت سطح مقطع عبور جریان سیال است. توان جریان به صورت  $P = \bar{U}\bar{\tau}$  محاسبه می گردد.

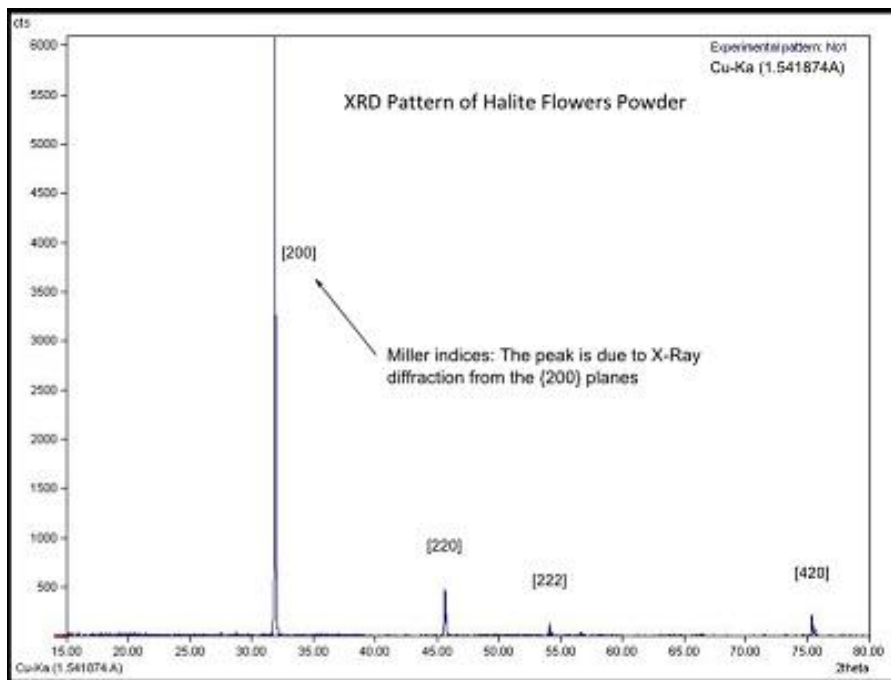
#### روش مطالعه:

در این پژوهش، اسکالوپهای نمکی و انحلال هالیت توسط آب مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ یک گل غار با شکل مو مانند نمکی را نشان می دهد که از غار نمکسار نمونه برداری گردید.



شکل ۱: گل غار، غار نمکسار

الگوی پراش پرتو X پودرهای گل غار نشان داد که این فیبرها از NaCl یا همان کلرید سدیم با ساختار بلوری مکعبی رخ-مرکزدار هستند. (ثابت شبکه  $a=564.02$  pm).



شکل ۲: الگوی پراش پرتو X از پودر گل غار

در هر دو حالت تشکیل اسکالوپهای نمکی و انحلال هالیت توسط آب (آب و هوا) بی نظمی های سطحی منجر به تشکیل اشکالی مانند شکل ۳ می گردد که می توان ویژگی های زیر را در موردش مشاهده نمود: نقطه ۱: در تاج بی نظمی، جریان اصلی تقسیم می شود، بدین معنا که یک جریان جتی را بالای منطقه جریان دورانی آرامتر شکل می دهد. نقطه ۲: در یک فاصله کوتاه این جریان جت شدت بی نظم شده و خودش آشفته می شود. نقطه ۳: بدلیل آشفتهگی ای که ایجاد می شود، سبب ترکیب جریان جتی با ادی Eddy (حالت گردابی جریان) می گردد و جت، سیالی که از گرداب به بیرون آن جاری می گردد، باعث می شود که جت بسمت سطح بچرخد و

مجدد در نقطه ۴ متصل گردد. نقطه ۴: سپس برخی از قسمتهای سیال وارد منطقه گردابی می شوند و باقیمانده بسمت جلو در طول سطح جاری می گردد.



شکل ۳: حرکت سیال در همسایگی اسکالوپ

یکی از نتایج این رویداد این است که الگوی اسکالوپها، همانطور که دیواره را حل می کند، بسمت پایین جریان حرکت می کند. این موضوع در تمامی شبیه سازیهای تجربی گسترش اسکالوپ مشاهده گردید. فرایند هیدرودینامیک در مجاورت اسکالوپها، مسئول ارتباط معکوس شناخته شده بین اندازه اسکالوپها و سرعت سیال جاری (آب یا هوا) که آنها را ایجاد می کند، می باشد. این رابطه معکوس توسط پدیده مرتبط با لایه برشی آرام (لومینار) نقطه ۱ و ۲ که جریان آشفته سریع خارجی را از جریان چرخشی آرام در گرداب (نقطه ۳) جدا می کند، تولید می شود. جریان آرام در فاصله  $d$  توسط عوامل زیر تعیین می گردد:

$\rho$  دانسیته،  $\mu$  ویسکوزیته،  $U^*$  سرعت جریان جتی سطح آشفته اولیه در جت یا سرعت برشی مرزی متوسط. این حاکی از این است که یک عدد رینولدز مشخصه برای گذار وجود دارد:

$$R_g^* = \frac{\rho U^* L_{32}}{\mu} \quad \text{معادله ۱}$$

که بایستی تنها به طبیعت آشفته جریان خارجی بستگی داشته باشد.

اسکالوپ بعنوان یک پدیده هیدرولیکی توسط معادلات دینامیک سیالات توصیف می گردد. هماهنگونه که مطالعات (1974) Curl نشان داد، اسکالوپها در عدد رینولدز  $Re^* = 2200$  شکل می گیرند که در آن  $L_{32}$  طول متوسط اسکالوپها می باشد.

اسکالوپها حفراتی هستند که در اثر عبور جریان سیال از روی سطح با شکل مشخص بطور متناوب تکرار می شوند و ابعاد آنها به سرعت جریان بستگی دارد.  $L$  بزرگترین طول موازی با جریان در هر اسکالوپ است.  $L_{32}$  طول مشخصه یا طول میانگین اسکالوپها است که از رابطه میانگین ساتر بدست می آید:

$$L_{32} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \quad \text{معادله ۲}$$

اگر اسکالوپ خیلی کوچک باشد (یا سرعت برای این اندازه اسکالوپ خیلی پایین باشد)، گذار به آشفته (نقطه ۲) بیشتر در امتداد اسکالوپ رخ خواهد داد و اتصال مجدد در گیر تاج بعدی می شود.

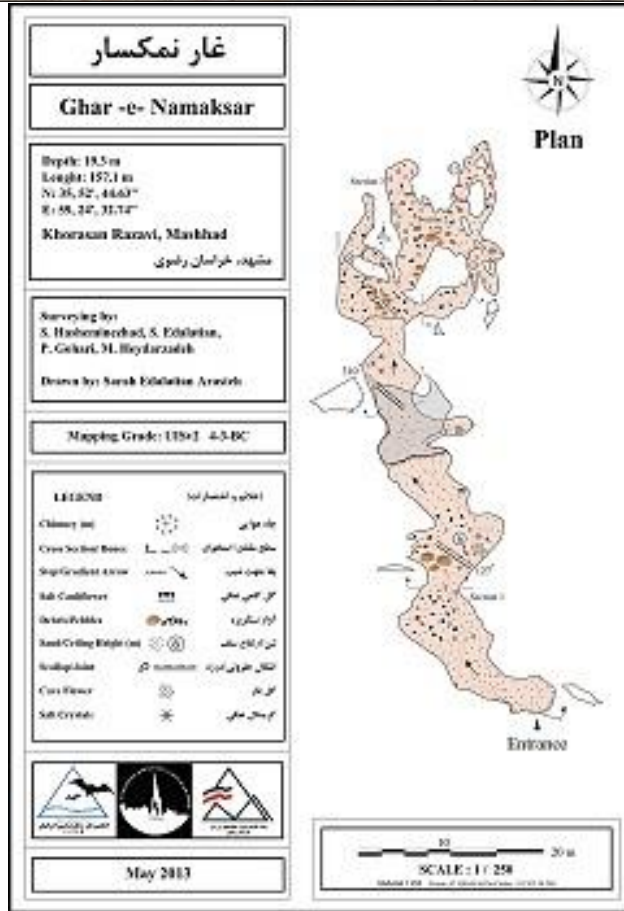
نرخ انحلال بالاتر در آن نقطه، تاج را کاهش خواهد داد و در اثر آن اسکالوپ را کشیده می کند. به بیان دیگر، اگر اسکالوپ خیلی بزرگ باشد (یا سرعت برای آن اندازه اسکالوپ خیلی زیاد باشد)، انتقال و اتصال مجدد زودتر رخ خواهد داد. در این حالت، فاصله بین اتصال مجدد (نقطه ۴) و تاج بعدی افزایش خواهد یافت و بی نظمی در این ناحیه می تواند منشا یک اسکالوپ جدید باشد. در نتیجه به کاهش اندازه اسکالوپ متوسط می انجامد. با اندازه گیری  $L_{32}$  از معادله ۱ و قرار دادن آن در معادله ۲ می توان سرعت برشی در مجاورت اسکالوپ  $U^*$  را بدست آورد. برای محلول آب نمک ویسکوزیته  $\mu = 1.41 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$  و چگالی آب در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد  $\rho = 1027 \text{ Kg/m}^3$  می باشد.  $\mu/\rho = 0.0137 \text{ cm}^2/\text{s}$  معادله توزیع سرعت جهانی Prandtl برای کانال با دیواره های موازی یا دایروی برای محاسبه سرعت جریان متوسط در زمان تشکیل اسکالوپها، می تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای کانالهای دایروی مورد بررسی در این غار داریم:

$$\bar{U} = U^* \left[ 2.5 \left( \ln \frac{D}{2L} - 1.5 \right) + B_L \right]$$

که در آن  $D$  قطر هیدرولیک کانال و  $B_L$  ثابت سختی سنگ بستر است. Curl و Blumberg (1974) نشان دادند که تنها به خصوصیات ژئومتری ناهمواری دیواره بستگی دارد و در مورد اسکالوپها مقدار آن ثابت و برابر با  $B_L = 9.4$  می باشد.

بحث:

در این پژوهش از غار نمکسار نقشه برداری شد و نقشه آن در مقیاس 1/250 ترسیم گردید. مکان تمام اسپلئوتم ها و اسپلئوژن ها در غار مشخص گردید (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه غار نمکسار

جهت دستیابی به مشخصات هیدرولیکی جریان، سه مقطع انتخاب گردید و اندازه گیری های مربوطه در آن انجام شد. شکل کانال در هر سه قسمت مورد مطالعه در غار بشکل دایره ای بود. در قسمت اول در سقف و دیواره ها (دهلیز دایره ای) غار اثرات پالئوفلو مشاهده می گردد که در آن برخی اسکالوپها قابل تشخیص است این دسته اسکالوپها که در ارتفاع حدود یک متری در سقف قرار دارد، بسمت جنوب بوده و تعداد کمی از آنها قابل اندازه گیری است. در دهلیزهای منتهی به انتهای غار نیز اثرات پالئوفلو مشاهده می گردد که بعلت ریزش و کلیس در این نقاط، شکل آنها برای اندازه گیری ناواضح است. برخی از این ریزش ها در اثر عوامل طبیعی و بارندگی در گذشته رخ داده است و برخی نیز پس از نقشه برداری از این غار و در اثر زلزله های پی در پی در این غار رخ داده است. در تاریخ ۵ آوریل ۲۰۱۷ زلزله ای به بزرگی ۶٫۱ ریشتر در عمق ۶ کیلومتری زمین در این منطقه بوقوع پیوست که در شهرهای اطراف از جمله مشهد نیز احساس شد. از آن تاریخ تا ۱۰ آوریل ۲۰۱۷ تعداد ۷۷۸ زمین لرزه در این منطقه به ثبت رسیده که ۷۸ مورد آن بالای ۳ ریشتر بوده است. این مساله در برخی قسمتها تغییراتی ایجاد کرده بود، اما اسکالوپهای انتهای غار از این تغییرات در امان بودند.

در قسمت دوم ، اسکالوپها در سقف به وضوح دیده می شود که به سمت شمال شرقی تا شمال کشیده شده اند. کف غار پوشیده از رسوبات گرد و غبار است و ارتفاع سقف غار در طول مجرا کمتر از دو متر است. ابعاد این اسکالوپ ها ۱۳ تا ۲۱ سانتی متر، طول و ۸ تا ۲۳ سانتی متر عمق می باشد.

در قسمت سوم (انتهای غار) اسکالوپها در سقف و دیواره ها به وضوح قابل مشاهده است که به سمت شمال-شمال غربی کشیده شده است. ابعاد این اسکالوپها بین ۱۱ تا ۳۳ سانتی متر طول و ۲ تا ۲۴ سانتی متر عمق است.

نتیجه گیری:

با استفاده از معادلات ذکر شده ، پارامترهای جریان هیدرولیکی در زمان تشکیل اسکالوپ در سه قسمت غار استخراج شد (جدول ۱). نتایج حاصله حاکی از جریانی عمیق و آرام با تراز انرژی پایین و سرعت متوسط بین ۱۲ تا ۲۵ سانتیمتر بر ثانیه بود. ابعاد اسکالوپها، مکان آنها (دور از دهانه) و مورفولوژی اسکالوپها (لبه های تیز و قوس کاملاً مشخص نسبت به سطح بستر) حاکی از این بود که اسکالوپهایی که برای این تحقیق انتخاب شده اند در اثر جریان آب ایجاد شده اند. خصوصیات جریان در سه قسمت از غار که روی نقشه غار مشخص شده است، مورد مطالعه قرار گرفت. در دو قسمت آخر ، اسکالوپها متمایزتر هستند و در انتهای غار اسکالوپهای بزرگتر قرار دارند. همانطور که انتظار می رفت، با کاهش سرعت جریان، اندازه اسکالوپها افزایش می یابد و در انتهای غار به حداقل سرعت خود می رسد و حداقل مقدار ته نشینی مشاهده می شود. عدد رینولدز بدست آمده (بر اساس قطر مجرا) در سه بخش، جریان آشفته در هر مجرا را نشان می دهد. جریان مجرای در یک مجرای با قطر  $D$  کاملاً متلاطم است. عدد فرود راه دومی را برای طبقه بندی شرایط جریان ارائه می دهد و بر اساس رابطه بین سرعت جریان و عمق جریان است. عدد فرود کمتر از یک ( $F < 1$ ) جریان زیر بحرانی را نشان می دهد که جریانی عمیق و کند با حالت انرژی کم است. هنگامی که شرایط جریان زیر بحرانی است، اختلال در جریان می تواند امواج سطحی ایجاد کند و چون جریان پایین دست بسیار کند است ، این امواج سطحی می توانند در جهت بالادست و جهت پایین دست حرکت کنند.

جدول ۱: پارامترهای هیدرولیکی جریان در زمان تشکیل اسکالوپ در سه قسمت غار

	Section 1	Section 2	Section 3
$L_{32} (cm)$	18.40	16.62	23.07
$D (cm)$	530	750	234.5
$\bar{u}^* (cm/s)$	1.67	1.86	1.33
Velocity – $\bar{u} (cm/s)$	20.57	25.00	12.93
Reynolds number (Re)	$7.94 \times 10^5$	$1.37 \times 10^6$	$2.21 \times 10^5$
Cross sectional area( $m^2$ )	5.38	7.89	1.38
Darcy – Weisbach friction factor – $f$	0.053	0.044	0.085
Froude number – $F$	0.29	0.29	0.27
Shear stress $\bar{\tau} (N/m^2)$	0.29	0.36	0.18
Power of flow $P(N/m.s)$	0.06	0.09	0.02
Settling velocity $\omega_{max} (cm/s)$	1.6	1.79	1.28
Discharge – $Q m^3/s$	1.1	1.97	0.18

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



منابع:

- نجفی زرمهری، فرزانه، ۱۳۹۶، بررسی ژئومورفولوژی فروچاله های کارستی مشرف به غارنمکسار در روستای گلبقرایی، دومین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست شهر مشهد، مشهد
- Curl, R.L., 1974 – Deducing flow velocity in cave conduits from scallops. Natl. Speleological Soc. Bull. 36, 1-5.
- Lundberg, J., Carroll, W., Roberts, W., McFarlane, D.A., Buchroithner, M., Rentergem, G., 2017. Analysis of scallops in gomantong caves, by GIS processing of 3D terrestrial laser scanner data. Proceedings of the 17<sup>th</sup> international congress of speleology, Sydney. Vol 2. 288-291.
- Murphy, P.J., Solutional sculpturing. Encyclopedia of caves. 536-539.

## شناسایی ابعاد هندسی آبخوان آبرفتی فشافوئیه و تعیین نواحی مناسب بهره برداری

محمد حسن حیدریان<sup>۱\*</sup>، محمد نخعی<sup>۲</sup>، خلیل رضایی<sup>۳</sup>، وحید وطن پور<sup>۴</sup>،  
دانشجوی دکتری گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی  
<sup>۲</sup>استاد گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی  
<sup>۳</sup>استادیار گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی  
<sup>۴</sup>دانشیار گروه شیمی تجزیه و کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی  
Mhh1978@yahoo.com

### چکیده:

بر اساس یافته های حاصل از اجرای تعداد ۷۲ سونداژ ژئوالکتریک و تطبیق آن با نیمرخ زمین شناسی چاههای بهره برداری در اراضی شمالی دشت فشافوئیه لایه رسوبات آبرفتی با مقاومت بین ۴۰ تا ۷۰ اهم متر وضخامت بیش از ۱۵۰ متر متشکل از ذرات درشت دانه (شن و ماسه با کمی سیلت) ته نشست گردیده که با حرکت به سمت جنوب با کاهش اندازه ذرات رسوبات آبرفتی میزان مقاومت ظاهری رسوبات نیز کاهش یافته و در اراضی خروجی دشت رسوبات سیلتی حاوی آب شور با مقاومت کمتر از ۱۰ اهم متر وضخامت کمتر از ۷۵ متر ته نشست شده اند. از رباط کریم تا انیس آباد سنگ کف منطقه لایه رسوبات تخریبی با قطعات درشت و نسبتاً متراکم حاوی آب با مقاومت بیش از ۱۰۰ اهم متر بوده و از انیس آباد تا خروجی دشت سنگ کف هادی منطقه با مقاومت کمتر از ۱۰ اهم متر متشکل از رسوبات رسی و ماری حاوی آب شور می باشد. شیب سنگ بستر رسوبات آبرفتی منطقه از شمال به جنوب بوده و در اراضی شترخوار واقع در شمال دشت افزایش ناگهانی شیب سنگ بستر نمایانگر غسل زیرزمینی مدفون موجود در این دشت می باشد. محور رسوبگذاری در این دشت منطبق بر خط القعر دشت بوده و از مرکز به سمت ارتفاعات ضخامت رسوبات آبرفتی کاهش می یابد. بر اساس نقشه هم مقاومت عرضی و موقعیت چاههای بهره برداری با آبدهی بیش از ۱۵ لیتر در ثانیه اراضی مرکزی دشت نسبت به سایر نقاط دشت دارای پتانسیل بهره برداری بالاتری می باشند.

کلیدواژه: فشافوئیه، استخراج، روش ژئوالکتریک، آب زیرزمینی، غسل مدفون

## Identification of geometric dimensions of Fashafuye aquifer and determination of suitable exploitation areas

Mohammad Hassan Heidarian<sup>1\*</sup>, Mohammad Nakhaei<sup>2</sup>, Khalil Rezaei<sup>4</sup>, Vahid Vatanpour<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

<sup>2</sup> Professor, Dep. of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

<sup>3</sup> Assistant Professor, Dep. of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

<sup>4</sup> Associate Professor, Dep. of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, Kharazmi University

### Abstract

Based on 72 vertical electrical sounding and correlating them with bore hole data, in the northern part of Fashafuye plain the sediments with electrical resistance between 40 to 70 ohm-m and more than 150 m thickness consist of coarse particles (sand with little silt) have deposited. From north to south the particle size of sediments is decreased and apparent resistance has been decreased too and in the outlet of the plain sedimentary particles (silt and little clay) containing saline water with resistance



less than 10 ohm-m and thickness with less than 75 m have been deposited. From Anisabad to Robotkarim the bedrock is consisting of fragment sediments with a resistance of more than 100 ohm-m and from Anisabad toward the outlet of the plain the resistance of bedrock is less than 10 ohm-m, consisting of clay sediments and saline water. The slope of bedrock is decreased from north to south in Shotorkhar area in north of plain the suddenly increased in slope of bedrock indicates the underground fault which buried in this plain. The axis of deposition in this plain is corresponded to the bottom line of the plain and thickness of alluvial sediments is decreased form the center of the plain towards heights. Based on transverse resistivity map and the locations of exploitation water wells with a discharge more than 15 l/s the central areas of the plain have a higher exploitation potential than other parts of the plain.

#### مقدمه:

رشد سریع تکنولوژی به همراه افزایش جمعیت در دودهده اخیر باعث توسعه شهرک های صنعتی و مسکونی در کشور به ویژه در شهرهای اطراف تهران از جمله شهر های رباط کریم و حسن آباد واقع در جنوب غرب استان تهران شده و به تبع آن تقاضای آب در منطقه افزایش گردیده است. شهرستانهای رباط کریم و حسن آباد در پایاب رودخانه کرج واقع شده اند و تنها رودخانه های جاری در این دو شهرستان رودخانه کرج و رود رباط کریم می باشند که بصورت فصلی در دشت فشافویه در جریان می باشند (شرکت آب منطقه ای تهران، ۱۳۸۹). فصلی بودن رودخانه های مذکور و آلوده بودن آب آنها بعلت ورود پسابهای صنعتی و شهری به رودخانه های مذکور قبل از ورود دشت باعث شده تا بیش از ۹۰ درصد نیازهای آبی منطقه از آبخوان آبرفتی فشافویه تامین گردد (شرکت آب منطقه ای تهران، ۱۳۹۹). از این رو شناسایی ابعاد هندسی آبخوان آبرفتی دشت فشافویه در برنامه ریزی های آتی منطقه از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. اولین گام در بهره برداری از منابع آب زیرزمینی شناسایی ابعاد هندسی مخازن آب زیرزمینی می باشد. جهت شناسایی ابعاد هندسی مخازن آب زیرزمینی روش های ژئوفیزیکی شامل روش های مقاومت الکتریکی، لرزه نگاری، مغناطیس سنجی و گرانی سنجی می باشد. روش مقاومت الکتریکی جهت شناسایی ابعاد هندسی مخازن آب زیرزمینی یک روش شناخته شده، قابل اعتماد و ارزان می باشد. مقاومت الکتریکی سنگها به شرایط تحکیم آنها و مایع محتوی آنها بستگی دارد (Todd&Mays, 2005). بعضی از کاربردهای این روش در آبخوان های آبرفتی شامل مشخص کردن عمق، ضخامت و مرز آبخوان (Jackson et al., 1978)، میزان تخلخل (Jackson et al., 1978)، میزان هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال (Kossinski & Kelly, 1981) و مقدار ضریب ذخیره (Frohlich&Kelly, 1987) می باشد. در تحقیق انجام گرفته در مخروط افکنه واقع در ناحیه شالاتین در ساحل دریای سرخ دولایه آبرفتی اشباع و غیر اشباع و همچنین سنگ کف هوازده از سنگ کف هوازده نشده تفکیک گردید و در پایان نتیجه گیری شد که آبخوان آبرفتی در نیمه غربی دارای آب شیرین بیشتری نسبت به آبخوان نیمه شرقی منطقه می باشد (Mohamaden & Ehab, 2017). در ایران نیز روش مقاومت الکتریکی در شناسایی آبخوانهای آبرفتی کاربرد گسترده ای دارد که به عنوان نمونه می توان به مطالعات ژئوالکتریک دشت هادیشهر جهت اکتشاف آب زیرزمینی (مردمی و همکاران، ۱۳۸۸) و مطالعات ژئوالکتریک شمال سمنان بمنظور مطالعه سفره آب زیرزمینی (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۸)، مطالعات ژئوالکتریک دشت هومند - آبسرد بمنظور شناسایی ابعاد هندسی آبخوان آبرفتی دشت هومند - آبسرد، محورهای رسوبی مدفون شده و تاثیر تکتونیک در تکوین دشت مذکور (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۱) و... اشاره

نمود. لذا هدف اصلی این تحقیق شناسایی ابعاد هندسی آبخوان آبرفتی دشت فشافوئیه و مشخص نمودن نواحی مناسب جهت بهره برداری با استفاده از روش مقاومت ویژه و تلفیق آن با نیمرخ زمین شناسی چاههای بهره برداری و یا اکتشافی محفوره در دشت وهمچنین نتایج آماربرداری سراسری دور سوم می باشد.

#### روش مطالعه:

دشت فشافوئیه در جنوب غربی استان تهران واقع شده است (شکل ۱). از لحاظ زمین شناسی در ارتفاعات کوه آراده واقع در شرق دشت واحدهای آذرآواری سازند کرج و در سایر ارتفاعات مشرف بر دشت رسوبات تخریبی - تبخیری سازند کهریرک رخمون دارد. مهمترین جریان سطحی منطقه رودخانه های کرج و رود رباط کریم بوده که هر دو از شمال دشت وارد شده و در اراضی مرکزی دشت رود رباط کریم به رودخانه کرج ملحق شده و پس از عبور از اراضی جنوبی دشت از این دشت خارج و در اراضی چرمشهر به رودخانه جاجرود (خروجی محدوده مطالعاتی ورامین) ملحق شده و رودخانه شور را تشکیل می دهند (شرکت آب منطقه ای تهران، ۱۳۸۹). بر اساس نتایج آماربرداری سراسری دور سوم در این دشت تعداد ۴۴۵ حلقه چاه بهره برداری فعال باحجم برداشت ۱۰۷/۴ میلیون متر مکعب در سال شناسایی شده که ۷۸ درصد آب برداشتی در بخش کشاورزی، ۱۶ درصد در بخش شرب، ۶ درصد در بخش صنعت و خدمات مصرف می گردد (شرکت آب منطقه ای تهران، ۱۳۹۹). به منظور انجام بررسی های ژئوفیزیکی به روش مقاومت الکتریکی تعداد ۷۲ عدد سونداژ ژئوالکتریک (بافاصله متفاوت بین ۱۰۰ تا بیش از ۳۰۰ متر) در راستای ۱۹ پروفیل با بیشینه طول فرستنده جریان ۱۰۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آرایه چهارقطبی شولمبرژه اجرا شده است (شکل ۱). پس از انجام عملیات صحرایی با استفاده از نرم افزار Res1div داده های ژئوفیزیک تفسیر و لایه های ژئوالکتریک در منطقه تفکیک شده است. پس از بررسی و تفسیر داده ها و تهیه نقشه های مربوطه لایه های رسوبی موجود در منطقه شناسایی و با استناد به موقعیت چاههای بهره برداری با آبدهی بیش از ۱۵ لیتر در ثانیه نواحی مناسب جهت حفر بهره برداری مشخص شده است. شایان ذکر است جهت تحلیل و تفسیر داده های ژئوالکتریک از نیمرخ زمین شناسی چاههای بهره برداری محفوره در دشت مذکور نیز استفاده شده است.

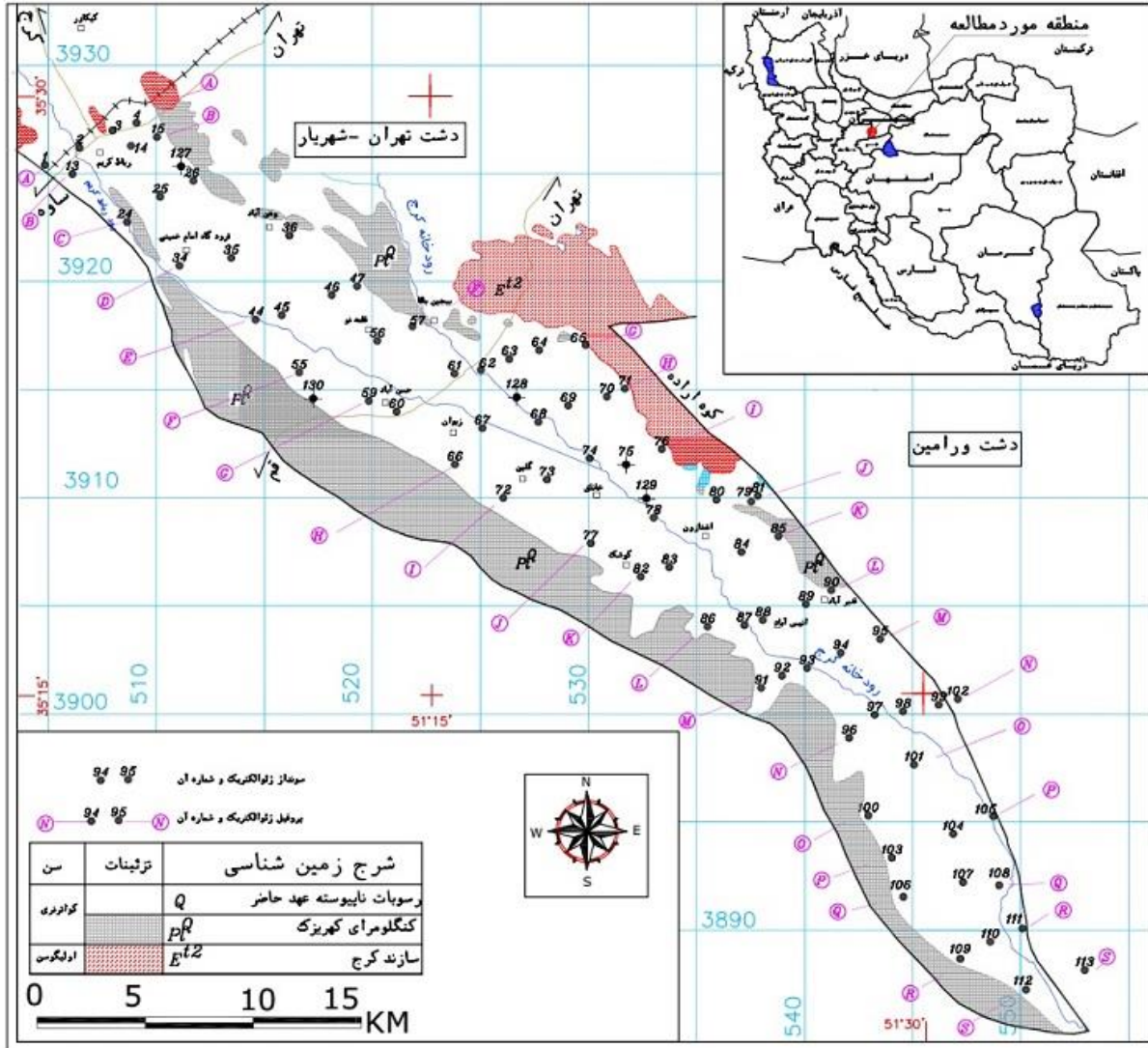
#### بحث:

اساس روش مقاومت الکتریکی بر پایه اندازه گیری مقاومت ویژه ظاهری لایه های زمین شناسی می باشد. مقاومت الکتریکی خاصیت اصلی لایه های زمین بوده و بسته به نوع رسوب (یا سنگ)، تخلخل، کیفیت و کمیت آب موجود در فضاهای خالی رسوبات (یا سنگها) متغیر می باشد. میزان مقاومت الکتریکی برحسب اهم متر بیان می گردد و یک تخمینی از مقاومت محاسبه شده زمین با استفاده از روابط میان مقاومت زمین، الکتریسته لایه های زمین و دانسیته جریان می باشد (Alile et al., 2011). براساس تفسیر منحنی های مقاومت الکتریکی در این دشت و تطبیق آن با نیمرخ زمین شناسی چاه های بهره برداری و سازندهای زمین شناسی حاشیه دشت مقاومت حقیقی لایه های زمین شناسی موجود در منطقه تعیین و در جدول ۱ ارائه گردیده است. مقاومت لایه رسوبات آبرفتی خشک بین ۵۰۰ تا بیش از ۷۰ اهم متر از شمال به سمت جنوب متغیر است و لایه رسوبات آبرفتی دانه متوسط تا دانه ریز غیر اشباع دارای مقاومت ۱۵ تا ۶۰ اهم متر و در حالت اشباع دارای مقاومت ۳۰ تا ۶۰ اهم متر می باشد. لایه رسوبات آبرفتی دانه درشت اشباع دارای مقاومت ۷۰ تا ۱۵۰ اهم متر و لایه رسوبات تخریبی با قطعات درشت و نسبتا متراکم حاوی آب دارای مقاومت بیش از ۱۰۰ تا ۲۵۰ اهم متر می باشد. در شکل ۲ نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۱۵ نمایش داده شده است که در محل این سونداژ لایه حاوی آب متشکل از رسوبات آبرفتی دانه درشت با مقاومت حقیقی ۴۰ تا ۹۰ اهم متر و ضخامت حدود ۸۰ متر در عمق ۹۵ متری زمین قرار گرفته و در زیر آن لایه رسوبات تخریبی با قطعات درشت و نسبتا متراکم حاوی آب با مقاومت بیش از ۱۰۰ اهم متر شناسایی شده

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



است. بر اساس نقشه هم مقاومت مخصوص ظاهری (AB=300 m) مقاومت رسوبات آبرفتی نهشته شده در عمق حدود ۷۵ متری دشت مذکور دارای مقاومت کمتر از ۵ تا بیش از ۷۰ اهم متر می باشند و مقدار مقاومت حقیقی رسوبات نهشته شده در این دشت از شمال به سمت جنوب کاهش می یابد (شکل ۳). در شکل ۴ نقشه هم ارتفاع مطلق سنگ بستر رسوبات آبرفتی

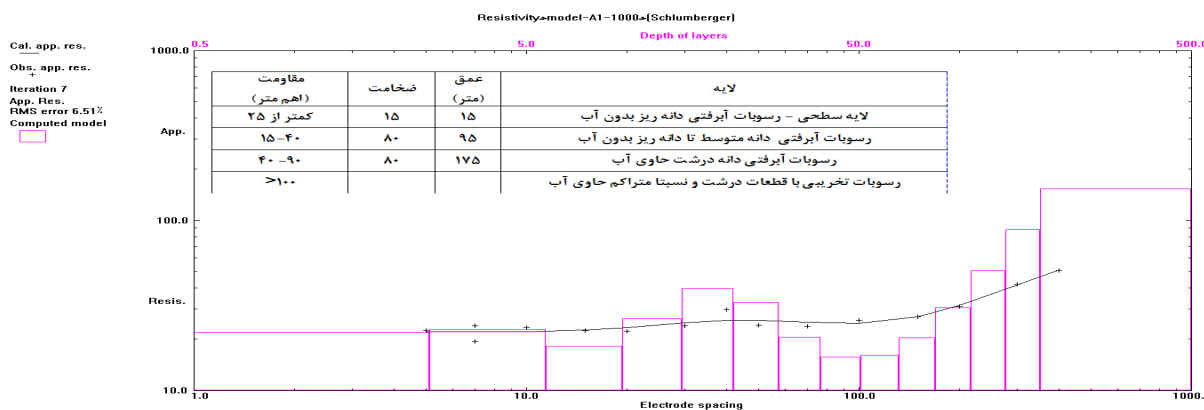


شکل ۱: موقعیت دشت فشافویه در ایران به همراه موقعیت سونداژها و پروفیل های ژئوالکتریک اجرا شده

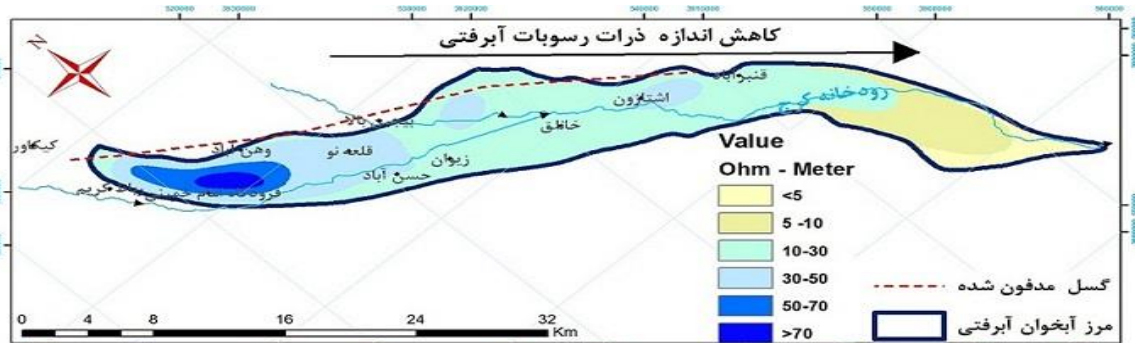
دشت فشافویه نمایش داده شده است. بر اساس نقشه مذکور در دشت فشافویه شیب سنگ کف مطابق شیب توپوگرافی سطح زمین از شمال غرب به سمت جنوب شرق می باشد. روند منحنی های هم ارتفاع سنگ کف در این دشت نمایانگر شیب ملایم سنگ بستر رسوبات آبرفتی می باشد. افزایش ناگهانی شیب سنگ بستر در حدفاصل اراضی بین رباط کریم تا فرودگاه امام خمینی واقع در شمال دشت نمایانگر یک گسل زیرزمینی مدفون با روند شمال غربی - جنوب شرقی واقع در حاشیه ارتفاعات شرقی و شمالی مشرف دشت نمایانگر یک گسل زیرزمینی مدفون با روند شمال غربی - جنوب شرقی واقع در حاشیه ارتفاعات شرقی و شمالی مشرف بر دشت می باشد که گسل احتمالی مذکور در شکل ۳ نمایش داده شده است. بر اساس شکل ۳

جدول ۱: میزان مقاومت مخصوص لایه های زمین شناسی در دشت فشافویه

مقاومت حقیقی ( اهم متر)	لایه زمین شناسی
>۵۰-۷۰	رسوبات آبرفتی دانه درشت بدون آب
۶۰-۱۵	رسوبات آبرفتی دانه متوسط تا دانه ریز بدون آب
۶۰-۳۰	رسوبات آبرفتی دانه متوسط تا دانه ریز حاوی آب
۱۵۰-۷۰	رسوبات آبرفتی دانه درشت حاوی آب
>۲۵۰-۱۰۰	رسوبات تخریبی با قطعات درشت و نسبتا متراکم حاوی آب
کمتر از ۱۰	سنگ کف هادی ( رسوبات رسی و ماری)
>۱۰۰-۳۰۰	واحدهای آذرین سازند کرج



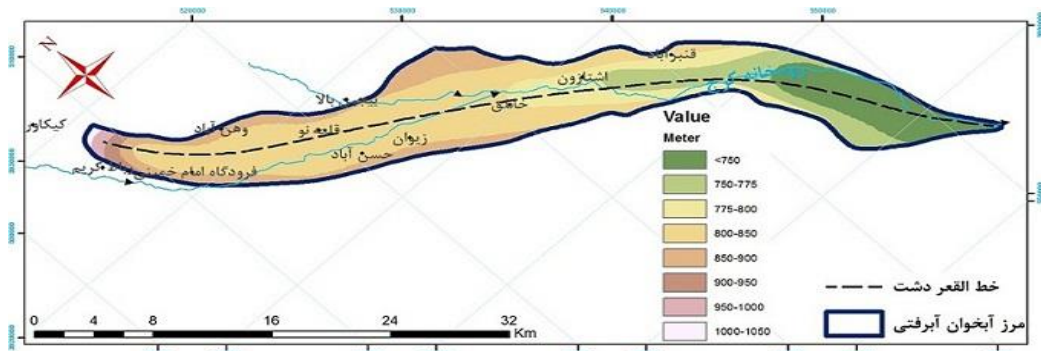
شکل ۲: نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۱۵ و نتایج شبیه سازی برنامه ResIDiv برای دوره تکرار هفتم



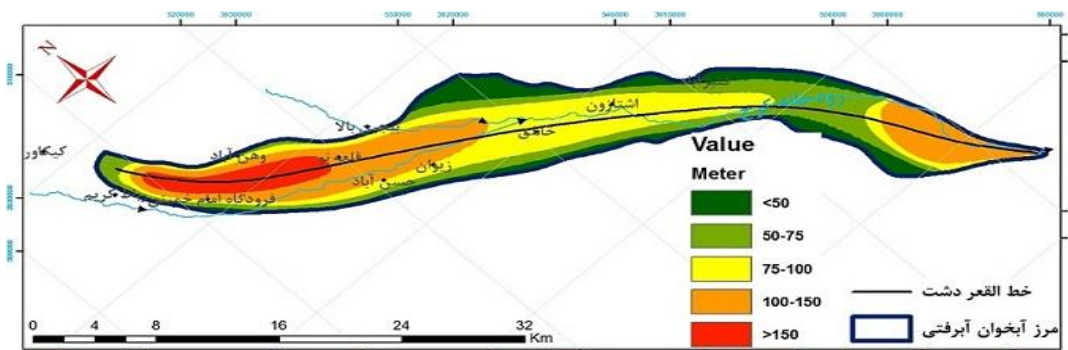
شکل ۳: هم مقاومت مخصوص ظاهری AB=300m دشت فشافویه (بر حسب اهم متر)

در اراضی حدفاصل وهن آباد، فرودگاه امام خمینی و رباط کریم واقع در شمال دشت یک حوزه رسوبی با مقاومت بیش از ۳۰ اهم متر مشاهده می گردد که نمایانگر ته نشست رسوبات دانه درشت در این قسمت از دشت می باشد. براساس نقشه هم ضخامت رسوبات آبرفتی (شکل ۵) در این دشت محور رسوبگذاری منطبق بر خط القعر دشت می باشد و با حرکت از خط القعر به سمت ارتفاعات ضخامت نهشته های آبرفتی کاهش می یابد. براساس شکل های ۳ و ۵ مهمترین محور رسوبگذاری در دشت از حوالی فرودگاه امام تا خروجی دشت منطبق بر خط القعر دشت شناسایی شده که در نیمه شمالی دشت آبرفتهای دانه متوسط تا دانه درشت حاوی املاح کم ته نشست شده و در اراضی میانی دشت نهشته های دانه متوسط تا دانه ریز حاوی املاح هادی شناسایی شده و در اراضی جنوبی و پایاب دشتی رسوبات آبرفت دانه ریز حاوی املاح هادی فراوان ته نشست شده است. مطابق نقشه هم عمق آب زیرزمینی (شکل ۶) که با استفاده از داده های سطح آب شبکه چاههای مشاهده ای موجود در دشت در

مهر ماه سال ۱۳۹۹ تهیه شده، عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در اراضی جنوبی دشت کمتر از ۳۰ متر می باشد که به سمت شمال در اراضی مرکزی دشت به ۷۵ متر افزایش یافته و در اراضی حدفاصل رباط کریم، فرودگاه امام خمینی ووهن آباد بعث برداشت عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی به بیش از ۱۰۰ متر افزایش یافته و مجدد از فرودگاه به سمت شمال به واسطه بالا آمدن سنگ کف عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی کاهش می یابد. در ادامه با استفاده از یافته های ژئوالکتریک و نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی در راستای خط القعر دشت نیمرخ هیدروژئولوژیکی دشت با راستای شمال غربی – جنوب شرقی تهیه شده در شکل ۷ ارائه گردیده است. بر اساس شکل مذکور فعالیت گسل زیرزمینی مدفون موجود در دشت در اراضی مابین شترخوار تا رباط کریم واقع در شمال دشت باعث ایجاد یک حوزه رسوبی عمیق در شمال دشت گردیده است. همچنین در این دشت در اراضی شمالی دشت زون غیر اشباع متشکل از رسوبات شن و ماسه ای حاوی سیلت می باشد که به سمت جنوب اندازه ذرات رسوبات آبرفتی کاهش یافته و در پایاب دشت متشکل از سیلت و کمی رس می باشد.

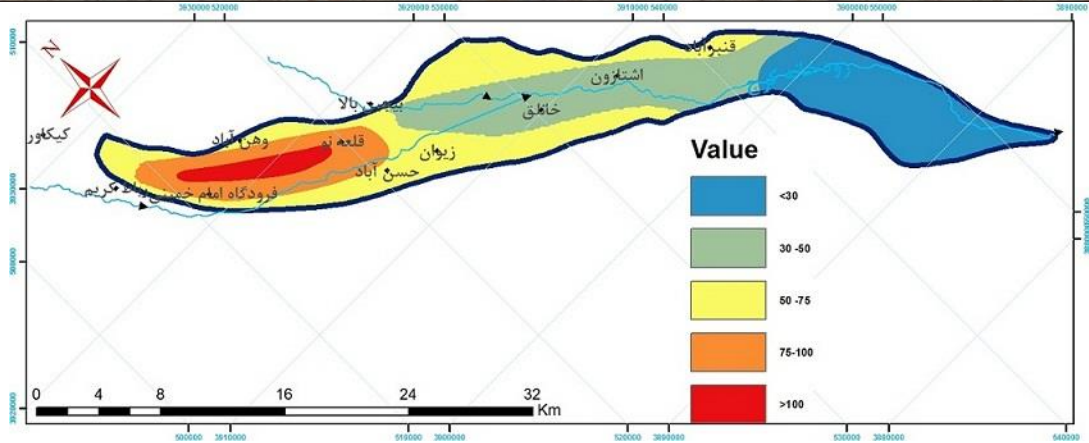


شکل ۴: هم ارتفاع مطلق سنگ بستر رسوبات آبرفتی دشت فشافویه (بر حسب متر)



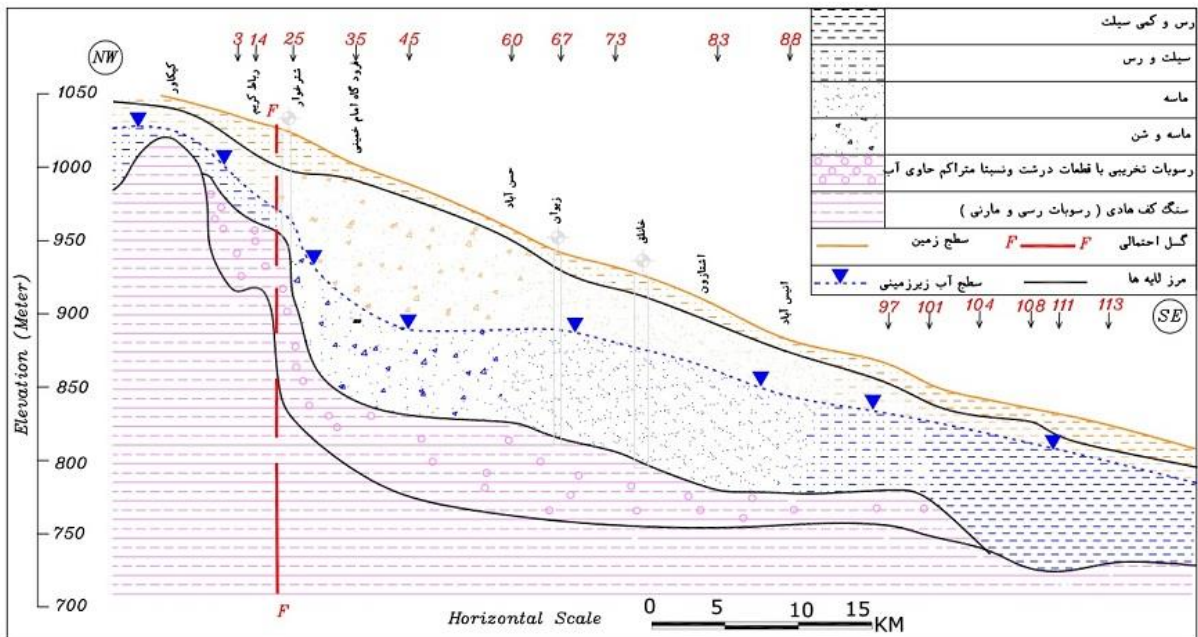
شکل ۵: هم ضخامت رسوبات آبرفتی دشت فشافویه (بر حسب متر)

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran

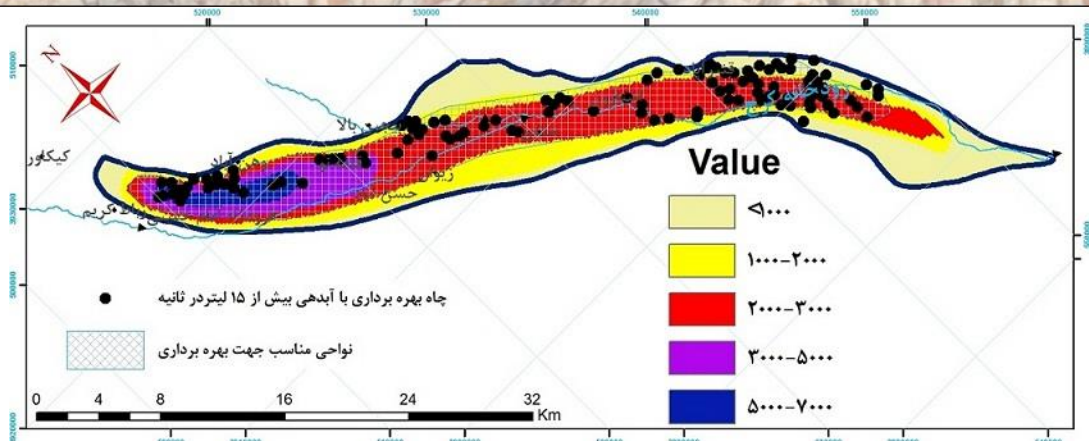


شکل ۶: عمق آب زیرزمینی در دشت فشافویه مه‌ماه ۱۳۹۹ (برحسب متر)

از رباط کریم تا انیس آباد لایه اشباع منطقه با لیتولوژی مشابه لایه غیر اشباع منطقه (با کمی اغماض) بر روی لایه رسوبات تخریبی با قطعات درشت و نسبتاً متراکم حاوی آب واقع شده و از انیس آباد تا خروجی دشت بر روی کف هادی متشکل از رسوبات رسی و ماری حاوی آب شور واقع شده است. بر اساس پروفیل تهیه شده در اراضی فرودگاه ضخامت لایه اشباع حدود ۵۰ متر بوده که به سمت جنوب میزان آن افزایش می‌یابد. بر اساس نقشه هم مقاومت عرضی رسوبات آبرفتی منطقه (شکل ۸) میزان مقاومت عرضی رسوبات آبرفتی بین کمتر از ۱۰۰۰ اهم متر مربع تا ۷۰۰۰ اهم متر مربع متغیر می‌باشد. با پیاده نمودن موقعیت چاه‌های بهره برداری با توان آبدهی بیش از ۱۵ لیتر در ثانیه بر روی نقشه مذکور مشخص گردید در اراضی شمالی دشت مناطق با مقادیر مقاومت عرضی بیش از ۵۰۰۰ اهم متر مربع از لحاظ بهره برداری قابل اهمیت می‌باشد و در اراضی مرکزی دشت مناطق با مقادیر مقاومت عرضی بین ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ اهم متر مربع دارای پتانسیل هیدروژئولوژیکی مناسب بوده و در اراضی پایاب دشتی واقع در جنوب دشت علی رغم دانه ریز بودن رسوبات آبرفتی بالا بودن ضخامت لایه اشباع باعث شده تا مناطق با مقاومت عرضی بیش از ۲۰۰۰ اهم متر مربع حائز اهمیت می‌باشند.



شکل ۷: مقطع هیدروژئولوژیکی در راستای خط القعر دشت فشافویه



شکل ۸: هم مقاومت عرضی رسوبات آبرفتی دشت فشافوئیه (برحسب اهم متر مربع)

### نتیجه گیری:

در دشت فشافوئیه یافته های حاصل از اجرای ۷۲ عدد سونداژ ژئوالکتریک در راستای ۱۹ پروفیل با بیشینه طول فرستنده جریان ۱۰۰۰ متر نمایانگر ته نشست لایه رسوبات آبرفتی با مقاومت بین ۴۰ تا ۷۰ اهم متر وضخامت بیش از ۱۵۰ متر متشکل از ذرات دشت دانه (شن و ماسه با کمی سیلت) در نیمه شمالی دشت بوده که با حرکت به سمت جنوب با کاهش اندازه ذرات رسوبات آبرفتی میزان مقاومت ظاهری رسوبات نیز کاهش یافته و در اراضی خروجی دشت رسوبات سیلتی حاوی آب شور با مقاومت کمتر از ۱۰ اهم متر وضخامت کمتر از ۷۵ متر ته نشست شده اند. از رباط کریم تا انیس آباد لایه رسوبات آبرفتی منطقه بر روی لایه رسوبات تخریبی با قطعات درشت و نسبتاً متراکم حاوی آب با مقاومت بیش از ۱۰۰ اهم متر واقع شده و از انیس آباد تا خروجی دشت بر روی سنگ کف هادی منطقه با مقاومت کمتر از ۱۰ اهم متر متشکل از رسوبات رسی و ماری حاوی آب شور می باشد. شیب سنگ کف در این دشت مطابق شیب توپوگرافی سطح زمین از شمال غرب به سمت جنوب شرق بوده و افزایش ناگهانی شیب سنگ بستر در حدفاصل اراضی بین رباط کریم تا فرودگاه امام خمینی واقع در شمال دشت نمایانگر یک گسل زیرزمینی مدفون با روند شمال غربی - جنوب شرقی واقع در حاشیه ارتفاعات شرقی و شمالی مشرف بر دشت می باشد. بر اساس نقشه هم ضخامت رسوبات آبرفتی محور رسوبگذاری در این دشت منطبق بر خط القعر دشت می باشد و با حرکت از خط القعر به سمت ارتفاعات ضخامت نهشته های آبرفتی کاهش می یابد. فعالیت گسل مدفون زیرزمینی در نیمه شمالی دشت باعث ایجاد یک حوزه رسوبی متشکل از آبرفتهای دانه متوسط تا دانه درشت گردیده که به سمت جنوب در اراضی میاندشتی نهشته های دانه متوسط تا دانه ریز حاوی املاح و در اراضی جنوبی و پایاب دشتی رسوبات آبرفتی دانه ریز حاوی املاح فراوان ته نشست شده اند. پیاده نمودن موقعیت چاههای با آبدی بیش از ۱۵ لیتر در ثانیه بر نقشه هم مقاومت عرضی گویای آن است که اراضی مرکزی دشت بهترین مکان جهت حفر چاه و توسعه بهره برداری می باشند. در اراضی شمالی دشت دانه درشت بودن ذرات رسوبات آبرفتی و در اراضی جنوبی و مرکزی دشت بالا بودن ضخامت اشباع باعث شده تا اراضی میانی دشت منطبق بر خط القعر دشت از لحاظ بهره برداری نسبت به سایر نقاط دشت دارای پتانسیل بالاتری باشند.

### منابع:

- شرکت آب منطقه ای تهران، ۱۳۸۹. مطالعات مدل ریاضی دشت تهران - کرج، مهندسین مشاور مهتاب قدس.
- شرکت آب منطقه ای تهران، ۱۳۹۹. گزارش نهایی آماربرداری سراسری دور سوم از منابع و مصارف آبهای سطحی و زیرزمینی استان تهران، مهندسان مشاور مهتاب آب عمران گستر.

حیدریان، م.ح، فاتح دیزجی، ع.ر. و دمهری، خ.، ۱۳۹۱. شناسایی حوضه رسوبی دشت هومند – آبرسدوتائیر تکتونیک در تکوین آن با استفاده از روش مقاومت الکتریکی، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

مرادزاده، ع.، دولتی، ف.، طالبی، ک.، پیشدادیان، م.، ۱۳۸۸. مطالعه سفره آبهای زیرزمینی منطقه شمال سمنان با تفسیر و مدلسازی داده‌های ژئوفیزیکی، اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب.

مردمی، ه.، علی پور کفشگیر، ر.، مرادزاده، ع.، ۱۳۸۸. مطالعات ژئوالکتریکی دشت هادیشهر جهت اکتشاف آب زیرزمینی، اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب .

Alile, O. M., Ujuanbi, O., & Evbuomwan, I. A., 2011. Goelectric investigation of groundwater in Obaretin Iyanomon locality, Edo state, Nigeria. *Journal of geology and mining research*, 3(1), 13-20.

Jackson, P. D., Smith, D. T., & Stanford, P. N., 1978. Resistivity-porosity-particle shape relationships for marine sands. *Geophysics*, 43(6), 1250-1268.

Frohlich, R. K., & Kelly, W. E., 1988. Estimates of specific yield with the goelectric resistivity method in glacial aquifers. *Journal of Hydrology*, 97(1-2), 33-44.

Kosinski, W. K., & Kelly, W. E., 1981. Goelectric soundings for predicting aquifer properties. *Groundwater*, 19(2), 163-171.

Mohamaden, M. I., & Ehab, D., 2017. Application of electrical resistivity for groundwater exploration in Wadi Rahaba, Shalateen, Egypt. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 6(1), 201-209.

Todd, D., K. and Mays, L. W., 2005. *Groundwater Hydrogeology* 3 edition, John Wiley & Sons, Inc.



## آب رودخانه‌ای در تغذیه مصنوعی آبخوان؛ مطالعه موردی آبخوان آبرفتی جاماش

بابک توانا<sup>۱\*</sup>، محمدرضا ایدون<sup>۲</sup>، محمدامین طبسی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد آب‌های زیرزمینی

<sup>۲</sup> مدیر دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان

<sup>۳</sup> رئیس دفتر فنی آب منطقه‌ای هرمزگان

Tavana.babak@gmail.com

### چکیده:

کشور ایران در کمربند خشک و کم آب جهان قرار گرفته است. دریافت کشور از نزولات جوی تنها یک سوم متوسط جهانی و میزان تبخیر مستقیم از منابع آب نیز بیشتر باشد. در سال‌های اخیر باتوجه به تغییرات اقلیمی بوجود آمده رژیم بارش و حجم آورد رودخانه‌ها تغییر نموده است. در این تحقیق باتوجه به طراحی سد جاماش و ذخیره آب در آن سعی شده تا با استفاده از نرم‌افزار GMS اقدام به شبیه‌سازی مخزن آبرفتی دشت جاماش (پایاب مخزن) شود و با استفاده از نتایج حاصله بهترین برنامه مدیریت تلفیقی سد-آبخوان ارائه گردد. نتایج بدست آمده نشان داد که آبیگری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی می‌بایست در زمان کوتاهی پس از سیلاب و با گنجایش حداکثر صورت پذیرد تا تلفات تبخیر از مخزن سد به حداقل کاهش یابد. این در حالیست که برداشت از مخزن آبرفتی می‌تواند بصورت پایدار انجام پذیرد و حجم تغذیه شده علیرغم عدم تداوم می‌تواند حجم برداشت شده را تامین نماید.

کلید واژه: آب زیرزمینی، تغییرات اقلیمی، شبیه‌سازی، تغذیه مصنوعی، جاماش

## Surface water resources in artificial recharge of Jamash aquifer

Babal Tavana<sup>1</sup>, Mohammadreza Eydoon<sup>2</sup>, Mohammad Amin Tabasi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MSc of Hydrogeology

<sup>2</sup> Director of the Office, Basic Studies of Water Resources, Hormozgan Regional Water Company

<sup>3</sup> Head of the Technical Office, Hormozgan Regional Water

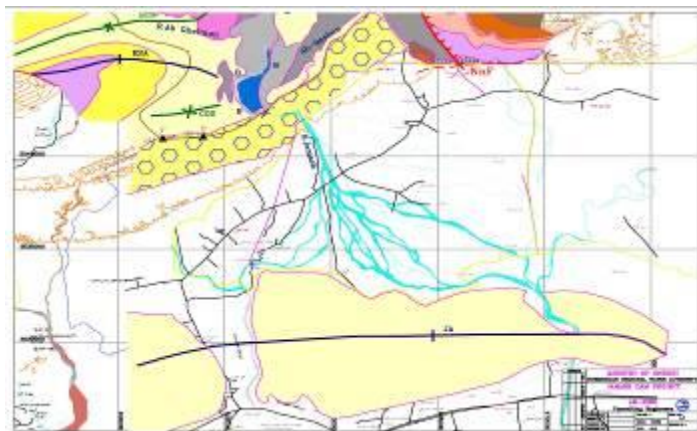
### Abstract

Iran is located in the dry and low water belt of the world. Average from rainfall only one third and rate of evaporation in higher than world. In recent years, due to climate change, the rainfall regime and the volume of rivers have changed. In this research, considering the design of Jamash dam and water storage in it, an attempt has been made to simulate the alluvial reservoir of Jamash plain using GMS software and to present the best integrated dam-aquifer management program using the obtained results. The results showed that artificial feeding should be done shortly after the flood and with maximum capacity to minimize evaporation losses from the dam reservoir. At the same time, extraction from the alluvial reservoir can be done stably and the volume of incoming water, despite the lack of continuity, can provide the volume collected.

### مقدمه:

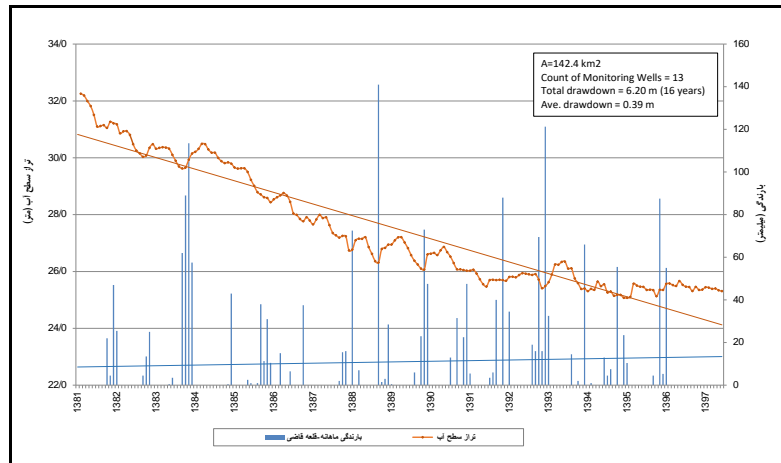
تغییرات اقلیمی حادث شده در سال‌های اخیر تنها منحصر به کاهش حجم بارش نبوده و در نقاط مختلف بصورت متفاوت جلوه نموده است. تغییر در نوع بارش (از برف به باران)، تواتر بارش (تعداد بارش بیشتر و با مقدار کمتر)، تغییر زمان بارش (از زمستان به پاییز و یا بهار) و سایر موارد باعث شده است حجم آب تجدیدپذیر دچار تغییراتی شود. در مناطق خشک معمولاً بارش‌ها بصورت ناگهانی و با شدت زیاد اتفاق می‌افتد که این موضوع باعث ایجاد روان‌آب‌های شدید شده و علاوه بر تخریب و

ایجاد خسارت باعث از دست رفتن حجم زیادی از منابع آب قابل استفاده می‌شود. یکی از راهکارهای مفید در این مناطق احداث سد و ذخیره جریانات سطحی است. اولین و مهم‌ترین عاملی که میزان خشکی را در یک منطقه نشان می‌دهد، رابطه بین مقدار بارندگی سالانه و توانایی تبخیر آب از محیط می‌باشد (Shi et al., 2017). جهت جلوگیری از هدر رفت آب در اثر تبخیر و در صورت وجود پتانسیل مخازن آبرفتی می‌توان اقدام به تغذیه مصنوعی و انباشت آب در زیر سطح زمین نمود. تغذیه مصنوعی به شکل امروزی از اوایل قرن ۱۹ در اروپا معمول بوده و ابتدا در اسکاتلند و فرانسه و بعد در انگلستان، آلمان، سوئد و هلند به کار رفته است (پازوش، ۱۳۶۹). در خارج از اروپا، فلسطین اشغالی و ایالات متحده از جمله کشورهای پیشگام در امر تغذیه مصنوعی هستند (حیدرپور، ۱۳۶۹). اولین طرح‌های تغذیه مصنوعی در ایران از سال ۱۳۴۹ با انجام مطالعات طرح تغذیه مصنوعی دشت ورامین آغاز شد و متعاقب آن مطالعاتی در دشت قزوین، گرمسار، تبریز، گرگان و جهرم انجام گرفت. اجرای طرح تغذیه مصنوعی قزوین در سال ۱۳۵۲ آغاز گردید. طرح‌های ورامین و گرمسار نیز در سال ۱۳۵۴ در ابتدا به صورت آزمایشی و سپس به صورت تکمیلی اجرا شد. از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۷۳ حدود ۲۰ طرح تغذیه مصنوعی به اشکال مختلف در استانهای سمنان، فارس، هرمزگان و زنجان اجراء شده است (سرزعی، ۱۳۷۳). روشهای متعددی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی توسعه یافته‌اند از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تغذیه مستقیم زیرسطحی و تغذیه سطحی اشاره نمود (Oakford, 1985). این دشت در استان هرمزگان و در شمال شرق شهر بندرعباس واقع شده است. این پهنه در حقیقت بخش شمال غرب دشت اصلی تخت-قلعه قاضی بوده و در اثر ته نشست رسوبات رودخانه جاماش و نیان تشکیل شده است. مخروط افکنه این رودخانه دارای وسعت زیادی است. متوسط آبدهی درازمدت (۹۶-۱۳۴۰) در محل ایستگاه سرمقسم (موقعیت انتخابی جهت احداث سد مخزنی) معادل با ۶۹ میلیون مترمکعب در سال است (مشاور آب نیرو، ۱۳۹۹). مرزهای این دشت در ارتفاعات شمالی و غربی متشکل از کنگلومرای بختیاری است که با دگرشیبی زاویه‌دار بروی واحد آجاجاری گسترده است، مرزهای جنوبی از ارتفاعات مشهور به جلابی و از واحد آجاجاری تشکیل یافته، که یک طاق‌دیس با شیب محوری است. مرزهای شرقی توسط رسوبات ریزدانه محدود شده که باعث بالا بودن سطح آب زیرزمینی شده و از سال‌های دور با احداث زهکش‌های روباز اقدام به تخلیه آب زیرزمینی نموده‌اند، لذا مرزهای آبخوان از نوع هیدرولیکی است. دشت جاماش (تخت-قلعه قاضی) دارای مساحت ۱۴۲/۹ کیلومترمربع است. مساحت ارتفاعات مشرف ۲۴۵۰ کیلومترمربع با متوسط ارتفاع ۶۳۹/۰ متر است (مشاور سنگاب زاگرس ۱۳۹۴) (شکل ۲۱).



شکل ۲۱: محدوده آبخوان آبرفتی دشت جاماش و سازندهای مشرف به آن

آبخوان آبرفتی در این دشت از نوع آزاد و سنگ کف از کنگلومرای بختیاری است. بالاترین تراز در مرزهای غربی بیش از ۳۸ متر از سطح دریا و در ناحیه شمال شرق در تراز ۳۴ متری از سطح دریا قرار دارد، کمترین منحنی تراز در جنوب شرق آبخوان در رقم ۲۱ متر از سطح دریا قرار دارد. ژرف ترین عمق آب در ناحیه شمالی آبخوان ۶۱ متر و کمترین عمق با ۵ متر در مرزهای شرقی قرار دارد. تغییرات آبنمود معرف در سال های مختلف به گونه ای است که نمی توان دوره خشک و تر را بصورت عمومی در این آبخوان تعیین نمود. نوسانات سطح آب در دوره هیدروگراف نشان از روند نزولی سطح آب داشته که در تمامی طول دوره با شدت و ضعف ادامه داشته است (شکل ۲۲).



شکل ۲۲: آبنمود آبخوان آبرفتی دشت جاماش در دوره ۹۷-۱۳۸۱

با استفاده از اطلاعات هواشناسی، آب های سطحی، آب های زیرزمینی، کشاورزی و آماربرداری سراسری منابع آب در سطح آبخوان بیلان منابع-مصارف این آبخوان تهیه (

جدول ۱) و نشان می دهد که بطور متوسط سالانه تغییرات حجم مخزن معادل با ۴/۵ میلیون مترمکعب در سال بوده که تغییرات تجمعی آن بالغ بر ۶۴ میلیون مترمکعب است. بیشترین مصارف از آبخوان متعلق به بهره برداری از سفره جهت مصارف شرب و کشاورزی است و بیشترین حجم تغذیه حاصل برگشت آب از مصارف گوناگون است.

جدول ۱: بیلان آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی جاماش (متوسط ۹۷-۱۳۸۱)، احجام به میلیون مترمکعب در سال

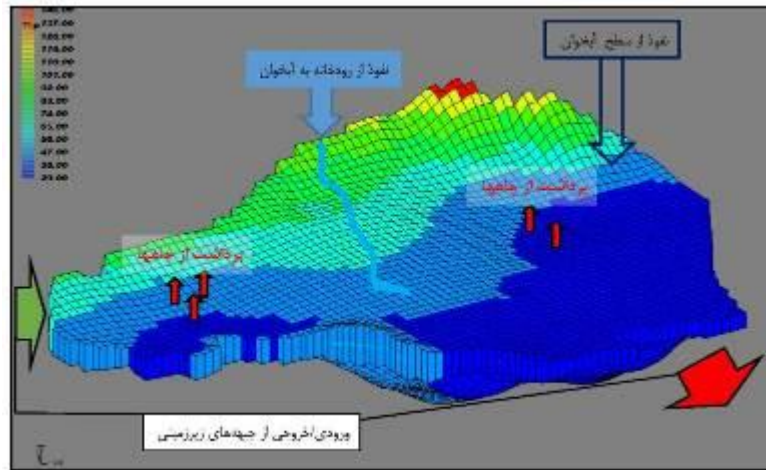
شرح اجزا	دوره یکساله	
	تغذیه	تخلیه
جریان ورودی	۱۵/۲۷	۰/۰۰
نفوذ از بارندگی	۲/۵۸	۰/۰۰
نفوذ از جریان سطحی و سیلاب	۸/۲۸	۰/۰۰
آب برگشتی از مصارف کشاورزی	۱۳/۹۴	۰/۰۰
آب برگشتی از مصارف شهری	۳/۸۶	۰/۰۰
جریان خروجی زیرزمینی	۰/۰۰	۰/۲۹
برداشت از آبخوان جهت مصارف کشاورزی	۰/۰۰	۴۳/۵۶
برداشت از آبخوان جهت مصارف شرب و بهداشت و صنعت	۰/۰۰	۴/۵۴
تبخیر از سطح سفره	۰/۰۰	۰/۰۰
زهکشی از سفره	۰/۰۰	۰/۰۰
جمع	۴۳/۹۳	۴۸/۳۹
تغییرات حجم مخزن	۴/۴۶	۰/۰۰
جمع	۴۸/۳۹	۴۸/۳۹

#### روش مطالعه:

در این مطالعات جهت بررسی وضعیت کنونی سفره آب زیرزمینی و همچنین برآورد سناریوهای قابل اجرا اقدام به شبیه‌سازی وضعیت آب زیرزمینی در سفره زیرزمینی دشت جاماش گردید، سپس با استفاده از اطلاعات بخش آب‌های سطحی سعی خواهد شد تا نسبت به اجرای سناریوهای محتمل در تغذیه مصنوعی با استفاده از آب ذخیره شده در مخزن سد جاماش اقدام شود. براین اساس روش مطالعه بطور خلاصه بشرح زیر است:

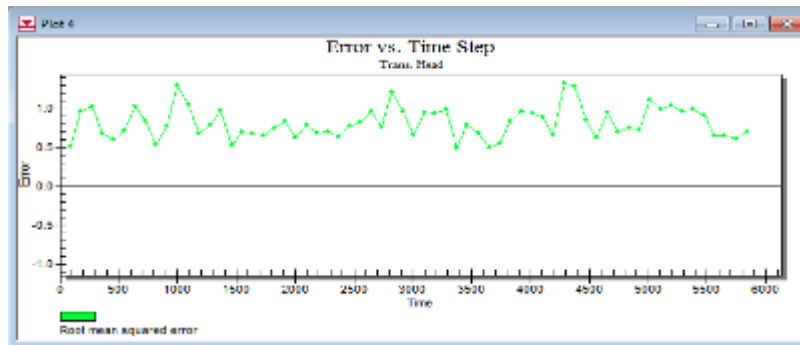
- تدقیق پارامترهای هیدروژئولوژیک سفره زیرزمینی باتوجه به آمار و اطلاعات حاصل از مطالعات آب زیرزمینی در محدوده آبخوان آبرفتی دشت جاماش.
- پیش‌بینی اتفاقات قابل وقوع در سطح آبخوان آبرفتی در اثر اجرای سناریوهای مختلف تغذیه مصنوعی و تغییرات زمانی و مکانی سطح و حجم آب زیرزمینی.

ایجاد یک مدل مفهومی که شکل ساده شده آبخوان را نشان می‌دهد می‌تواند تا حد زیادی به درک ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی، هیدرولوژیکی و دینامیک جریان آب‌های زیرزمینی در داخل و اطراف منطقه کمک نماید. آبخوان دشت جاماش از یک لایه آبدار آزاد تشکیل یافته که با ارتفاعات محصور شده است (شکل ۲۳).



شکل ۲۳: مدل مفهومی آبخوان دشت جاماش

دوره شبیه‌سازی شرایط ماندگار سطح آب متوسط سال آبی ۹۷-۱۳۸۱ تعیین شده و طی آن تمامی پارامترهای هیدرودینامیک سفره تدقیق شده است. پارامترهای موثر در بیلان نیز در شرایط پایدار برآورد شده است. زمان شبیه‌سازی شرایط ناپایدار بصورت فصلی و در فاصله زمانی ۹۷-۱۳۸۱ تنظیم شده است (شکل ۲۱-شکل ۲۴).



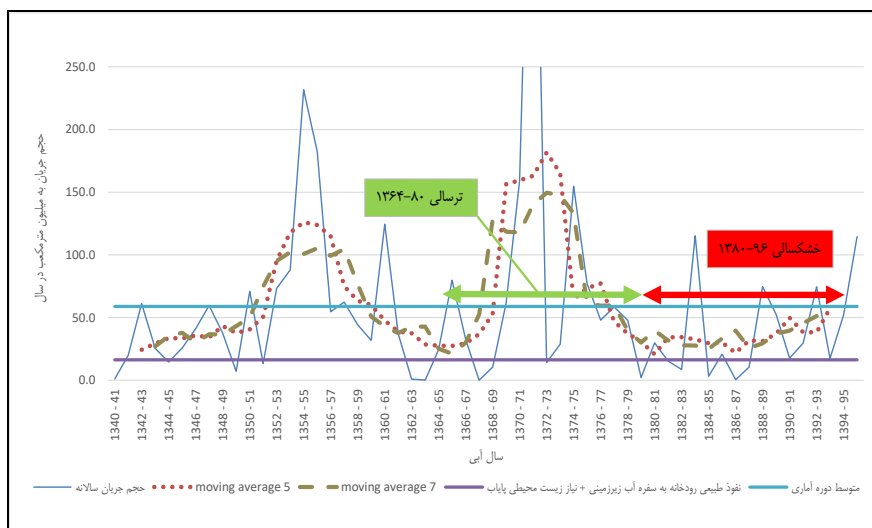
شکل ۲۴: خطای محاسباتی مدل ریاضی کمی در جریان غیرماندگار به تفکیک دوره تنش

#### بحث:

در محدوده دشت جاماش، باتوجه به طرح احداث سد تاخیری جاماش و احداث حوضچه‌های تغذیه در ساحل راست و چپ رودخانه و همچنین شرایط منطقه، گزینه‌ی آگیری از سد و تغذیه در بستر حوضچه انتخاب شده است. سناریوهای ممکن برای تغذیه مصنوعی استفاده از آب ذخیره شده در مخزن سد جاماش و انتقال آن به حوضچه‌های تغذیه (بازسازی شده) در ساحل راست و چپ رودخانه جاماش است. این رودخانه بدلیل سیلابی بودن دارای آبدهی بسیار متغیر بوده (شکل ۲۵) و به این دلیل احداث سد تاخیری جاماش با هدف ذخیره ماهانه آب سیلاب و زلال‌سازی آن و سپس رهاسازی با رژیم مناسب برای سیستم تغذیه مصنوعی آب بدون رسوب و یا نسبتاً کدر پیش‌بینی شده است. اگرچه این رودخانه دارای جریان پایه شور و با آبدهی کم است، اما سیلاب‌ها زودگذر آن دارای کیفیت مناسب بوده و در حالت طبیعی پس از ورود به دشت در سطح مخروط افکنه

گسترش یافته و شروع به تغذیه سفره زیرزمینی می‌نماید، از آنجایی که در شرایط طبیعی دوره سیلاب محدود است لذا حجم زیاد آورد رودخانه پس از عبور سریع از سطح سفره خارج شده و زمان کافی برای نفوذ ندارد. طبق محاسبات بیلان مدل ریاضی حجم تغذیه طبیعی از بستر رودخانه معادل با ۱۰/۸ میلیون مترمکعب برآورد شده است. از طرف دیگر نیاز زیست محیطی پایین دست نیز معادل با ۵/۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده و لذا از مجموع آورد رودخانه جاماش، سالانه حجمی معادل با ۱۶/۳ میلیون مترمکعب با عنوان حفظ شرایط در مخزن ذخیره نشده و به پایین دست رها می‌شود. حوضچه‌های طراحی شده (در ساحل چپ و راست) دارای سطحی در حدود ۲۴۳ هکتار و عمق حدود ۴/۳ متر هستند. جریان سطحی ورودی به سد، پس از ته‌نشست رسوبات و زلال شدن آب توسط آبگیرهای قابل کنترل با شیر تخلیه رهاسازی شده و پس از ورود به استخرها شروع به تغذیه می‌نماید. برنامه بهره‌برداری از این سیستم بگونه‌ای است که حجم آب ورودی به مخزن در کوتاه‌ترین زمان به سیستم تغذیه مصنوعی هدایت شده و شروع به تغذیه نماید. سناریوهای قابل اجرا در تغذیه مصنوعی این طرح براساس ضوابط و معیارهایی خاصی تعریف شده است.

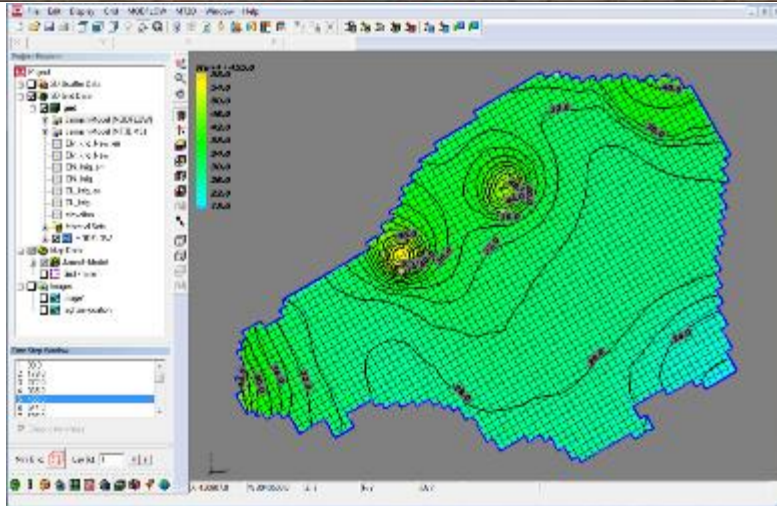
✓ رودخانه جاماش یک رودخانه دائمی است که دارای دامنه تغییرات شدید آبدهی است. تعیین دوره‌های تر و خشک درست بنظر نمی‌رسد. برای رفع این مشکل به آمار ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری مراجعه شد و با محاسبات مربوطه دوره ۱۳۶۴-۸۰ بعنوان ترسالی و دوره ۹۶-۱۳۸۰ بعنوان خشکسالی شبیه‌سازی خواهد شد.



شکل ۲۵ انتخاب دوره خشکسالی و ترسالی آبدهی رودخانه جاماش در ایستگاه سرمقسم

- ✓ میزان تغذیه از بستر حوضچه‌های تغذیه محاسبه و میزان آن برآورد گردید.
- ✓ بهره‌برداری از سفره بعنوان مقدار ثابت سالانه در نظر گرفته شده و تغییرات ایجاد شده در سفره از دیدگاه کمی مرورد تحلیل قرار گرفت.
- در دوره ترسالی (دوره آماری ۱۳۶۴-۸۰) از متوسط آورد سالانه ۸۴/۴ میلیون مترمکعب در سال حجمی معادل با ۱۶/۳۰ میلیون مترمکعب در سال از آورد رودخانه جهت مصارف زیست محیطی پایاب و همچنین نیاز تغذیه طبیعی در بستر رودخانه رهاسازی می‌شود. حجم باقیمانده بعنوان آب قابل تغذیه محاسبه شده است. پس از شبیه‌سازی آبخوان در این سناریو تغییرات زیادی در سفره اتفاق می‌افتد. بالآمدگی در اثر تغذیه در موقعیت حوضچه‌ها حتی به بیش از ۵۲ متر نیز می‌رسد (شکل ۲۶).

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شکل ۲۶: تغییرات عمق آب زیرزمینی در اثر اجرای تغذیه مصنوعی (سناریو ترسالی)

بیان آبخوان آبرفتی جاماش در اثر اجرای این سناریو (جدول ۲) تغییرات عمده‌ای می‌نماید. تغذیه سطحی، برداشت از چاه‌ها و تغییرات حجم مخزن بیشترین تغییرات را دارند. در اثر اجرای این سناریو حجمی معادل با ۳۵/۴ میلیون مترمکعب در سال از طریق تغذیه طبیعی و مصنوعی به سفره اضافه می‌شود، حجم برداشت خالص از چاه‌ها (با طراحی چاه‌های بهره‌برداری جدید) افزایشی ۲۹/۳ میلیون مترمکعب دارد، تغییرات حجم مخزن به ۲/۹- میلیون مترمکعب در سال کاهش می‌یابد.

جدول ۲: بیان سالانه متوسط در سناریو ترسالی

Sources/Sinks	Unsteady(MCM)		بیان آب زیرزمینی		Scenario-new1(MCM)	
Storage	8.58	3.91	4.46	0.00	24.33	21.42
Constant heads	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
General heads	15.46	0.61	15.27	0.29	12.68	2.25
Rivers	10.80	0.00	8.28	0.00	10.80	0.00
Wells	0.00	31.98	0.00	30.30	0.00	61.28
Recharge	2.09	0.00	2.57	0.00	37.46	0.00
Evapotranspiration	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.32
	36.927	36.927	30.580	30.590	85.271	85.271

- دوره خشکسالی (دوره آماری ۹۶-۱۳۸۰) متوسط آورد سالانه ۳۹/۸ میلیون مترمکعب بوده و با فرض تغذیه مصنوعی حجمی معادل با ۲۷/۵ میلیون مترمکعب در سال به سفره اضافه می‌شود، برداشت از چاه‌های جدید به میزان ۲۴/۸ میلیون مترمکعب قابل افزایش است. تغییرات حجم مخزن آبرفتی به ۰/۸- میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد (جدول ۳).

جدول ۳: بیان سالانه متوسط در سناریو خشکسالی

Sources/Sinks	Unsteady(MCM)		بیان آب زیرزمینی		Scenario-new2(MCM)	
Storage	8.58	3.91	4.46	0.00	23.94	23.13
Constant heads	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
General heads	15.46	0.61	15.27	0.29	17.08	1.29
Rivers	10.80	0.00	8.28	0.00	10.80	0.00
Wells	0.00	31.98	0.00	30.30	0.00	56.74
Recharge	2.09	0.00	2.57	0.00	29.58	0.00
Evapotranspiration	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.24
	36.927	36.927	30.580	30.590	81.401	81.401

### نتیجه گیری:

در این مطالعات نتایج زیر حاصل گردید:

- جهت مدیریت منابع آب سطحی رودخانه جاماش پس از احداث سد تاخیری، سیستم تغذیه مصنوعی پیشنهاد شده است. همزمان و بعثت پتانسیل ذخیره سازی محدود، برنامه بهره برداری همزمان به روش چاه استفاده شده است.
- جهت شبیه سازی وضعیت کمی آبخوان آبرفتی از نرم افزار GMS (Ver:7.1) استفاده شد.
- مدلسازی جریان پایدار متوسط دوره ۹۶-۱۳۸۱ و گسسته سازی زمانی جریان ناپایدار همین دوره با گامهای زمانی فصلی بوده است. خطای محاسباتی براساس شاخص RMS در شرایط پایدار و ناپایدار به ترتیب معادل با ۰/۳ و ۰/۸ متر بوده است. مقادیر بیلان آب زیرزمینی در هر مورد کنترل و بررسی شد.
- سطح و حجم استخرهای تغذیه مصنوعی برپایه سیلاب های قابل توجه پاره ای از سال ها و لزوم تزریق سریعتر آب به زمین طراحی شده است.
- حجمی معادل با ۱۶/۳۰ میلیون مترمکعب در سال از آورد رودخانه بعنوان تغذیه طبیعی و حجمی معادل با ۵/۵ میلیون مترمکعب در سال بعنوان نیاز زیست محیطی پایاب در بستر رودخانه رهاسازی می شود.
- پیش بینی شرایط آبخوان پس از انجام عملیات تغذیه مصنوعی طی دو سناریو صورت گرفته است. سناریوی اول شرایط ترسالی (خوشبینانه): این سناریو که آبدهی دوره آماری ۸۰-۱۳۶۴ را در برمی گیرد شامل آبگیری حوضچه ها در زمان سیلاب و رهاسازی جریان به پایین دست می باشد. سیلاب ذخیره شده در مخزن پس از ۲ تا ۳ هفته رسوب زدائی از بالاترین رقوم آبگیری شده و به حوضچه های تغذیه انتقال می یابد. سناریوی دوم شرایط خشکسالی (بدبینانه): این سناریو که آبدهی دوره آماری ۹۶-۱۳۸۰ را در برمی گیرد. در هر دو سناریو جهت استحصال بخش زیادی از آب تغذیه شده از چاه های استحصال استفاده شده است. در برآورد موقعیت و مقدار تخلیه این چاه ها از مدل ریاضی کمک گرفته شده است. Recharge: که در مدل جریان ناپایدار تنها شامل نفوذ مستقیم از بارندگی به حجم ۲/۱ میلیون مترمکعب در سال است. مقدار تغذیه از سیستم واداری در سناریو اول و دوم به ترتیب معادل با ۳۵/۴ و ۲۷/۵ میلیون مترمکعب در سال است. Well: مقدار برداشت خالص از چاه های موجود ۳۲/۰ میلیون مترمکعب در سال بوده است که در سناریوهای پیشنهادی اول و دوم به ترتیب به ۶۱/۳ و ۵۶/۷ میلیون مترمکعب در سال افزایش یافته است. چاه های طراحی شده در دو سناریو به ترتیب ۲۹/۳ و ۲۴/۸ افزون بر بهره برداری موجود آب سفره را برداشت خواهند نمود. Storage: تغییرات ذخیره حجم مخزن پس از اجرای این دو سناریو دستخوش تغییراتی می شود. در سناریو خوشبینانه تغییرات این پارامتر به میزان ۱/۸+ میلیون مترمکعب در سال جبران می شود. در سناریو دوم میزان کاهش حجم مخزن به ۰/۸- میلیون مترمکعب در سال می رسد که حاکی از جبران ۳/۹+ میلیون مترمکعب در سال نسبت به شرایط موجود است. در هر دو اهداف تعادل بخشی نیز محقق می شود. General Head: بعثت موقعیت جبهه های ورودی نسبت به استخرها، با اجرای عملیات تغذیه مصنوعی از حجم ورودی طبیعی به سفره کاسته می شود. همچنین در هر دو سناریو در اثر بهره برداری از سیستم حجم جریان خروجی افزایش می یابد و این موضوع با طراحی و اجرای چاه بهره برداری در حوالی جبهه خروجی قابل مدیریت است. Evapotranspiration: منظور تبخیر مستقیم از سطح آب زیرزمینی است که تغییرات محسوسی را نشان نمی دهد.



بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



منابع:

مهندسان مشاور آب نیرو (۱۳۹۹). مطالعات آب زیرزمینی با مدل ریاضی در محدوده تغذیه مصنوعی دشت تخت-قلعه قاضی.  
مهندسین مشاور سنگاب زاگرس (۱۳۹۴). بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه‌های بین بندرعباس تا سدیج - جلد پنجم: بیلان منابع آب-ضمیمه شماره ۴: بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی شمیل تخت (کد ۲۸۰۴).  
ویست، راجر (۱۳۶۹). شناخت آب‌های زیرزمینی (ژئوهیدرولوژی). ترجمه هرمز پازوش، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ ۲، ۲۲۳ ص.  
بیز، ژان، بورگه، لوسین، لوموان، ژاگ، ترجمه جلال حیدرپور (۱۳۶۹). تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی. مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۲۲۵ ص.  
سرزعیم، محمد صادق، میراب زاده اردکانی، مهدی، (۱۳۷۴) نقش طرح‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در توسعه پایدار منابع آب. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، اصفهان.

Oakford, E.T., 1985. Artificial recharge: Methods, hydraulics, and monitoring. In: Asano T (ed) Artificial recharge of groundwater, Butterworth, 767 pp.

Groundwater Modeling System – TUTORIALS (Vol 1 to 4) – emrl.

Mary P. Anderson & William W. Woessner (1992). Applied groundwater modeling - Simulation of Flow and Advective Transport.

## مکان یابی پهنه های مناسب اجرای طرح تغذیه مصنوعی با استفاده از آنالیز تصمیم

### گیری چند معیاره در شهرستان شیراز

مهدی میری<sup>۱</sup>، مهدی زارعی<sup>۱\*</sup>، محسن رضایی<sup>۱</sup>، علیرضا کاووسی<sup>۲</sup>، توماس ریمان<sup>۲</sup>

۱ بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

۲ موسسه مدیریت آب زیرزمینی، دانشگاه صنعتی درسدن، آلمان

[zareim@shirazu.ac.ir](mailto:zareim@shirazu.ac.ir)

#### چکیده:

شهرستان شیراز از جمله مناطقی است که به دلیل توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و افزایش مصرف آب، در معرض تهدید تعادل منابع آبی به ویژه در دوره‌های خشک قرار گرفته است. بدین دلیل لازم است با اعمال مدیریت صحیح و اجرای برنامه‌های تعادل بخشی از افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرد. تغذیه مصنوعی یکی از راهکارهای موثر جهت احیاء و برقراری تعادل بهم خورده آبخوان‌ها است. در این مطالعه تلاش گردیده است تا با تلفیق عوامل موثر در مکان یابی تغذیه مصنوعی، مناطق مناسب اجرای طرح در مقیاس شهرستان معرفی گردد. پارامترهای شیب، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها، بافت خاک، لیتولوژی، عمق سطح ایستابی و پوشش گیاهی بعنوان عوامل موثر در نظر گرفته شدند. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به این پارامترها به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن دهی شدند. با تلفیق و همپوشانی لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی مناسب جهت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی حاصل گردید. مناسب‌ترین پهنه‌ها جهت اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی در محدوده شهرستان شیراز عمدتاً در نواحی مرکزی و حوالی شهر شیراز و همچنین جنوب و جنوب شرقی شهرستان در نزدیکی شهر سروستان می‌باشد. همچنین در کل محدوده شهرستان شیراز مجموعاً حدود ۸۷۳ کیلومتر مربع محدوده بسیار مناسب جهت اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی تعیین گردید.

کلیدواژه: تغذیه مصنوعی، پهنه‌بندی مکانی، روش AHP، شهرستان شیراز

## Potentiality mapping of artificial recharge projects in the suburb area of Shiraz using multi-criteria decision analysis

Mahdi Miri<sup>1</sup>, Mehdi Zarei<sup>1\*</sup>, Mohsen Rezaei<sup>1</sup>, Alireza Kavousi<sup>2</sup>

1 Department of Earth Sciences, School of Science, Shiraz University

2 Institute of Groundwater Management, Technische Universität Dresden

#### Abstract

Groundwater resources of Shiraz suburb area has been threatened due to increase of agricultural and industrial activities. Therefore, application of sustainable management plans to prevent declining groundwater levels is essential in this area. Artificial recharge (AR) is one of the most effective techniques for aquifer restoration. In this study, we tried to introduce appropriate areas for implementation of the AR technique in suburb area of Shiraz by integrating the most likely effective factors including slope, land use, distance from drainage, soil texture, lithology, depth to water table, and vegetation cover prepared as thematic layers. Each layer were weighed by Analytical Hierarchical Process method, and a zoning map for potential of AR was then derived

by integrating and overlaying the factors. The most suitable zones for the implementation of AR projects in the study area are mainly located in the central areas and around the Shiraz city, as well as the south and southeast of the city near the Sarvestan city. Moreover, in the whole area of Shiraz city, about 873 square kilometers lies in a highly suitable zones for the implementation of artificial recharge projects that needs more detailed studies for narrow down the results and final decision.

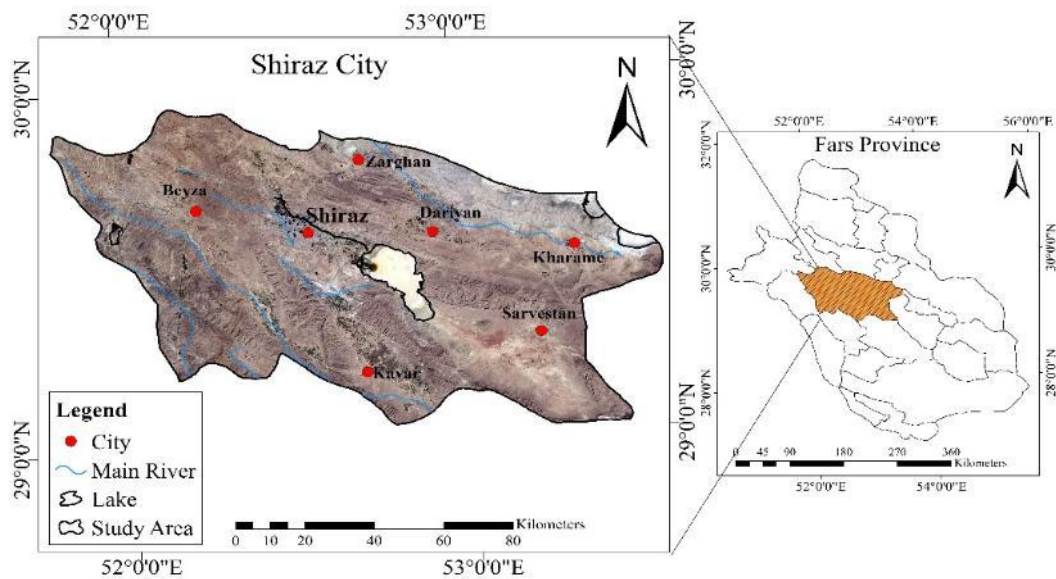
#### مقدمه:

رشد سریع جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده به منابع آب در کشور موجب بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی موجب به‌هم خوردن تعادل طبیعی، حاکمیت بیلان منفی در آبخوان‌های بسیاری از مناطق کشور و کاهش کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌شود (نسیمی و زارع، ۱۳۹۴). با توجه به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، آبخوان‌ها به طور قابل توجهی با کسری مخزن روبرو هستند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۹). افت سطح آب در اکثر دشت‌های مرکزی باعث خشک شدن بسیاری از قنات‌ها شده و هم‌اکنون بسیاری از دشت‌های کشور با افت مستمر سطح آب زیرزمینی و خشک شدن چاه‌های بهره‌برداری مواجه‌اند و علی‌رغم محدودیت‌های برداشت، در بعضی نقاط همچنان بیلان منفی آب در آبخوان‌ها ادامه دارد. در این راستا می‌بایست با اعمال مدیریتی صحیح و اجرای برنامه‌های اصولی از افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرده و در صورت امکان تعادل بهم خورده آبخوان را احیا نمود. از راهکارهای ممکن در این مورد مکانیزه کردن کشاورزی، کاهش بهره‌برداری از آب زیرزمینی و تغذیه مصنوعی می‌باشد (سجاد چغایی و همکاران، ۱۳۹۰).

تغذیه مصنوعی آبخوان به عنوان یک استراتژی برای توسعه منابع آب و همچنین، ذخیره آب برای جبران آسیب‌های وارده به آبخوان در نظر گرفته شده است (Chitsazan et al., 2015). تغذیه مصنوعی فرآیندی برای ذخیره کردن آب در داخل سازندهای نفوذپذیر به منظور استفاده مجدد از آن با رژیم و یا کیفیتی متفاوت است (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۳). تغذیه مصنوعی به روش‌های مختلف نظیر پخش سیلاب، حوضچه‌های تغذیه، چاه‌های تغذیه، چاله و گودال‌های تغذیه، تغذیه واداری، سدهای زیرزمینی صورت می‌گیرد (Asano, 1985). به منظور پیشگیری از رخداد حوادث ناگوار و کنترل روند افت سطح آب در سفره‌های آب زیرزمینی، در جهت استمرار بهره‌برداری پایدار، اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و تقویت آبخوان‌های امری الزامی است. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی راهبردی است برای تقویت و توسعه منابع آب که از دیرباز نیز در ایران مورد توجه بوده است و روشی شناخته شده برای مقابله با کاهش کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد (نسیمی و زارع، ۱۳۹۴). جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی ابتدا می‌بایست مطالعاتی گسترده و جامعی پیرامون وضعیت زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و هیدروشیمی منطقه صورت پذیرد و سپس با در نظر گرفتن یکسری معیارهای اساسی زون‌های مناسب جهت اجرای پروژه تغذیه مصنوعی شناسایی گردند. موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی تابع معیارهای چون طراحی و نگهداری آن می‌باشد. اولین گام در این زمینه انتخاب محل و یا آبخوان مناسب جهت اجرای طرح می‌باشد (Schuh, 1990). برای شناخت مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی لازم است عوامل موثر را شناسایی و از آنها به صورت شاخص‌هایی جهت تعیین محل‌های مستعد استفاده کرد (Chenini et al., 2009).

عوامل موثر در گزینش محل مناسب برای تغذیه مصنوعی متعدّدند به طور مثال می‌توان به نقش موثر عواملی چون شاخص‌های اقلیمی، شاخص‌های مورفومتریک، شاخص‌های سیلاب، شاخص‌های خاک و زمین‌ساختاری و شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی اشاره کرد ( حکمت‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به اینکه استفاده از تمامی این شاخص‌ها در مطالعات مربوط به مکان‌یابی مقدور نیست، پس انتخاب این شاخص‌ها با توجه به نوع، میزان اهمیت هر عامل، هدف، مقیاس مطالعاتی، شرایط منطقه و در دسترس بودن اطلاعات انجام می‌شود. روش‌های مختلفی برای مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب و بسترهای تغذیه مصنوعی وجود دارد. هر روشی که مورد استفاده قرار گیرد، باید اطلاعات مختلف در آن به صورت تلفیقی و در کنار هم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و منطقه مناسب تعیین گردد (Ghayoumian et al., 2007). برای انجام روش AHP با استفاده از نظر کارشناسان به مقایسه زوجی معیارها پرداخته می‌شود، در این روش به هر معیار بر اساس درجه اهمیت، عددی بین یک تا نه اختصاص داده شده، در نهایت، میزان سازگاری و وزن نهایی معیارها به دست می‌آید. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزاری است که به دلیل ویژگی‌ها و توانایی‌های خاص خود می‌تواند در این زمینه بسیار مفید باشد. با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات حاصل از مطالعات مختلف را به صورت همزمان مورد بررسی قرار داد. اطلاعات مربوط به هر زمینه به صورت یک لایه نقشه در می‌آید (Machiwal et al., 2011). سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS این لایه‌ها بر روی یکدیگر تلفیق شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. مکان‌یابی از جمله تحلیل‌های مکانی است که تاثیر فراوانی در کاهش هزینه‌ها، ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف دارد، به همین دلیل یکی از مراحل مهم و اثرگذار پروژه‌های اجرایی به شمار می‌رود. (Nagaraju et al., 2012).

هدف از این تحقیق شناخت مناطق مستعد و مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در محدوده شهرستان شیراز با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و تحلیل تصمیم چند معیاره می‌باشد. در این پژوهش لایه‌های موضوعی مختلف مانند؛ زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بافت خاک، کاربری اراضی، شیب، پوشش گیاهی، بارش، عمق آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. وزن‌های نسبی لایه‌های مختلف نیز به وسیله فرایند تحلیلی سلسله مراتبی بدست آمدند که خود یکی از تکنیک‌های ایجاد تحلیل چندمعیاره است. شهرستان شیراز در محدوده ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). این شهرستان دارای ۲ بخش، ۹ دهستان و ۴ شهر است. منطقه مورد مطالعه دارای مساحتی معادل ۱۰۵۷۱ کیلومتر مربع می‌باشد. بالاترین نقطه ارتفاعی آن ۳۰۹۲ متر بالاتر از سطح دریا، پایین‌ترین نقطه ارتفاعی ۹۷۳ متر و ارتفاع متوسط آن ۱۴۸۶ متر از سطح دریا است. بارندگی متوسط سالانه در این محدوده برای دشت و ارتفاعات طبق شاخص آماری ۴۰ ساله (۹۹-۱۳۵۹) به ترتیب ۳۷۷/۱ و ۴۰۹/۱ میلی‌متر است (گزارش بیلان سازمان آب منطقه‌ای فارس؛ ۱۳۹۰).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

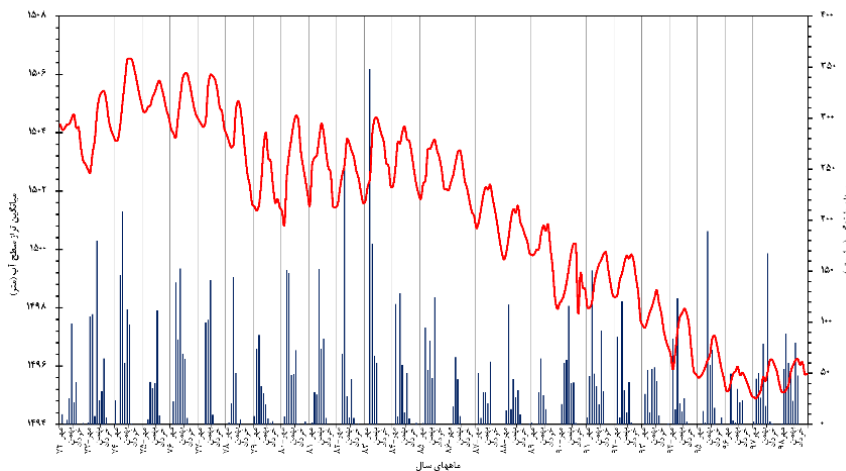
### روش مطالعه:

مطالعه انجام شده در طی ۴ مرحله شامل: جمع آوری داده‌ها (تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین شناسی)، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، رقومی سازی داده‌ها و تحلیل مکانی انجام یافت. در این مطالعه نقشه زمین شناسی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰)، نقشه‌های توپوگرافی، آمار سطح تراز آب زیرزمینی و همچنین تصاویر سنجنده OLI مربوط به لندست ۸ و لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متری مربوط به منطقه مورد مطالعه تهیه و از نرم افزارهای Arc GIS 10.4.1، ENVI(5.3) برای استخراج لایه‌ها استفاده شد. پس از انجام تحلیل‌هایی همچون تصحیح ژئومتریک و رادیومتریک، طبقه‌بندی و فیلترکردن بر روی داده‌های ماهواره‌ای، بر روی این تصاویر تفسیرهایی برای استخراج زمین شناسی منطقه، پوشش گیاهی، شیب، فاصله از آبراهه‌ها انجام گردید. در نرم افزار Arc GIS پایگاه داده مورد نظر نیز ساخته شد و با رقومی کردن نقشه‌های موجود، لایه‌های موثر در مکان‌یابی طرح تغذیه مصنوعی شامل: لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، عمق سطح ایستابی، ارتفاع، بافت خاک استخراج گردید. در نهایت لایه‌های اطلاعاتی مختلف با اعمال قضاوت کارشناسی به صورت نقشه-های معیار طبقه‌بندی شده و با توجه به درجه اهمیت هر کدام از پارامترها رتبه‌ای از ۱ تا ۹ داده شده و همچنین به هر لایه بر اساس اولویت در مکان‌یابی طرح تغذیه مصنوعی و با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن مناسب اختصاص داده شد و در نرم افزار Expert Choice محاسبه شد.

### بحث:

تخلیه منابع آب در شهرستان شیراز به صورت چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، قنات و چشمه صورت می‌گیرد که حجم قابل ملاحظه‌ای آب جهت مصارف کشاورزی و شرب از آن استحصال می‌شود. در این منطقه، با توجه به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، آبخوان‌ها به طور قابل توجهی با کسری مخزن روبرو هستند. بر همین اساس هیدروگراف آبخوان شیراز بعنوان مهمترین واحد آبرفتی در این محدوده رسم شده است (شکل ۲). مقدار افت سطح آب زیرزمینی در پایان دوره آماری در این آبخوان برابر با ۸.۱۲ و میانگین افت سالانه در طول دوره آماری در این منطقه برابر با ۰.۵۳ متر است.

هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی محدوده مطالعاتی (شیراز)

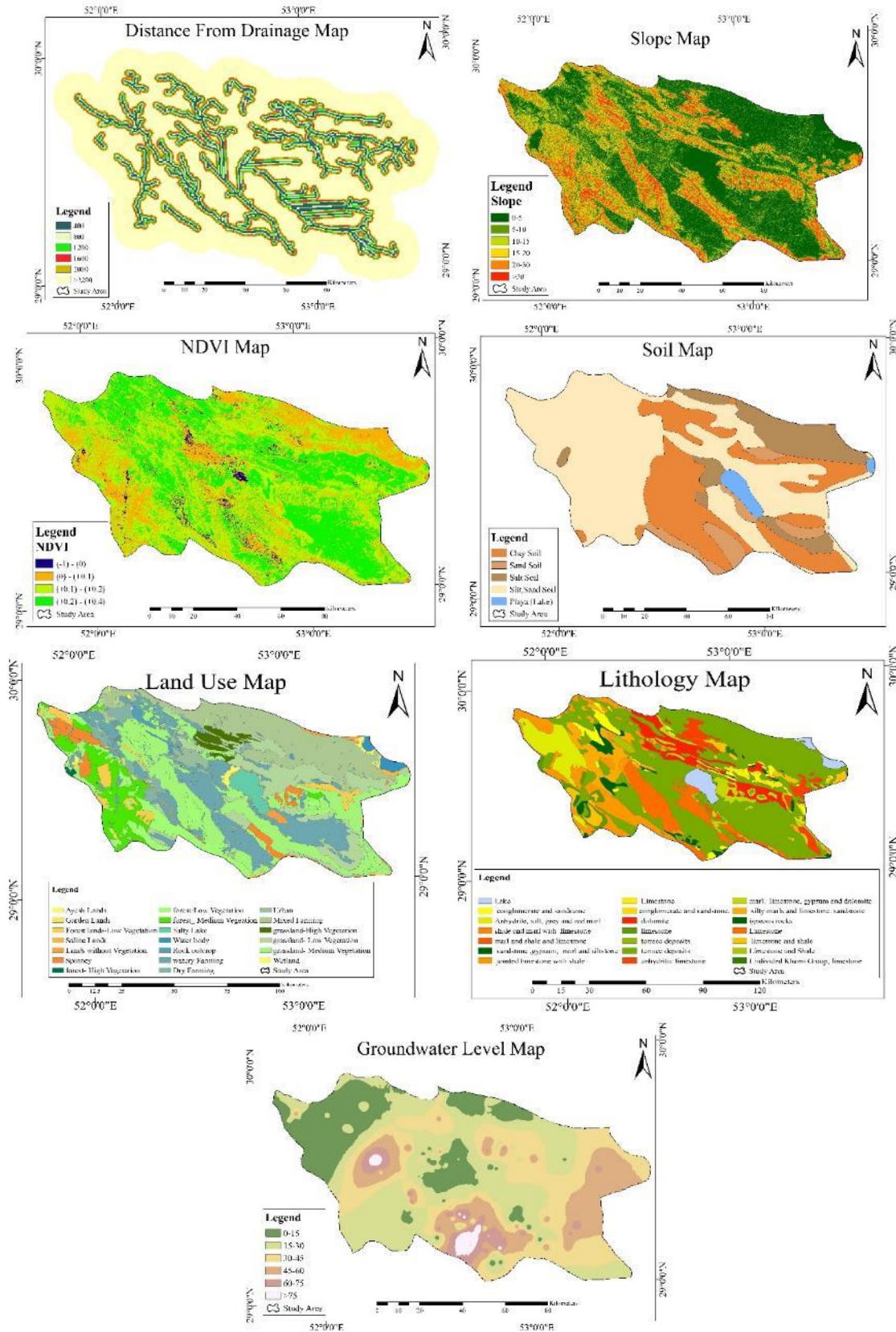


شکل ۲: هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی محدوده مطالعاتی شیراز

پارامترهای مختلفی برای انتخاب محل اجرای طرح وجود دارد که در این مطالعه با توجه به وضعیت منطقه و اطلاعات در دسترس هفت پارامتر اصلی انتخاب شده است. یکی از پارامترهای مهم توپوگرافی، شیب است که جهت جریان آب زیرزمینی و به دنبال آن گرادیان هیدرولیک و نواحی تغذیه و تخلیه را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. بدین ترتیب که معمولاً سطح ایستابی از شیب عمومی زمین تبعیت می‌کند. علاوه بر این میزان شیب تاثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری آب سطحی بیشتر (باتوجه به شرایط زمین‌شناسی) و میزان رواناب حاصله از بارش کمتر خواهد بود. معمولاً اراضی پهناور و مسطح که از نقطه نظر توپوگرافی هموار باشد محل مناسبی برای تغذیه مصنوعی می‌باشند (Kalantari et al., 2010). بطور کلی اکثر محققین شیب مناسب جهت تغذیه مصنوعی را بین یک تا ده درصد پیشنهاد نموده‌اند (ناصری و همکاران؛ ۱۳۸۸). شبکه آبراهه یکی از پارامترهای مهم در مکان‌یابی طرح‌های تغذیه مصنوعی است. زیرا الگو، بافت و چگالی شبکه آبراهه توسط لیتولوژی زیرسطحی کنترل می‌شود (کریمی و همکاران؛ ۱۳۹۰). علاوه بر این الگوی رودها منعکس‌کننده نسبت بین آب نفوذی بارش به رواناب سطحی می‌باشد. طرح تغذیه مصنوعی باید در نواحی اجرا شود که در فاصله مناسب از آبراهه‌هایی با رواناب کافی قرار گرفته باشند. با زیاد بودن فاصله نواحی شناسایی شده جهت اجرای طرح از رودخانه هزینه اجرای طرح بالا رفته و عملاً توجیه اقتصادی خود را از دست می‌دهد (وقار فرد و همکاران؛ ۱۳۹۶). همچنین اگر این فاصله کم باشد ممکن است که رودخانه به حالت زهکش درآمد و بیشتر آب تزریقی به درون زمین زهکشی نماید. نواحی که در فاصله ۴۰۰-۶۰۰ متری از آبراهه‌ها واقع شده‌اند، مناسب‌ترین مکان جهت اجرای پروژه تغذیه مصنوعی معرفی گردیدند (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۴). یکی دیگر از پارامترهای مهم در گزینش محل‌های تغذیه مصنوعی اطلاع از وضعیت سطح ایستابی منطقه می‌باشد. ماندآب‌های ایجاد شده در مناطق آبرفتی که سفره آزاد آب آنها نزدیک به سطح زمین بوده و مشکلات زیست محیطی حاصل از آن، اهمیت این عامل را نشان می‌دهد. این درحالی است که با زیاد شدن عمق سطح ایستابی بیش از حد، اجرای طرح تغذیه مصنوعی عملاً توجیه اقتصادی نخواهد داشت. به منظور تهیه مدل رقومی عمق تا سطح ایستابی از داده‌های پیزومترتری موجود منطقه استفاده گردید و با استفاده از Interpolate Raster مدل رقومی عمق سطح ایستابی بدست آمد. همانطور که شکل (۳) نشان می‌دهد بیشترین عمق آب زیرزمینی در قسمت‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه واقع شده است. در محدوده مطالعاتی عمق تا سطح ایستابی از ۱.۵ متر تا ۱۶۵ متر متغییر است. در مناطقی که به عنوان نواحی بسیار مناسب جهت اجرای تغذیه مصنوعی شناسایی شده‌اند

بین ۳۰-۱۵ متر در تغییر است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۰). آبخوان‌هایی با رسوبات دانه درشت از وضعیت هیدرولوژیکی مناسبی برخوردار هستند و ظرفیت ذخیره و آبدهی ویژه قابل توجهی دارند. با افزایش رسوبات دانه‌ریز در محیط آبخوان ضریب ذخیره و قابلیت آبدهی آبخوان کاهش پیدا می‌کند (chitsazan et al., 2015)). اجرای تکنیک‌های مختلف تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب متسلازم وجود گستره‌های مناسب از نظر کاربری اراضی می‌باشد به طوری که این پهنه‌ها بایستی به دور از تمرکز تالیسات، مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و باغی، رخنمون‌های سنگی، مرداب‌ها و شوره‌زار، مناطق کویری، دریاچه نمک و ... باشند. پس لزوم تهیه لایه کاربری اراضی کاملاً مشهود می‌باشد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۰). براساس تحقیقات و مطالعات انجام شده مناسب‌ترین مناطق برای تغذیه مصنوعی از نظر کاربری مراتع و عرصه آبخوان می‌باشند. مقدار نفوذ آب در زمین به بافت و ساختمان خاک بستگی دارد، به گونه‌ای که کم شدن مقدار نفوذ معمولاً بر اثر بسته شدن منافذ و خلل و فرج خاک‌ها اتفاق می‌افتد. خاک‌ها براساس ساختمان و بافت به گروه‌های ریزدانه، درشت دانه و متوسط دانه تقسیم می‌شوند. آبرفت‌های درشت دانه به دلیل داشتن ضریب تراوایی و ذخیره بالا می‌توانند به عنوان یکی از گزینه‌های خوب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی باشند. انجام پروژه‌های تغذیه مصنوعی و آبخوان‌داری در مراتع و زمین‌هایی امکان پذیر است که دارای پوشش گیاهی مناسب باشند. به عبارت دیگر مرتعی که دارای پوشش مناسب باشد علاوه بر نفوذ آب به داخل آبخوان به تغذیه سفره‌های زیرزمینی از فرسایش سطحی هم جلوگیری می‌نمایند. نقشه پوشش گیاهی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI بدست آمده است. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ است. مقادیر منفی (-۱) شاخص NDVI نشان‌دهنده پهنه آبی است مقادیر نزدیک به صفر (-۰.۱ تا +۰.۱) معمولاً نشان‌دهنده سطوح برهنه سنگی، ماسه‌ای یا برفی است. مقادیر پایین و مثبت شاخص (+۰.۲ تا +۰.۴) نشان‌دهنده پوشش درختچه‌ای و علفزار و مقادیر بالای (+۱) شاخص NDVI نشان‌دهنده جنگل‌های بارانی مناطق گرم و استوایی است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۰). این شاخص برای منطقه مورد مطالعه بین -۰.۰۷ تا +۰.۳ می‌باشد (شکل ۳). در روش‌های وزن‌دهی که به طور کلی برای تصمیم‌گیری‌های چند معیاره و با استفاده از دانش کارشناسی صورت می‌گیرد، شامل روش‌های رده‌بندی و مقایسه زوجی می‌باشد. ارزش کلاس‌های مختلف عوامل موثر بر مکان‌یابی اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر اساس تحقیقات قبلی موجود در این زمینه اختیار گردید که ارزش دهی‌های مورد استفاده تا حد بسیار زیادی با یکدیگر هم‌خوانی دارند (کریمی و همکاران؛ ۱۳۸۹، چغایی و همکاران، ۱۳۹۰؛ اقبالی و همکاران، ۱۳۹۶). در این مطالعه از مدل همپوشانی وزنی (Weighted Index Overlay Model) برای تلفیق و روی هم اندازی لایه‌ها استفاده گردید. این مدل شامل یک سیستم طبقه‌بندی عددی (Ranking) می‌باشد که متشکل از سه بخش وزن‌ها، بازه‌ها و نمره‌ها می‌باشد. در این مطالعه همانطور که اشاره گردید، از روش AHP برای وزن دهی استفاده شده است. به این صورت که هر یک از پارامترها براساس میزان تاثیرگذاری در امر مکان‌یابی نسبت به پارامتر دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته و وزنی (Weights) به آن اختصاص می‌یابد. علاوه بر این هر یک از پارامترها نیز به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند که هر یک از این بازه‌ها نیز بر اساس میزان اهمیت در امر مکان‌یابی، نسبت به بازه دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته و نمره‌ای به آن تعلق می‌گیرد. سپس لایه‌ها تلفیق شده و نهایتاً نواحی مناسب جهت اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی تعیین می‌گردد.

نقشه‌های پایه شیب، بافت خاک، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی، عمق آب‌زیرزمینی و پوشش گیاهی براساس روش AHP و با استفاده از GIS تلفیق شدند. منطقه مورد مطالعه به ۵ ناحیه تقسیم شد که از بسیار مناسب تا بسیار نامناسب طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۴). مساحت هر یک از ناحیه‌ها نیز در جدول ۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۳: لایه های مورد نیاز برای طرح تغذیه مصنوعی

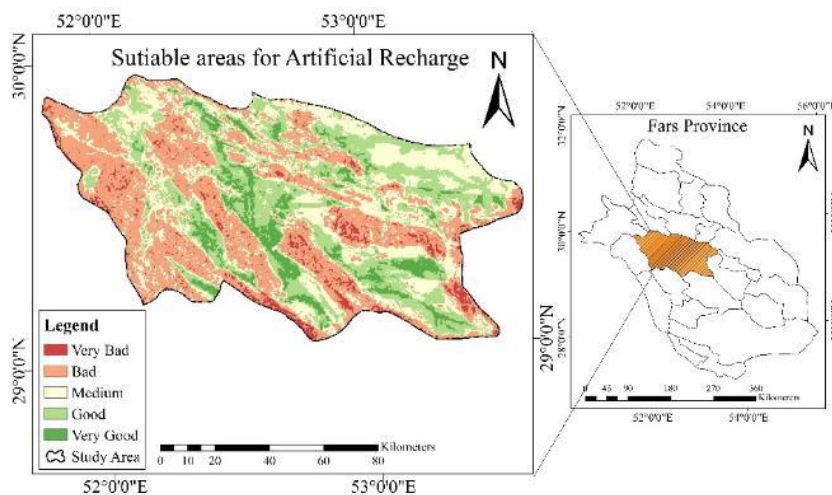


بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۱: وزن معیار و امتیاز هر لایه

وزن AHP	امتیاز	بازه/تیب	لایه	وزن AHP	امتیاز	بازه/تیب	لایه
۰,۱۶	۵	جنگل	کاربری اراضی	۰,۳۲	۹	۵-۰	شیب
	۳	اراضی دیم			۸	۱۰-۵	
	۱	مسکونی، فرودگاه، دریاچه			۷	۱۵-۱۰	
۰,۰۹	۹	مرتع	لیتولوژی	۰,۰۷	۵	۲۰-۱۵	عمق سطح ایستابی
	۷	رسوبات مخروطه افکنه‌ای			۳	۳۰-۲۰	
	۲	انیدریت، مارن			۱	>۳۰	
۰,۱۱	۵	رسوبات ماسه‌ای، سیلت، سنگ آهک و دولومیت	فاصله از آبراهه‌ها	۰,۰۲	۱	۱۵-۰	پوشش گیاهی
	۳	ماسه سنگ، و سنگ‌های			۹	۳۰-۱۵	
	۹	۴۰-۰			۷	۴۵-۳۰	
	۷	۸۰-۴۰			۵	۶۰-۴۵	
	۵	۱۲۰-۸۰			۳	۷۵-۶۰	
۰,۲۳	۳	۱۶۰-۱۲۰	درخت	۰,۲۳	۲	>۷۵	نوع خاک
	۲	۲۰۰-۱۶۰			۱	-۰-۱	
	۱	>۲۲۰			۳	+۰-۰,۱	
					۵	+۰,۲+۰,۱	
					۷	+۰,۴+۰,۲	
					۷	درشت	
					۵	درشت تا متوسط	
					۲	متوسط	
					۱	متوسط تا ریز	



شکل ۴: نقشه مکان‌یابی مناطق مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی

جدول ۲: مساحت طبقات مطلوبیت به روش AHP

طبقات مطلوبیت به روش AHP	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
بسیار نامناسب	۶۳۰	۵,۹
نامناسب	۳۴۴۴	۳۲,۷
متوسط	۳۰۳۳	۲۸,۵
مناسب	۲۳۲۶	۲۲,۳
بسیار مناسب	۱۰۷۳	۱۰,۶

نتیجه‌گیری:

شهرستان شیراز دارای دشت‌های نسبتاً حاصلخیز و آبخوان‌هایی با پتانسیل بالا می‌باشد. واحدهای آهکی سرچشمه بسیاری از منابع آب موجود در این شهرستان می‌باشد. منابع آب در این شهرستان به صورت چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، قنات و چشمه جهت مصارف گوناگون استحصال می‌شوند. برداشت بی‌رویه از این منابع بخصوص در سال‌های اخیر سبب پایین رفتن سطح

آب زیرزمینی به صورت گسترده در دشت‌های شهرستان شده است. راه‌های مختلفی برای تقویت منابع آبی وجود دارند که تغذیه مصنوعی یکی از بهترین روش‌ها به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. برای شناسایی مکان‌های مناسب جهت اجرای تغذیه مصنوعی از پارامترهای شیب، بافت خاک، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی، عمق آب‌زیرزمینی و پوشش گیاهی استفاده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود محدوده مورد مطالعه به ۵ ناحیه تقسیم شده که از؛ بسیار نامناسب تا بسیار مناسب طبقه‌بندی می‌شود. مناسب‌ترین پهنه‌ها جهت اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی در محدوده شهرستان شیراز عمدتاً در نواحی مرکزی و حوالی شهر شیراز و همچنین جنوب و جنوب شرقی شهرستان شیراز در نزدیکی شهر سروستان می‌باشد. همچنین در کل محدوده شهرستان شیراز حدود ۸۷۳ کیلومتر مربع در محدوده بسیار مناسب و حدود ۶۳۰ کیلومتر مربع در محدوده بسیار نامناسب جهت اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی می‌باشد.

#### منابع:

- ناصری، ح، عزیزخانی، م، مکنونی، س، ۱۳۸۸. تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی محل‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۳(۱۰)، صفحات ۹۵-۱۰۵.
- کریمی، ث، زارع، م، بهرامی، ز، ۱۳۹۰. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) دشت داراب، اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران ۴ تا ۵ خرداد ماه، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، صفحات ۸-۱.
- رئیزی اردکانی، ع، ۱۳۸۴. پارامترهای طراحی تغذیه مصنوعی حوضچه‌ای با هدف افزایش آبدهی قنات، کنفرانس بین‌المللی قنات، دانشگاه باهنر کرمان، کرمان.
- وقار فرد، ح، مقیم، ح، ۱۳۹۶. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب با استفاده از روش AHP و فناوری GIS مطالعه موردی منطقه نعیم آباد، استان فارس، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آب‌خیز، جلد ۱۰، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحات ۷۶۱-۷۷۲
- نسیمی، ع، زارع، م، ۱۳۹۴. مکان‌یابی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه آب‌خیز بوشکان براساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵ شماره ۱، صفحات ۱۴۱-۱۲۵.
- رحمتی، ا، نظرسامانی، ع، محمودی، ن، جویین، بهرام، ۱۳۹۶. ارزیابی کاربرد تکنیک شبکه‌بندی و روش AHP به منظور پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: حوضه آب‌خیز چم‌شور استان کردستان)، مرتع و آب‌خیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۰، شماره ۳، صفحات ۶۹۳-۶۸۱.
- ابراهیمی، ف، کرمی، غ، حافظی، ن، ۱۳۸۹. مکان‌یابی محل مناسب تغذیه مصنوعی در شهرستان شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود، سمنان.
- چقایی، س، معاضد، ه، برومندنسب، س، ۱۳۹۰. بررسی امکان اجرای طرح تغذیه مصنوعی برای جبران کسری مخازن آب زیرزمینی دشت کرمانشاه با استفاده GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- حکمت‌پور، م، ۱۳۸۳. بررسی شاخص‌های مناسب در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب، مطالعه موردی در حوضه آب‌خیز جاجرود منتهی به دشت ورامین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران ۱۱۲ص
- Chenini, I., Ben Mammou, A., El May, M., 2009. Groundwater Recharge Zone Mapping using GIS-Based Multi-criteria Analysis; A case study in central Tunisia (Maknassy Basin). *Water Resources Management* 24: 921-939.
- Ghayoumian, J., Mohseni Saravi, M., Feiznia, S., and Nouri, B., 2007. Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran. *J. Asian Earth Sci* 30: 346-374.
- Machiwal, D., Jha, M K., and Mal, B C., 2011. Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques. *J. Water Resourc. Manag.* 25(5): 1359-1386.

- Nagaraju, D., Nassery, H R., Adinehvandi, R., 2012. Determine Suitable Sites for Artificial Recharge Using Hierarchical Analysis (AHP), Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS). International Journal of Earth Sciences and Engineering, 5 (1): 1328-1335.
- Schuh, W.M., 1990. Seasonal variation of clogging of an artificial recharge basin in a northern climate, J. Hydrol, 121:193-215
- Kalantari, N., et al. 2010. Site selection and cost-benefit analysis for artificial recharge in the Baghmalek plain, Khuzestan Province, southwest Iran. J. Hydrogeol. 18: 761-773.
- Asano, T. 1985. Artificial recharge of groundwater. Boston, MA, USA: Butterworth Publishers.
- Chitsazan, M. and Movahedian, A. 2015. Evaluation of artificial recharge on groundwater using MODFLOW model (Case Study: Gotvand Plain-Iran). Journal of Geoscience and Environment Protection. 3(5):122-132.

## نقش تغییر الگوی هیدروژئولوژیکی در بحران آبی دریاچه‌های طشک و بختگان

مرضیه کعبه<sup>۱</sup>، محسن رضایی<sup>۲\*</sup>، زرغام محمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، بخش علوم زمین دانشگاه شیراز

<sup>۲</sup> استاد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز

mohsen-rezaei@shirazu.ac.ir

### چکیده:

دریاچه‌های بختگان و طشک از جمله دریاچه‌های بحرانی ایران به شمار می‌روند که تحت تأثیر خشکسالی‌های اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب، در معرض نابودی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی اهمیت تغییر الگوی هیدروژئولوژیکی در خشکی دریاچه‌های طشک و بختگان، مطالعات هیدروژئولوژی و بیلان در هفت آبخوان پیرامون دریاچه‌ها انجام شده است. در این مطالعه از نقشه‌های زمین‌شناسی، آمار منابع آب، اطلاعات شبکه چاه‌های مشاهده‌ای و مطالعات اکتشافی استفاده گردید. جهت بررسی تغییرات مساحت دریاچه طی ۳۰ سال گذشته، تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ پردازش شده است. نقشه‌های هم‌پتانسیل نشان‌دهنده معکوس شدن جهت جریان از روند طبیعی است و نتایج محاسبات بیلان نشان داد که سالانه حداقل ۴/۸۵ میلیون متر مکعب از آب دریاچه وارد آبخوان‌ها می‌گردد. محاسبات بیلان دریاچه نیز نشان داد که در دراز مدت ورودی آب‌های سطحی به دریاچه تقریباً با مقدار تبخیر از سطح دریاچه برابر بوده است. به صورت طبیعی بقای دریاچه در طولانی مدت به دلیل تغذیه مداوم از آبخوان‌های پیرامون بوده است که اکنون با تغییر الگوی هیدروژئولوژیکی از دست رفته است. مطالعات سنجش از دور (با استفاده از شاخص NDWI) نیز روند خشک شدن دریاچه را نشان داد. در سال‌های اخیر و با افزایش نرخ برداشت از آب زیرزمینی روند خشک شدن دریاچه‌ها با سرعت بیشتری اتفاق افتاده است.

کلیدواژه: دریاچه بختگان، طشک، ارتباط آب زیرزمینی و سطحی، بیلان، NDWI

## The Role of the Hydrogeological Regime Change on the Water Crisis of Tashk and Bakhtegan lakes

Marzie Kaabe<sup>1</sup>; Mohsen Rezaei<sup>2,\*</sup>; Zargham Mohammadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD student of hydrogeology, Department of Earth Sciences, Shiraz University

<sup>2</sup> Professor of Hydrogeology, Department of Earth Sciences, Shiraz University

### Abstract

Bakhtegan and Tashk Lakes which are critical lakes in Iran have been affected by the recent drought and excessive extraction of water resources. To evaluate the importance of the hydrogeological regime change on the gradual death of Tashk and Bakhtegan lakes, hydrogeological and water budget investigations have been prepared in seven adjacent aquifers. Geological maps, available data of water resources, groundwater observation wells data, and exploration wells information have been used to study the interaction of lake-groundwater aquifers. Landsat 5, 7, and 8 images have been processed to examine changes in the area lakes during the past 30 years. Based on the iso-potential map of the 7 adjacent aquifers, the flow direction of groundwater is reversed and a part of the lake water flows to the surrounding aquifers. The results of the water budget showed that at least 4.85 MCM of water

from lakes enters the adjacent aquifers annually. Lake's water budget also indicated that the inflow of surface water into the lakes was approximately equal to the amount of evaporation from the lakes in the long term. Due to the change of the hydrogeological regime, the constant recharge of lakes from the adjacent aquifers has been lost. Remote sensing (using the NDWI index) also demonstrates the drying process of the lakes. In recent years, with the increased overexploitation of groundwater, the process of drying lakes has occurred more rapidly.

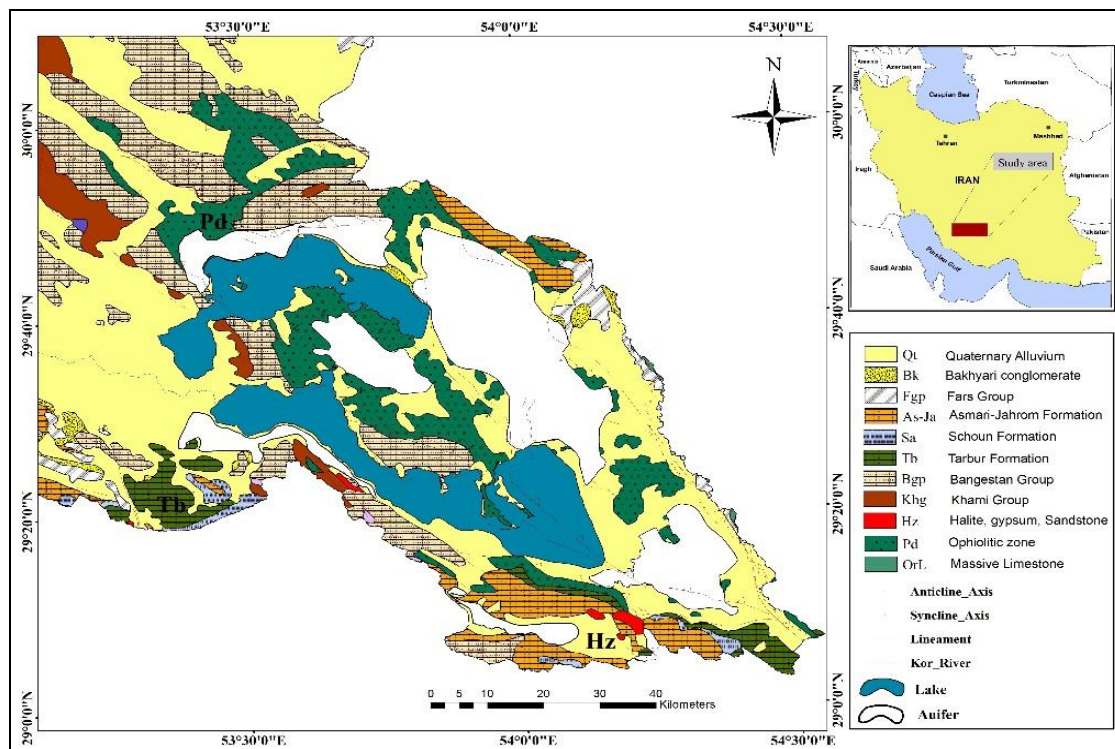
#### مقدمه:

امروزه خشک شدن دریاچه‌ها به عنوان بحران مهمی در مباحث محیط زیست و بیلان آب مطرح شده است. فعالیت‌های انسانی در مقیاس جهانی دریاچه‌ها را تغییر داده است و بیش از نیمی از دریاچه‌های جهان در ۱۵۰ سال اخیر تغییر یافته، کوچک شده و یا از بین رفته‌اند (Gardner et al., 2015). بررسی تعامل میان آب‌های زیرزمینی و سطحی، یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه ریزی برای احیای دریاچه‌ها می‌باشد. آب‌های زیرزمینی و منابع سطحی در مباحث فیزیوگرافی به عنوان یک سیستم واحد پیچیده و در عین حال به هم پیوسته شناخته می‌شوند (Brunner et al., 2009; Owor et al., 2011; Shaw et al., 2013). ارزیابی رفتار هیدرولیکی میان منابع زیرزمینی و سطحی از جمله عوامل مهم در درک فرآیند هیدروشمیایی، تنوع-پذیری زیستی دریاچه‌ها و همچنین حفاظت و مدیریت مؤثر این منابع می‌باشد (Triado-Conde et al., 2019). روش‌های متعددی برای بررسی ارتباط میان آب سطحی و زیرزمینی انجام شده است که می‌توان از روش‌های هیدروژئولوژیکی و بیلان، ارزیابی هیدروشمیایی و ایزوتوپی، مدل‌های ریاضی و مطالعات آماری برای شناسایی ارتباط میان این منابع نام برد (Cremeans et al., 2018; Zhu et al., 2019; Cai et al., 2020). تعامل میان دریاچه‌ها و آب زیرزمینی تا حد زیادی به آب و هوا، توپوگرافی منطقه، زمین‌شناسی و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان (مانند شیب هیدرولیکی، هدایت هیدرولیکی، نفوذپذیری بستر تالاب)، موقعیت ژئومورفولوژیکی و عوامل انسانی وابسته است (Safaeq and Fares, 2016; Javadzade et al., 2020). با توجه به نامشخص بودن نرخ مبادله آب زیرزمینی نسبت به سایر عوامل ورودی در محاسبات بیلان، هتروژنی فضایی و مکانی نرخ تبادل میان آب زیرزمینی و منابع سطحی و همچنین در دسترس نبودن داده‌های مورد نیاز، توصیف نقش آب زیرزمینی در احیای دریاچه‌ها نسبت به جریان‌های سطحی ورودی پیچیده‌تر می‌باشد (Rosenberry et al., 2015). دریاچه‌های طشک و بختگان از جمله دریاچه‌های بحرانی ایران به شمار می‌روند که در سال‌های اخیر، عدم مدیریت صحیح منابع آبی و همچنین خشکسالی‌های اخیر، کاهش سطح آب دریاچه و حتی خشک شدن آن را در پی داشته است. برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های مجاور، سبب بهم ریختگی الگوی طبیعی جریان و پیشروی آب شور دریاچه به آبخوان‌های مجاور و در نهایت مرگ تدریجی دریاچه بختگان گردیده است. در واقع عدم توجه به منابع زیرزمینی و برداشت بی‌رویه از آن‌ها عامل مهمی در از بین رفتن تراز لازم برای احیای دریاچه بختگان به شمار می‌رود. هدف از این مطالعه بررسی نقش تغییر الگوی هیدروژئولوژیکی و ارزیابی مؤلفه‌های بیلان جهت برآورد حجم ارتباط هیدرولیکی بین دریاچه و آبخوان‌های مجاور، در راستای شناخت و بهبود وضعیت دریاچه طشک و بختگان می‌باشد.

#### روش مطالعه:

حوضه طشک-بختگان، با مساحتی حدود ۳۱۴۵۱/۸ کیلومتر مربع در جنوب استان فارس واقع شده و به عنوان بخشی از حوضه آبریز فلات مرکزی محسوب می‌گردد. دریاچه بختگان، دومین دریاچه بزرگ ایران به شمار می‌آید. میانگین بارندگی سالانه‌ی ۱۰۵ میلی‌متری و متوسط دمای ۱۹ درجه سانتی‌گراد، قرارگیری منطقه مورد مطالعه را در اقلیم خشک و نیمه

خشک نشان می‌دهد. مساحت دریاچه تابعی از بارندگی می‌باشد به گونه‌ای که در دوره‌های خشک دریاچه طشک و بختگان به صورت مجزا از هم واقع می‌شوند و در سال‌های پرباران گسترش یافته و به هم می‌پیوندند (Vahidipour et al., 2021). تنها رودخانه‌های دائمی در این حوضه رودخانه کر و سیوند می‌باشد. این رودخانه‌ها فقط در تعداد معدودی از محدوده‌های مطالعاتی جریان داشته و بخشی از نیاز آبی این مناطق را تأمین می‌نمایند. لازم به ذکر است، به جز سیلاب سال ۹۶-۱۳۹۵ آبی از طریق رودخانه کر وارد دریاچه نشده است (گزارش انجام مطالعات نیاز آبی بختگان، ۱۳۹۷). مهم‌ترین منبع تأمین آب-های مورد نیاز برای مصارف کشاورزی، صنعت و آشامیدنی در اغلب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه‌های طشک و بختگان، آب زیرزمینی می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، برداشت بیش از میزان پتانسیل آب‌های زیرزمینی، موجب گردیده که تعدادی از دشت‌های موجود شامل ممنوعیت بهره‌برداری شده و در تعدادی از دشت‌ها نیز شرایط بحرانی حاکم گردد. حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان از نظر جایگاه زمین شناسی بر مبنای تقسیم بندی رسوبی- ساختمانی ایران در زاگرس مرتفع واقع شده است. فشارهای تکتونیکی حاصل از برخورد دو خشکی ایران مرکزی و عربستان شکستگی‌های متعددی را در محدوده مورد مطالعه موجب گردیده‌اند، که سیمای ساختمانی فعلی این منطقه از جمله ایجاد چین‌های متعدد، رورانده‌ها، فروافتادگی‌ها و فرونشست‌هایی مثل دریاچه‌های داخلی و حوضه‌های بسته را به وجود آورده‌اند. بیشتر قسمت‌های غربی، شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه شامل سازندهای کارستی (خانه‌کت، نی‌ریز، سورمه، فهلیان، داریان، سروک، تاربور و آسماری جهرم) و قسمت‌های شرقی و مرکزی شامل سنگ‌های افیولیتی می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی ایران، ۲۰۰۲). دریاچه-های طشک و بختگان و همه آبخوان‌های ساحلی مجاور آن‌ها در نهشته‌های آبرفتی کواترنری واقع شده اند (Stocklin and Setudehnia, 1977). همچنین چاه‌های بهره برداری و کاربری اراضی عمدتاً در گستره‌ی این نهشته‌ها قرار دارد. واحدهای آهکی اطراف آبخوان‌های مجاور دریاچه به دلیل نفوذپذیری بالا، نقش مؤثری در تغذیه آبخوان‌های آبرفتی دارند. شکل (۱) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و جایگیری هفت آبخوان مجاور دریاچه‌های بختگان و طشک را نشان می‌دهد.



شکل ۲۷: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی هیدروژئولوژیکی دریاچه طشک-بختگان و بررسی ارتباط هیدرولیکی میان آبخوان‌های مجاور دریاچه از روش‌های هیدروژئولوژیکی و بیلان و همچنین از داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده است. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها عمدتاً بر پایه تحلیل داده‌های سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان می‌باشد؛ بدین منظور از آمار و اطلاعات اندازه‌گیری سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای حفر شده در جهت بررسی‌های کمی آبخوان‌های حاشیه دریاچه‌های طشک و بختگان استفاده شده است. از مهم‌ترین ارزیابی‌های کمی انجام شده در این پژوهش می‌توان به ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل جهت بررسی جریان آب زیرزمینی و گرادیان هیدرولیکی و محاسبه بیلان آبی اشاره کرد. در این پژوهش با هدف بررسی تغییرات سطحی آب دریاچه، از شاخص NDWI به منظور تفکیک پهنه آبی از خشکی استفاده شده است. NDWI یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تفکیک آب‌های سطحی می‌باشد که از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک (NIR) برای جداسازی آب از خشکی استفاده می‌کند (Xu, 2006). آستانه تفکیک آب در بسیاری از مطالعات ۰/۳ و در برخی دیگر ۰/۵ بدست آمده است (معادله ۱).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad \text{معادله ۱-}$$

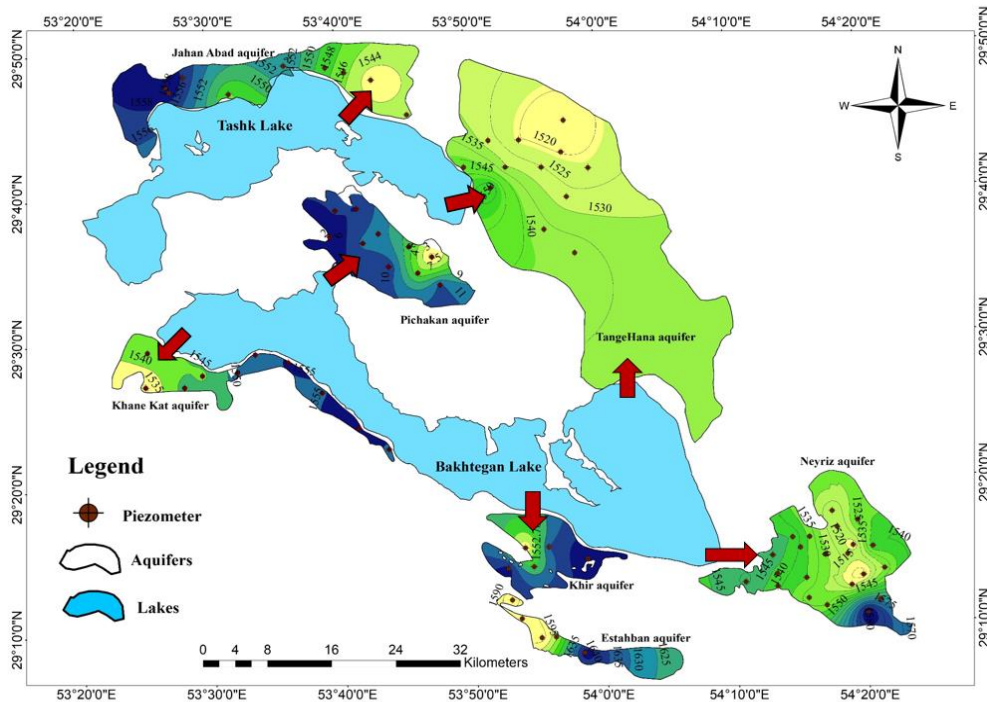
از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ده ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ در ماه فروردین (مارس-آوریل) استفاده شده است. در تمامی تصاویر تهیه شده پارامترهای Land Cloud Cover و Scence Cloud Cover ۵ درصد انتخاب شده‌اند. از روش ترکیب باندی برای ادغام باندها و سپس به منظور یکی کردن تصاویر رستری مختلف از روش موزاییک استفاده گردید. برای روش NDWI در محیط برنامه ArcGIS 10.5 با وارد کردن رابطه بین باندی آب از خشکی، جدا گردیده و مساحت دریاچه در سال‌های مختلف محاسبه شده است.

#### بحث:

##### ۱- مطالعات هیدروژئولوژیکی

##### ۱-۱- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل

جهت جریان آب زیرزمینی در شرایط طبیعی در یک حوضه بسته هیدرولوژیکی به گونه‌ای است که دریاچه‌ها منتهی الیه جریان آب در آبخوان‌ها بوده و قاعداً باید از طرف آبخوان‌ها مجاور تغذیه گردند. بررسی‌های هیدروژئولوژیکی نقشه هم‌پتانسیل آبخوان‌های آبرفتی مجاور دریاچه طشک و بختگان، حاکی از وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌ها و دریاچه بوده است. اگرچه این ارتباط در بسیاری از آبخوان‌ها روند طبیعی خود را از دست داده و جریان آب زیرزمینی روند معکوسی یافته است. شکل (۲) ارتباط هیدرولیکی بین ۷ آبخوان مجاور با دریاچه را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل، آبخوان‌ها در بخش‌های مختلف توسط واحدهای آهکی گروه بنگستان، سازند آسماری-جهرم و آهک‌های سازند تارپور تغذیه می‌شوند؛ این در حالی است که در بعضی از آبخوان‌ها، رخداد معکوس‌شدگی جریان مشاهده شده و آب از دریاچه وارد آبخوان‌ها می‌گردد. به جز آبخوان استهبان در تمامی آبخوان‌های مجاور (شامل آبخوان آبرفتی آباده طشک-جهان‌آباد، خیر، نیریز، تنگ‌حنا، پیچکان و خانه‌کت) این ارتباط هیدرولیکی مشاهده شده است. در واقع در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها، باعث بهم ریختگی الگوی طبیعی جریان گردیده و آبی که تغذیه کننده دریاچه بوده اکنون روند معکوسی دارد به طوریکه پیشروی آب شور دریاچه‌ها به آبخوان‌های مجاور و درنهایت خشک شدن دریاچه‌ها را در پی داشته است که این موضوع به عنوان چالش بسیار مهمی در شرایط هیدروژئولوژیکی و زیست محیطی دریاچه‌ها شناخته می‌شود.



شکل ۲: نقشه هم‌پتانسیل آبخوان‌های مجاور دریاچه طشک و بختگان

## ۲-۱-۲- بیان

جهت بررسی هرچه دقیق‌تر و روشن‌تر وضعیت آبخوان‌های حاشیه دریاچه‌های طشک و بختگان، بیان اجمالی آن‌ها با استفاده از معادله (۲) محاسبه شده و با توجه به موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در هر آبخوان، مساحت محدوده بیان و تغییرات حجم مخزن نیز محاسبه گردیده است. تدقیق ضرایب هیدرودینامیکی بر اساس اطلاعات لاگ‌های زمین‌شناسی پیزومترهای حفر شده و بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان‌ها نیز انجام گردید.

$$[Q_{in} + Q_p + Q_R + Q_I] - [Q_{out} + Q_{EX} + Q_{ET} + Q_D] = \pm \Delta V \quad \text{معادله ۲-}$$

$Q_{in}$ : میزان جریان‌های ورودی به محدوده بیان،  $Q_p$ : میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوی،  $Q_R$ : حجم نفوذ مؤثر حائل از جریان‌های سطحی،  $Q_I$ : جریان آب برگشتی از آبیاری باغات و زمین‌های کشاورزی و شرب و صنعت،  $Q_{out}$ : میزان جریان‌های خروجی از محدوده بیان،  $Q_{EX}$ : میزان آب تخلیه شده توسط چاه‌ها،  $Q_{ET}$ : مقدار آب تبخیرشده از سفره آب زیرزمینی،  $Q_D$ : مقدار آب زهکش شده از سفره آب زیرزمینی،  $\pm \Delta V$ : تغییرات حجم ذخیره سفره آب زیرزمینی در محدوده بیان

جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی در آبخوان‌ها در صورت وجود شبکه پیزومتریک و ضریب قابلیت انتقال با استفاده از معادله داریسی قابل محاسبه است. حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی توسط فرمول زیر محاسبه گردیده است (معادله ۳).

$$Q = L \times T \times I \times t \quad \text{معادله ۳-}$$

مقادیر ورودی و خروجی جهت محاسبه بیان برای تمامی آبخوان‌ها انجام گردید و به منظور برآورد ارتباط میان آبخوان و دریاچه از نتایج آن استفاده گردید. نتایج اجزاء کلی بیان آب زیرزمینی در آبخوان‌های مجاور دریاچه‌ها و همچنین ارتباط



هیدرولیکی بین ۷ آبخوان مجاور را با دریاچه‌های طشک و بختگان در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به نتایج بیلان کسری مخزن در تمامی آبخوان‌ها مشاهده می‌گردد که ناشی از برداشت بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی می‌باشد. حجم بهره‌برداری از آبخوان مهم‌ترین مؤلفه خروجی آب زیرزمینی در تمامی آبخوان‌های مجاور دریاچه‌ها شناخته شده است.

جدول ۴: مقادیر کسری مخزن و تغذیه از دریاچه آبخوان‌های مجاور دریاچه‌های طشک و بختگان

بیلان	جهان‌آباد	خیر	استهبان	نیریز	تنگ‌حنا	پیچکان	خانه‌کت	مجموع کسری مخزن آبخوان‌ها
میزان کسری مخزن	-۱۷/۵۸	-۹/۸۲	-۴/۷۰	۵/۵۵	-۵۲/۲۲	-۰/۸۷	-۹/۱۷	-۸۸/۸۱
تغذیه از دریاچه	۰/۲۱	۰/۱۲	-	۲/۵	۱/۳۶	۰/۵۵	۰/۰۶	۴/۸۵

به جز آبخوان استهبان که هیچ ارتباط زمین شناسی و هیدرولیکی مستقیم با دریاچه‌های مورد مطالعه ندارد، در مجموع سایر آبخوان‌ها سالانه به میزان حدود ۴/۸۵ میلیون مترمکعب از دریاچه تغذیه و ۰/۳ میلیون متر مکعب از آبخوان‌ها به دریاچه تخلیه می‌شوند. این نتایج حاکی از این می‌باشد که ارتباط معکوس هیدرولیکی بین دریاچه‌ها و آبخوان‌های مجاور ارتباط مشخص و مستقیمی با میزان بارندگی در این منطقه نداشته است.

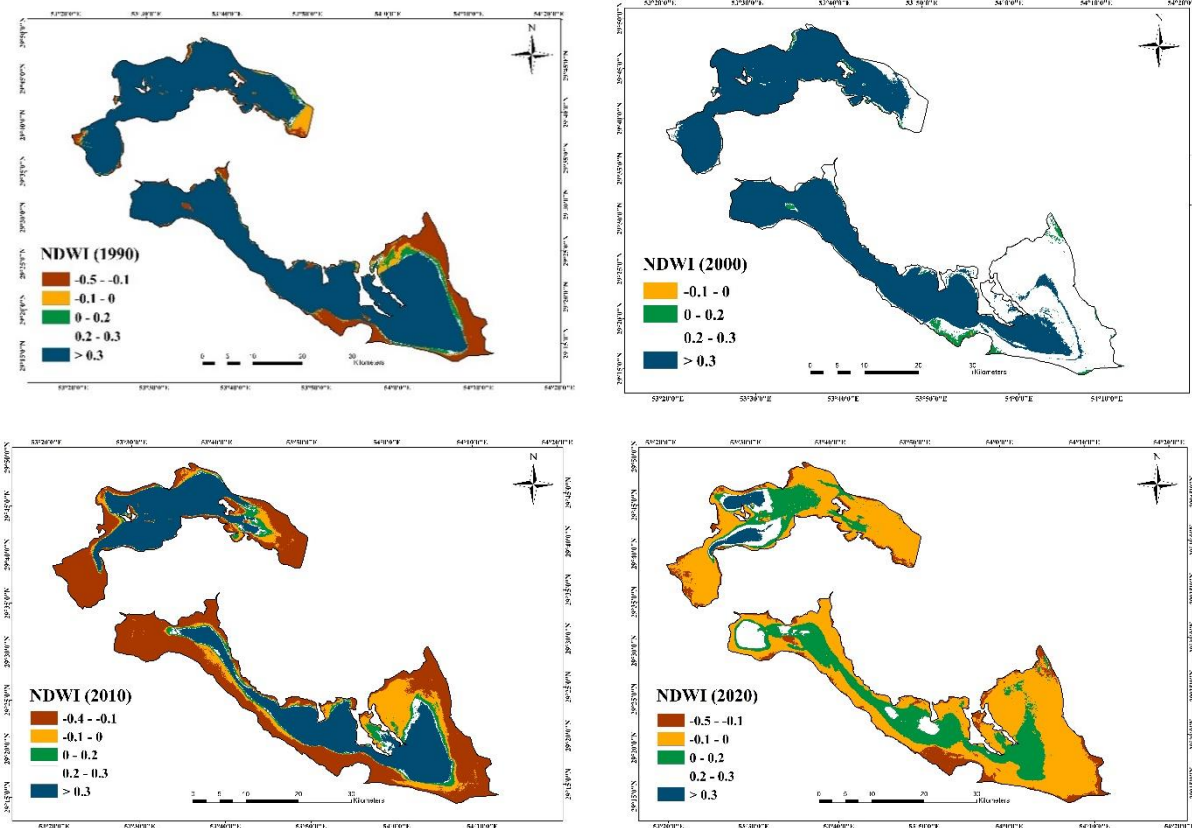
### ۳-۱- مطالعات سنجش از دور

به منظور تفکیک آب سطحی (دریاچه طشک و بختگان) از پهنه‌های غیر آبی از روش NDWI استفاده شده است. NDWI تنها روشی از سنجش از دور است که باندهای استفاده شده در آن در تمامی حسگرهای لندست موجود می‌باشد. شکل (۳) مساحت دریاچه را در بازه‌های زمانی ده ساله ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. در این تحقیق از تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ استفاده شده است. با توجه به قطعیت بالای وجود آب در سد درودزن، برای تعیین حد آستانه منطقه مطالعاتی از سد درودزن استفاده گردید و با مقایسه هم‌زمان تصاویر مربوط به یک زمان مشخص سد درودزن و دریاچه‌های طشک و بختگان صحت مقدار عددی آستانه مورد بررسی قرار گرفته است. به این ترتیب حد آستانه برای دریاچه طشک و بختگان مقدار ۰/۳ در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است، مقادیر ۰-۰/۲ نشان‌دهنده مناطق پوشش گیاهی می‌باشد. با توجه به شکل (۳) خشک شدن دریاچه بختگان از بخش جنوبی شروع شده است به گونه‌ای که دریاچه در ابتدا در این نواحی آب خود را از دست می‌دهد و در ادامه بخش میانی و در نهایت قسمت‌های شمالی خشک شده‌اند. خشک شدن دریاچه طشک از طرفین آغاز شده و در نهایت در سال ۲۰۲۰ بخش میانی حاوی مقداری آب می‌باشد. مطابق با تصاویر ماهواره‌ای پرآب ترین زمان دریاچه طشک و بختگان مربوط به سال ۱۹۸۷ بوده و در سال ۲۰۲۰ دریاچه بختگان به طور کامل خشک شده است و تنها حدود ۳۵ کیلومتر مربع از

دریاچه طشک دارای آب می‌باشد و بخش اعظم آن خشک شده است. جدول (۲) مقادیر مساحت را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۲: مساحت دریاچه طشک و بختگان در سال‌های آبی مختلف

سال آبی	بختگان (Km <sup>2</sup> )	طشک (Km <sup>2</sup> )	سال آبی	بختگان (Km <sup>2</sup> )	طشک (Km <sup>2</sup> )
۱۹۹۰	۶۱۶/۹۰	۳۹۴/۱۷	۲۰۱۵	۰	۰
۲۰۰۰	۴۳۵/۰۱	۳۸۸/۲۶	۲۰۱۷	۰	۵۰/۲۷
۲۰۱۰	۲۵۸/۱۴	۲۰۹/۶۷	۲۰۱۹	۰	۲/۷۶
۲۰۱۳	۰	۰	۲۰۲۰	۰	۳۵/۸۰



شکل ۲: تغییرات سطح آبی دریاچه طشک و بختگان در سال‌های مختلف با استفاده از روش NDWI

### نتیجه گیری:

با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های مجاور دریاچه‌های طشک و بختگان، در سال‌های اخیر جهت جریان طبیعی و نرمال از آبخوان‌ها به دریاچه‌ها معکوس شده و آب از دریاچه‌ها به آبخوان‌های مجاور وارد شده است. به نظر می‌رسد بخش عمده‌ای از جریان آب زیرزمینی که در دراز مدت موجب بقای دریاچه بوده است، با افزایش بهره‌برداری بی‌رویه از دست رفته است. مطابق با نتایج بیلان، با گذشت زمان، حجم آب نفوذیافته از دریاچه به آبخوان‌ها در حال افزایش است؛ که می‌تواند معلول برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و بالتبع افزایش روند معکوس جریان از دریاچه به آبخوان‌های مجاور آن باشد. محاسبات بیلان آبخوان‌های مجاور نشان می‌دهد که سالانه ۴/۸۵ میلیون متر مکعب آب از دریاچه‌ها به سمت آبخوان‌های مجاور وارد می‌گردد؛ که از آن می‌توان به عنوان عاملی در خشکی دریاچه نام برد. نتایج اجزاء کلی بیلان آب زیرزمینی در آبخوان‌های مجاور دریاچه‌ها حاکی از کسری مخزن بوده که به ترتیب در آبخوان‌های جهان‌آباد، خیر، استهبان، نیریز، تنگ‌حنا، پیچکان و خانه کت برابر با ۱۷/۵۸-، ۹/۸۲-، ۴/۷۰-، ۵/۵۵، ۵۲/۲۲-، ۰/۸۷- و ۹/۱۷- میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. آب برگشتی کشاورزی به عنوان مهم‌ترین مؤلفه ورودی در تمام آبخوان‌ها به جز آبخوان نیریز و پیچکان مشاهده می‌شود. در آبخوان نیریز ورودی آب زیرزمینی و در پیچکان حجم آب نفوذیافته از نزولات جوی مهم‌ترین مؤلفه ورودی به آبخوان‌های مذکور می‌باشد. حجم بهره‌برداری از آبخوان نیز مهم‌ترین مؤلفه خروجی آب زیرزمینی در تمامی آبخوان‌های مجاور دریاچه شناخته شده است. با توجه به نتایج بیلان، کسری مخزن در همه‌ی آبخوان‌ها از وضعیت بحرانی آب زیرزمینی خبر می‌دهد که نیاز به مدیریت هرچه بهتر منابع آب خواهد داشت. نتایج حاصل از سنجش از دور نیز روند سریع و شارپ خشک شدن دریاچه را در دهه اخیر نشان می‌دهد که از جمله مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و هیدرولیکی می‌باشد. علاوه بر این با توجه به روند معکوس جریان آب از دریاچه‌ها به آبخوان و پیشروی آب شور، به منظور پیشگیری از روند تخریب کیفی آبخوان‌ها پیشنهاد می‌گردد، اقدامات لازم جهت کاهش نرخ بی‌رویه برداشت انجام پذیرد.

### منابع:

پورقاسمی ح، وزیرزاده آ، ۱۳۹۷، انجام مطالعات نیاز آبی تالاب بختگان، اداره کل حفاظت محیط زیست استان فارس.

Brunner, P., Simmons, C.T. & Cook, P.G., 2009. Spatial and temporal aspects of the transition from connection to disconnection between rivers, lakes and groundwater. *J. of Hydrol.* 376, 159–169.

Cai Z., Wang W., Zhao M., Ma Z., Lu Ch., Li Y., 2020. "Interaction between Surface Water and Groundwater in Yinchuan Plain". *J of Water.*

Cremeans, M.M., Devlin, J.F., McKnight, U.S., & Bjerg, P. L., 2018. Application of new point measurement device to quantify groundwater surface water interactions. *Contaminant Hydrology*, 211, 85– 93. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.03.010>

Gardner, B., 2015., "A Review and Analysis of the Use of 'Habit' in Understanding, Predicting and Influencing Health-Related Behaviour." *Health Psychology Review* 9(3):277–95.

Geological Survey of Iran, 2002. Report of Arsanjan Sheet (scale: 1/100000).

- Javadzade H., Ataie-Ashtiani B., Hosseini M., Simmons C. T., 2020." Interaction of lake-groundwater levels using cross-correlation analysis: A case study of Lake Urmia Basin, Iran" J. of .Science of the Total Environment.
- Owor, Michael, Richard Taylor, Christine Mukwaya, and Callist Tindimugaya, 2011. "Groundwater/Surface-Water Interactions on Deeply Weathered Surfaces of Low Relief: Evidence from Lakes Victoria and Kyoga, Uganda." *Hydrogeology Journal* 19(7):1403-20.
- Rosenberry, D.O., Lewandowski, J., Meinikmann, K., Nützmann, G., 2015. Groundwater - the disregarded component in lake water and nutrient budgets. Part 1: effects of groundwater on hydrology. *Hydrological Processes*, 29, 2895-2921.
- Safeeq, M., & Fares, A., 2016. Groundwater and surface water interactions in relation to natural and anthropogenic environmental changes. In *Emerging Issues in Groundwater Resources* (pp. 289-326). Springer, Cham.
- Shaw, G.D., White, E.S., & Gammons, C.H., 2013. Characterizing groundwater-lake interactions and its impact on lake water quality. *Journal of Hydrology*, 492, 69-78.
- Stocklin, J., Setudehnia, A., 1977. Stratigraphic lexicon of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Tirado-Conde, Joel, Peter Engesgaard, Sachin Karan, Sascha Müller, and Carlos Duque. 2019. "Evaluation of Temperature Profiling and Seepage Meter Methods for Quantifying Submarine Groundwater Discharge to Coastal Lagoons: Impacts of Saltwater Intrusion and the Associated Thermal Regime." *Water (Switzerland)* 11(8).
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*.  
<https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Zhu M., Wang Sh., Kong X., Zheng W., Feng W., Zhang X., Yuan R., Song X., Sprenger M., 2019."Interaction of Surface Water and Groundwater Influenced by Groundwater Over-Extraction, Waste Water Discharge and Water Transfer in Xiong'an New Area, China". *Journal of Water*.

## بررسی علل شوری آب تالاب بین المللی امیرکلاویه، استان گیلان

مائده رحیمی<sup>۱</sup>، مهدی زارعی<sup>۱\*</sup>، بهنام کشاورزی<sup>۱</sup>، رضا گلشنی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه شیراز، دانشکده علوم، بخش علوم زمین

<sup>۲</sup>آسازمان حفاظت محیط زیست کشور

zareim@shirazu.ac.ir

### چکیده:

تالاب بین المللی امیرکلاویه در شمال کشور و در استان گیلان واقع شده است. این تالاب جزو تالاب های ثبت شده در کنوانسیون رامسر می باشد لذا حفاظت از آن از نظر کمی و کیفیت دارای اهمیت زیادی می باشد. تالاب امیر کلاویه به دلیل نزدیکی به دریای خزر و همچنین بهره برداری گسترده از آب زیرزمینی و فعالیت های کشاورزی در مجاورت آن در معرض کاهش کیفیت آب قرار دارد. در این پژوهش با هدف شناسایی علل شوری و کاهش کیفیت آب تالاب ۴۱ نمونه از آب تالاب و منابع آب سطحی و زیرزمینی مجاور آن برداشته شده و جهت آنالیز شیمیایی یونهای محلول به روش کروماتوگرافی یونی به آزمایشگاه ارسال شده است. همچنین پارامترهایی صحرایی هدایت الکتریکی، pH و دما در محل اندازه گیری شده است.

نتایج این پژوهش نشان می دهد که شوری آب تالاب از شمال به سمت جنوب افزایش چشمگیر از ۱،۷ به ۵،۰۱ میلی زیمنس بر سانتیمتر نشان می دهد. نتایج بررسی های هیدروشیمیایی، تیپ آب و تحلیل آماری تجزیه مولفه های اصلی (PCA) نشان می دهد که محتمل ترین منشا شوری نفوذ آب زیرزمینی شور و همچنین ورود زهاب های کشاورزی که تحت تاثیر تبخیر با کاهش کیفیت مواجه شده اند می باشد. لذا به منظور جلوگیری از تنش کیفی بیشتر تالاب امیرکلاویه بایستی از ورود آب های زیرزمینی و به ویژه تخلیه زهکش های کشاورزی از ناحیه جنوبی جلوگیری بعمل آید.

کلیدواژه: تالاب امیرکلاویه، کنوانسیون رامسر، کیفیت آب، شوری.

## Evaluating source of salinization in Amirkalayah International Wetland, Gilan Province

Maedeh Rahimi<sup>1</sup>, Mehdi Zarei<sup>1\*</sup>, Behnam Keshavarzi<sup>1</sup>, Reza Golshani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, School of Science, Shiraz University

<sup>2</sup>Department of Environment

### Abstract

Located in the north of Iran, Amirkalayah International Wetland has been listed as Wetlands of International Importance in the Ramsar Convention. Water quality of this wetland is prone to be degraded due to intrusion of Caspian Sea water and extensive overexploitation of groundwater in the area. To identify the source of salinization of Amirkalayah Wetland, a total number of 41 water samples were collected from the wetland, and surrounding surface and ground waters. In addition, physiochemical parameters of electrical conductivity, pH, and temperature were measured in situ. The water samples were analyzed for major dissolved constituents using ion chromatography in Central laboratory of Shiraz University.

The results of this study show that salinity of the wetland water increases significantly from 1.7 to 5.01 ms/cm from north to the south. The impact of most likely sources of salinity including seawater intrusion, interaction with the adjacent surface and groundwater resources, and irrigation return flow were evaluated by hydrogeological and hydrochemical investigations, and statistical analysis of principal components analysis. The results suggest surface and subsurface drainage of irrigation return flow to the wetland is its major source of salinization. To prevent further degradation of water quality of the Amirkalayeh Wetland, surface and subsurface inflow of degraded water should be prevented.

#### مقدمه:

تالابها به عنوان بوم‌سامانه‌های بی‌نظیر آبی، حدود ۶ درصد از سطح کره زمین را می‌پوشانند و مساحت آنها در مجموع بالغ بر ۸۸۵ میلیون هکتار است که حدود ۱۹۰ میلیون هکتار از آنها در کنوانسیون رامسر ثبت شده است. بر اساس کنوانسیون رامسر، تالابها زمین‌های مردابی و علفزارهای طبیعی یا مصنوعی، موقت یا دائم با آب ساکن یا جاری، شیرین، نیمه‌شور، شور یا مناطق دریایی با عمق کمتر از شش متر در فروکشند هستند ( Ramsar Convention Secretariat, 2010). تالابها توسط سه ویژگی حضور آب، خاک‌های منحصر به فرد متفاوت از خاک زمین‌های مجاور و حضور گیاهان سازگار با شرایط اشباع مشخص می‌شوند. بنابراین، تالابها شامل طیف وسیعی از شرایط آب‌شناختی و بوم‌شناختی از منابع رودخانه‌ای در بالادست تا مناطق ساحلی کم عمق است که هر کدام توسط شرایط اقلیمی غالب کنترل می‌شود (Scholz & Lee, 2005). بر اساس طبقه بندی کواردین (Cowardin, 1979) تالاب‌ها به ۵ طبقه قابل تفکیک هستند: دریاچه‌ای (lacustrine)، رودخانه‌ای (riverine)، مردابی (palustrine)، دریایی (marine) و مصبی (estuarine).

تالاب امیرکلایه که از تالاب‌های بین‌المللی و ثبت شده در کنوانسیون رامسر می‌باشد در شمال ایران در استان گیلان و در ۳۰ کیلومتری شمال شهرستان لاهیجان قرار گرفته است. این تالاب همراه با تالاب‌های انزلی و بوجاق مهم‌ترین تالاب‌های بین‌المللی استان گیلان محسوب می‌گردند. تالاب امیرکلایه با مساحتی در حدود ۱۱۱۲ هکتار در نزدیکی دریای خزر، در مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۰°۰۹'۵۸" تا ۵۰°۱۲'۲۲" و عرض شمالی ۳۷°۱۸'۰۸" تا ۳۷°۲۲'۱۷" واقع می‌باشد. این تالاب در فاصله‌ای نزدیک به ۵۰۰ متری از دریا قرار دارد و رودخانه کهنه سفیدرود با اندکی فاصله در شمال آن جریان دارد.

با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کاهش منابع آب تجدیدپذیر در اکثر مناطق کشور، تنش شدید آبی به تالاب امیرکلایه وارد شده است تا حدی که کیفیت آب تالاب‌ها نیز بعضاً تحت تاثیر قرار گرفته است. همچنین با توجه به فاصله حدود ۵۰۰ متری تالاب از دریای خزر و همچنین گسترش فعالیت‌های کشاورزی در اطراف تالاب که می‌تواند موجب افزایش غلظت املاح و آلاینده‌ها در تالاب گردد.

#### روش مطالعه:

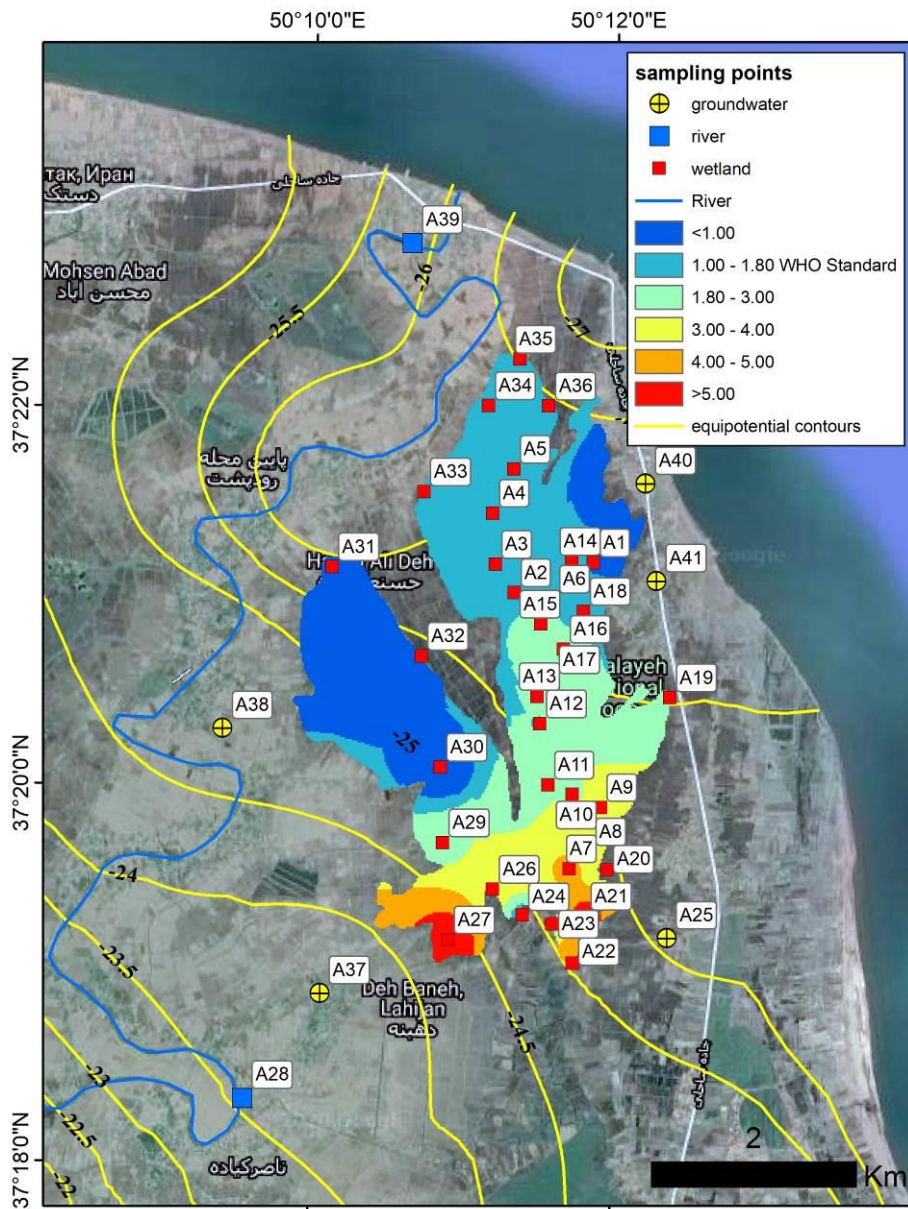
در این پژوهش در مجموع ۴۱ نقطه جهت اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی صحرایی و نمونه برداری آب به منظور آنالیز شیمیایی انتخاب گردید (شکل ۱). این نقاط شامل ۳۴ نقطه در تالاب امیر کلایه، دو نقطه از رودخانه سید علی اکبری در بالادست و پایین دست تالاب و تعداد ۵ نقطه از چاههای مجاور تالاب می‌باشد.



جدول ۱: خلاصه آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی و آنالیز شیمیایی آب تالاب امیر کلایه. واحد غلظت یون‌ها میلی‌گرم در لیتر می باشد.

Parameter	Min	Max	Median	Mean	Variance	Standard deviation	Variation coefficient	Skewness	Kurtosis
pH	5.31	9.73	7.66	7.79	0.6	0.7	0.1	0.01	1.78
T (°C)	17.1	25.6	21.3	21.4	2.9	1.7	0.07	0.13	0.35
EC (mS/cm)	0.45	5.01	1.8	2.05	1.08	1.04	0.5	1.6	2.77
Li	0.01	0.18	0.04	0.06	0.001	0.04	0.69	1.4	1.91
Na	32	617	163	180	14300	119	0.66	1.74	3.7
K	1.28	12.02	4.70	4.69	6.26	2.5	0.53	1.05	1.17
Ca	20.5	122.6	50.9	55.97	528.8	23	0.41	0.94	0.93
Mg	10.6	92	31.5	32.7	268	16.4	0.5	1.69	3.59
F	0.12	0.58	0.21	0.24	0.01	0.1	0.4	1.46	2.16
Cl	12.9	1070	271	285	33900	184	0.64	1.96	6.53
Br	0.12	1.19	0.35	0.39	0.04	0.21	0.53	1.98	4.77
SO <sub>4</sub>	0.61	104	3.32	19.8	901	30	1.52	1.61	1.46
CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub>	184	716	294	339	17300	132	0.38	1.3	1.05



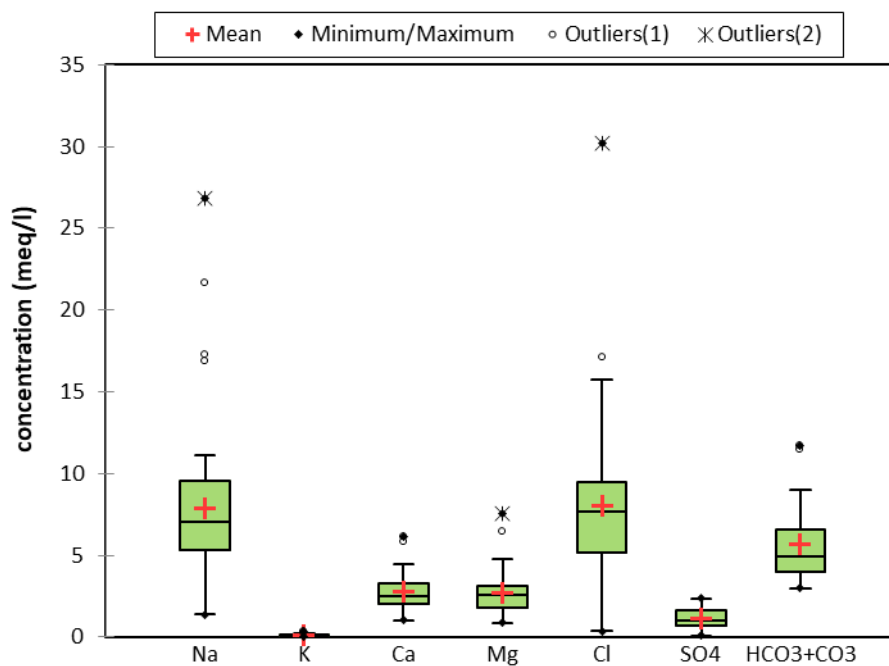


شکل ۱: موقعیت نقاط نمونه برداری از آب، پهنه بندی هدایت الکتریکی و خطوط هم پتانسیل تراز آب زیرزمینی در مجاورت تالاب امیر کلايه.

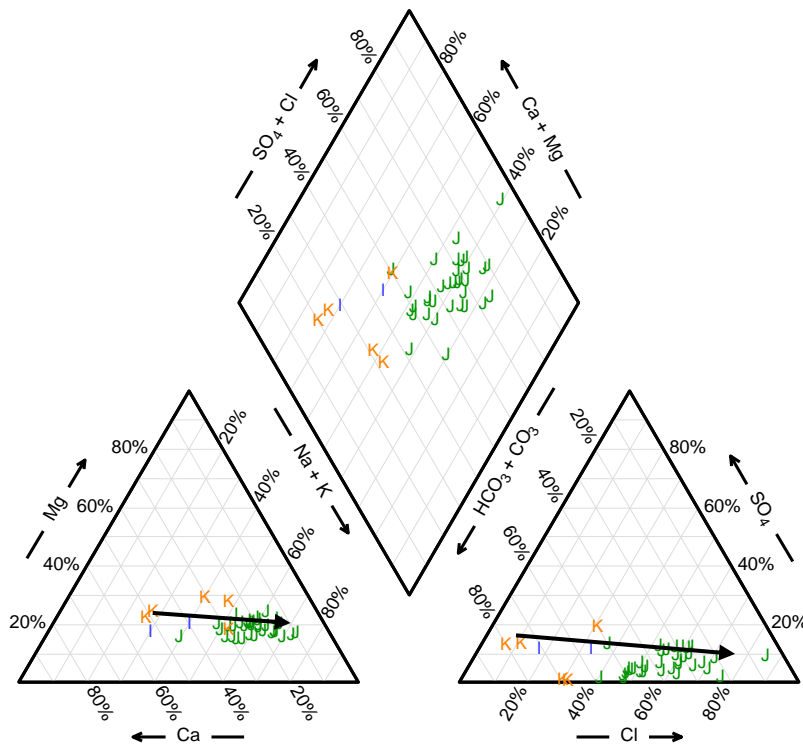
تالاب امیرکلايه جریان‌های ورودی مستقیم از آب سطحی ندارد. کیفیت آب این رودخانه در بالادست تالاب (ایستگاه A28) مطلوب است و هدایت الکتریکی آن ۰/۵۳ میلی موس بر سانتی‌متر می باشد که در طول مسیر در این منطقه هدایت الکتریکی آن به ۱/۰۱ میلی موس بر سانتی‌متر در ایستگاه A39 افزایش می یابد. کیفیت آب نمونه آب های زیرزمینی منطقه بین ۰/۴۵ تا ۲/۹۰ میلی موس بر سانتی‌متر تغییر می کند. کیفیت آب زیرزمینی نیز در بخش های شرقی و جنوب شرقی مطلوب است اما در شمال غرب تا غرب تالاب تا ۱/۲۶ میلی موس بر سانتی‌متر می رسد. ماکزیمم شوری با هدایت الکتریکی ۲/۹۰ میلی موس بر سانتی‌متر در نمونه A37 گزارش شده است. این نمونه در واقع آب زیرزمینی زهکشی شده در یک کانال می باشد که در واقع آب برگشتی کشاورزی می باشد و تحت تاثیر تبخیر-تعرق قرار گرفته است.

### آب زمین شیمی تالاب امیرکلايه

خلاصه آماری نتایج آنالیز شیمیایی یون‌های محلول در نمونه های آب منطقه در جدول ۱ مشاهده می گردد. توزیع غلظت یونهای مختلف در دیاگرام جعبه ای شکل ۲ نشان می‌دهد که به طور کلی مقادیر سدیم و کلر از غلظت بیشتری در آب برخوردارند. آنیون غالب در نمونه های آب زیرزمینی و رودخانه بیکربنات+ کربنات و در نمونه های آب تالاب کلر می باشد. کاتیون غالب در نمونه های آب تالاب و نمونه های آب زیرزمینی غرب و جنوب غربی تالاب سدیم می باشد. در سایر نمونه های آب منطقه کلسیم کاتیون غالب می باشد. نمودار پایپر تالاب امیرکلايه در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار مشاهده می گردد تیپ آب غالب سدیم-کلرید و سدیم-کلرید-بیکربناته می باشد. همچنین بر روی مثلث های کاتیون ها و آنیون ها یک روند تکاملی افزایش کلر و سدیم (به طور کلی افزایش شوری) از نمونه های آب زیرزمینی به سمت آبهای شمال و سپس جنوبی تالاب مشاهده می گردد.



شکل ۲: نمودار جعبه‌ای توزیع غلظت یون‌های اصلی محلول در نمونه‌های آب



شکل ۳: نمودار پایپر نمونه های آب تالاب امیرکلایه

### بررسی منشا شوری تالاب امیرکلایه

به طور کلی کیفیت آب تالاب امیرکلایه از شمال به جنوب افزایش چشمگیری را نشان می دهد. بررسی کیفیت آب رودخانه مجاور تالاب به عنوان یکی از منابع محتمل تامین آب تالاب که از بخش شمالی تالاب با کیفیت مناسب تر عبور می کند نشان می دهد که کیفیت مناسب با هدایت الکتریکی به مراتب کم تر از تالاب دارد. لذا این رودخانه در صورت تبادل هیدرولیکی مستقیم یا غیر مستقیم (زیرزمینی) نمی تواند موجب افزایش شوری تالاب گردد. یکی دیگر از منابع محتمل شوری تالاب امیرکلایه نفوذ زیرسطحی آب دریای خزر به درون این تالاب می باشد. چاههای A40 و A41 که در حدفاصل تالاب امیرکلایه و دریای خزر واقع شده اند هدایت الکتریکی ۰/۶۳ و ۱/۰۳ دارند که شوری کمتر از تالاب و دریا را نشان می دهد. لذا احتمال نفوذ آب شور دریا به سمت تالاب امیرکلایه مردود می باشد. این در حالیست که بررسی کیفیت آب زیرزمینی در بخش های جنوب غرب و جنوب تالاب، هدایت الکتریکی بالایی را نشان می دهد. همچنین خطوط ایزوپتانسیل ترسیم شده (شکل ۱) نیز کاهش تراز آب زیرزمینی را به سمت تالاب نشان می دهد که بیان گر این موضوع است که آب زیرزمینی با کیفیت نامطلوب این ناحیه به سمت تالاب جریان دارد و موجب تغذیه تالاب در ناحیه جنوبی می گردد.

نتایج آنالیز آماری تحلیل عاملی روی پارامترهای اصلی کیفیت آب تالاب، این پارامترها را در دو فاکتور تفکیک می کند. فاکتور اول شامل هدایت الکتریکی و عمده یونهای محلول شامل سدیم، کلسیم، پتاسیم، کلر، پتاسیم، کلسیم، می باشد. افزایش توام این یونها نشان دهنده وجود یک عامل مشترک در افزایش شوری می باشد که محتمل ترین عامل با توجه به اینکه شورترین نمونه آب منطقه نیز مربوط به آب زهکشی شده از مزارع کشاورزی می باشد تبخیر (یا تبخیر تعرق) آب آبیاری می باشد. از طرف دیگر یون های کلسیم و بیکربنات همراه با pH در فاکتور دوم قرار می گیرند. اندیس اشباع نمونه های آب که توسط مدل PhreeqC محاسبه شده نشان می دهد که عمده نمونه های آب نسبت به فاز کلسیت در حالت اشباع قرار دارند. لذا این دو یون با افزایش

شوری امکان افزایش غلظت بیشتر را ندارند و به صورت کلسیت از فاز محلول خارج می گردند که موجب عدم همبستگی آنها با هدایت الکتریکی و سایر یونهای محلول در آب می گردد. پارامتر pH نیز در فاکتور دوم ولی با بار عاملی منفی قرار می گیرد که دلیل آن را می توان به افزایش حلالیت کلسیت با کاهش pH نسبت داد.

جدول ۲: نتایج تحلیل عاملی پارامترهای کیفیت آب

	D1	D2
EC	<b>0.829</b>	0.065
pH	0.393	<b>-0.663</b>
Na	<b>0.956</b>	0.061
K	<b>0.663</b>	-0.015
Ca	0.246	<b>0.707</b>
Mg	<b>0.888</b>	0.241
Cl	<b>0.941</b>	-0.150
Br	<b>0.747</b>	0.285
SO <sub>4</sub>	<b>0.420</b>	-0.110
HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub>	0.146	<b>0.874</b>

#### نتیجه گیری:

تالاب امیر کلایه علیرغم اینکه در شمال استان گیلان با نرخ بارندگی متوسط ۱۲۵۷ میلیمتر در سال قرار گرفته است به دلیل برداشت بی رویه از آب زیرزمینی مجاور تالاب و همچنین برداشت مستقیم آب از تالاب با تنش آبی مواجه شده است تا حدی که کیفیت آب تالاب ها نیز بعضاً تحت تاثیر قرار گرفته است. در این پژوهش کیفیت آب تالاب و توزیع شوری آن مورد بررسی قرار گرفته و علل شوری بالای آب تالاب به خصوص در بخش های جنوبی ارزیابی شده است. بررسی کیفیت آب رودخانه سید علی اکبری و آب زیرزمینی در شرق تالاب نشان می دهد که کیفیت آب تالاب تحت تاثیر آب دریا و همچنین رودخانه مجاور کاهش نیافته است. بلکه ورود آب شور زهکش های جنوبی و نفوذ آب زیرزمینی که به نوبه خود تحت تاثیر آب برگشتی کشاورزی قرار گرفته است موجب افزایش شوری تا هدایت الکتریکی بیش از ۵۰۰۰ میکروموس در سانتیمتر در این تالاب شده است. به منظور جلوگیری از کاهش بیشتر کیفیت آب این تالاب بایستی از ورود آب زهکشهای جنوبی خودداری گردد. همچنین برداشت مستقیم آب تالاب از طریق پمپ های نصب شده در اطراف آن موجب کاهش حجم آب تالاب و افزایش بیشتر شوری آن می گردد.

#### منابع:

پژوهشکده محیط زیست جهاددانشگاهی، ۱۳۹۸. تدوین و اجرای برنامه اطلاع رسانی، آموزش، مشارکت و آگاهی افزایی (سیپا) تالاب امیرکلایه. اداره کل حفاظت محیط زیست استان گیلان.  
 پژوهشکده محیط زیست جهاددانشگاهی، ۱۳۹۸. محاسبه نیاز آبی زیست محیطی تالاب امیرکلایه. اداره کل حفاظت محیط زیست استان گیلان.

Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C. & LaRoe, E. T., 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. US Fish and Wildlife Service FWS/OBS 79/31. 103 pp. Data Committee and U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC.

Federal Geographic Data Committee, 2013. Classification of wetlands and deepwater habitats of the Ramsar Convention, 2010. Water allocation and management. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 4th edition, vol. 10. Ramsar convention secretariat, Gland, Switzerland. [www.Ramsar.org](http://www.Ramsar.org).

Scholz, Miklas & Lee, Byoung-hwa, 2005. Constructed wetlands: A review. International journal of environmental studies. 62. 421-447. 10.1080/00207230500119783.

United States. FGDC-STD-004-2013. Second Edition. Wetlands Subcommittee, Federal Geographic

## ارزیابی کیفی آبخوان بهاباد با استفاده از تئوری انتروپی شانون

وحید جمالی<sup>۱\*</sup>، وهاب امیری<sup>۲</sup>، محمدرضا گودرزی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه یزد

<sup>۲</sup> استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه یزد

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه یزد

Couv.jamali@gmail.com

### چکیده:

امروزه تأمین آب مورد نیاز برای مصرف شرب از مهمترین اولویتهای دولتهای مختلف است. آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب شرب است و بررسی کیفیت آن برای مدیریت بهینه این منابع ارزشمند بسیار ضروری است. در این مطالعه وضعیت آب زیرزمینی بهاباد (استان یزد) برای مصرف شرب مورد بررسی قرار گرفته است. شاخص وزن دارنده کیفی آب با استفاده از تئوری انتروپی در ۱۸ نمونه آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، ۱۱ متغیر فیزیکوشیمیایی شامل DO، pH،  $\text{NO}_3$ ،  $\text{Mg}$ ،  $\text{Pb}$ ،  $\text{BOD}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{TDS}$ ،  $\text{EC}$ ،  $\text{Cl}$  و  $\text{SO}_4$  مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص انتروپی کیفیت آب، آب آبخوان بهاباد در تمامی نقاط دارای وضعیت بسیار بد برای آشامیدن است.

کلیدواژه: آب زیرزمینی، مصرف شرب، تئوری انتروپی شانون

## Qualitative evaluation of Bahabad aquifer using theory of Shannon entropy

Vahid Jamali<sup>1\*</sup>, Vahab Amiri<sup>2</sup>, MohammadReza Goodarzi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MSc student, Yazd University

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Yazd University

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Civil Engineering, Yazd University

### Abstract

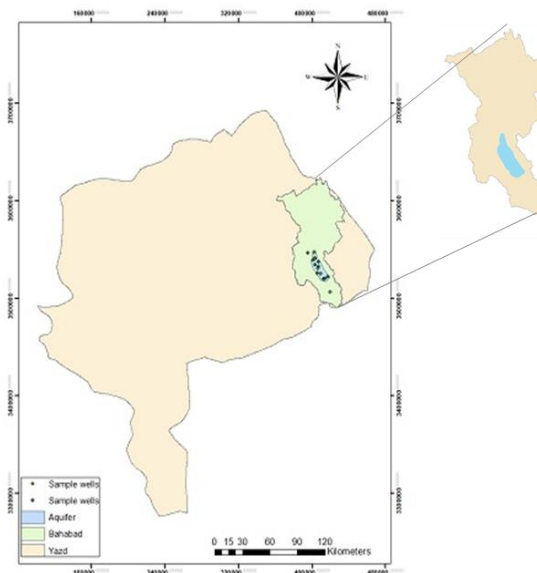
Today, providing water for drinking is one of the most important priorities of various governments. Groundwater is the most important source of drinking water and its quality is essential for the optimal management of these valuable resources. In this study, the groundwater status of Bahabad (Yazd province) for drinking consumption has been investigated. The weighted water quality index has been investigated using entropy theory in 18 groundwater samples. In this study, 11 physicochemical variables including DO, pH, Mg,  $\text{NO}_3$ , Pb, BOD, Na, TDS, EC, Cl, and  $\text{SO}_4$  were evaluated. The results showed that according to the entropy index of water quality, the Bahabad aquifer has a very bad condition for drinking in all places.

### مقدمه:

در نقاط خشک و نیمه خشک، آب مهم ترین عامل محدود کننده در توسعه اقتصادی است که مدیریت اصولی برداشت آن، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در نواحی خشک و نیمه خشک کشاورزی وابسته به استحصال آب های زیرزمینی است و

برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در چند دهه اخیر منتج به کاهش قابل توجه سطح ایستابی شده است (فتحی و زیبایی، ۱۳۸۸).

علاوه بر این، با تغییر آب و هوا، همه این مشکلات حادثتر خواهد شد. مطالعات اخیر (Bates et al., 2008; IPCC, 2013) تأکید کردند که تغییرات آب و هوایی پیش بینی شده منجر به افزایش مصرف آب به موازات کاهش مجدد تغذیه سفره‌های طبیعی می شود. این امر تأثیرات منفی بر روی منابع آب، کیفیت و هزینه‌های پمپاژ خواهد داشت. بنابراین، مدیریت آبهای زیرزمینی دشوارتر از آنچه در حال حاضر انجام می شود، خواهد بود. یکی دیگر از عوامل مهمی که حیات سیستم ها را تهدید می کند، تخریب کیفیت آب به دلیل مشکل شور شدن در نتیجه پمپاژ بیش از حد (Gholami et al., 2010)، یا نفوذ آب دریا در سفره های آب زیرزمینی ساحلی (Singh, 2014) است. عوامل دیگری همچون نفوذ پساب های صنعتی و فعالیت های کشاورزی و استفاده از سموم و کود های شیمیایی نیز می توانند بر کیفیت آب زیر زمینی تاثیر بگذارند (رحمانی، ۱۳۸۰). آلودگی منابع آب زیر زمینی در دراز مدت منجر به مواردی همچون اثرات مخرب اکولوژیکی، اثر مخرب بر حاصل خیزی خاک و بروز اختلاف میان ذینفعان و پدید آمدن بحران های اجتماعی می شود (علی پور و همکاران، ۱۳۹۶). از جمله روش های مفید برای ارزیابی کیفیت آب، ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI<sup>51</sup>) است. در این شاخص برآیند اثر مولفه های مختلف کیفی آب در قالب یک عدد که بیان کننده کیفیت آب است، ارائه می شود (Ramakrishnaiah et al., 2009). تعداد و نوع مولفه های مورد استفاده در محاسبه WQI انعطاف پذیر و متغیر است. این شاخص هم برای ارزیابی کیفیت آب سطحی و هم برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ارائه شده است (Machiwal et al., 2011).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان یزد و شهرستان بهاباد.

یکی از مهم ترین مشکلات در استفاده از روش شاخص کیفی آب، محاسبه وزن هر یک از پارامترها است. استفاده از تجربیات و نظر های کارشناسی برای تعیین وزن هر پارامتر باعث می شود بسیاری از اطلاعات ارزشمند کیفیت آب زیرزمینی بدون

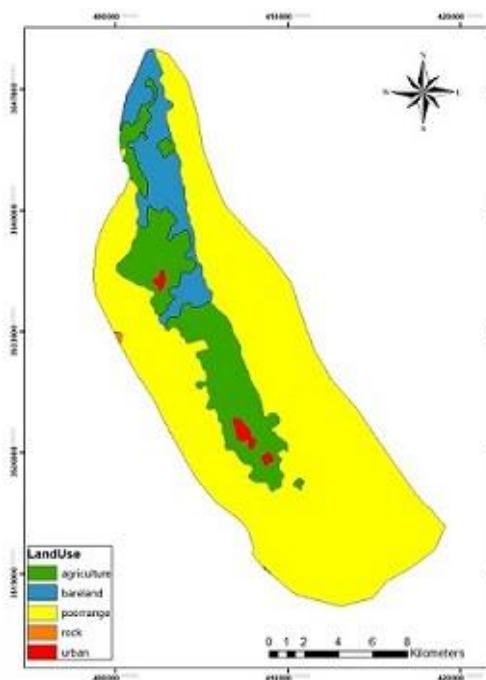
<sup>51</sup> Water Quality Index

استفاده باقی بماند. از جمله راهکار های رفع این مشکل استفاده از انتروپی شنون<sup>۵۲</sup> است. شنون از نظریه انتروپی اطلاعات که امروزه در بسیاری از زمینه های اطلاعاتی استفاده می شود، به عنوان ابزاری برای تعیین عدم قطعیت یاد می کند (Shannon, 1948). از نظریه انتروپی و بحث درباره عدم قطعیت اطلاعات کمی و کیفی می توان برای حل مسائل مدیریتی منابع آب زیرزمینی استفاده کرد. در این مطالعه با استفاده از انتروپی شنون به بررسی کیفیت آبخوان بهاباد در استان یزد پرداخته شده است و تأثیر عوامل مختلف بر شاخص کیفیت آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

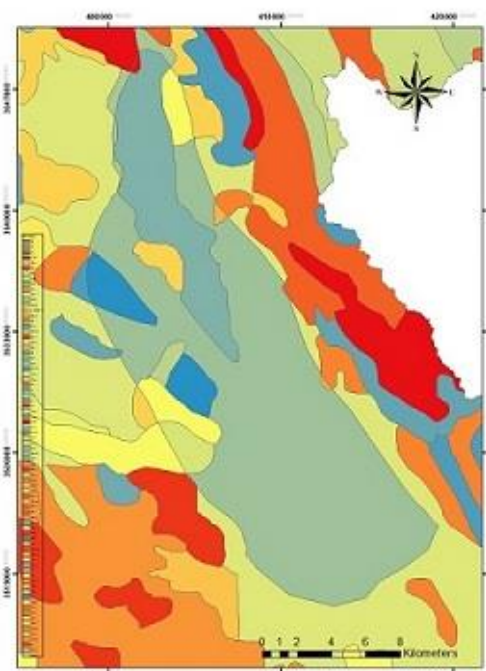
### روش مطالعه:

#### منطقه مورد مطالعه

مساحت کلی محدوده مطالعاتی بهاباد ۵۱۰۳,۳۲ کیلومتر مربع است که از این مقدار سهم دشت و ارتفاعات به ترتیب ۱۳۰۴,۲۲ و ۳۷۹۹,۱۰ کیلومتر مربع بوده و یک آبخوان آبرفتی مجزا در این محدوده تشخیص داده شده است که وسعت آن ۲۷۷,۹۶ کیلومتر مربع است. این دشت از نظر وضعیت بهره برداری جزو دشت های ممنوعه کشور است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را مشخص می کند. علاوه بر این، در این مطالعه برای پایش پارامتر های فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در دشت بهاباد با استفاده از یک شبکه متشکل از ۱۸ حلقه چاه مشاهداتی صورت می گیرد.



ب



الف

شکل ۲: الف) نقشه جنس خاک منطقه مورد مطالعه، ب) نقشه کاربری اراضی

جنوب و مرکز آبخوان متشکل از سازند Qt2 و عمده جنس خاک در ناحیه شمال آبخوان از صفحات رسی تشکیل شده است (شکل ۲ الف). هم چنین در نواحی مرکزی و شمالی آبخوان زمین های کشاورزی و مناطق شهری وجود دارد که بیانگر فعالیت های انسانی در این قسمت ها است (شکل ۲ ب).

<sup>52</sup> Shannon Entropy



### روش مطالعه

آنتروپی را میتوان به عنوان معیاری از میزان آشفتگی در داخل سیستم تعریف کرد. در واقع آنتروپی شانون مقدار عدم قطعیت داده های پیش بینی شده از یک رخداد تصادفی را بیان می کند. وجود اطلاعات مشخص در یک مسأله که سبب کاهش و یا از بین رفتن عدم قطعیت می شود، می تواند به عنوان یک شاخص در آنتروپی استفاده شود (Shanon, 1948). بنابراین اطلاعات و عدم قطعیت به عنوان دو مؤلفه که اطلاعات به دست آمده را تشریح می کنند، به صورت اندازه گیری غیرمستقیم از مقدار عدم قطعیت کاهش یافته به دست می آیند. آنتروپی شانون به صورت زیر قابل تعریف است:

تعداد  $n$  داده به صورت  $X \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  با احتمال  $p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)$  مفروض است. میزان آنتروپی که یک مقدار واقعی غیر صفر، جمع پذیر و یک تابع پیوسته با احتمال  $p$  است، به صورت زیر تعریف می شود:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i$$

که  $H(X)$  مقدار آنتروپی و  $p_i$  میزان احتمال  $x_i$  است.

جدول ۱: غلظت پارامترهای کیفی مختلف آب زیرزمینی دشت بهاباد و حدود مجاز WHO برای شرب (ppm) (WHO, 2011)

پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	WHO
DO	2.5	4.5	3.38	5
BOD	8.7	137.7	57.53	2
pH	6.21	7.6	7.06	7.5-8.5
Na	69	2241.35	1131.09	50
SO <sub>4</sub>	14.4	1970.4	899.43	250
TDS	510	10296	5293.83	600
Mg	19.2	369.6	178.00	300
NO <sub>3</sub>	0.34	46.25	17.71	50
EC	805	16500	8317.78	500
Cl	113.6	4189	1950.32	200
Pb	0.84	28.5	12.45	10

اگر تعداد  $m$  نمونه آب در دسترس باشد و تصمیم بر ارزیابی بر اساس  $n$  پارامتر باشد، بر اساس داده های مشاهداتی ماتریس مقادیر ویژه  $X$  به صورت زیر خواهد بود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

سپس با استفاده از تابع زیر نرمال سازی داده ها انجام می شود:

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}}$$

پس از نرمال سازی داده های خام، ماتریس استاندارد داده ها را تشکیل می دهیم و مقدار شاخص مربوط به پارامتر  $j$  در نمونه  $i$  را بر اساس معادله زیر محاسبه می کنیم.

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}}$$

میزان انتروپی اطلاعات به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$$

هرچه مقدار انتروپی کمتر باشد، تاثیر پارامتر  $J$  بیشتر خواهد بود پس از محاسبه میزان انتروپی، وزن انتروپی ( $w_i$ ) هر پارامتر  $J$  با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$w_i = \frac{1 - \varepsilon_i}{\sum_{m=1}^n (1 - \varepsilon_i)}$$

برای محاسبه شاخص کیفیت آب، ابتدا معیار رتبه بندی کیفی  $q_i$  برای هر یک از پارامترها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} * 100$$

که در این معادله  $C_i$  غلظت هر پارامتر شیمیایی در هر نمونه (mg/L) و  $S_i$  غلظت همان پارامتر بر اساس یک استاندارد ارزیابی کیفیت آب برای استفاده شرب (mg/L) است.

در انتها شاخص کیفیت آب بر اساس انتروپی شنون از ضرب مقدار وزن انتروپی و معیار رتبه بندی کیفی هر پارامتر در هم و جمع تمامی این مقادیر با هم به دست می‌آید (Wu et al., 2011):

$$EWQI = \sum_{j=1}^m w_j q_i$$

جدول ۲: مقادیر محاسبه شده  $EWQI^{\Delta T}$  و رتبه کیفی غلظت‌های حداقل، حداکثر و میانگین پارامترهای مورد بررسی

شماره نمونه	وزن انتروپی	EWQI	رتبه کیفیت آب
1	0.012	153.40	4
2	0.116	334.10	5
3	0.008	116.80	3
4	0.046	50.58	2
5	0.016	230.63	5
6	0.022	432.07	5
7	0.021	374.62	5
8	0.013	100.87	3
9	0.020	276.28	5
10	0.049	284.75	5
11	0.046	681.45	5
12	0.090	253.07	5
13	0.013	248.01	5
14	0.023	263.62	5
15	0.128	287.10	5
16	0.064	195.88	4
17	0.068	266.20	5
18	0.244	493.94	5

بحث:

پارامترهای کیفی آبخوان دشت بهاباد در مکان‌های مختلف آبخوان مقادیر متفاوتی دارد. غلظت پارامترهای مورد مطالعه به صورت مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین برای محدوده آبخوان بهاباد در جدول ۱ نشان داده شده است. علاوه بر این حدود

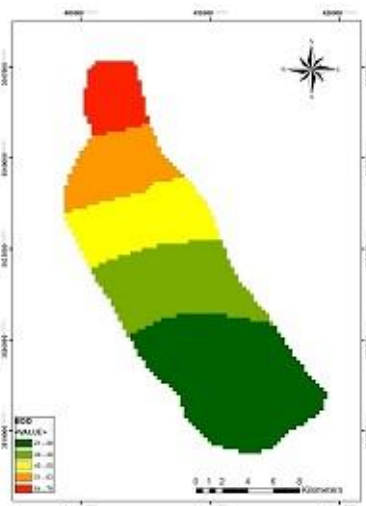
<sup>53</sup> Entropy water quality index

غلظت های مطلوب سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای این پارامترها در این جدول آورده شده است. در این مقاله ۱۱ پارامتر فیزیکوشیمیایی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. وجود این عوامل به دلیل ساختار زمین شناسی، فعالیت های انسانی و فعالیت های بیولوژیکی است. این پارامترها توسط چاه های نمونه برداری در منطقه آبخوان و همچنین مناطق مختلف دشت بهاباد به دست آمد. سپس این داده های در محیط GIS بارگذاری شد و مقدار غلظت پارامترهای برای آبخوان به روش kriging درونیابی شد. شکل ۳ پراکندگی مقدار این پارامترها را در محدوده مورد مطالعه نمایش می دهد. همانطور که مشاهده می شود غلظت اکثر این پارامترها بیشتر از مقادیر استاندارد می باشد، لذا بررسی و تحلیل اهمیت هر یک از این پارامترها می تواند به مدیران برای تصمیم گیری در حوضه های مختلف کمک کند.

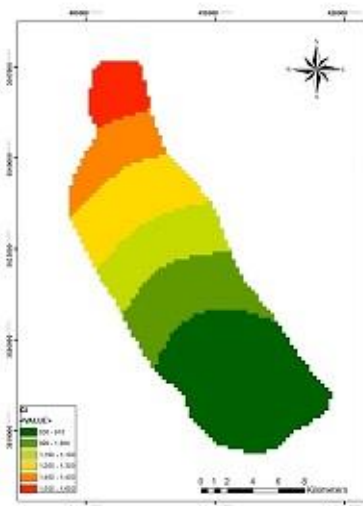
نکته مهم در این رابطه اهمیت هر یک از این پارامترها برای کاربری های مختلف است. لذا در ادامه وزن هر کدام از پارامترها با استفاده از انتروپی شنون و با توجه به روابط ارائه شده، محاسبه گردید. در گام بعدی شاخص کیفیت آب برای نمونه های پارامترها دست آمد و در نهایت EWQI با توجه شاخص کیفیت و انتروپی شنون برای هر یک از نمونه ها ارائه گردید. جدول ۲ به عنوان نمونه مقادیر EWQI را برای غلظت پارامترها نشان می دهد. برای رده بندی نتایج حاصل از محاسبه EWQI از جدول ۳ استفاده می شود.

جدول ۳: رتبه بندی کیفیت آب شرب بر اساس EWQI (Li et al., 2010)

کیفیت آب	رتبه	EWQI
بسیار خوب	1	کمتر از ۵۰
خوب	2	50-100
متوسط	3	100-150
بد	4	150-200
خیلی بد	5	بیش از ۲۰۰

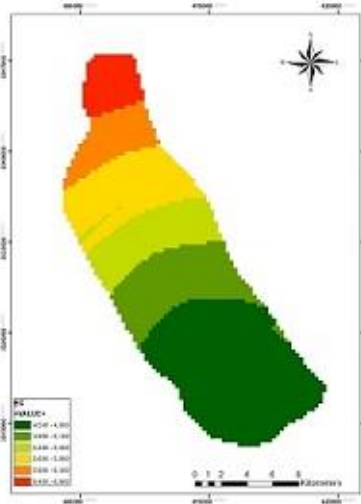


Cl

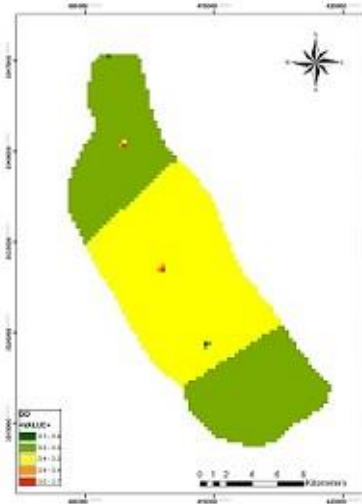


BOD

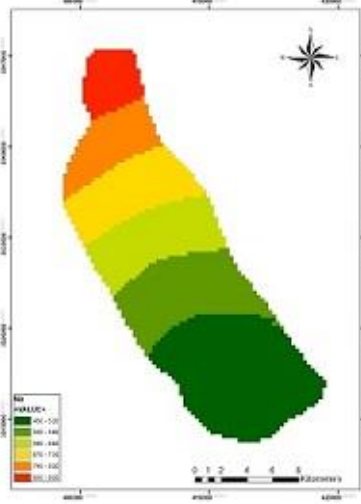
بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



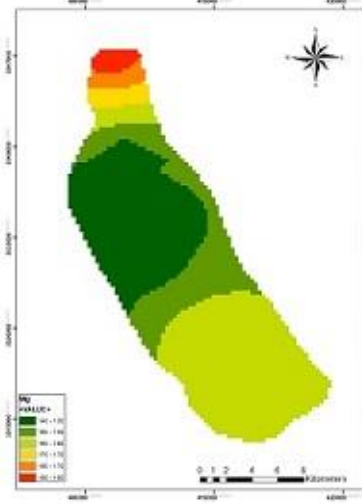
EC



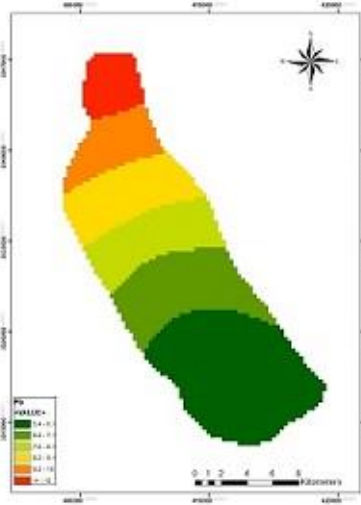
DO



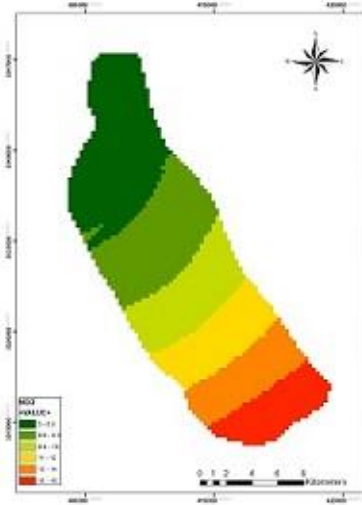
Mg



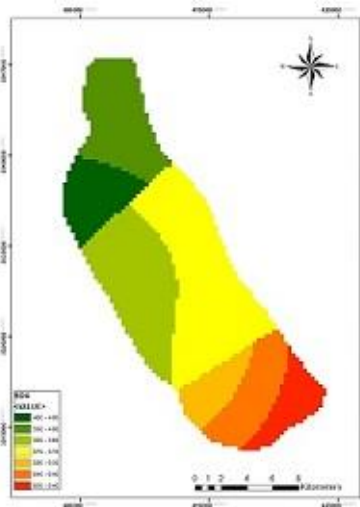
Na



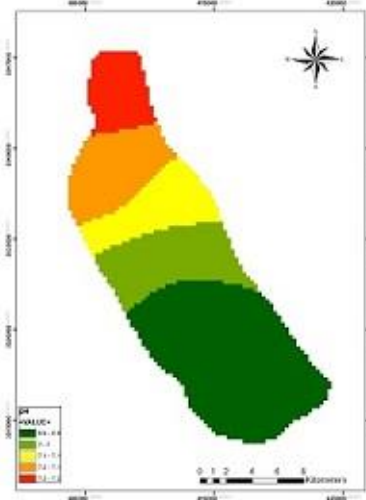
NO<sub>3</sub>



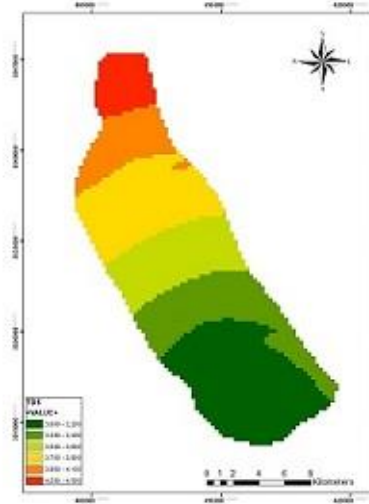
Pb



pH



SO<sub>4</sub>



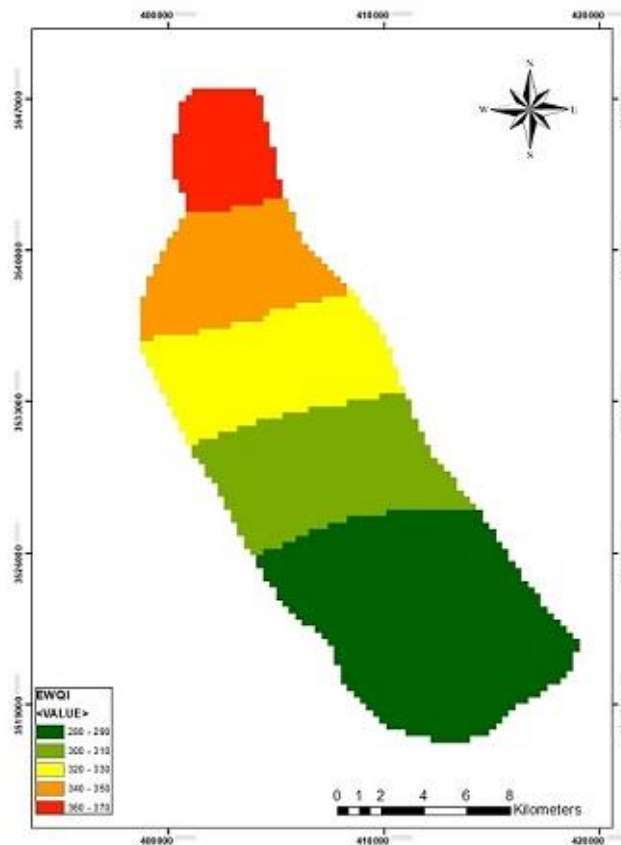
TDS

شکل ۳: نقشه پراکندگی غلظت پارامترهای مختلف در آبخوان بهاباد

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که پارامترهایی مانند DO، pH، Mg، NO<sub>3</sub> و Pb در محدوده آبخوان در وضعیت بسیار خوب و هم چنین پارامتر SO<sub>4</sub> در وضعیت متوسط از نظر EWQI برای آب آشامیدنی است. اما آبخوان از نظر پارامترهای BOD، Na، TDS، EC و Cl دارای وضعیت بسیار بد کیفی می‌باشد که این امر مستلزم اقدامات جدی در راستای تامین کیفیت مناسب آب شرب برای منطقه است.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که غلظت پارامترهایی مانند Cl، BOD، Na، Mg، Pb و TDS و همچنین مقدار pH از جنوب به شمال آبخوان افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند به دلیل جریان آب زیرزمینی از جنوب به سمت شمال باشد. در نهایت نقشه پراکندگی EWQI در شکل ۴ ترسیم شده است. با توجه نقشه نشان داده می‌شود که با توجه به مقادیر EWQI، کیفیت آب زیرزمینی در تمامی نقاط آبخوان وضعیت بسیار بد قرار دارد. به علاوه، این شاخص در نقاط مختلف آبخوان مقادیر متفاوتی دارد، به این صورت که با حرکت از نواحی جنوبی به شمال آبخوان، شاخص انتروپی کیفیت آب مقادیر بیشتری را نمایش

می‌دهد که این امر بیانگر افت کیفیت آب زیرزمینی در مناطق شمال آبخوان است. با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی، شکل ۴ و همچنین نقشه کاربری اراضی می‌توان دریافت که فعالیت‌های انسانی مانند تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی در کاهش کیفیت آب در شمال آبخوان تاثیرگذار بوده است.



شکل ۴: پراکندگی EWQI در آبخوان بهاباد

#### نتیجه‌گیری:

در این مقاله وضعیت کیفی آبخوان بهاباد واقع در استان یزد آب‌آرزیابی و بررسی گردید. به این صورت که ابتدا غلظت پارامترهای کیفی در ۱۸ چاه متفاوت توسط آنتروپی شنون وزن دهی شد و سپس شاخص کیفیت آب برای آن محاسبه گردید. همانطور که مشاهده می‌شود غلظت تعدادی از پارامترها در برخی مناطق آبخوان در حدود ۶ برابر غلظت مطلوب است. با توجه به نقشه‌های ترسیم شده غلظت پارامترها از جنوب به شمال افزایش می‌یابد که دلیل این امر جهت جریان آب زیرزمینی از سمت جنوب به شمال می‌باشد. علاوه بر این مقدار EWQI نیز در تمامی نقاط آبخوان در وضعیت بسیار بد قرار دارد که نشان دهنده کیفیت بسیار پایین آب برای آشامیدن است. بر این اساس و با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که نواحی شمالی این آبخوان از نظر کیفی وضعیت نامطلوبی دارد که این نکته باید مد نظر مدیران جهت حفر و تاسیس چاه‌های بهره‌بردار با کاربری آب آشامیدنی قرار گیرد.

#### منابع:

رحمانی، ح. ر.، ۱۳۸۰، شناخت و بررسی منابع آلوده کننده مهم صنعتی خاک و آب و گیاه در استان یزد، گزارش نهایی طرح ملی مصوب شورای پژوهش‌های علمی کشور، دانشگاه یزد.

- علیپور، ع، رحیمی، ج، آذرینوند، ع، ۱۳۹۶، بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب و کشاورزی پیش نیازی برای برنامه ریزی آمایش سرزمین در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، مجله منابع طبیعی ایران مرتع و آبخیزداری، دوره ۷۰، شماره ۲، صفحات ۴۲۳-۴۳۴.
- فتیحی، ف، زیبایی، م، ۱۳۸۸، عوامل موثر در مدیریت بهره برداری از آب های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه ریزی چند هدفه، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۳، صفحات ۱۵۵-۱۶۴.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu S., Palutikof J.P. Deds D., 2008. Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- The InterGovernmental Panel on climate Change, IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker TF, Qin D., Plattner G-K, Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds) Climate change, 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- Gholami V., Yousefi Z., Rostami H.Z., 2010. Modeling of ground water salinity on the Caspian southern coasts. *Water Resour Manag* 24:1415 - 1424.
- Singh A., 2014. Optimization modelling for seawater intrusion management. *Journal of Hydrology* 508(16):43-52.
- Ramakrishnaiah C. R. Sadadhiv C. and Rangnna G., 2009. Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *E-Journal of Chemistry*. 6(2): 523-530.
- Machiwal D. Jha M. K. and Mal B.C., 2011. GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 174(1-4): 645-663.
- Shannon C. E., 1948. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. 27(4): 623-656.
- Wu J. H. Li P. Y. and Hui Q., 2011. Groundwater Quality in Jingyuan County, in Northwest China. *E-Journal of Chemistry*. 8(2): 787-793.
- Li P. Y. Hui Q. and Jian-Hua W., 2010. Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China. *EJournal of Chemistry*. 7(S1): 209-216.
- World Health Organization (WHO), 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. 4<sup>th</sup> ed. Geneva: World Health Organization.

## ارزیابی تاثیر طرح احیا و تعادل بخشی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت تهران -

### کرج با استفاده از روش Gp

محمد نخعی<sup>۱</sup>، میثم ودیعتی<sup>۲</sup>، سهیلا عباسی پور<sup>۳</sup>\*

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی گروه آموزشی زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی کرج

<sup>۲</sup> پست دکتری، دانشگاه کالیفرنیا در دیویس

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آب زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی کرج

abbaspoursoheila@yahoo.com

#### چکیده:

آبخوان آبرفتی دشت تهران - کرج از منابع مهم و با ارزش حوزه عملکرد شرکت آب منطقه‌ای تهران بوده که منبع اصلی تامین کننده نیازهای کشاورزی - شرب و صنعت محدوده مطالعاتی تهران-کرج می باشد. در این تحقیق به بررسی تاثیر تعادل بخشی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه ریزی ژنتیک پرداخته شده است. با توجه به اینکه طرح مذکور از ۱۳۹۴ اجرایی شده است، با مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی محاسبه شده با مشاهداتی می توان تاثیر این طرح را بر سطح آب زیرزمینی مشاهده نمود. داده های ورودی استفاده شده مدل ها شامل تغییرات سطح آب زیرزمینی، دما، بارش، تبخیر و پمپاژ برای دوره آماری ۱۳۸۱-۱۳۹۸ می باشد. پارامترهای آماری استفاده شده جهت مقایسه نتایج مدل ها شامل R2، RMSE و MAE می باشند. نتایج نشان داد که RMSE ماهانه برابر با ۱۱ سانتی متر، R<sup>2</sup> ماهانه نیز برابر با ۰/۹۰ می باشد. یکی از مزیت های روش GP نسبت به سایر روش ها، تابع نگاشتی این روش می باشد. در نتیجه پژوه های اجرا شده از طرح در محدوده مطالعاتی موجب گشته تا شیب روند افت مداوم سطح آب زیرزمینی به نسبت سال های قبل از اجرای طرح کاهش یابد. برای توقف روند افت مداوم همچنان نیاز به تلاش بیشتر می باشد.

کلیدواژه: دشت تهران- کرج، برنامه ریزی ژنتیک، تعادل بخشی

## Evaluation of the effect of rehabilitation and balancing plan on groundwater level fluctuations in Tehran-Karaj plain using Gp method

Mohammad nakhaei<sup>1</sup>; Meysam Vadiati<sup>2</sup>; Soheila Abbasipour<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Applied Geology, Kharazmi University

<sup>2</sup> University of California at Davis, Post Doc. Position

<sup>3</sup> MSc student of Hydrogeology, Kharazmi University

#### Abstract

The alluvial aquifer of Tehran-Karaj plain is one of the important and valuable resources of the Tehran Regional Water Company, which is the main source of meeting the needs of agriculture, drinking and industry in the Tehran-Karaj study area. In this research, the effect of balancing on



groundwater level fluctuations has been investigated using a genetic planning model. Considering that the project has been implemented since 1394, by comparing the changes in groundwater level calculated with observations, we can see the impact of this project on the groundwater level. The input data used of the models include changes in groundwater level, temperature, precipitation, evaporation and pumping for the statistical period 1381-1397. The statistical parameters used to compare the results of the models are R2, RMSE and MAE. The results showed that RMSE is equal to 11 cm and R2 is equal to 0.90. One of the advantages of GP method over other methods is the mapping function of this method. As a result, the projects implemented from the project in the study area have caused the slope of the continuous groundwater level to decrease compared to the years before the project. More effort is still needed to stop the steady decline.

#### مقدمه:

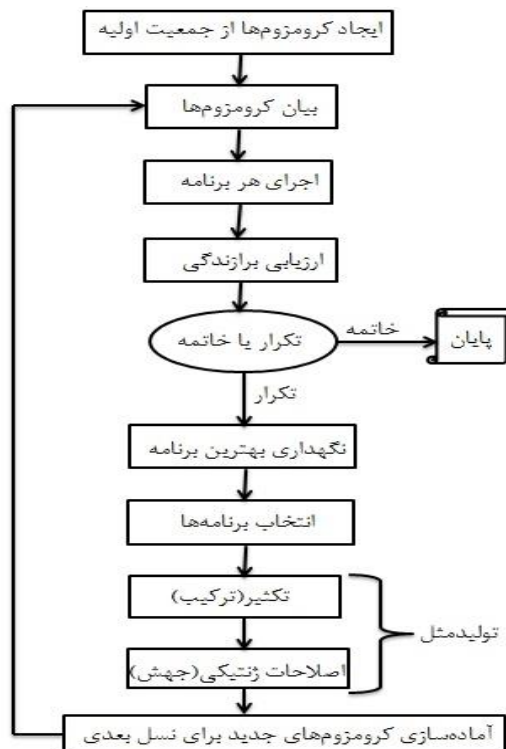
میزان کل حجم آب در دسترس در سطح دنیا در حدود ۱۳۸۶ میلیارد کیلومتر مکعب است که از این میزان کمتر از ۳ درصد آن به صورت آب شیرین می‌باشد. چنین محدودیتی در منابع آب شیرین سالم، لزوم بازبینی و نگرش دقیق‌تر در مصرف این منابع ارزشمند را صد چندان نموده و حفاظت از آن را در اولویت برنامه‌های ملی و بین‌المللی قرار می‌دهد. اما آنچه که در واقعیت وجود دارد آن است که در چند سال اخیر و با افزایش جمعیت و تغییر الگوهای زندگی، توسعه اقتصادی و دیگر عوامل نیاز به آب در حال افزایش است که این موضوع نیاز به مدیریت صحیح و چند وجهی را در منابع و مصارف آب طلب می‌کند. مدیریت منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی در کشور با توجه و حساسیت بیشتری باید انجام گیرد چرا که ایران با متوسط بارندگی سالانه ۲۶۲ میلی‌متر که این مقدار در حدود کمتر از یک سوم متوسط بارندگی جهان که میزان آن ۸۶۵ میلی‌متر است، دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و از طرفی هم این مقدار کم نزولات جوی، توزیع مکانی و زمانی ناهمگونی دارد که این موارد بر مشکلات کم‌آبی و مدیریت منابع و مصارف در ایران می‌افزاید. مدل GP برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از ورودی‌های دما، بارش، تبخیر و پمپاژ در مقیاس ماهانه و سالانه استفاده شده است.

#### روش مطالعه:

محدوده مورد مطالعه تهران- کرج با وسعت ۵۰۸۳/۹۷ کیلومترمربع و با کد مطالعاتی ۴۱۳۳ وسیعترین محدوده مطالعاتی شرکت آب منطقه ای تهران و از نظر تقسیمات کشوری عمدتاً به استان تهران تعلق دارد. این محدوده ناحیه ای بین عرض جغرافیایی ۲۰°۳۵ تا ۱۵°۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ۵۰°۵۰ تا ۵۲°۱۵ شرقی واقع شده است. دشت تهران-کرج از نظر تقسیم بندی حوضه های آبریز دریاچه نمک است. وسعت ناحیه دشتی این محدوده مطالعاتی ۲۵۱۹,۸ است. در شمال محدوده مطالعاتی بیشترین ارتفاع با رقم ۴۳۷۵ متر مربوط به ارتفاعات پالون گردن واقع شده است و کمترین آن با ارتفاع کمتر از ۸۰۰ متر در جنوب محدوده مطالعاتی می باشد. شیب توپوگرافی سطح زمین در محدوده مطالعاتی از شمال به سمت جنوب می باشد. از رودخانه‌های مهم موجود در محدوده مطالعاتی رودخانه‌های کن، درکه، کرج، دربند و فرحزاد می‌باشد. جریان‌های سطحی محدوده مطالعاتی تماماً به هم ملحق می‌گردد. از سازه‌های مهم آبی موجود در محدوده، در شمال محدوده سد امیرکبیر و سد فشافویه در جنوب محدوده می باشد ( گزارش پیشنهاد تمدید ممنوعیت توسعه بهره‌برداری از منابع آب



کروموزومها ۳۰ و اندازه هد ۸، همچنین تعداد ژن برای این مدل انتخاب شد. در مجموع ۷۰ درصد از کل داده‌های به عنوان مرحله آموزش استفاده گردیده و ۳۰ درصد از داده‌های برای مرحله آزمایش مورد استفاده قرار گرفته است و به منظور اتصال برای برقراری ارتباط بین ژن‌ها از عملیات جمع استفاده شده است.



شکل ۲: فلوجارت برنامه‌نویسی ژنتیک (Koza, 1992).

به منظور ارزیابی عملکرد مدل، سه مشخصه آماری را استفاده می‌کنیم تا دقت و صحت مدل را مورد بررسی قرار دهیم. این مشخصه‌ها شامل خطای جذر میانگین مربعات<sup>۵۸</sup> (RMSE)، ضریب تبیین<sup>۵۹</sup> ( $R^2$ ) و خطای میانگین مطلق<sup>۶۰</sup> (MAE) هستند.

#### بحث:

در ابتدا داده‌های موجود از ۱۳۹۸-۱۳۸۱ را به دودسته قبل از اجرای طرح و بعد از اجرای طرح تقسیم بندی می‌کنیم. سپس به مدل‌سازی داده‌های قبل از سال ۱۳۹۴ (قبل از اجرای طرح) با ورودی‌های دما و تبخیر و پمپاژ و بارش (از مولفه‌های اصلی بیلان می‌باشند) می‌پردازیم. مدل‌سازی را برای دوره‌های سالانه و ماهانه انجام می‌دهیم. از تابع RMSE جهت صحت سنجی مدل استفاده شده است. سپس با استفاده از درخت بیان ژن و تابع نگاشتی که از این درخت به دست می‌آید به پیش بینی تغییرات سطح آب‌ریز زمینی برای سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۸ می‌پردازیم. با مقایسه تغییرات سطح آب محاسباتی و مشاهداتی

3-Number of Genes  
 4-Linking function

Root Mean Square Error<sup>۵۸</sup>  
 Correlation Coefficient<sup>۵۹</sup>  
 Mean Absolute Error<sup>۶۰</sup>

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



می توان تاثیر طرح تعادل بخشی را تخمین زد. در جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده GP بیان شده و در جدول ۲ نتایج مدل آورده شده است.

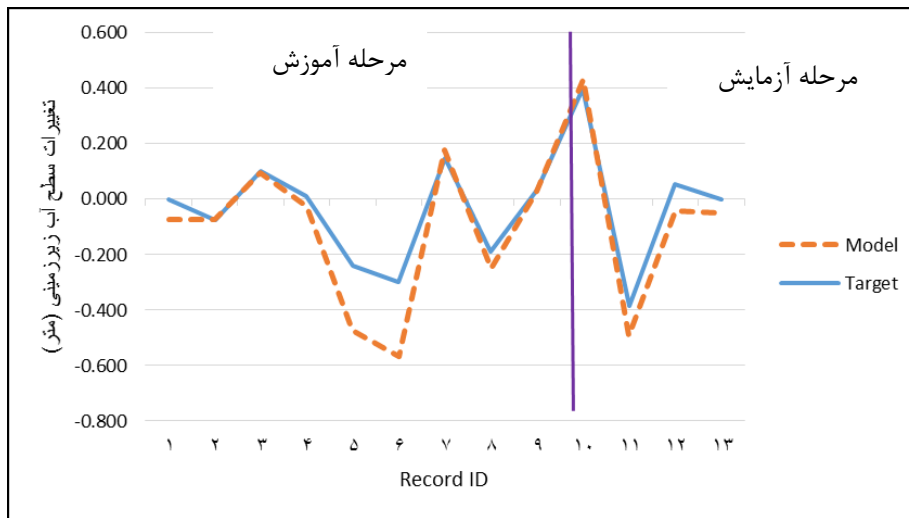
جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده در GP

پارامترها	نوع و مقدار
تعداد کروموزوم ها	۳۰
اندازه هد	۸
تعداد ژن	۳
تابع اتصال ژن ها	+
جهش	۰/۰۰۱
وارونگی	۰/۰۰۵
ترکیب یک نقطه ای	۰/۰۰۳
ترکیب دو نقطه ای	۰/۰۰۳
ترکیب ژن	۰/۰۰۵
جابجایی ژن	۰/۰۰۵
IS جابجایی	۰/۰۰۵
RIS جابجایی	۰/۰۰۵
تابع برازش	RMSE
توابع و عملگرها	{Max, ^, Avg, Tanh, ×, ÷, -, +} {3Rt, Inv, X <sup>2</sup> , Arctan, Ln, Min}

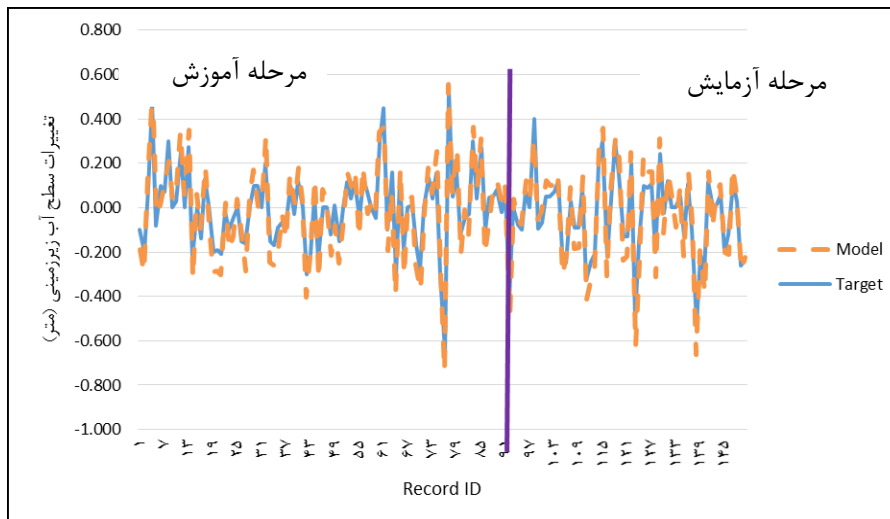
جدول ۲: نتایج برنامه GP محدوده مطالعاتی

ماهانه	سالانه	نوع سنجش تغییرات	
۸۹۵/۷۲	۹۲۴/۷۰	Best Fitness	مرحله آموزش
۰/۱۱	۰/۰۸	RMSE	
۰/۸۱	۰/۷۳	R <sup>2</sup>	
۰/۱۱	۰/۰۷	MAE	
۸۷۱/۱۰	۸۰۴/۵۶	Best Fitness	مرحله آزمایش
۰/۱۴	۰/۲۴	RMSE	
۰/۷۳	۰/۷۴	R <sup>2</sup>	
۰/۱۰	۰/۲	MAE	

در شکل ۳ و ۴ نتایج مدل GP با داده های مشاهده ای برای محدوده مطالعاتی برای سال های ۹۳-۸۱ به صورت سالانه و ماهانه آورده شده است.



شکل ۳: مقایسه نتایج مدل GP با داده های مشاهداتی برای محدوده مطالعاتی سال های ۹۳-۸۱ (سالانه)



شکل ۴: مقایسه نتایج مدل GP با داده های مشاهداتی ماهانه برای محدوده مطالعاتی سال های ۹۳-۸۱

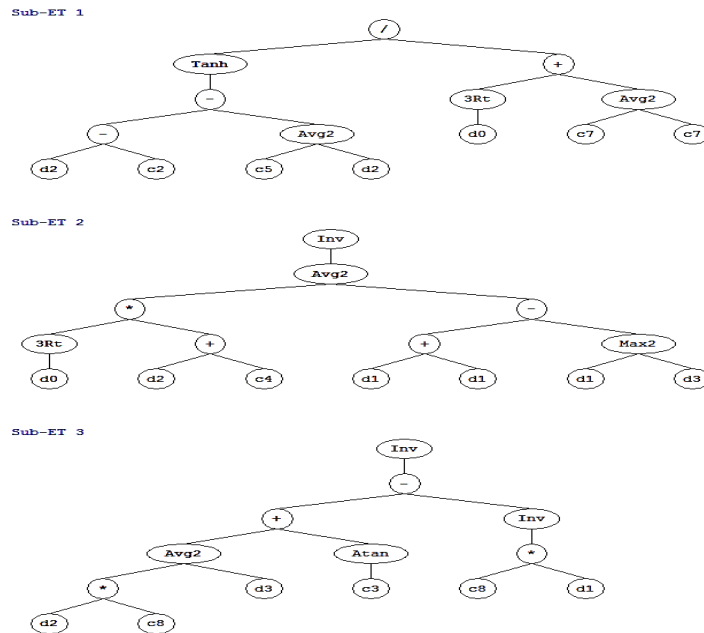
رابطه پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی:

در شکل شماره ۵ درخت بیان محدوده مطالعاتی برای دوره سالانه و ماهانه به نمایش درآمده است. با توجه به عبارت درختی، تابع نگاشتی برای محدوده مطالعاتی نوشته شد که در رابطه زیر آورده شده است. با استفاده از این رابطه می توان به تاثیر پارامترهای استفاده شده به عنوان ورودی های مختلف مدل پی برد و در حقیقت یکی از برتری های مدل GP نسبت به سایر مدل ها همین امر می باشد. در تابع نگاشتی به دست آمده از نمودار درختی متغیرهای مختلفی وجود دارد که هر متغیر نشان دهنده یک پارامتر می باشد که متغیرهای  $d_0, d_1, d_2, d_3$  به ترتیب مربوط به پارامترهای پمپاژ، بارندگی، دما و تبخیر می باشند.

$$y = [\text{Tanh}((d_2 - C_2) - \text{Avg}(C_5, d_2)) / (3Rtd_0 + C_7)] + [\text{Inv}(\text{Avg}(3Rtd_0 * (d_2 + C_4), 2d_1 - \text{Max}(d_1, d_3))] + [\text{Inv}(\text{Avg}(d_2 + C_8, d_3) + \text{Atan}C_3) - \text{Inv}(C_8 * d_1)]$$

در رابطه بالا  $y$  تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی می باشد و ضرایب ثابت  $C$  برای ژن های یک تا سه که در نمودار درختی مشاهده می شود و در رابطه استفاده شده است به قرار ذیل می باشد.

$$C_2=5/8272 \quad C_3=-8/1255 \quad C_4=4/0327 \quad C_5=2/0554 \quad C_7=-6/6917 \quad C_8=-94/2486$$

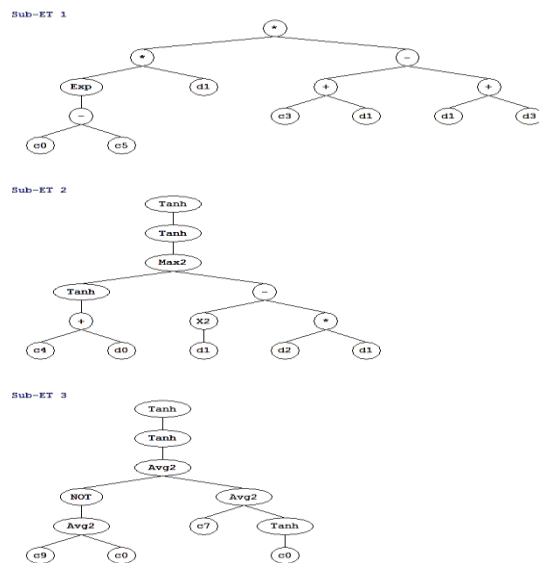


شکل ۵: درخت بیان با سه ژن برای تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی سال ۹۳-۸۱

به مانند رابطه سالانه برای فاصله زمانی ماهانه عبارت درختی شکل ۶ و تابع نگاشتی مربوطه نگاشته شده است.

$$y = [\text{Exp}(C_0 - C_5) * d_1 * (C_3 + d_3)] + [\text{Tanh}(\text{Tanh}(\text{Max}(\text{Tanh}C_4 + d_0), (d_1^2 - d_2 d_1)))] + [\text{Tanh}(\text{Tanh} \text{Avg}(1 - \text{Avg}(C_9, C_0)), \text{Avg}(C_7, \text{Tanh}C_0))]$$

$$C_0 = -7/682 \quad C_0 = -3/687 \quad C_3 = 81/740 \quad C_4 = 1/520 \quad C_5 = 4/181 \quad C_7 = -1/980 \quad C_9 = 9/295$$



شکل ۶: درخت بیان با سه ژن برای تغییرات ماهانه سطح آب زیرزمینی سال ۹۳-۸۱

#### نتیجه گیری:

با استفاده از مدل GP داده های بارش، دما، تبخیر و پمپاژ به عنوان ورودی وارد مدل شده و تغییرات سطح آب زیرزمینی به عنوان خروجی مدل استخراج گردید. دوره پایه جهت کار مدل ۱۳۸۱-۱۳۹۸ که به دو دوره قبل از انجام طرح تعادل بخشی (۸۱-۹۳) و بعد از انجام طرح (۹۸-۹۴) تقسیم گردید. با توجه به خروجی مدل توانستیم تغییرات سطح آب زیرزمینی را با استفاده از تابع نگاشتی به صورت محاسباتی به دست آورده و با داده های مشاهده ای مقایسه نماییم. با مقایسه این دو می توان نتیجه گرفت که طرح تعادل بخشی در محدوده مطالعاتی توانسته از شیب تند افت مداوم سطح آب زیرزمینی جلوگیری کند ولی همچنان جهت پیشبرد اهداف طرح نیاز به تلاش بیشتر می باشد. همچنین می توان ازین روش برای سال های آتی نیز استفاده نمود و از آن جهت سناریوهای بهبود طرح کمک گرفت به عنوان مثال می توان فهمید اگر پمپاژ را ۱۰ درصد کاهش دهیم چه کمکی به نوسانات سطح آب می کند.

#### منابع:

- حبیبی، م.، ۱۳۹۳. استفاده از روش های هوش مصنوعی برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی دشت هادیشهر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی.
- رجبی یامی، ز.، ۱۳۹۷. کاربرد روش های داده مینا در پیش بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان تهران-کرج). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی.
- قلعه قوند، ز.، ۱۳۹۷. تعیین عمق کفشکنی بهینه چاه های بهره برداری با استفاده از داده های سطح آب های زیرزمینی و الگوریتم بیان ژن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین.
- وزارت نیرو. ۱۳۹۴. گزارش پیشنهاد تمدید ممنوعیت توسعه بهره برداری از منابع آب محدود مطالعاتی تهران - کرج.
- Koza, J.R., 1992. Genetic programming: On the programming of computers by means of natural selection. Cambridge, MA: MIT Press.

## شناسایی مناطق با انتشار گاز رادون طبیعی شهر مشهد و اجرای سیستم کاهش آلودگی آن در مقیاس سایت

حمید سرخیل<sup>۱\*</sup>، داریوش شیرخانی<sup>۲</sup>، یوسف عظیمی<sup>۳</sup>، احمد طالبی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران

<sup>۲</sup> گروه محیط زیست انسانی، کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده محیط زیست، کرج

<sup>۳</sup> گروه مهندسی محیط زیست و پایش آلاینده ها، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران

<sup>۴</sup> گروه محیط زیست انسانی، دانشکده محیط زیست، کرج

sarkheil@khu.ac.ir

### چکیده:

انتشار طبیعی گاز رادون یک پدیده نوظهور است که شیوه زندگی مدرن آن را به یک خطر بالقوه برای انسان تبدیل کرده است. گازی است که شاخصه قابل درک فیزیکی ندارد و برای انسان قابل حس یا مشاهده نمی باشد. بنابراین، بسیار خطرناک تر از سایر آلاینده های گازی است. این گاز طبیعی در داخل ساختمان ها هم از جنبه ساختار زمینی که بر روی آن ساخته شده است و هم از نظر ترکیب مصالح ساخت، می تواند تجمع یابد. امروزه کشورهای توسعه یافته جهان اطلس های رادون را در مکان های مهم و شهرهای بزرگ خود تهیه نموده اند. مشهد به عنوان دومین شهر مهم کشور، یکی از توریستی ترین شهرهای ایران محسوب می شود، و دارای اهمیت دو چندانی است. در این مطالعه، با در نظر گرفتن وضعیت زمین شناسی آن، در کل مناطق شهری مشهد گاز رادون اندازه گیری شده و با استفاده از نرم افزار Arc GIS، نقشه های پهنه بندی انتشار رادون طبیعی در مقیاس های شهری و زمین شناسی تهیه گردیده است. در ادامه، یک واحد مسکونی در یکی از مناطق بحرانی با انتشار طبیعی گاز رادون، انتخاب گردیده و یک روش اصلاحی برای کاهش رادون برای آن سازه اتخاذ شد. روش های اعمال شده بر روی سازه مورد نظر، قادر به کاهش قابل توجه گاز رادون به میزان ۲۷ تا ۵۰ درصد بوده است. با توجه به اینکه انتشار طبیعی رادون از سنگ ها و شکستگی های زیر سطحی در تمام نقاط جهان وجود دارد. بنابراین شناسایی مناطق بحرانی (با انتشار طبیعی بالای رادون) می تواند اقدامات کنترلی ویژه ای را در ساختمان های محلی انجام دهد که خطرات این گاز طبیعی را کاهش می دهد.

کلیدواژه: رادون، مشهد، انتشار رادون طبیعی، زمین شناسی

## Identification of natural radon gas emission zones in Mashhad and implementing its pollution reduction system at the site-scale

Hamid Sarkheil<sup>1\*</sup>, Dariush Shirkhani<sup>2</sup>, Yousef Azimi<sup>3</sup>, Ahmad Talebi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran

<sup>2</sup> Master of Civil Engineering - Environment, Faculty of Environment, Karaj

<sup>3</sup> Department of Environmental Engineering and Pollutant Monitoring, Institute for Environment and Sustainable Development, Tehran



## Abstract

The natural emission of radon gas is an emerging phenomenon that modern lifestyles have turned into a potential danger to humans. It is a gas that has no physical properties that can be seen or understood by humans. Therefore, it is much more dangerous than other gaseous pollutants. This natural gas inside a building is determined by both the terrain on which it is built and the composition of its constructed materials. Today, the world's developed countries have prepared Radon atlases in their critical locations and big cities. As the second most important city in the country, the Mashhad, which is also considered one of the most touristic cities in Iran, is doubly important. In this study, first, the structural geology condition of the Mashhad in terms of Radon emission has been investigated, and then Radon has been measured. Using Arc GIS software, natural Radon emission zoning maps at urban and geological scales have been prepared. Also, a residential unit in one of the critical areas of natural Radon emission has been selected. A corrective method has been adopted to reduce Radon. The methods applied to the structure were able to significantly reduce radon gas by 27 to 50 percent. Given that natural radon emissions from subsurface rocks and fractures are present in all parts of the world. So identifying critical areas (with high radon emissions) can provide special control measures at the local and site scale buildings that reduce the risks of this natural gas.

## مقدمه:

گاز رادون به عنوان محصول فرعی ساییدگی و فرسایش اورانیوم در برخی از سنگ ها تشکیل می شود (پرزلیبیسکی و همکاران، ۲۰۰۴). رادون از مناطق زیرسطحی خاک ساطع می شود و بیشتر در فضاهای بسته متمرکز است (مایر، ۲۰۱۹) و از آنجا که نیمه عمر رادون ۲۲۲ حدود ۳٫۸۲ روز است (کولال و همکاران، ۲۰۱۸)، می تواند در ساختارهای بسته ذخیره شود و روزهای زیادی در هوا بماند (چلینگاریان و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، خانه ها و محل کار باید دارای تهویه مناسب باشند (میناردی و همکاران، ۲۰۱۸). عناصر طبیعی معمولاً عامل سه چهارم رادیواکتیویته در محیط هستند (یودوویسک و همکاران، ۲۰۲۰) و همچنین رادون فراوان ترین منبع رادیواکتیو طبیعی است (مک گرات و برن، ۲۰۲۰). در بعد مسأله بهداشت عمومی غلظت گاز رادوی که هم در ساختمان ها و هم در آب آشامیدنی تجمع می یابد، نیاز به بررسی دارد (آلونسو و همکاران، ۲۰۱۹). تجزیه رادون ناشی از تشعشعات یونیزه کننده است. با نفوذ به ماده (یوسیگالو و همکاران، ۲۰۱۷)، معمولاً الکترون ها را از اتم های اطراف با مکانیزمی موسوم به یونیزاسیون دریافت می کند (بورما و همکاران، ۲۰۱۶). فرض کنید این ماده یک ساختار بیولوژیکی با محتوای آب بالا است. در این حالت، یونیزاسیون مولکول های آب می تواند رادیکال های آزاد با درجه فعالیت شیمیایی بالا تولید کند، به طوری که مولکول های ضروری موجود در سلول های موجودات زنده را تغییر دهد (روانات و همکاران، ۲۰۲۱؛ بلوندل، ۲۰۱۵). از جمله تاثیرات آن ایجاد تغییرات شیمیایی در DNA می باشد که می تواند عواقب بیولوژیکی مانند رشد نامنظم سلول را در پی داشته باشد (استنلی و همکاران، ۲۰۲۱؛ گسل، ۱۹۸۳)، وابسته به میزان تابش دریافتی، این تغییرات ممکن است کم و بیش شدید باشند (عباس زاده فتح آبادی و همکاران، ۲۰۲۰). جدی ترین خطری که رادون در فضاهای بسته ایجاد می کند استنشاق است (لوپس و همکاران، ۲۰۲۱). از آنجا که حداکثر غلظت رادون در حالی که دست می آید که فضای مورد نظر فاقد تهویه هوا باشد (به عنوان مثال، وقتی همه پنجره ها و اتصالات بسته هستند)، اندازه گیری مختصر انجام شده در این مدت باید از مقدار متوسط سالانه رادون قابل توجه تر در نظر گرفته شود (احمد و همکاران، ۲۰۲۱). زمین مهمترین منبع رادون در سازه های جدا شده یا در طبقه همکف ساختمان ها است. غلظت

گاز رادون در زمین بین ۱۰ تا ۵۰ بکرل بر متر مکعب متغیر است، با مقادیر بسیار بالاتر ممکن است. مقدار متوسط تقریباً به ۴۰ بکرل بر متر مکعب برسد (فرد و همکاران، ۲۰۲۱). سطح رادون که از زمین به ساختمان می رسد عمدتاً با مقدار رادیوم ۲۲۶ موجود در زیرخاک و نفوذپذیری خاک آن تعیین می شود (میستره و همکاران، ۲۰۲۱). بسیاری از کشورها دارای نمودارهای پیش بینی کننده محتوای رادون هستند که در درجه اول نمایانگر ترکیب آذرین سنگ/خاک است (بوچیچو و همکاران، ۲۰۱۴؛ اسپنگلر و آدامکیویچ، ۲۰۰۹). به عنوان مثال، کشور سوئد نقشه هایی را بر روی محاسبه پتانسیل ژئوتونیک رادون ایجاد کرده است، که سطح خطر را بر اساس منطقه بر اساس غلظت رادون در زمین در عمق ۱ متری، مطالعات میدانی رادون در سنگ ها، خاک ها و آب طور مشابه، کاربرد رویکردهای وابسته به عوامل دیگر، مانند غلظت رادون ۲۲۶ خاک یا معادل اورانیوم آن، مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال دیگر، در کشور فرانسه، نقشه ملی با استفاده از نقشه های زمین شناسی و میزان متوسط اورانیوم هر واحد زمین شناسی ایجاد شده است (بارد، ۲۰۱۷؛ کمسکی و همکاران، ۲۰۰۱). در چنین مواردی روش های متنوع و ساختارهایی برای شناسایی خطرات و تجزیه و تحلیل ریسک که می تواند بر ایمنی متمرکز باشد (سرخیل و رهبری، ۲۰۱۶؛ سرخیل و همکاران، ۲۰۱۶) و همچنین جنبه های بهداشتی و زیست محیطی (سرخیل و همکاران، ۲۰۲۰؛ سرخیل، ۲۰۲۱) به طوری که با در نظر گرفتن آن ها، خطر ناشی از کاهش انتشار رادون طبیعی به همراه خواهد داشت.

به دلیل نقش این گاز در سلامت جامعه، میزان گاز طبیعی رادون آزاد شده از سنگ های مختلف زمین شناسی و تاثیر آن بر بهبود توزیع جمعیت و اماکن مسکونی و تجاری شهر مشهد، در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. پس از تعیین مناطق بحرانی شهری و اولویت بندی آن ها، یک سازه مورد بررسی قرار می گیرد و روش های کاهش دهنده انتشار و تجمع گاز طبیعی رادون، مورد بررسی قرار خواهد گرفت و یافته ها تفسیر و مقایسه می شوند.

### روش مطالعه:

#### جمع آوری داده های انتشار گاز رادون طبیعی در مشهد

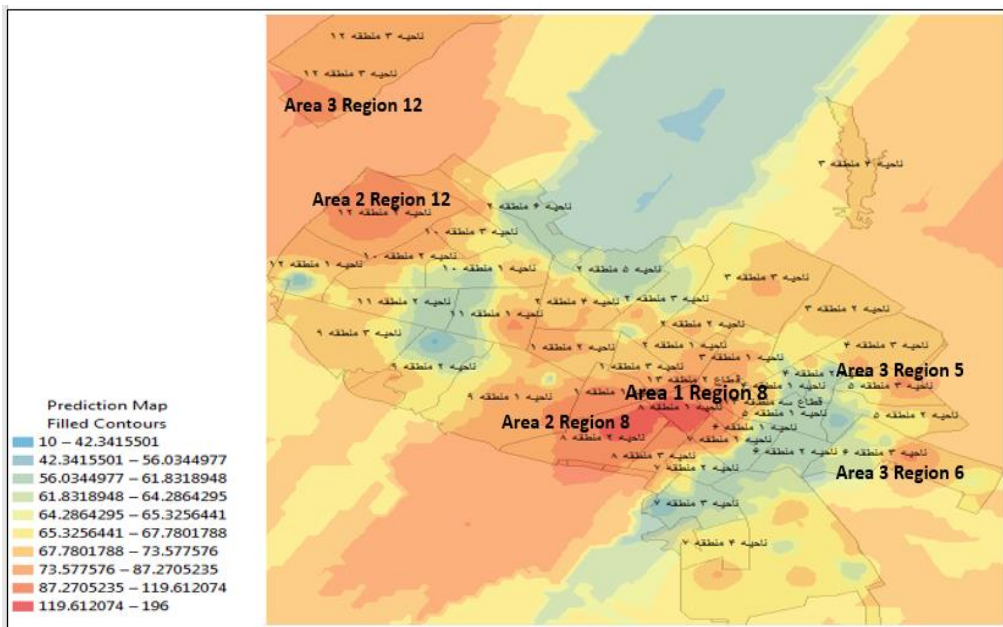
در این تحقیق به دلیل اهمیت شهر مشهد و موقعیت مذهبی، اجتماعی و اقتصادی آن در ایران، بررسی میزان انتشار طبیعی گاز رادون در شهر مشهد طراحی و انجام گردید. جمع آوری داده ها در طول سه ماه و در پاییز انجام شد. داده ها از مکان های بسته گرفته شد، شرایط دما و رطوبت در زمان برداشت داده ها کنترل گردید به طوریکه ثابت و یکسان بود. به طوریکه دما بین ۱۲ تا ۱۸ درجه سانتی گراد و درجه رطوبت به دلیل آب و هوای مشهد بسیار کم و در محدوده ۱۰ تا ۱۷ درصد بود. در مشهد ۱۵۷ محله وجود دارد. به طوریکه در هر محله حداقل یک داده برداشت گردید. در محله هایی که بیش از یک داده برداشت شده است، بحرانی ترین آن در نظر گرفته می شود. همه داده ها از زیرزمین واحدهای مسکونی، تجاری یا اداری واقع در نقاط مختلف مشهد جمع آوری شد. برخی از این زیرزمین ها مربوط به پارکینگ های موجود و برخی در ساختمان ها بود. در این مطالعه سعی شده است که از مکان های عمومی نیز نمونه گرفته شود تا مکان هایی که مردم ناگزیر در آن حضور دارند و کنترل اوضاع در دست آن ها نیست، مورد بررسی قرار گیرد. مکان های اطراف حرم و زیرگذرهای آن چندین بار اندازه گیری صورت پذیرفت و بحرانی ترین آنها در نظر گرفته شد. مقدار رادون با استفاده از دستگاه KATA Radon-Box/10 اندازه گیری گردید. نتیجه نهایی میزان رادون با واحد بکرل بر متر مکعب ( $Bq/m^3$ ) نشان داده می شود.

در ادامه نقشه های پهنه بندی توزیع رادون برای مناطق مختلف شهر مشهد و مناطق شهری با استفاده از نرم افزار Arc GIS و ابزار تجزیه و تحلیل زمین آمار تهیه گردید. روش پهنه بندی به این صورت است که ابتدا نقشه زمین شناسی مشهد و نقشه

شهری آن بارگذاری می شود. سپس با استفاده از ابزار تحلیل زمین آمار، پهنه بندی مورد نظر با روش درون یابی انتخاب شده انجام شد. از چهار روش درون یابی مانند Areal، IDW، Kriging و Co-Kriging برای مدل سازی تغییرات فضایی استفاده شد.

جدول ۱: مقایسه روش های درون یابی برای پهنه بندی رادون در مقیاس شهری اندازه گیری شده

Interpolation method	Average error (percentage)	RMSE (percentage)	number of samples
Areal	14.39	32.50	157
IDW	10.21	48.41	157
Kriging	4.93	42.62	157
CO-Kriging	6.78	38.92	157



شکل ۱: نقشه رادون خیزی طبیعی مشهد با استفاده از روش درون یابی کریجینگ

### اندازه گیری و پیاده سازی روش های کاهنده گاز رادون در یک واحد مسکونی منتخب

یک واحد مسکونی بیست و چهار ساله با مساحت کل ۲۲۴ متر مربع و زیربنای ۱۷۸ متر مربع انتخاب شد که در یک طبقه با زیرزمین و سقف شیروانی اجرا شده بود. برای ساخت این ساختمان از مصالح و بتن دستی استفاده شده است. قاب پنجره های این واحد مسکونی از فلز ساخته شده و از شیشه های تک جداره برای دربها و پنجره ها استفاده می شود. این واحد مسکونی در منطقه کوه سنگی، خیابان ۲۰ کوه سنگی، شماره B (واقع در قسمت جنوبی مشهد-منطقه ای با آلودگی زیاد رادون و بافت فرسوده) واقع شده است و در زمان انجام این تحقیق، چهار نفر در آن زندگی می کردند. مقادیر رادون توسط دستگاه Radon Box-10 در ده نقطه اندازه گیری شده است تا مقادیر رادون در این واحد مسکونی ارزیابی شود.

چهار راه برای کاهش غلظت رادون در ساختمان ها وجود دارد:

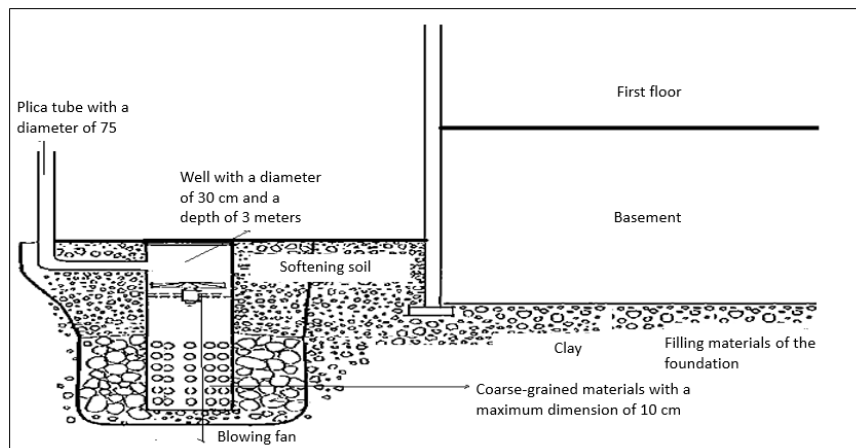
- هوای مملو از گاز رادون محبوس شده را تهویه کنید.

- ورودی گاز رادون به فضای بسته ساختمان را کاهش دهید.
- منابع انتشار گاز رادون بایستی تغییر نماید.
- رادون و مشتقات آن باید به نحوی حذف شوند.

روش‌های تهویه باعث خروج هوای مملو از گاز رادون می‌شود و با ورود به هوای بیرون، از تجمع گاز رادون جلوگیری می‌شود. کیفیت دیوارها و کف نیز نقش مهمی در جلوگیری از ورود گاز رادون و بستن ترک‌ها و سوراخ‌های کف و دیواره‌ها می‌تواند بسیار موثر باشد. علاوه بر آن، می‌توان هوای داخل خانه را از طریق نوعی فیلتر عبور دهید تا گاز رادون و مشتقات آن توسط فیلتر جذب شده و از هوای داخل خارج شوند.

#### بحث:

پس از اندازه‌گیری مقادیر رادون خیزی در سازه مورد نظر، برای بهبود کارایی سیستم حذف بخشی از گاز رادون موجود با استفاده از روش‌های کاهش فشار هوا در زیر دال، روش حفاری چاه جذب رادون (شکل ۲ و ۳) و ترمیم ترک‌های بدنه و فونداسیون در زیرزمین استفاده شده است. بدین منظور ابتدا تمام شکاف‌ها و شکاف‌های کف، دیوارها و گوشه اتاق‌ها و زیرزمین‌ها شناسایی و با چسب بتن ترمیم گردید. برای این منظور از چسب بتن برای ترمیم آسیب‌های سطحی و عمیق نیز استفاده گردید. چسب بتن کاربردهای متفاوتی دارد. چسب بتن بدون نیاز به افزودن آب بوده و یکدست است. این چسب استحکام کششی و خمشی بالایی دارد و به طور موثری دوام بتن گچی و آهکی را افزایش می‌دهد.



شکل ۲: طرح شماتیک اتخاذ روش دفع رادون در یک واحد مسکونی (حفرچاه، لوله کشی و استفاده از درون چاه)



شکل ۳: نمونه اجرای پروژه کاهش تجمع گاز رادون در ساختمان نمونه در منطقه کوه سنگی مشهد

### نتیجه گیری:

با توجه به اهمیت رادون خیزی طبیعی در مناطق شهری به دلیل ویژگی های زمین شناختی و ساختاری مناطق زیر سطحی آن، بررسی میزان این گاز رادون برای سلامت شهروندان حائز اهمیت می باشد، به طوریکه در این مطالعه، کلان شهر مشهد محله به محله برای بررسی میزان گاز رادون در فضاهای بسته مورد اندازه گیری و سنجش قرار گرفت، نتایج این ارزیابی ها با روش های زمین آماری مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت در محیط نرم افزار های Arc GIS پهنه بندی این غلظت آلایندهی خطرناک مدل گردید. نتایج نشان از این دارد که مناطق داخلی و پرجمعیت شهر مشهد با انتشار این گاز طبیعی مواجه هستند که این خود لزوم رعایت مقررات ساختمان در این خصوص را می طلبد. در ادامه تحقیق در یکی از مناطق با آلودگی بالا، منطقه کوه سنگی مشهد، در مقیاس سایت در یک ساختمان مسکونی میزان انتشار گاز رادون اندازه گیری گردید برای کاهش مقادیر رادون در این واحد مسکونی، از کاهش فشار زیر دال به همراه دو روش کمکی دیگر استفاده شد. مقادیر رادون در ۵ نقطه قبل از نصب سیستم اندازه گیری شد. به دلیل تجمع رادون در سطوح پایین و تهویه نامناسب در زیرزمین، مقادیر ثبت شده در این منطقه بیشتر از مقادیر ثبت شده در طبقه اول بود. در زیرزمین، حمام و اتاق اصلی بیشترین مقدار رادون را نشان می دهند. در مناطق دیگر، عدم تهویه مناسب به عنوان علت اصلی افزایش گاز رادون طبیعی ثبت شده است. با توجه به اینکه اندازه گیری ها در پاییز انجام شده است، به احتمال زیاد سطح رادون در زمستان به دلیل بخاری و آب بندی درها و پنجره ها افزایش می یابد و در نتیجه تهویه طبیعی کاهش می یابد. اگر ساکنان سیستم اصلاحی سالم را نصب نکنند، احتمالاً در خطر جدی خواهند بود. میانگین مقادیر اولیه ثبت شده معادل ۱۴۶،۹ بکرل بر متر مکعب بود که هر ۱۲ ساعت پس از نصب سیستم

مقدار رادون را کاهش می داد. ظرف ۴۸ ساعت، کارایی سیستم به ۲۸ درصد افزایش یافت، بدین معنی که پس از ۴۸ ساعت، مقدار رادون به ۷۲ درصد مقدار اولیه رسید. این تغییرات قابل ملاحظه در میزان رادون محبوس شده، لزوم رعایت الزامات ساخت در محیط های با رادون خیزی طبیعی بالا را می رساند. در ادامه پیشنهاد می شود که ایجاد فضاهای سبز شهری در مناطق آلوده مشهد، همانند یک کمر بند سبز می تواند از میزان این تراکم بکاهد.

#### منابع:

- Abaszadeh Fathabadi, Zeynab, Mohamad Hassan Ehrampoush, Masuod Mirzaei, Mehdi Mokhtari, Mohamad Nadi Sakhvidi, Abolghasem Rahimdel, Arefeh Dehghani Tafti, et al. 2020. "The Relationship of Indoor Radon Gas Concentration with Multiple Sclerosis: A Case-Control Study." *Environmental Science and Pollution Research* 27 (14): 16350–61. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08147-y>.
- Ahmad, N, IU Khan, J ur Rehman, T Nasir - *Journal of radiation research*, and undefined 2017. n.d. "An Overview of Radon Concentration in Malaysia." Elsevier. Accessed May 14, 2021. Alonso, H., J. G. Rubiano, J. G. Guerra, M. A. Arnedo, A. Tejera, and P. Martel. 2019. "Assessment of Radon Risk Areas in the Eastern Canary Islands Using Soil Radon Gas Concentration and Gas Permeability of Soils." *Science of the Total Environment* 664 (May): 449–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.411>.
- Bard, Denis. 2017. "Commentaires." *Environnement, Risques et Sante*. John Libbey Eurotext. <https://doi.org/10.3390/ijerph14040344>.
- Blundell, Mark. 2015. "Naturally Occurring Radioactive Materials." In *Proceedings of the American Gas Association, Operating Section*, 1:490–502. American Gas Association. <https://doi.org/10.1201/9780203746042>.
- Bohicchio, F., Z. S. Žunić, C. Carpentieri, S. Antignani, G. Venoso, V. Carelli, C. Cordedda, N. Veselinović, T. Tollefsen, and P. Bossew. 2014. "Radon in Indoor Air of Primary Schools: A Systematic Survey to Evaluate Factors Affecting Radon Concentration Levels and Their Variability." *Indoor Air* 24 (3): 315–26. <https://doi.org/10.1111/ina.12073>.
- Boerma, Marjan, Vijayalakshmi Sridharan, Xiao Wen Mao, Gregory A. Nelson, Amrita K. Cheema, Igor Koturbash, Sharda P. Singh, Alan J. Tackett, and Martin Hauer-Jensen. 2016. "Effects of Ionizing Radiation on the Heart." *Mutation Research - Reviews in Mutation Research* 770 (Pt B): 319–27. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.07.003>.
- Chilingarian, A., G. Hovsepyan, and B. Sargsyan. 2021. "Circulation of Radon Progeny in the Terrestrial Atmosphere During Thunderstorms." *Geophysical Research Letters*. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1029/2020GL091155>.
- Fard, ZD, M Rahimi, M Malakootian, N Javid - *Journal of Radioanalytical*, and undefined 2020. n.d. "Studying Radon Concentration in Drinking Water Resources in Zarand City (Iran) and Its Villages." Springer. Accessed May 14, 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-020-07349-5>.
- Gesell, Thomas F. 1983. *Background Atmospheric 222Rn Concentrations Outdoors and Indoors: A Review*. *Health Physics* 45 (2): 289–302. <https://doi.org/10.1097/00004032-198308000-00002>.
- Kemski, J., A. Siehl, R. Stegemann, and M. Valdivia-Manchego. 2001. "Mapping the Geogenic Radon Potential in Germany." In *Science of the Total Environment*, 272:217–30. *Sci Total Environ*. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00696-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00696-9).
- Kulali, Feride, İskender Akkurt, Nevzat Özgür, and Mehmet Sezer. 2018. "The Correlation of the Seismic Activities and Radon Concentration in Soil Gas." *Arabian Journal of Geosciences* 11 (16). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3743-8>.
- Lopes, SI, J Silva, A Antão, A Curado - *Energy Procedia*, and undefined 2018. n.d. "Short-Term Characterization of the Indoor Air Radon Concentration in a XII Century Monastery Converted into a School Building." Elsevier. Accessed May 14, 2021.
- Maestre, C Rizo, V Echarri Iribarren - *International journal of*, and undefined 2018. n.d. "The Radon Gas in Underground Buildings in Clay Soils. The Plaza Balmis Shelter as a Paradigm." *Mdpi.Com*. Accessed May 14, 2021. <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/5/1004>.

- Mainardi, Anne S., and Carrie A. Redlich. 2018. "Indoor Air Quality Problems at Home, School, and Work." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 198 (1). <https://doi.org/10.1164/rccm.1981P1>.
- McGrath, James A., and Miriam A. Byrne. 2020. "An Approach to Predicting Indoor Radon Concentration Based on Depressurisation Measurements." *Indoor and Built Environment*. <https://doi.org/10.1177/1420326X20924747>.
- Meyer, Winfried. 2019. "Impact of Constructional Energy-Saving Measures on Radon Levels Indoors." *Indoor Air* 29 (4): 680–85. <https://doi.org/10.1111/ina.12553>.
- Przylibski, Tadeusz Andrzej, Kalina Mamont-Cieśla, Monika Kusyk, Jerzy Dorda, and Beata Kozłowska. 2004. "Radon Concentrations in Groundwaters of the Polish Part of the Sudety Mountains (SW Poland)." *Journal of Environmental Radioactivity* 75 (2): 193–209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2003.12.004>.
- Ravanat, JL, T Douki - Radiation Physics and Chemistry, and undefined 2016. n.d. "UV and Ionizing Radiations Induced DNA Damage, Differences and Similarities." Elsevier. Accessed May 14, 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X1630216X>.
- Sarkheil, H., Rahbari, Sh., 2016. "HSE key performance indicators in HSE\_MS establishment and sustainability: a case of south pars gas complex, Iran", *Int. J. Occup. Hyg.* 8 (1) (2016) 52–60.
- Sarkheil, H., Tavakoli, J., Rezvani, S., 2016. "Inherent safety process assessment in the initial phase of the chemical design process: the case of acetic acid production process", *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention* 4 (1) (2016) 207–212.
- Sarkheil, H., Tahery, B., Rayegani, B., Ramezani, J., Goshtasb, H., Jahani, A., 2020. "Evaluating the current status of the national health, safety, and environment management system for integration, harmonization, and standardization of environmental protection", *Health Risk Analysis* 1, 18–24, <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.02.eng>.
- Sarkheil, H., 2021. Risk and incident analysis on key safety performance indicators and anomalies feedback in south pars gas complex, *Results in Engineering*, *Results in Engineering* 9 (2021) 100210, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100210>
- Spengler, J, and G Adamkiewicz. 2009. *Indoor Air Pollution: An Old Problem with New Challenges*. <https://www.mdpi.com/1660-4601/6/11/2880>.
- Stanley, FKT, S Zarezadeh, CD Dumais, K Dumais - CMAJ open, and undefined 2017. n.d. *Comprehensive Survey of Household Radon Gas Levels and Risk Factors in Southern Alberta*. Ncbi.Nlm.Nih.Gov. Accessed May 10, 2021.
- Udovicic, V, N Veselinovic, D Maletic, ... R Banjanac -, and undefined 2020. 2020. *Radon Variability Due to Floor Level in Two Typical Residential Buildings in Serbia*. Yadda.Icm.Edu.Pl. <https://doi.org/10.2478/nuka-2020-0019>.
- Usikalu, M. R., V. Olatinwo, M. Akpochafor, M. A. Aweda, G. Giannini, and V. Massimo. 2017. *Measurement of Radon Concentration in Selected Houses in Ibadan, Nigeria*. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 852. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/852/1/012028>.

## کاربرد کائولن زنونز در صنایع دارویی و بهداشتی از دیدگاه فلزات بالقوه سمی

پرستو حدادی<sup>۱\*</sup>، عطا شاکری<sup>۲</sup>، سروش مدبری<sup>۳</sup>، میثم رستگاری مهر<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه خوارزمی  
<sup>۲</sup> گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی  
<sup>۳</sup> دانشکده زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران  
<sup>۴</sup> گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی  
parastooaddadi1996@gmail.com

### چکیده:

کانی های رسی علاوه بر تاثیر شگرفی که بر ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند، کاربردهای زیادی نیز در حوزه صنعت بویژه بخش محیط زیست و مصارف بهداشتی و دارویی دارند. کائولینیت از جمله کانی های رسی است که به خاطر جانمایی های اندکی که در ساختار آن رخ می دهد، خالص بوده و ویژگی های صنعتی، بهداشتی و دارویی مطلوبی دارند. در این مطالعه ۴ نمونه کائولن تجاری محصول این معدن کائولن زنونز در آذربایجان شرقی جمع آوری شد. به توجه به اینکه مهم ترین آلودگی های موجود در کائولن، عناصر بالقوه سمی و ترکیب کانی شناختی آنهاست، آنالیز ژئوشیمیایی بر روی نمونه ها انجام شد. برای عنصر سرب دو حد مجاز، کمتر از ۵۰ ppm برای مصارف موضعی و ۲۵ ppm برای مصارف خوراکی در نظر گرفته شده است و وجود کادمیم کاملا ناپذیرفتنی است. نمونه های P2 و P3 سرب بالاتر از حد مجاز داشته اما هیچ یک از نمونه ها در مصارف داروهای موضعی مشکلی نشان نمی دهند. لذا در استفاده از نمونه های کائولن زنونز توجه به مقدار سرب برای مصارف خوراکی الزامی است. پیش از هرگونه استفاده، انجام کائولن شویی و حذف کانی های مزاحم خصوصا گروه کوارتز الزامی است. کلیدواژه: (کانی های رسی - کائولن در مصارف بهداشتی - کاربردهای دارویی)

## Application of Zonuz kaolin in pharmaceutical and health industries from the perspective of potentially toxic metals

Parastoo Haddadi<sup>1</sup>; Ata Shakeri<sup>2</sup>; Soroush Modabberi<sup>3</sup>, Meisam Rastegari Mehr<sup>4</sup>

<sup>1</sup>MSc of Environmental Geology, Kharazmi University

<sup>2</sup> Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

<sup>3</sup> Faculty of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Tehran University

<sup>4</sup> Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

### Abstract:

In addition to the significant role of clay minerals in physical, chemical and biological properties of soil, they also have many applications in industry, especially in the field of environment and health and pharmaceutical uses. Kaolinite is a clay mineral and due to the minor substitutions its structure, the minerals of the kaolinite group are pure and have desirable industrial, health and medicinal applications. According to the Food and Drug Administration (FDA) standard, the amount of lead in cosmetics should not exceed 20 mg/g, and the amount of cadmium in any amount is prohibited. In this study, 4 rock samples were collected from Zonuz kaolin mine East Azerbaijan province and were

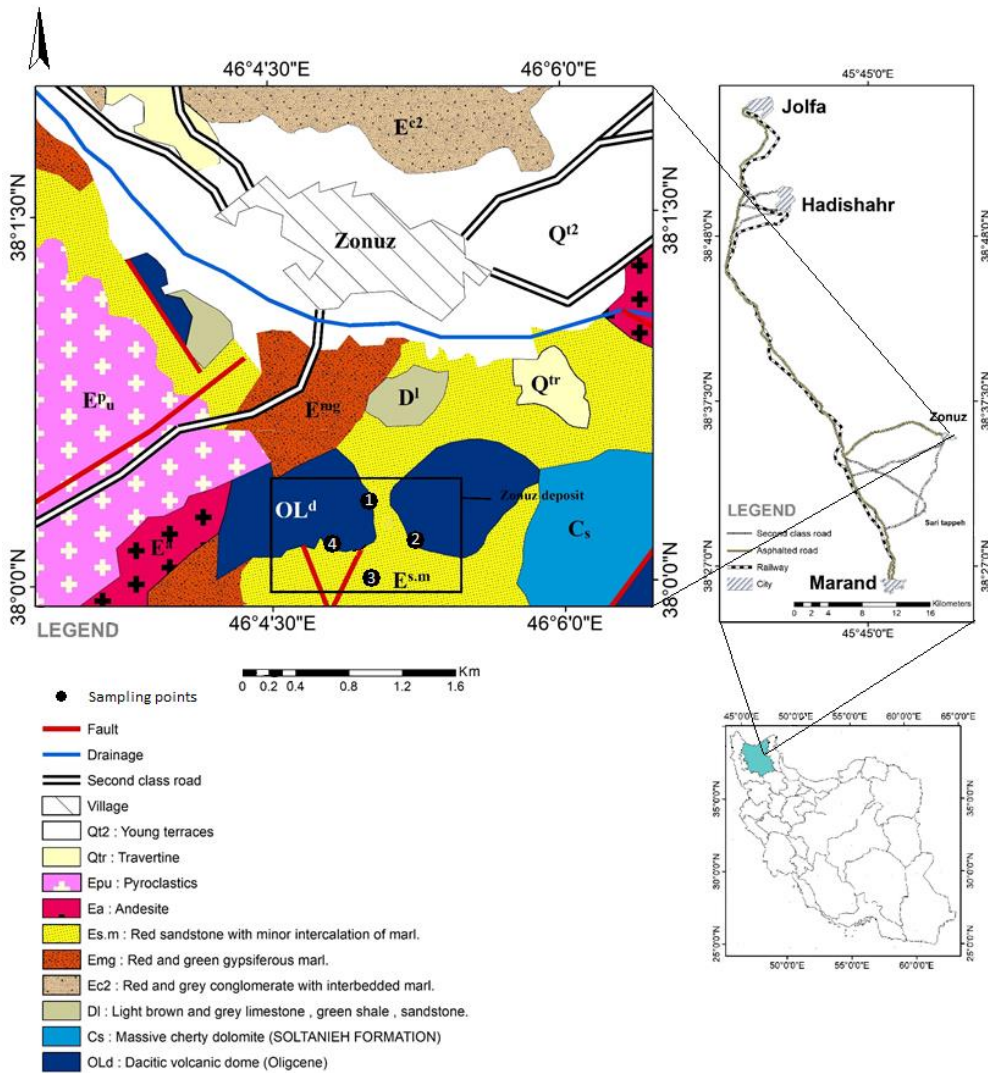


analyzed. The most important contaminants in kaolin are potentially toxic elements and their mineralogical composition. For the lead element, two permissible limits are less than 50 ppm for topical use and 25 ppm for oral use. P2 and P3 samples had higher levels of lead, but none of the samples showed concern with topical medications. Therefore, in using samples of Zonuz kaolin, it is necessary to pay attention to the amount of lead for oral usage. Before any use, it is necessary to process kaolin and remove detrimental minerals, especially quartz group minerals.

#### مقدمه:

کانی‌های رسی علاوه بر تاثیر شگرفی که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند، کاربردهای زیادی نیز در حوزه صنعت بویژه بخش محیط زیست و مصارف بهداشتی و دارویی دارند. کانی‌های رسی گروهی از فیلوسیلیکات‌ها با ورقه‌هایی از چهاروجهی‌های  $\text{SiO}_4$  هستند که از جنبه‌های مختلفی رده‌بندی می‌شوند. در معروفترین رده بندی، این کانی‌ها را با توجه به ساختار به گروه رس‌های ۱:۱ (که کائولینیت مهمترین عضو این گروه است) و رس‌های ۲:۱ (که اسمکتیت مهمترین عضو این گروه را تشکیل می‌دهد)، دسته‌بندی می‌کنند (Grim, 1968). به خاطر جانشینی‌های اندکی که در ساختار کائولینیت رخ می‌دهد، کانی‌های گروه کائولینیت خالص بوده و ویژگی‌های صنعتی، بهداشتی و دارویی مطلوبی دارند (معصومی، ۱۳۸۹). محصولات آرایشی و بهداشتی حاوی فلزات سنگین همچون سرب و کادمیم هستند (Nnorom et al., 2005). بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۸۵ درصد جذب سرب از طریق لوازم آرایشی است، که بیش از ۹۰ درصد آن در استخوان تجمع می‌یابد (Umar et al., 2013). همچنین تماس دائم آن با مخاط باعث بروز سرطان می‌شود (Dwivedi, 1996). کادمیم به عنوان رنگدانه در بسیاری از محصولات آرایشی کاربرد دارد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۶). این فلز سنگین بسیاری از اندام‌های بدن همچون قلب، کلیه‌ها، ریه و مغز را هدف قرار داده و همچنین باعث اختلال در متابولیسم کلسیم شده و در نهایت تخریب استخوان می‌شود (منصوری و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس استاندارد سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) مقدار سرب در محصولات آرایشی نباید بیشتر از ۲۰ میکروگرم در گرم باشد و میزان کادمیم در هر مقداری ممنوع است (FDA, 2007).

کانسار کائولن زنوز در محدوده‌ای به مختصات جغرافیایی  $33^{\circ} 34'$ ،  $33^{\circ} 33'$  و  $38^{\circ}$  عرض شمالی در ۱۵ کیلومتری شمال شرق مرنده، استان آذربایجان شرقی واقع شده است. واحدهای سنگی محدوده به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای دولومیتی سلطانیه (اینفراکامبرین)، ماسه‌سنگی باروت (کامبرین)، نهشته‌های آذرآواری ائوسن-الیگوسن (تناوب گدازه‌های تراکی آندزیتی با توف، آگلومرا و برش آتشفشانی) است (علیپور و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۱: نقشه زمین شناسی و راه‌های دسترسی به زونوز، برگرفته شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا (افتخارزاد، ۱۳۷۵)

### روش مطالعه:

در این مطالعه ۴ نمونه سنگی از معدن کائولن زونوز برای تعیین غلظت فلزات سنگین، توسط چکش زمین‌شناسی جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی کدگذاری شده قرار داده شد و برای آماده‌سازی به آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه خوارزمی منتقل گردید. سپس نمونه‌ها با دستگاه آسیاب فکی به قطعات کوچکتر خرد شد و با دستگاه گراپندر (تیغه از جنس عقیق) پودر شدند. تمامی نمونه‌ها از الک با مش ۲۰۰ عبور داده شدند. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه زرازا برای تعیین غلظت عناصر و تجزیه با ICP-MS ارسال شدند. همچنین، آنالیز XRD برای شناسایی فازهای کانیایی بر روی نمونه‌ها انجام شد.

### بحث:

ذخایر بزرگ کائولن با درجه خلوص مناسب برای استفاده در مصارف خوراکی، بهداشتی و دارویی در ایالت جورجیا و کورنوال انگلستان استخراج می‌شوند. ابتدا کائولن پودر شده و ذرات ریز با شستشو آزاد می‌شود. سپس در اسید حل می‌شود و شسته شود تا آلودگی‌ها از بین بروند (Ciullo, 1996). مهم‌ترین آلودگی‌های موجود در کائولن، عناصر بالقوه سمی و ترکیب کانی

شناختی آنهاست (Awad et al., 2017). در مطالعات داروسازی، عناصر به چهار گروه تقسیم می شوند: (Awad et al., 2017)

رده ۱ شامل عناصر آرسنیک، کادمیم، جیوه و سرب.

رده ۲A شامل عناصر کبالت، نیکل و وانادیم که فراوانی کمتری نسبت به رده ۱ دارند.

رده ۲B شامل عناصر نقره، طلا، ایریدیم، اوسمیم، پالادیم، پلاتین، سلنیم و تالیم که غلظت آنها نیز باید کنترل شود.

رده ۳ شامل باریم، کروم، مس، لیتیم، مولیبدن، آنتیموان و قلع که سمناکی کمی در مصارف خوراکی، بهداشتی و دارویی نشان می دهد و در مطالعات ارزیابی ریسک مورد توجه قرار می گیرند.

در این موارد، برای عنصر سرب دو حد مجاز در نظر گرفته شده است، کمتر از ۵۰ ppm برای مصارف موضعی و ۲۵ ppm برای مصارف خوراکی.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی (اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب) نمونه های مورد مطالعه زنوز (طبق دستورالعمل ICH مرتب شده اند) (ICH, 2014-Q3D).

Samples	Major oxides (%)			Trace elements (ppm)													
				Class 1			Class 2A			Class 2B		Class 3					Other elements
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cd	Pb	As	Ni	V	Co	Ag	Se	Cr	Cu	Mo	Ba	Sb	Zn
P1	64.63	20.47	0.7	<0.1	13	7.4	2	49	1.1	1.5	<0.5	7	9	4	784	0.6	7
P2	31.54	34.38	0.83	<0.1	38	27.3	2	88	1.9	1	<0.5	7	21	2	289	<0.5	14
P3	52.09	24.60	2.52	0.1	30	60.1	4	122	2.1	3	<0.5	13	32	18	1235	0.7	7
P4	64.62	21.01	1.93	<0.1	7	15.6	6	49	2	1	7.97	14	18	16	1391	0.7	3
Guinama Kaolin <sup>1</sup>	0.5	0	0.1	0	0	0	36	0	18	0	0	114	40	0	13	0	20

۱: [http://www.guinama.com/media/tecnico/91694\\_FT%20Kaolin%20v02.pdf](http://www.guinama.com/media/tecnico/91694_FT%20Kaolin%20v02.pdf).

### نتیجه گیری:

نمونه های مطالعه شده در این پژوهش که در جدول ۱ ارائه شده است، از نظر کانی شناسی به طور عمده شامل کائولینیت به همراه مقادیری کوارتز، آلبیت، سانیدین، کریستوبالیت و آلونیت هستند. از نظر ژئوشیمیایی عناصر اندازه گیری شده، مقادیر در حد مجاز برای صنایع دارویی نشان دادند. برای مصارف خوراکی نمونه های P2 و P3 سرب بالاتر از حد مجاز داشته اما هیچ یک از نمونه ها در مصارف داروهای موضعی مشکلی نشان نمی دهند. لذا در استفاده از نمونه های کائولن زنوز توجه به مقدار سرب برای مصارف خوراکی الزامی است. در ضمن با توجه به اینکه دگرسانی بطور کامل کانی های مزاحم را حذف نکرده پیش از هرگونه استفاده، انجام کائولن شویی و حذف کانی های مزاحم خصوصا گروه کوارتز الزامی است.

### منابع:

- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۷۵. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علیپور، و.، عابدینی، ع.، علیپور، ص.، ۱۳۸۹. ژئوشیمی عناصر جزئی و نادر خاکی در کانسار کائولن زنوز، شمال شرق مرند، استان آذربایجان شرقی. نخستین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران.
- منصوری، ب.، ملکی، الف.، محموری، م.، داوری، ب.، شهسواری، س.، ۱۳۹۶. ارزیابی ریسک فلزات سنگین در مواد آرایشی رژلب و رنگ مو توزیع شده در شهر سنندج در سال ۱۳۹۴. علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان. صفحات ۳۱-۳۹.

- Awad, M.E., López-Galindo, A., El-Rahmany, M.M., El-Desoky, H.M. and Viseras, C., 2017. Characterization of Egyptian kaolins for health-care uses. *Applied Clay Science*, 135, pp.176-189.
- Chabukdhara, M. and Nema, A.K., 2012. Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: a chemometric and geochemical approach. *Chemosphere*, 87(8), pp.945-953.
- Ciullo, P.A., 1996. *Industrial minerals and their uses: a handbook and formulary*. William Andrew.
- Dwivedi, R.S., 1996. Lead exposure alters the drug metabolic activity and the homeostasis of essential metal ions in the lenticular system of the rat. *Environmental Pollution*, 94(1), pp.61-66.
- FDA, U., 2007. Summary of color additives listed for use in the United States in food, drug, cosmetics and medical devices. *Color additives approved for use in cosmetics Part 73*.
- Grim, R. E. 1968. *Clay mineralogy*, 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 596 p.
- ICH - Q3D, 2014. ICH guideline Q3D on elemental impurities. [http://www.ema.europa.eu/docs/en\\_GB/document\\_library/Scientific\\_guideline/2015/01/WC500180284.pdf](http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Scientific_guideline/2015/01/WC500180284.pdf) (accessed 10 June 2016).
- Nnorom, I.C., Igwe, J.C. and Oji-Nnorom, C.G., 2005. Trace metal contents of facial (make-up) cosmetics commonly used in Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 4(10).
- Umar, M.A. and Caleb, H., 2013. Analysis of metals in some cosmetic products in FCT-Abuja, Nigeria. *International Journal of Research in Cosmetic Science*, 3(2), pp.14-18.
- Zhang, J. and Liu, C.L., 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, coastal and shelf science*, 54(6), pp.1051-1070.

## بررسی اثرات زیست محیطی ژئومورفولوژی معدن کاری (معدن چایان سوخته

### مطالعه موردی)

زینب شریفی سرشت<sup>\*</sup>، مهرداد براتی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، شهر(همدان)، ایران

za.sharifiseresht@gmail.com

#### چکیده:

یکی از روش‌های استخراج سینه‌کار طویل است که برای سنگ‌های تزئینی نیز استفاده شده است، در این روش که با تخریب شدید محیط زیست همراه است به روش سعی و خطا بلوک‌های معدنی قابل استخراج از توده سنگی گرانیتی استخراج و به کارخانه فرستاده می‌شود. در این روش گاه کیفیت ماده معدنی در یک منطقه کوچک خوب و به ناگاه تغییر می‌کند در نتیجه محل سینه‌کار تغییر می‌کند، لذا سبب طویل شدن سینه‌کار و افزایش تخریب محیط زیستی می‌گردد. در پژوهش حاضر به بررسی اثرات ژئومورفولوژی و زیست محیطی فعالیت‌های معدنی در معادن سنگ‌های تزئینی در بخش دامنه غربی رشته کوه الوند شهرستان همدان (مطالعه موردی معدن چایان سوخته) پرداخته شده است. در بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی دو فرآیند ریزش و شبکه‌های سطحی مورد مطالعه قرار گرفت. در قسمت معدن کاری شده سیستم شبکه آبراه‌های کاملاً بهم‌ریخته هستند و مسیر مشخصی ندارند اما در سایر دامنه‌های بدون عملیات معدن کاری دارای سیستم مشخص با طول و عرض و ابعاد کاملاً مشخص و منظم هستند. در معدن سنگ تزئینی چایان پدیده‌ی ریزش در قسمت‌های معدن کاری شده تحت تاثیر فعالیت معدن درصد بالایی از باطله‌ها به صورت مواد ریزشی در پای دامنه‌ها ریخته شده است اما در سایر قسمت‌ها بخصوص دامنه‌های جنوبی معدن که هیچ‌گونه فعالیت معدنی صورت نپذیرفته است اثری از پدیده ریزش مشاهده نمی‌گردد.

کلیدواژه: (معدن کاری، ژئومورفولوژی، فرآیند ریزش، شبکه‌های سطحی)

## Study of environmental effects decorative Geomorphology stone mining of using (Chayansoukhteh mine a case Study, NW Hamedan city)

Zeinab Sharifi Seresht<sup>\*</sup>, Mehrdad Barati

Department of Geology, Faculty of Sciences, BU-Ali Sina university-Hamedan-Iran

#### Abstract

One of the methods of extraction is long wall, is also used for decorative stones. In this method, which is associated with severe environmental degradation, mineral blocks can be extracted from granite rock mass by trial and error method, and is sent to the factory. In this method, sometimes the quality of the mineral in a small area is good and suddenly changes, as a result, the location of the breastfeeding changes, thus causing the breastfeeding to lengthen and increase the environmental degradation. In the present study, the geomorphological and environmental effects of mining activities in the mines of decorative stones in the western slope of the Alvand mountain range in Hamadan (case study of burnt tea mine) have been investigated. The geomorphological effects of the two processes of fall and

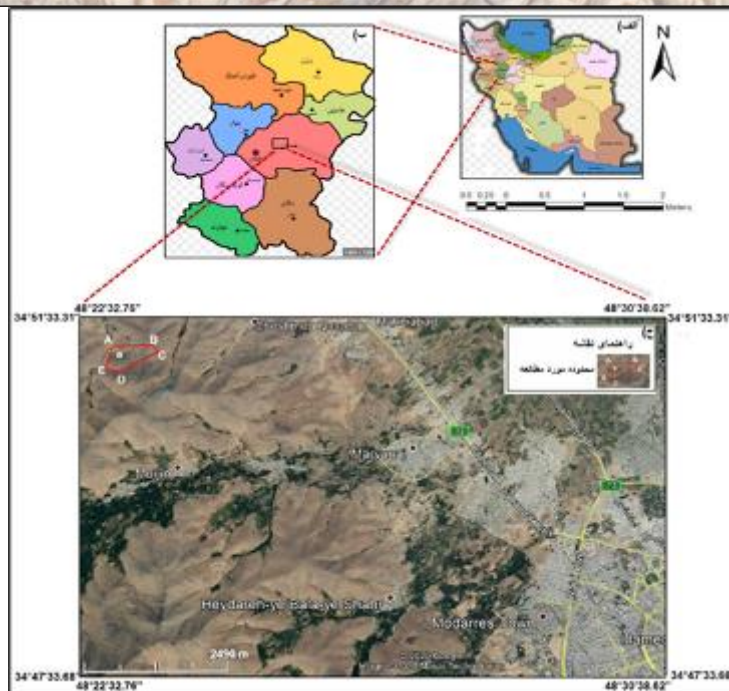
surface networks were studied. In the mined part of the network system, the waterways are completely cluttered and do not have a specific route, but in other areas without mining operations, they have a specific system with a completely specific length and width and dimensions. In Chayan decorative stone mine, the phenomenon of falling in the mined parts due to the mining activity, a high percentage of tailings has been dumped as fall material at the foot of the slopes, but in other parts, especially the slopes. South of the mine, where no mining activity has taken place, no trace of the fall phenomenon is observed.

#### مقدمه:

امروزه استخراج سنگ به ویژه سنگ‌های تزئینی یکی از منابع درآمدی مهم کشورها است. سنگ تزئینی در سال‌های اخیر در ایران و سایر کشورها بازار رو به رشدی داشته است. ایران یک کشور در حال توسعه و متکی به درآمدهای نفتی است. توجه به مسائل اقتصادی و فنی معادن و به کارگیری روش‌های مناسب تولید در آن‌ها این امکان را به وجود می‌آورد که به منابع درآمدی قابل اعتمادی در کنار نفت دست یافته شود. در سال‌های گذشته استخراج معادن سنگ تزئینی به شیوه‌های غیراقتصادی صورت گرفته است. به این معنی که عملیات پی‌جویی، اکتشاف و استخراج در معادن بدون هرگونه برنامه‌ریزی و دور اندیشی علمی انجام شده است. طرح‌های بهره‌برداری نیز در اغلب موارد غیرواقعی بوده‌اند. هم‌چنین هیچ‌گونه الزام عملی در خصوص کنترل کیفی مواد و محصول و رعایت نکات علمی، فنی و اقتصادی وجود نداشته است. در این زمینه نظر معدن داران نیز بر حجم بالای ضایعات تولید تأکید می‌کنند (اورعی و همکاران، ۱۳۸۳). صرف نظر از اثرات مثبت اقتصادی معادن فلزی و غیرفلزی بهره‌برداری از معادن، اثرات منفی و زیان بار چشمگیری بر محیط طبیعی و جامعه‌ی انسانی پیرامون خود و حتی در مسافت‌های دورتر بر جای می‌گذارد.

#### موقعیت جغرافیایی

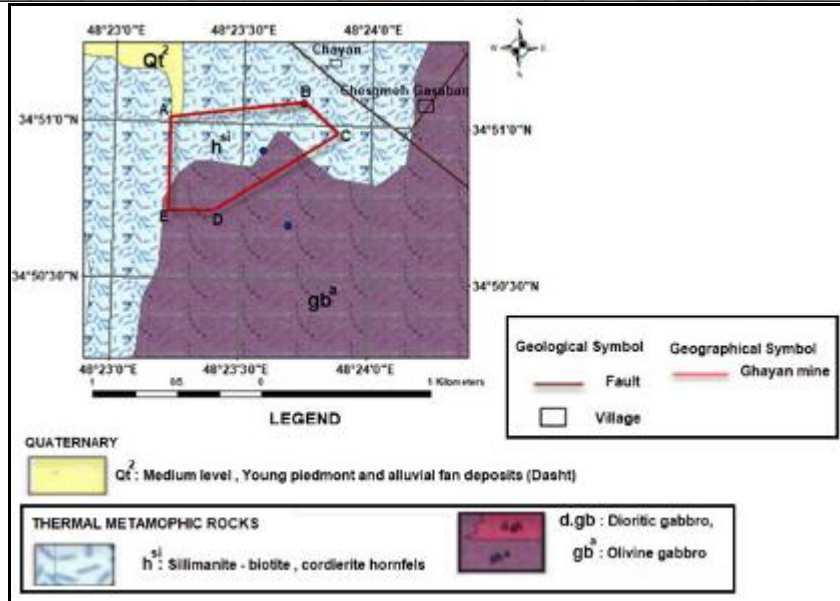
منطقه مورد مطالعه در مختصات طول جغرافیایی "E48°23'13.3" و عرض جغرافیایی "N34°51'0.9" در نقشه زمین-شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ همدان با وسعت ۰,۴۲Km<sup>2</sup>، در فاصله ۱۴Km غرب شهرستان همدان، بخش مرکزی شهرستان بهار واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه، (الف)، موقعیت استان همدان در ایران، (ب)، نقشه شهرستانهای استان همدان، (ج)، تصویر گوگل ارث از راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه (مشخص شده با خط قرمز).

### زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر ساختار زمین‌شناسی و چینه‌شناسی در بخش شمالی زون دگرگونی سنندج-سیرجان (Stocklin, 1968)، و در دامنه‌های شمال و شمال غربی ارتفاعات الوند واقع است. لیتولوژی منطقه را کلاً باید شامل الیوین گابرو، گرانیت و آبرفت‌های عهد حاضر در محدوده چایان بیان کرد. این منطقه (بویژه محدوده مورد مطالعه) به صورت عمومی از سری سنگ‌های الیوین گابرو، گرانودیوریت و گابرودیوریت به صورت دایک‌های غیرمنظم و کوچک و بزرگ تشکیل شده است که رخنمون‌های گابرویی به صورت عمده در نواحی خاصی ظاهر گردیده‌اند. سنگ‌های این منطقه با سکانس متفاوت و در رخنمون‌های مختلف از گابرودیوریت تا گابرو متغیر و به رنگ‌های سبز تیره و مشکی ظاهر شده‌اند. بر اساس بررسی‌های انجام شده تشکیل گابروهای اخیر را در مراحل فاز اولیه و پیشین و قبل از ظاهر شدن توده‌های گرانیتی الوند تصور می‌نمایند (شهبازی، ۱۳۸۹) (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه، اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تویسرکان (با تغییرات از اشراقی و محمودی، ۲۰۰۳).

### روش مطالعه و بحث:

اساس دستیابی به یافته‌های دقیق و علمی بیشتر بر پایه‌ی داده‌های میدانی و اندازه‌گیری‌ها استوار است. به همین منظور، پس از تعیین موقعیت دقیق معدن بر روی نقشه کاداستر، عکس‌هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و عملیات میدانی تغییرات توپوگرافی جمع‌آوری و در مراحل زیر مورد استفاده قرار گرفت.

### بررسی اثرات ژئومورفولوژی

استخراج معادن تأثیرات ژئومورفولوژیکی فراوانی بر محیط می‌گذارد و باعث تشدید فعالیت فرآیندهای ژئومورفیک از قبیل حرکات توده‌ای نظیر لغزش، ریزش، تغییرات توپوگرافی، مسدود شدن مسیر رودخانه‌ها و افزایش حجم مواد منتقل شده به پایین دست توسط شبکه آب‌های سطحی بر روی دامنه‌ها می‌شود (مختاری، ۱۳۸۸). جهت تعیین اثرات ژئومورفولوژیکی در مطالعه حاضر، اقدام به بررسی انتقال مواد در روی دامنه‌ها توسط دو فرآیند ریزش و شبکه‌های سطحی طی عملیات میدانی به شرح زیر گردید.

### شبکه آب‌های سطحی

در مراحل اولیه بازدیدهای میدانی و مشاهده‌ی آبراه‌های جاری اختلاف مورفولوژی و ابعاد آن‌ها از نظر عرض، عمق و طول و یکسان بودن شرایط زمین‌شناسی، اقلیمی، پوشش گیاهی و توپوگرافی مشاهده گردید در قسمت‌های معدن‌کاری شده معدن چایان سوخته، سیستم شبکه آبراه‌های کاملاً بهم‌ریخته هستند و به علت سطحی بودن جریان، محل اتصال شاخه‌ها تغییر می‌کند و با فراوانی انشعاب شاخه‌ها همراه هستند یعنی جریان‌ها در اثر برخورد با موانعی مانند قطعه‌سنگ‌های پراکنده شده مسیر ثابتی بر روی دامنه‌ها ندارند و پراکندگی نخ‌آب‌ها از یک دوره‌ی فعالیت به دوره‌ی دیگر نیز متفاوت است (شکل ۳، ب) اما در



سایر دامنه‌های بدون عملیات معدن‌کاری دارای سیستم مشخص با طول و عرض و ابعاد کاملاً مشخص و منظم هستند (شکل ۳، الف). در ادامه با بررسی وضعیت شبکه آب‌های سطحی معدن چایان سوخته بر روی تصویر ماهواره‌ای (Google Earth, 2021) مشاهده گردید در قسمت‌های معدن‌کاری شده، سیستم شبکه آبراهه‌ای کاملاً بهم‌ریخته هستند اما در سایر دامنه‌های بدون عملیات معدن‌کاری دارای سیستم مشخص با طول و عرض و ابعاد کاملاً مشخص و منظم هستند (شکل ۴).



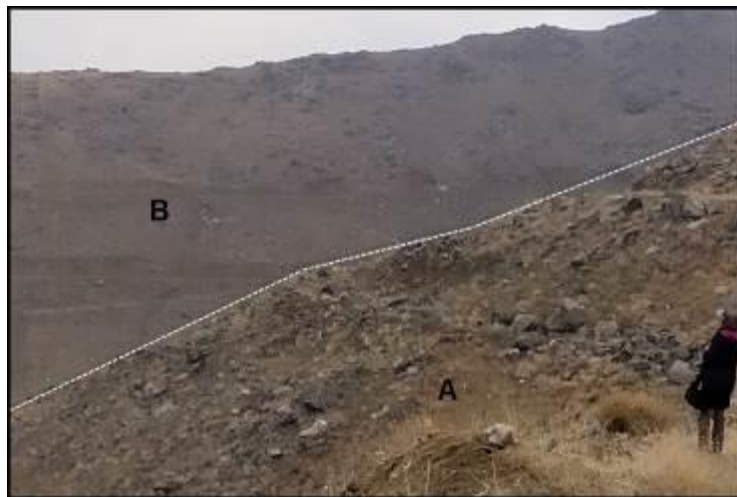
شکل ۳: الف) جریان‌های خطی در مسیر آبراهه‌ها (بدون تأثیر فعالیت معدن‌کاری A)، ب) تقسیم مکرر جریان هرزآب به صورت نخ آب‌های پریپچ و متقاطع (متأثر از فعالیت معدن‌کاری B).



شکل ۴: الف) جریان‌ها مسیر ثابتی ندارند و به صورت نخ آب‌های پریپچ و متقاطع هستند (متأثر از فعالیت معدن‌کاری A)، ب) جریان‌های خطی در مسیر آبراهه‌ها (بدون تأثیر فعالیت معدن‌کاری B). (Google Earth, 2021).

فرایند ریزش

حرکات توده‌های مواد، فرایندهای ژئومورفولوژیکی طبیعی هستند که سبب انتقال حجم زیادی از مواد دامنه‌ای مانند سقوط سنگ و ریزش واریزه‌ها و نظایر آن می‌شوند (کرمی و رستم‌زاده، ۱۳۸۸). سقوط سنگ‌ها، حاصل جدا شدن قطعات بزرگ و کوچک از جدار پرتگاه‌های سنگی مسلط به دامنه است. چنانچه قطعات ریز و درشت هم‌زمان به صورت توده‌ای بزرگ سقوط کنند آن را ریزش می‌نامند (محمودی، ۱۳۸۶). عوامل متعددی سبب جدا شدن توده‌های سنگی از بدنه‌ی پرتگاه‌ها می‌شوند یکی از عوامل مؤثر در بروز و تشدید پدیده‌ی ریزش شیب زمین می‌باشد و بحث پایداری شیب یکی از مهمترین پارامترهای طراحی معادن روباز و یکی از عوامل بسیار مهم در اقتصاد و ایمنی آنهاست (افشاریان و همکاران، ۱۳۸۷). در معدن سنگ تزئینی چایان طی بازدیدهای میدانی به بررسی پدیده‌ی ریزش در دو دامنه‌ی (متأثر) و (بدون تأثیر) فعالیت معدن کاری با در نظر گرفتن جنس و ساختمان لایه‌ها پرداخته شد و مشاهده گردید در قسمت‌های معدن کاری شده تحت تاثیر فعالیت معدن درصد بالایی از باطله‌ها به صورت مواد ریزشی در پای دامنه‌ها ریخته شده است اما در سایر قسمت‌ها بخصوص دامنه‌های جنوبی معدن که هیچ‌گونه فعالیت معدنی صورت نپذیرفته است اثری از پدیده ریزش مشاهده نمی‌گردد (شکل ۵).



شکل ۵: درصد بالایی از باطله‌ها به صورت مواد ریزشی در پای دامنه‌ها ریخته شده است (متأثر از فعالیت معدن کاری A)، (بدون تأثیر فعالیت معدن کاری B).

#### نتیجه‌گیری:

در بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی در تحقیق حاضر دو فرآیند ریزش و شبکه‌های سطحی مورد مطالعه قرار گرفت. در قسمت معدن کاری شده سیستم شبکه آبراه‌های کاملاً بهم‌ریخته هستند و مسیر مشخصی ندارند اما در سایر دامنه‌های بدون عملیات معدن کاری دارای سیستم مشخص با طول و عرض و ابعاد کاملاً مشخص و منظم هستند. در معدن سنگ تزئینی چایان پدیده‌ی ریزش در قسمت‌های معدن کاری شده تحت تاثیر فعالیت معدن درصد بالایی از باطله‌ها به صورت مواد ریزشی در پای دامنه‌ها ریخته شده است اما در سایر قسمت‌ها بخصوص دامنه‌های جنوبی معدن که هیچ‌گونه فعالیت معدنی صورت نپذیرفته است اثری از پدیده ریزش مشاهده نمی‌گردد.

#### منابع:

اورعی، ک.، ل.، (۱۳۸۳). برنامه ریزی تولید در معادن سنگ تزئینی (مطالعه موردی در معدن سنگ اتابکی). کنفرانس مهندسی معدن ایران. دانشگاه تربیت مدرس.

افشاریان، آ.، (۱۳۸۷)، تحلیل پایداری های دیواره شمال باختری معدن چادرملو با استفاده از روش های تجربی. تحلیلی و مداری. مجله علوم زمین. سال ۱۷. شماره ۶۷.

حافظی مقدس، ن.، کاظمی، غ.، امیری مقدم، ح.، سنجولی، ر.، حجازی نژاد، ف.، (۱۳۸۹). اثرات زیست محیطی معدن کاری در منطقه اولنگ گلستان (جنوب رامیان). فصل نامه علوم زمین. سال نوزدهم. شماره ۷۵. ص ۱۰۸-۱۰۳.

شهبازی، ح.، (۱۳۸۹)، پترولوژی مجموعه سنگ های آذرین و میگماتیت های کمپلکس الوند و توده نفوذی آلموقلاغ همدان و ارتباط ژنتیکی بین آن ها.

کریمی، ف.، رستم زاده، ه.، (۱۳۸۸)، ارتباط وقوع حرکات توده ای مواد با احداث شبکه های ارتباطی بزرگراه های شهر تبریز، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۱۴.

محمودی، ف.، (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی تکتونیک. دانشگاه پیام نور. تهران. چاپ اول.

Stocklin, J., Setudinia, A., 1972. Lexique Stratigraphique International Volume III ASIE. Center National de la Recherche Scientifique. 15, quai Anatole-France 75p. (Paris-VII).



## مطالعه هیدروژئوشیمیایی و بررسی غلظت عناصر بالقوه سمناک در آب‌های زیرزمینی

### دشت خاش

سارا پورحیدری<sup>۱\*</sup>، عطا شاکری<sup>۲</sup>، میثم رستگاری مهر<sup>۳</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲</sup> گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

<sup>۳</sup> گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

s.pourheydari2265@gmail.com

#### چکیده:

ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی، غلظت عناصر بالقوه سمناک و ارزیابی ریسک سلامت آب چاه‌های دشت خاش در جنوب شرق ایران مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از ۲۲ حلقه چاه دشت خاش نمونه برداری انجام شد. کمینه و بیشینه هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت خاش ۷۷۰ تا ۴۵۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و ۵/۶۵ تا ۸/۳۶ اندازه گیری شدند. بر اساس نمودار پایپر، آنیون غالب در ۶۰ درصد از نمونه‌های آب سولفات و کلر و در ۴۰ درصد از نمونه‌ها بیکربنات است. علاوه بر نمودار پایپر، نمودار گیبس، نمودارهای نسبت مولی، تحلیل مولفه اصلی و افزایش غلظت عناصر Cr و Pb، As، V، Ni، Na نشان دهنده منشا عمیق و در ارتباط بودن آب‌های زمین گرمایی آتشفشان تفتان با آبخوان خاش است. نتایج حاصل از محاسبه نسبت خطر (HQ) نشان می‌دهد که در معرض قرارگیری تمام عناصر مورد مطالعه از طریق بلع خطر بیشتری نسبت به تماس پوستی ایجاد می‌کند. همچنین شاخص خطر (HI) تمام عناصر برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است.

کلیدواژه: دشت خاش، آتشفشان تفتان، هیدروژئوشیمی، ارزیابی زیست محیطی

## Hydrogeochemical study and investigation of potentially toxic elements concentration in groundwater of Khash- plain

Sarah Pourheydari<sup>1</sup>; Ata Shakeri<sup>2</sup>; Meisam Rastgari Mehr<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc of Environmental Geology, Kharazmi University

<sup>2</sup> Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

<sup>3</sup> Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

#### Abstract:

Hydrogeochemical properties, concentration of potentially toxic elements and health risk assessment of groundwater were studied in Khash plain (Southeastern Iran). For this purpose, 22 samples were collected from wells of Khash aquifer. Minimum and maximum values of EC and pH in Khash plain's groundwater ranged from 770 to 4510  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and from 5.65 to 8.36, respectively. According to the Piper diagram, the predominant anion is sulfate and chloride in 60% of groundwater samples and



bicarbonate in 40% of the samples. In addition to Piper diagram, Gibbs diagram, molar ratio diagrams, principle component analysis and increasing concentrations of Na, Ni, V, As, Pb and Cr elements, indicates the deep origin and connection of Taftan volcano geothermal waters with Khash aquifer. The results of hazard quotient (HQ) calculation reveals that exposure of all the studied elements through ingestion is more dangerous than dermal contact. Also, hazard index (HI) values of all the elements are higher for children than adults.

#### مقدمه:

آتشفشان‌های فعال و نیمه‌فعال در مناطق زمین‌گرایی قادر به انتشار آلاینده‌های خطرناک متعدد در فازهای جامد (خاکسترهای دودخانی)، مایع (سیالات گرم و سرد غنی از عناصر بالقوه سمناک) و گاز (گازهای دودخانی نظیر دی‌اکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد و گازهای رادیواکتیو نظیر رادون) هستند (Carapezza et al., 2012; Shakeri et al., 2015). در فاز مایع، آب‌های آتش‌فشانی مناطق زمین‌گرایی می‌توانند حاوی غلظت‌های سمی عناصر بالقوه سمناک باشند، و قرار گرفتن در معرض آنها عوارض قابل توجهی در سیستم‌های زیست‌شناختی دارد (Amaral and Radrigues, 2011). در این مناطق افزایش دمای آب‌های جوی در عمق باعث افزایش قدرت انحلال می‌شود. همچنین اختلاط آب‌های زمین‌گرایی عمیق و سیالات حاوی عناصر بالقوه سمناک با آب‌های زیرزمینی و سطحی باعث آلودگی زیست‌محیطی منابع آب و رسوب در مناطق زمین‌گرایی و تاثیرگذار بر خاک و محصولات کشاورزی در این مناطق می‌شود (Birkle and Bundschuh, 2007; Govind and Madhuri, 2014).

آتشفشان تفتان با مساحت ۴۳۱۰ کیلومتر مربع، یکی از ۵ منطقه مهم زمین‌گرایی ایران است که در شرق استان سیستان و بلوچستان واقع شده است (Najafi and Ghobadian, 2011). از ویژگی‌های مهم منطقه زمین‌گرایی تفتان می‌توان به وجود دودخان‌های فعال و چشمه‌های آب گرم و سرد اسیدی با مقدار زیاد املاح اشاره نمود (Shakeri et al., 2008). این آتشفشان همانند سایر آتشفشان‌های نیمه خاموش در مرحله خروج گاز است. خروج مداوم بخار سفید مایل به زرد از دودخان‌ها با فشار و دمای زیاد از منافذ و شکاف‌های متعدد قله تفتان از ویژگی‌های برجسته و نشان‌دهنده فعالیت کنونی این آتشفشان است که باعث شده است ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی این منطقه به شدت تحت تاثیر فعالیت دودخان و زون‌های دگرسانی قرار گیرند (Shakeri et al., 2008).

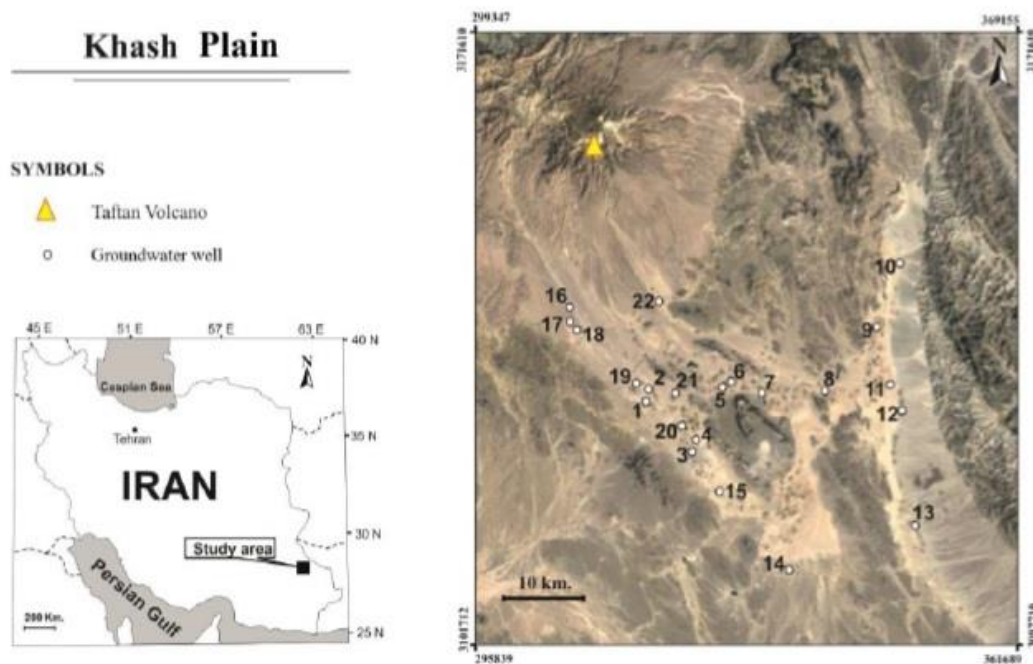
محدوده مطالعاتی خاش در زون زمین‌ساختی نه‌بندان-خاش و در استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. محدوده خاش از نظر زمین‌شناختی شامل ۵ پهنه اصلی سنگ‌شناسی شامل: (۱) پهنه سنگ‌های آذرین با مساحت ۲۰۱/۲۸ کیلومتر مربع، (۲) پهنه سنگ‌های دگرگونی با مساحت آن ۱۷۰/۴۶ کیلومتر مربع، (۳) پهنه فلیش‌های شرق ایران با مساحت ۵۱۵/۲۶ کیلومتر مربع، (۴) پهنه سنگ‌های رسوبی با مساحت ۷۲۸/۸۹ کیلومتر مربع و (۵) پهنه‌های آبرفتی با مساحت ۲۰۷۸/۴۶ کیلومتر مربع می‌باشد (بر اساس نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی).

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که چندین آبخوان مهم (مانند خاش و تهلان) در مجاورت آتشفشان تفتان قرار دارند که قسمتی از این آبخوان‌ها مستقیماً توسط حوضه آبریز تفتان تغذیه می‌شوند. همچنین برخی چاه‌های آب در اطراف آتشفشان تفتان بشدت اسیدی و دارای غلظت بالایی از آنیون‌های اصلی و فلزات سنگین هستند (Shakeri et al., 2015).

سفره آب زیرزمینی خاش با روند شمال غربی- جنوب شرقی از شمال به آتشفشان تفتان و از جنوب به شهرستان خاش منتهی می شود. از طرفی دشت خاش واقع در جنوب آتشفشان تفتان به دلیل داشتن آب و هوای معتدل، منابع آب در دسترس و خاک مناسب کشاورزی دارای جمعیت قابل توجهی است. از این رو مطالعه آب زیرزمینی دشت خاش به منظور تعیین غلظت عناصر بالقوه سمناک و سهم سیالات گرمایی برای این عناصر، فرایندهای هیدروژئوشیمیایی کنترل کننده غلظت یونهای اصلی و عناصر جزئی در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهند گرفت. بدین منظور از ۲۲ حلقه چاه در دشت خاش نمونه برداری شد (شکل ۱).

### روش مطالعه:

نمونه برداری در هر ایستگاه بر اساس استانداردهای تعریف شده در مراجع معتبر بین المللی و دستورالعمل ملی نمونه برداری منتشر شده توسط USGS به منظور بررسی های هیدروژئوشیمیایی و زیست محیطی انجام شد. اندازه گیری های صحرایی از قبیل pH، EC، TDS، و دما در محل نمونه برداری انجام شد. نمونه ها پس از آماده سازی برای تجزیه یونهای اصلی و عناصر جزئی به آزمایشگاه ارسال گردید. در آزمایشگاه از روش کروماتوگرافی یون جهت اندازه گیری یونهای اصلی و از روش تجزیه ICP-MS جهت اندازه گیری مقادیر فلزات سنگین و بالقوه سمناک استفاده شد.



شکل ۱: نقشه موقعیت دشت خاش، آتشفشان تفتان و نقاط نمونه برداری

در این پژوهش، برای تعیین منشاء عناصر انتخابی از روش تحلیل مولفه اصلی (Principle Component Analysis) با استفاده از نرم افزار SPSS23 استفاده شد.



## بحث:

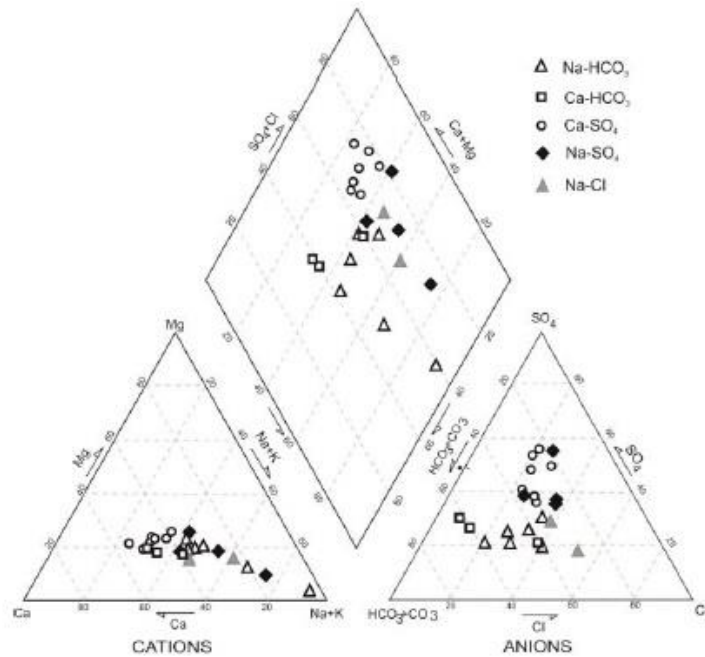
نتایج آنالیز هیدروشیمیایی و یون های اصلی نمونه های آبخوان محدوده مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. کمینه و بیشینه مقدار هدایت الکتریکی چاهها ۷۷۰ تا ۴۵۱۰ میکروزیمنس بر سانتی متر و pH ۵/۶۵ تا ۸/۱۷ می باشند. مقدار TDS نیز از ۳۸۹ تا ۲۲۶۰ میلی گرم در لیتر متغیر است. برای مقایسه کیفی آب این چشمه ها بر اساس یون های اصلی از استاندارد های سازمان جهانی بهداشت (WHO, 2019) استفاده شده است (جدول ۱). مقایسه نتایج نشان می دهد که در چاه های نمونه برداری شده، غلظت یون ها و معیار های کیفیت آب بسیار بیشتر از استاندارد جهانی می باشد، لذا این آبها از نظر شرب غیر قابل استفاده می باشند.

جدول ۱: نتایج آنالیز هیدروشیمیایی چاه های دشت خاش و مقایسه آن با استانداردهای جهانی

پارامترهای کیفی آب	مکانیزم غلظت مجاز (WHO, 2019)	چاه های نمونه برداری										
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
pH	6.5-9.5	5/92	5/99	6/81	5/99	6/65	6/75	6/79	6/72	6/64	7/22	8/17
EC ( $\mu$ S/cm)	2500	1792	1954	2520	2870	2880	2550	2520	2420	4510	2510	2010
TDS (mg/l)	1500	890	946	1261	1436	1438	1288	1258	1209	2260	1254	1007
K (mg/l)	12	17/85	20/2	19/75	25/6	22/88	18/8	19/4	19/6	21/3	6/2	4/9
Na (mg/l)	200	295/6	302/5	309/7	373/2	397/9	251/4	308/7	317/28	825/6	591/2	639/7
Mg (mg/l)	150	70/5	89/6	109/8	164/6	143/7	121	119/7	126/8	267/4	79/3	14/9
Ca (mg/l)	200	246/80	228/30	471/80	513/70	416/00	514/00	427/40	415/80	580/30	198/70	26/40
SO <sub>4</sub> (mg/l)	250	682/08	466/3427	1155/536	1763/181	1008/13	1416/18	988/8	1000/967	2717/222	638/8398	318/8875
Cl (mg/l)	250	327/31	430/4375	394/9375	487/2375	599/0625	394/9375	536/9375	430/4375	945/1875	634/5625	470/375
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	-	788/76	905/625	850/5	863/1	1124/55	832/23	1055/25	1084/23	1084/86	897/75	787/5

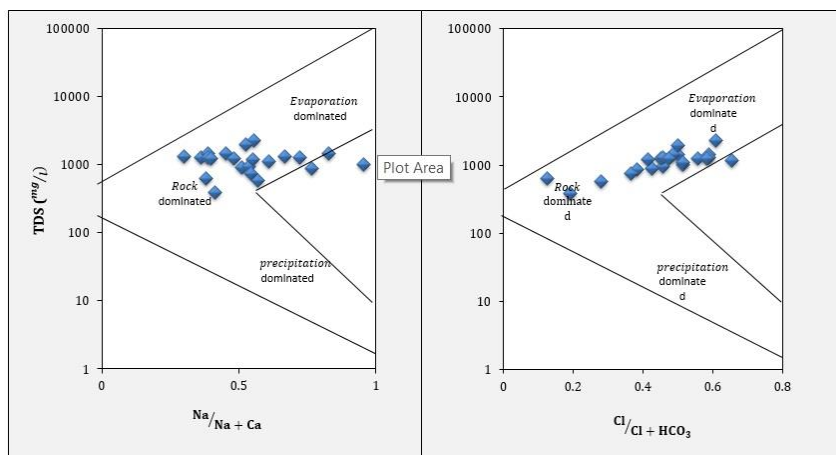
پارامترهای کیفی آب	مکانیزم غلظت مجاز (WHO, 2019)	چاه های نمونه برداری										
		K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22
pH	6.5-9.5	7/5	7/37	7/59	6/7	7/48	5/87	6/32	5/65	5/92	5/96	6/77
EC ( $\mu$ S/cm)	2500	1719	2370	2910	2630	770	1158	2220	1488	2460	3870	1257
TDS (mg/l)	1500	859	1184	1455	1314	389	579	1112	744	1231	1970	629
K (mg/l)	12	4/4	5/6	4/9	23/2	10/3	17/5	28/4	17/4	23/3	26/6	12/5
Na (mg/l)	200	441/4	409/6	827/4	560/7	111/6	189/9	404/3	263/4	378/2	684/2	172/8
Mg (mg/l)	150	41/6	72/1	54/3	103/8	31/3	44/5	93/4	59/7	146/2	149/4	58/3
Ca (mg/l)	200	116/90	288/20	149/30	243/50	137/40	124/60	226/50	193/30	352/70	537/80	244/60
SO <sub>4</sub> (mg/l)	250	326/2789	366/7507	916/9121	755/8627	199/9207	203/3915	593/3678	357/8282	1304/318	740/6644	418/3427
Cl (mg/l)	250	341/6875	776/5625	670/0625	568	75/4375	155/3125	497	279/5625	545/8125	998/4375	84/3125
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	-	976/5	724/5	834/75	708/75	567	705/6	834/75	866/25	693	1764	1039/5

برای تعیین تیپ و رخساره نمونه های آب آبخوان خاش از نمودار پایپر (۱۹۴۴) استفاده شده است (شکل ۲). این نمودار مشخصات شیمیایی آب را بر حسب غلظت نسبی و نه بر حسب غلظت مطلق، نشان می دهد. همانطور که در نمودار پایپر نشان داده شده است، نمونه های آب دارای ۵ تیپ هستند: ۱- Na-HCO<sub>3</sub> (۲۷ درصد) - ۲- Ca-HCO<sub>3</sub> (۱۳ درصد) - ۳- Ca-SO<sub>4</sub> (۳۲ درصد) - ۴- Na-SO<sub>4</sub> (۱۸ درصد) - ۵- Na-Cl (۹ درصد). به طور کلی حدود ۶۰ درصد از نمونه های آب ترکیب سولفات-کلروره دارند که با توجه به لیتولوژی منطقه مورد مطالعه (عدم وجود سازندهای تبخیری مانند سازندهای گچی و نمکی)، احتمالاً نشان دهنده تاثیر آتشفشان تفتان بر آبخوان خاش است (Shakeri et al., 2015).



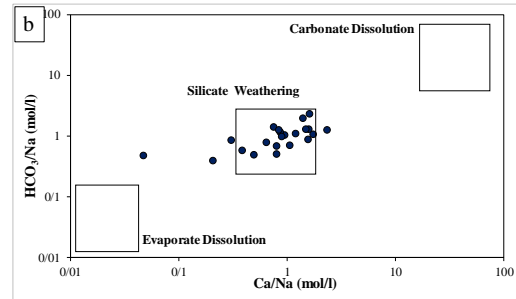
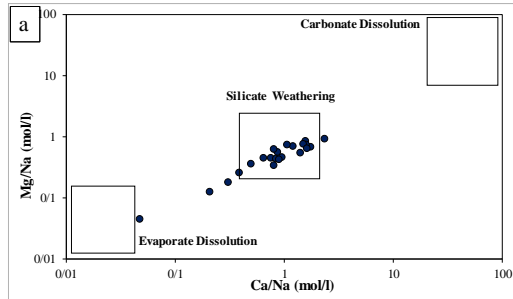
شکل ۲: نمودار پایپر چاه‌های نمونه برداری شده دشت خاش

بر اساس نمودار گیبس (شکل ۳) و نمودارهای نسبت مولی  $Ca/Na$  در مقابل  $HCO_3/Na$  و  $Mg/Na$  (شکل ۴)، اصلی‌ترین فاکتورهای کنترل کننده ترکیب شیمیایی آبخوان شامل واکنش آب-سنگ و هوازدگی سیلیکات‌ها است که احتمالاً نشان دهنده منشا و عبور آب از سازندهای ولکانیکی عمیق بستر آتشفشان تفتان است.



شکل ۳: نمودار گیبس نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه





شکل ۴: نمودارهای دوتایی در مقابل Ca/Na (a) Mg/Na و (b) Ca/Na در مقابل  $HCO_3/Na$  مربوط به نمونه‌های آب محدوده مورد مطالعه

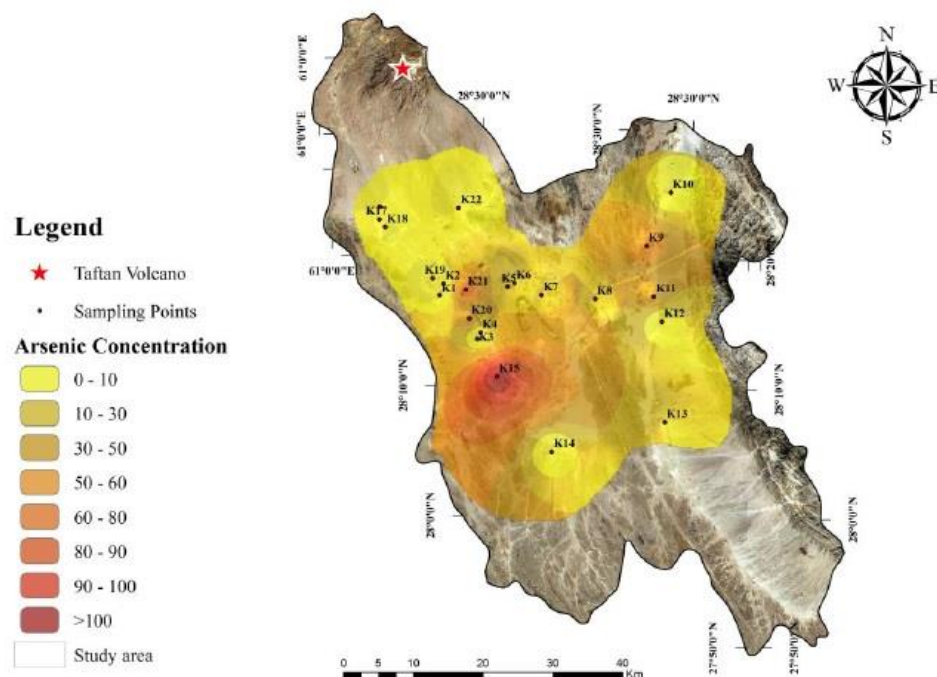
نتایج آنالیز عناصر بالقوه سمناک و جزئی به همراه بیشینه غلظت مجاز تعیین شده توسط EPA (Environmental Protection Agency) و WHO (World Health Organization) در جدول ۲ ارائه شده است. برای عناصری که در هر دو لیست WHO و EPA می‌باشند، بیشینه آلودگی مجاز (MCL) مربوط به هر کدام از عناصر به عنوان معیار آلاینده انتخاب شد. سایر عناصر که جزء استانداردها نمی‌باشند با علامت \* مشخص شده‌اند. مقایسه غلظت عناصر بالقوه سمناک مانند آرسنیک، و در بعضی از چاه‌ها سرب (K8, K9, K11, K20, K22) و منگنز (K2, K4, K9, K19, K20, K21) با استانداردهای WHO (2019) و EPA (2009) نشان می‌دهد که آب این چاه‌ها از نظر شرب و سایر مصارف غیر قابل استفاده می‌باشند.

جدول ۲: نتایج آنالیز عناصر سنگین و جزئی چاه‌های دشت خاش (واحد میکروگرم در لیتر)

نام عنصر	استاندارد شرب WHO, EPA, ( $\mu g/l$ )	چاه های نمونه برداری شده										
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
As	10	8.44	14.68	12	17.05	19.15	17.7	21.13	22.18	34.16	14.68	27.45
Cd	3	<1	<1	<1	5.46	<1	<1	2.12	<1	<1	<1	<1
Cr	5	<1	<1	<1	2.33	<1	<1	1.07	4.46	3.11	5.17	10.94
Co	*	1.46	6.27	2.11	2.97	2.61	2.97	2.63	2.91	3.44	1.8	1.43
Fe	300	240	300	350	450	430	390	390	440	570	300	120
Mo	70	<1	1.57	1.56	2.51	3.68	5.8	4.41	5.14	7.16	6.46	44.75
Mn	50	9	1300	10	2580	20	<10	<10	<10	420	<10	<10
Ni	70	21.92	27.32	33.43	57.05	36.57	47.27	38.78	43	51.38	16.14	4.03
Pb	10	3.81	2.84	6.83	3.47	5.29	4.65	6.22	14.62	10.08	8.02	18.06
V	*	11.88	12.28	14.53	19.17	35.74	48.46	51.38	49.39	54.03	24.21	30.83
Zn	5000	2.32	13.1	5.43	6.15	21.89	3.18	4.28	25.44	4.5	28.14	17.83

نام عنصر	استاندارد شرب WHO, EPA, ( $\mu g/l$ )	چاه های نمونه برداری شده										
		K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22
As	10	12.83	18.36	13.76	106.03	10.31	13.36	18.1	15.2	27.31	46.66	13.23
Cd	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5.57	5.06	6.67	9.94	12.41
Cr	5	18.22	6.15	6.24	<1	<1	<1	1.84	1.46	8.25	1.75	4.36
Co	*	1.45	2.24	1.91	1.97	1.66	1.54	2.05	2.13	4.28	8.69	2.83
Fe	300	190	290	270	430	140	260	310	220	430	4330	330
Mo	70	5.47	2.4	4.59	4.31	5.17	2.84	3.2	1.57	2.21	1.93	6.39
Mn	50	<10	<10	<10	<10	<10	10	9	280	2820	2830	3
Ni	70	10.95	24.3	13.59	23	11.92	13.38	26.3	26.68	72.73	57.59	24.89
Pb	10	6.66	7.42	9.46	7.73	6.1	8.25	6.78	6.3	10.12	6.18	26.03
V	*	17.45	21.82	21.82	32.69	18.11	22.22	25.53	18.11	28.18	29.24	70.99
Zn	5000	15.63	10.7	10.01	9.74	25.1	15.3	5.76	6.25	10.09	20.03	12.59

شکل ۵ نقشه پهنه بندی آلودگی آرسنیک را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. با توجه به شکل، نقاط K15, K9 و K21 آلوده ترین مناطق از نظر غلظت آرسنیک هستند.



شکل ۵: نقشه پهنه بندی آرسنیک در منطقه مورد مطالعه

#### تحلیل مولفه اصلی (PCA):

برای تعیین منشأ عناصر سنگین در جدول ۲ از روش تحلیل مولفه اصلی (Principle Component Analysis) با استفاده از نرم افزار SPSS23 استفاده شد. در این بخش، به دلیل غلظت زیر حد تشخیص کادمیم در تعداد زیادی از نمونه‌ها، این عنصر مدنظر قرار نگرفت. طبق نتایج عناصر مورد بررسی در ۴ گروه قرار داده می‌شوند که رابطه هم‌افزایی غلظت این عناصر با آنیون-ها و هم منشأ بودن این عناصر را با هم نشان می‌دهد

(۱) فاکتور اول شامل عناصر Fe, As و یون‌های  $Cl^-$  و  $HCO_3^-$

(۲) فاکتور دوم شامل عناصر V, Ni و یون  $SO_4^-$

(۳) فاکتور سوم شامل عناصر Cr, Mo و Pb

(۴) فاکتور چهارم شامل Co و Mn



جدول ۳: نتایج تحلیل مولفه اصلی غلظت عناصر

	Rotated Components			
	1	2	3	4
HCO <sub>3</sub>	0.877	0.025	0.042	-0.079
Cl	0.701	0.221	-0.014	0.128
SO <sub>4</sub>	0.241	0.833	-0.066	0.095
As	0.518	0.138	-0.060	-0.233
Cr	-0.082	-0.224	0.763	0.310
Co	-0.076	0.297	-0.108	0.788
Fe	0.922	-0.116	-0.114	0.111
Mn	0.549	0.186	-0.041	0.659
Mo	-0.077	-0.142	0.745	-0.157
Ni	0.492	0.691	-0.137	0.405
Pb	-0.016	0.118	0.769	-0.416
V	0.228	0.571	0.378	-0.580
Zn	0.287	-0.628	0.311	-0.119

نتایج نشان می‌دهد، که آرسنیک احتمالاً عمدتاً به صورت کمپلکس‌های کربناتی منتقل شده و همراهی آن با آهن نیز ناشی از شرایط کاهش محلول هیدروترمال و غنی بودن فاز نهایی از آهن است. به طور کلی منشأ انسانزاد برای پارامترهای مورد مطالعه متصور نیست و همه عناصر منشأ زمین‌زاد دارند با این تفاوت که رفتار زمین‌شیمیایی متفاوت داشته و تحت تاثیر شرایط متفاوت محیطی رفتار متفاوت دارند.

#### نسبت خطر (HQ) و شاخص خطر (HI):

در این مطالعه از مدل ارزیابی خطر ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا برای فلزات سنگین استفاده شد (USEPA, 1989). نتایج ارزیابی خطر برای عناصر محاسبه شده و در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در معرض قرارگیری عناصر مورد مطالعه برای تمام عناصر از طریق بلع خطر بیشتری نسبت به تماس پوستی ایجاد می‌کند. نسبت خطر محاسبه شده برای تمامی عناصر در کودکان بیشتر از بزرگسالان است و در نتیجه شاخص خطر نیز در تمامی عناصر به غیر از آرسنیک برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است.

شاخص خطر (HI) محاسبه شده مربوط به بزرگسالان برای تمامی عناصر به ترتیب زیر افزایش می‌یابد:



همچنین این شاخص به ترتیب زیر برای کودکان افزایش می‌یابد:





جدول ۵: نتایج اندازه‌گیری نسبت خطر (HQ) از طریق بلع و تماس پوستی و شاخص خطر (HI) در کودکان و بزرگسالان

Element	As	Cd	Cr	Co	Fe	Mo	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Children											
HQing	1.18052E-04	1.3704E-05	1.90633E-05	1.43765E-05	2.61988E-06	2.90272E-05	2.6316E-06	1.59869E-04	4.33335E-05	1.54207E-04	6.40816E-05
HQdermal	6.21666E-07	-6.76335E-08	6.76335E-08	7.09527E-08	1.29299E-08	1.29878E-08	1.29878E-08	7.89003E-07	2.13864E-07	7.61062E-07	3.16263E-07
HI=ΣHQ	1.18673E-04	1.36364E-05	1.91309E-05	1.44475E-05	2.63281E-06	2.90402E-05	2.64458E-06	1.60658E-04	4.35473E-05	1.54968E-04	6.43979E-05
Adults											
HQing	1.37235E-05	1.59309E-06	2.2161E-06	1.67127E-06	3.04561E-07	3.37442E-06	3.05923E-07	1.85848E-05	5.03752E-06	1.79266E-05	7.44949E-06
HQdermal	6.9386E-08	8.05466E-09	1.12046E-08	8.44995E-09	1.53986E-09	1.70610E-08	1.54675E-09	9.39645E-08	2.54697E-08	9.06369E-08	3.76646E-08
HI=ΣHQ	1.37929E-05	1.60114E-06	2.22731E-06	1.67972E-06	3.06101E-07	3.39148E-06	3.0747E-07	1.86787E-05	5.06299E-06	1.80172E-05	7.48715E-06

- داده‌های سنسورد کمتر از ۱ ppm با استفاده از روش جایگزینی ساده با مقدار ۳/۴، برای حد تشخیص پایینی دستگاه (حسني پاک؛ ۱۳۸۳) جایگزین شد.

### نتیجه‌گیری:

بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت خاش نشان می‌دهد که کیفیت آب چاه‌های مورد مطالعه برای مصارف شرب، بهداشتی و کشاورزی بسیار نامناسب می‌باشد. غلظت بالای عناصر سمناک در این آب‌ها ممکن است در صورت استفاده شرب، بهداشتی و کشاورزی مشکلات جدی برای سلامت انسان بوجود آورد. از طرفی رها سازی این عناصر بوسیله جریان آب سطحی در نتیجه عبور از مناطق دگرسانی و چرخش عمیق آب در حوزه آبریز تفتان می‌تواند یک تهدید و خطر جدی برای آبخوان‌های خاش و پشتکوه در نظر گرفته شود که تامین کننده آب شرب و کشاورزی منطقه می‌باشند، که با توجه به لیتولوژی منطقه مورد مطالعه (عدم وجود سازندهای تبخیری مانند سازندهای گچی و نمکی)، احتمالاً نشان دهنده تاثیر آتشفشان تفتان بر آبخوان خاش است. بطور کلی پیشنهاد می‌گردد با توجه به کمبود منابع آب در منطقه و مشخص شدن غلظت بیش از حد مجاز برخی عناصر بویژه عناصر بالقوه سمناک در منابع آبهای زیرزمینی منطقه، برنامه‌ریزی در خصوص پایش کیفی آب‌های زیرزمینی، اثرات زیست محیطی، زیست دسترس پذیری، زیست انباشت و زمین پزشکی عناصر بالقوه سمناک و همچنین اثرات درمانی آنها مورد بررسی قرار گیرد.

### منابع:

- حسني پاک، ع، شرف الدین، م، ۱۳۸۳. تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۵۴۶، صفحه ۳۸۸.  
 سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۹۴. نقشه زمین‌شناسی چهار گوش خاش، مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰.  
 سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۹۴. نقشه زمین‌شناسی چهار گوش ایران‌شهر، مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰.

Amaral, A., A, Rodrigues., 2011. "Volcanogenic contaminants: chronic exposure".

Bundschuh, J., O, C., H, E., N., Birkle., 2007. Geology-related tourism for sustainable development. Central America: Geology, resources and hazards, 2, 1014-1098.

Rizzo, A., L, Barberi., F, Carapezza., 2015. New mafic magma refilling a quiescent volcano: Evidence from He-Ne-Ar isotopes during the 2011–2012 unrest at Santorini, Greece. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 16, 798-814.



- Govind, P., Madhuri, S., 2014. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. Res. J. Animal. Veterinary Fish. 2, 17-23.
- Shakeri, A., Moore, F., & Kompani-Zare, M., 2008. Geochemistry of the thermal springs of Mount Taftan, southeastern Iran. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 178, 829-836.
- Shakeri, A., Ghoreyshinia, S., & Mehrabi, B., 2015. Surface and groundwater quality in Taftan geothermal field, SE Iran. Water Quality, Exposure and Health, 7, 205-218.
- Najafi, G., & Ghobadian, B., 2011. Geothermal resources in Iran: the sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 3946-3951.
- Mather, J., D., & Porteous., 2001. The geochemistry of boron and its isotopes in groundwaters from marine and non-marine sandstone aquifers. Applied geochemistry, 16, 821-834.

## بررسی فرونشست دشت قزوین با مروری بر تصاویر راداری

زهرا یزدی\*<sup>۱</sup> و حامد نیرومند<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

<sup>۲</sup> فوق دکتری، استادیار، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

[yazdizahra96@gmail.com](mailto:yazdizahra96@gmail.com)

### چکیده:

رشد سریع جمعیت و نیاز روزافزون به آب شیرین، منجر به حفر چاه‌های جدید و استخراج بیش از حد مجاز از منابع آب‌های زیرزمینی گردیده که این عمل، نوسانات و افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن را به دنبال خواهد داشت. این پدیده می‌تواند در مقیاس‌های بزرگ و به دلایل گوناگونی روی داده و منجر به خرابی شود. پایش، مکان‌یابی و اندازه‌گیری میزان فرونشست می‌تواند با روش‌های نوین همچون نقشه‌برداری انجام پذیرد. این مطالعه به بررسی فرونشست دشت قزوین به دلیل وقوع خسارات ناشی از آن می‌پردازد. به این منظور، تاریخچه مطالعات فرونشست زمین به روش تداخل سنجی راداری در دشت قزوین که به واسطه محققین انجام یافته است جمع‌آوری گردید تا فرونشست در این دشت مورد بررسی واقع شود. بر اساس مطالعات پیشین، نرخ فرونشست زمین در این دشت افزایش یافته و طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۶ الی ۲۰۱۴-۲۰۱۷ بیشینه نشست زمین از ۷ سانتی‌متر به ۱۴ سانتی‌متر افزایش یافته و هم‌اکنون به ۱۷ سانتی‌متر در سال رسیده است. همچنین نواحی تحت تأثیر فرونشست زمین در این دشت طی سالیان آتی افزایش یافته و پیش‌بینی می‌گردد به فرونشست دشت نظر آباد ملحق شود.

کلیدواژه: فرونشست زمین، تغییرات سطح آب زیرزمینی، تداخل سنجی تفاضلی راداری، دشت قزوین

## Assessment of Land Subsidence in Qazvin Plain With an Overview of Radar Images

Zahra Yazdi\*<sup>1</sup>, Hamed Niroumand<sup>b</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Department of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

<sup>2</sup> Post-Doc, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Buin Zahra Higher Education Center of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University

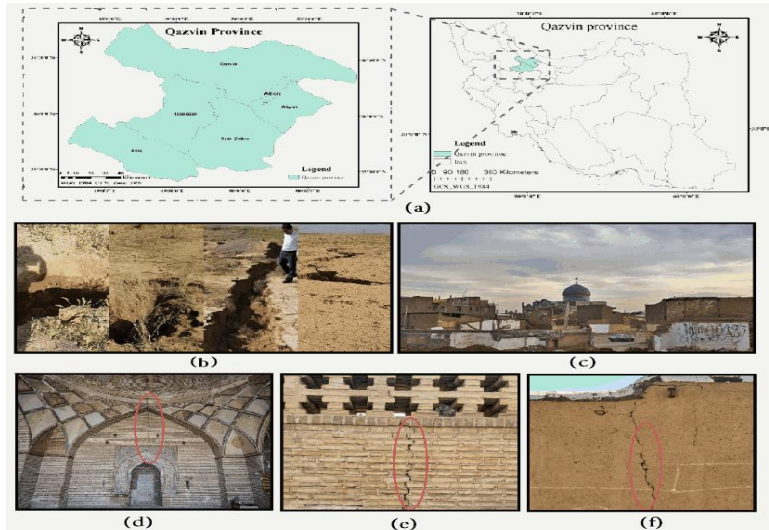
### Abstract

Rapid population growth and increasing need for fresh water have led to the drilling of new wells and the excessive extraction of groundwater resources, which will lead to severe fluctuations in groundwater levels and their consequences. This phenomenon can occur on a large scale for a variety of reasons and can lead to failure. Monitoring, locating and measuring the amount of subsidence can be done with new methods such as mapping. This study investigates the subsidence of Qazvin plain due to the occurrence of damages. For this purpose, the history of land subsidence studies by radar interferometry in Qazvin plain, which was done by researchers, was collected to study subsidence in this plain. According to previous studies, the rate of land subsidence in this plain has increased and during the years 2003-2006 to 2014-2017, the maximum land subsidence has increased from 7 cm to 14 cm and now it has reached 17 cm per year. Also, the areas affected by land subsidence in this plain have increased in the coming years and is expected to join the subsidence of Nazarabad plain.

مقدمه:

فرونشست در واقع نشست رو به پایین، آرام و غیرقابل بازگشت سطح زمین است که می‌تواند خسارات اقتصادی جبران ناپذیر را منجر شود. فرونشست زمین، پدیده‌ای پیچیده همراه با دلایلی متعدد و تأثیرات مختلف ناشی از آن بر طبیعت می‌باشد. به‌طور کلی بر اساس اعلام آیین‌نامه معادن آمریکا، زمانی که در اثر حذف شدن تکیه‌گاه‌های زیرزمینی، تراز آب زیرزمینی در یک ناحیه به آرامی پایین می‌رود فرونشست رخ داده است. عوامل گوناگونی در حذف شدن تکیه‌گاه‌های زیرزمینی تأثیر گذار هستند که از آن جمله می‌توان به وجود رسوبات تحکیم‌نیافته گوناگون در ساختار آبخوان‌ها (Galloway, 2011) و کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی به دلیل استخراج بی‌رویه از آن نام برد (Budhu, 2010). هنگامی که لایه‌های خاک، قابلیت متراکم شدن غیرقابل بازگشت (همانند رس و سیلت) داشته باشند، در اثر برداشت آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ای که دارای این لایه می‌باشد، خطر وقوع فرونشست اجتناب ناپذیر است. بنابراین برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از آبخوان را می‌توان به‌عنوان اصلی‌ترین عامل مؤثر در فرونشست زمین بشمار آورد (Martinez, 2015). برای نظارت بر فرونشست تهران از تکنیک تداخل سنج پایدار (PS-InSAR) استفاده گردید. سه داده سری زمانی شامل دو Sentinel-1A از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ و یک سری داده ENVISAT-ASAR از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ تجزیه و تحلیل گردیده و حداکثر مقادیر جابه‌جایی تجمعی به دست آمده به ترتیب ۳۹/۶ سانتی‌متر و ۸۸/۴ سانتی‌متر تخمین زده شده است (Foroughnia et al., 2019). نشست در تهران با نرخ بیش از ۲۵ سانتی‌متر در سال در ناحیه غرب دشت تهران، بیش از ۵ سانتی‌متر در سال در مجاورت فرودگاه بین‌المللی تهران و بیش از ۲۲ سانتی‌متر در سال در دشت ورامین در جنوب شرقی تهران شناسایی گردید (Haghshenas Haghghigh and Motagh., 2019). دشت سمنان، به علت توسعه کشاورزی و استحصال بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، شدیداً دچار فرونشست شده است. به منظور ارزیابی میزان فرونشست در این دشت، دو تصویر Sentinel-1A از تاریخ ۵ آبان ماه ۱۳۹۳ و ۶ مهر ماه ۱۳۹۴ به کار گرفته شد. بر اساس نتایج، حداکثر نرخ فرونشست در این بازه زمانی، ۱۰ سانتی‌متر در سال می‌باشد که در نواحی شرق و جنوب شهر در فاصله ۱۰ کیلومتری از سمنان رخ داده اند (دهقانی بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۷). حدود ۳۱۴۱ هکتار از سطح دشت مرند تحت تأثیر پدیده فرونشست قرار گرفته است که این امر آسیب شدیدی به سازه‌ها، دیوارهای شهر، خطوط انتقال برق و بتن اطراف کانال‌ها وارد نموده است. بر اساس مطالعات این پژوهش، نشان داده شد که افت سطح ایستابی ارتباط مستقیمی با فرونشست زمین دارد و به طور متوسط برای دوره زمانی از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۱۵، سطح ایستابی به طور متوسط، ۵ متر کاهش یافته است. نتایج تجزیه و تحلیل سری زمانی نشان داد که حداکثر میزان تغییر شکل در ENVISAT-ASAR برابر ۲۴ سانتی‌متر در سال و در Sentinel-1 برابر ۳۹ سانتی‌متر در سال تخمین زده شد (Andaryani et al., 2019). ناحیه ساحلی جاکارتا بخشی از جاکارتای شمالی می‌باشد. تحقیقات در مورد بررسی فرونشست زمین در این ناحیه با استفاده از داده‌های JERS-1 SAR در سال ۱۹۹۳-۱۹۹۸ آغاز شده و توسط محققین توسعه یافته است. میزان نرخ فرونشست زمین در سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷، حدود ۱ تا ۱۲ سانتی‌متر در سال بود (Abidin et al., 2011) و طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ بر اساس روش SBAS، نرخ فرونشست تا ۲۱/۶ سانتی‌متر در سال گزارش شد (Chaussard et al., 2013). در مکزیکوسیتی، فرونشست ناشی از افت سطح ایستابی که به یک معضل تبدیل گشته، با استفاده از روش تداخل سنجی و داده‌های Sentinel طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ در این شهر ارزیابی شد. نرخ فرونشست در این ناحیه، به بیش از ۴۰ سانتی‌متر در سال می‌رسد (Sowter et al., 2016). رخداد پدیده فرونشست زمین مسأله‌ای فراگیر به گستردگی جهانی می‌باشد. افزایش روز افزون جمعیت با توجه به کاهش نزولات جوی در پی خشکسالی‌های چشمگیر، تفاوت در پتانسیل بالقوه منابع آب و محدود بودن آن در نواحی مختلف دشت قزوین، منجر به تشدید مسأله

فرونشست و ایجاد مشکلات عدیده‌ای از جمله فرونشینی سطح دشت، ایجاد درزه و شکاف‌های متعدد در سطح زمین، تخریب زیرساخت‌ها، آثار باستانی، تأسیسات، شریان‌های حیاتی، حمل و نقل، تغییر کیفیت آب زیرزمینی، خطوط راه آهن و سایر امکانات زمینی در نواحی شهری و حومه گردیده است. تجزیه، تحلیل خطرپذیری، شناسایی آسیب پذیری و برآورد تاب آوری ناحیه‌ای که در معرض خطر می‌باشد بعنوان ضرورتی برای در نظرگیری اقدامات پیشگیرانه و آمادگی برای مقابله با آن می‌باشد. شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی به همراه نمونه‌هایی از شواهد پدیده فرونشست زمین در استان قزوین را ارائه می‌دهد.



شکل ۱: (a): موقعیت جغرافیایی استان قزوین، (b): ترک‌های ناشی از فرونشست زمین در شهرستان بوئین زهرا، (c): امامزاده حسین ابن علی ابن موسی الرضا (ع)، (d): مسجد و مدرسه سردار، (e): مسجد جامع عتیق و (f): بنا در روستای خان آباد

### موقعیت جغرافیایی دشت قزوین:

دشت قزوین، واقع در بخش شمال غربی فلات ایران و در مختصات جغرافیایی  $۴۹^{\circ} ۱۰'$  تا  $۵۰^{\circ} ۴۰'$  طول شرقی و  $۳۵^{\circ} ۲۰'$  تا  $۳۶^{\circ} ۳۱'$  عرض شمالی جانمایی می‌شود. این دشت از شمال با سلسله جبال البرز و از جنوب با سلسله جبال راموند احاطه گردیده است. حوضه مورد نظر، بیشینه ارتفاع ۲۹۷۱ متر و کمینه ارتفاع ۱۱۰۰ متر را دارا می‌باشد. مساحت کلی دشت معادل ۸۶۹۳ کیلومتر مربع است که ۴۴۳۲ کیلومتر مربع متشکل از کوهستان‌ها و ۴۲۶۱ کیلومتر مربع آن متشکل از دشت‌ها می‌باشد. دشت‌های حاصل خیزی که از تراکم رسوبات جوان آبرفتی کواترنر که به واسطه آب‌های جاری در چاله زمین ساختی دشت قزوین رسوب نموده‌اند، ایجاد شده‌اند.

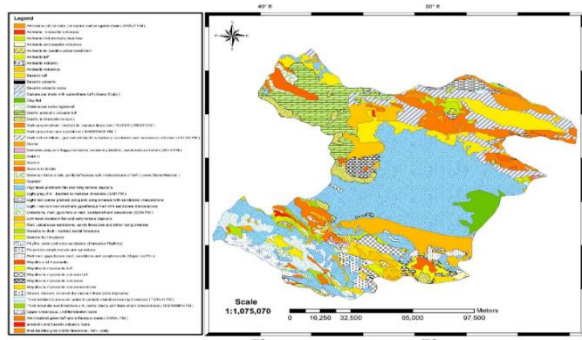
### جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناختی دشت قزوین:

در گستره استان قزوین، نهشته‌های آبرفتی کواترنر اهمیت بالایی دارند و از گسل‌های فعال دشت می‌توان گسل شمال قزوین که در مرز شمالی و گسل ایپک که در مرز جنوبی دشت واقع شده‌اند را نام برد. مطابق با نقشه زمین‌شناسی استان قزوین که در شکل (۲) ارائه شده است، سازندهای تشکیل دهنده دشت قزوین به شرح ذیل می‌باشند:

واحدهای تکتونواستراتیگرافی ناحیه شمالی (البرز) با ناحیه جنوبی (ایران مرکزی) تفاوت‌های آشکاری ندارند و در تمامی بخش‌ها توالی‌های سنگی با نهشته‌های پلاتفرمی پرکامبرین پسین (سازند سلطانیه) شروع می‌شود و با چند وقفه رسوبی کوچک و بزرگ تا تریاس میانی ادامه می‌یابد. ردیف‌های تریاس بالا-ژوراسیک میانی یک واحد تکتونواستراتیگرافی محدود به دو رویداد کوهزایی سیمیرین پیشین (تریاس بالا) و سیمیرین میانی (ژوراسیک میانی) می‌باشد که عموماً متشکل از شیل و ماسه سنگ (سازند شمشک) می‌باشند و در پیش بوم سیمیرین پیشین انباشته شده‌اند. در همه نواحی، سنگ‌های ژوراسیک میانی-



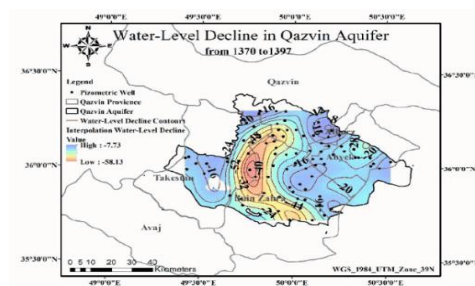
کرتاسه بالا ردیف‌های سکوی قاره‌ای-مارنی وجود دارند که رخنمون‌های آن در نواحی شمالی و جنوبی استان مشهود است. سنگ‌های سنوزوئیک با مجموعه‌های آذرآواری ائوسن (سازند کرج) شروع می‌شود که گاهی نفوذی‌های گرانیتی وابسته به کوهزاد پیرنئن به درون آن‌ها تزریق گردیده است. قسمت عمده سنگ‌های سنوزوئیک ردیف‌های هم‌زمان با کوهزاد سنوزوئیک می‌باشند که در حوضه‌های میان کوهی انباشته شده و رخنمون‌های محدودی در پای ارتفاعات دارند. ناحیه مورد نظر یک واحد هیدرولوژیکی متشکل از دو قسمت دشت و ارتفاعات می‌باشد. جنس ارتفاعات در ناحیه شمالی از سنگ‌های آذرین-رسوبی می‌باشد که به دلیل عدم وجود شکاف‌های زیاد، مخازن آب‌های زیرزمینی در آن‌ها ایجاد نشده است و دشت قزوین با نهشته‌های آبرفتی جوان و گاهی با ریخت‌های کویری چون پوسته نمکی، کفه رسی و تپه‌های ماسه‌ای پوشیده شده است که بخش اعظمی از این رسوبات از ارتفاعات سرچشمه یافته و به واسطه آب‌های جاری به داخل دشت حمل می‌شوند.



شکل ۲: نقشه زمین شناسی استان قزوین (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

### آب‌های سطحی و زیرزمینی:

دشت قزوین به شکل کاسه‌ای می‌باشد و مجموعه آب‌های سطحی و زیرزمینی از کلیه جوانب وارد آن می‌شوند. نحوه رسوب-گذاری و وجود رودخانه‌ها و مسیل‌های متعدد باعث گردیده تا آبخوان بزرگی در این ناحیه تشکیل شود. به منظور نمایش شدت تخلیه آبخوان در سال‌های اخیر و سه دهه گذشته، منحنی هم‌افت سطح ایستابی در محدوده آبخوان استان قزوین از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۹۷ در شکل (۳) ارائه گردیده که حداکثر مقادیر افت سطح ایستابی در شمال بوئین زهرا و مرز تاکستان رخ داده و مطابق با روند نزولی هیدروگراف آبخوان آبرفتی، دشت قزوین را می‌توان در رده دشت‌های بحرانی-فوق بحرانی لحاظ نمود. بر اساس نقشه هم‌باران، حداقل و حداکثر مقادیر منحنی هم‌باران ۲۵۰-۵۰۰ میلی‌متر و مقادیر متوسط باران در دشت و ارتفاعات استان قزوین به ترتیب ۲۵۶/۶ و ۳۲۳/۹ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر مقدار بارش، مربوط به نواحی شمال شرقی و حداقل مقدار بارش در نواحی بوئین زهرا و بخش‌های جنوبی شهرستان تاکستان می‌باشد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲).



شکل ۳: منحنی هم‌افت سطح ایستابی (۱۳۹۷-۱۳۷۰) و تغییرات آن در آبخوان قزوین (۱۳۹۷-۱۳۴۵) (جانباز فوتمی و همکاران، ۱۳۹۹)

### مصارف منابع آب زیرزمینی دشت قزوین:

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



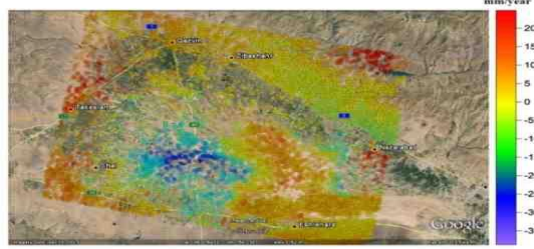
مطابق با شکل (۴)، منابع بهره‌برداری‌کننده از آب‌های زیرزمینی شامل ۷۸۸۱ حلقه چاه با تخلیه سالیانه ۱۵۷۲/۳۹ میلیون متر مکعب، ۱۹۵۹ دهنه چشمه با تخلیه سالیانه ۴۰/۳ میلیون متر مکعب و ۲۶۰ رشته قنات با تخلیه سالیانه ۵۳/۲۶ میلیون متر مکعب بوده و مصرف آب در این محدوده شامل ۲۰۴۵/۵۴ میلیون متر مکعب در سال که ۱۶۱۵/۳۵ میلیون متر مکعب از آب‌های زیرزمینی (چاه و قنات) و ۴۳۰/۱۹ میلیون متر مکعب در سال ناشی از جریان‌های سطحی و چشمه می‌باشد.

منبع	دشت		ارتفاعات		جمع محدوده		آبخوان آبرفتی		ناحیه	منابع زیرزمینی (چاه و قنات)			جریان سطحی و چشمه‌ها		مجموع
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه		شرب	صنعت	کشاورزی	شرب	صنعت	
چاه	۶۷۷۳	۱۵۵۶/۴۰	۱۱۰۸	۱۵/۹۹	۷۸۸۱	۱۵۷۲/۳۹	۶۱۵۴	۱۵۴۸/۲۱	دشت	۹۷/۴۳	۳۶/۲۳	۱۴۵۰/۰۳	۰/۰۵	۳۹۴/۴۸	۱۹۷۸/۲۱
چشمه	۲۴	۰/۶۴	۱۹۳۵	۳۹/۶۶	۱۹۵۹	۴۰/۳۰	۴	۰/۰۹	ارتفاعات	۵/۱۷	۰/۲۱	۲۶/۲۹	۵/۰۵	۳۰/۵۱	۶۷/۳۳
قنات	۱۱۴	۳۲/۶۸	۱۴۶	۲۰/۵۸	۲۶۰	۵۳/۲۶	۵۳	۱۰/۵۵	آبخوان	۹۳/۳۲	۳۵/۸۴	۱۴۲۸/۳۲	۰/۰۵	۲۵۵/۷۲	۱۸۱۳/۲۶
جمع	۶۹۱۱	۱۵۸۹/۷۲	۳۱۸۹	۷۶/۲۳	۱۰۱۰۰	۱۶۶۵/۹۵	۶۲۱۱	۱۵۵۸/۸۵	محدوده	۱۰۲/۵۹	۳۶/۴۴	۱۴۷۶/۳۲	۵/۱۰	۴۲۴/۹۹	۲۰۴۵/۵۴

شکل ۴: (a): تعداد و تخلیه منابع آب‌های زیرزمینی و (b): تعداد و مصارف آب و منابع تأمین آن (شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین)

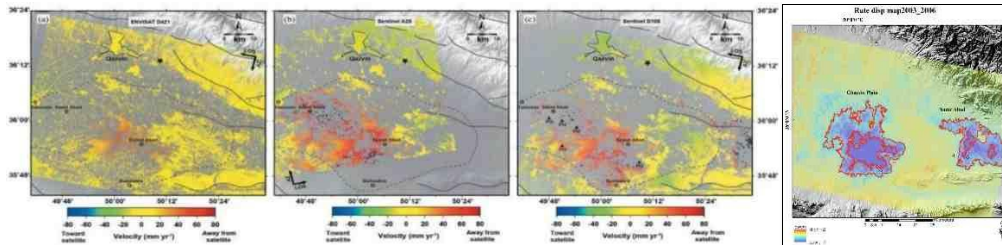
### مقادیر فرونشست در دشت قزوین:

در بوئین زهرا مرکزی، به شناسایی علل فرونشست زمین پرداخته شد. ۵۵ درصد از مساحت این ناحیه در پهنه بندی با خطر نسبتاً زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. عامل برداشت بی رویه از چاه‌های زیرزمینی با ضریب وزنی ۰/۴۸۸۲ در درجه اول، عامل سنگ شناسی با ضریب وزنی ۰/۲۴۴۵ در درجه دوم، عامل شیب با ضریب وزنی ۰/۱۵۱۲ در درجه سوم، عامل ارتفاع با ضریب وزنی ۰/۱۲۷۴ در درجه چهارم و عامل فاصله از گسل با ضریب وزنی ۰/۰۳۵۷ در درجه پنجم در وقوع فرونشست‌های این ناحیه نقش دارند (شادفر و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی فرونشست دشت قزوین طی یک دوره ۶ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۰)، بیشینه مقدار فرونشست ۵۲ سانتی‌متر می‌باشد. تحلیل حساسیت مدل دشت قزوین، نمایانگر حساسیت بالای مدل به ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب آبدهی ویژه مدل می‌باشد. سه سناریو مختلف از افت سطح ایستایی فرض گردید. در سناریو اول، با فرض ثبات تنش‌های وارده به آبخوان برای سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۰ حداکثر مقدار فرونشست ۱۶ سانتی‌متر، در سناریو دوم با افزایش ۲۰ درصدی پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری، حداکثر مقدار فرونشست ۲۶ سانتی‌متر و در سناریو سوم با کاهش ۲۰ درصدی پمپاژ حداکثر مقدار فرونشست ۱۰ سانتی‌متر پیش‌بینی گردید (عظیمی، ۱۳۹۲). بابایی و همکاران (۱۳۹۲) مدل‌سازی الگو و نرخ فرونشست رخ داده در دشت قزوین بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ را با به‌کارگیری تکنیک تداخل سنجی راداری ارائه نمودند. به این منظور از آنالیز سری زمانی تداخل سنجی PS و SBAS استفاده گردید. کلیه داده‌های مورد استفاده حاوی دو مجموعه داده مرتبط با مدار پایین گذر ۱۹۲ و ۴۲۱ ماهواره Envisat که در بازه زمانی مورد نظر اخذ شده است می‌باشند. نتایج هر دو سری زمانی PS و SBAS، تطابق خوبی با یکدیگر داشتند. مطابق با این نتایج، ناحیه وسیعی از جنوب دشت قزوین تحت فرونشست زمین قرار گرفته است و غالباً نواحی مرکزی و جنوبی دشت قزوین همچون شمال بوئین زهرا، شال، تاکستان که با برداشت حجم عظیمی از منابع آب زیرزمینی رو به رو بوده‌اند دچار بیشترین فرونشست شده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی تداخل سنجی، فرونشستی پیوسته و قابل ملاحظه‌ای در این ناحیه نمایان شد که هر دو سری زمانی تداخل سنجی Ps و SBAS ماکزیمم دامنه فرونشستی حدود ۳۰ تا ۳۵ میلی‌متر در سال را مشخص می‌کنند و بر اساس این پژوهش، نواحی وسیعی از جنوب دشت قزوین از جمله شمال شهرستان بوئین زهرا، اطراف شهرستان شال و زمین‌های زراعی و باغات شهرستان تاکستان در خطر این معضل قرار گرفته‌اند.



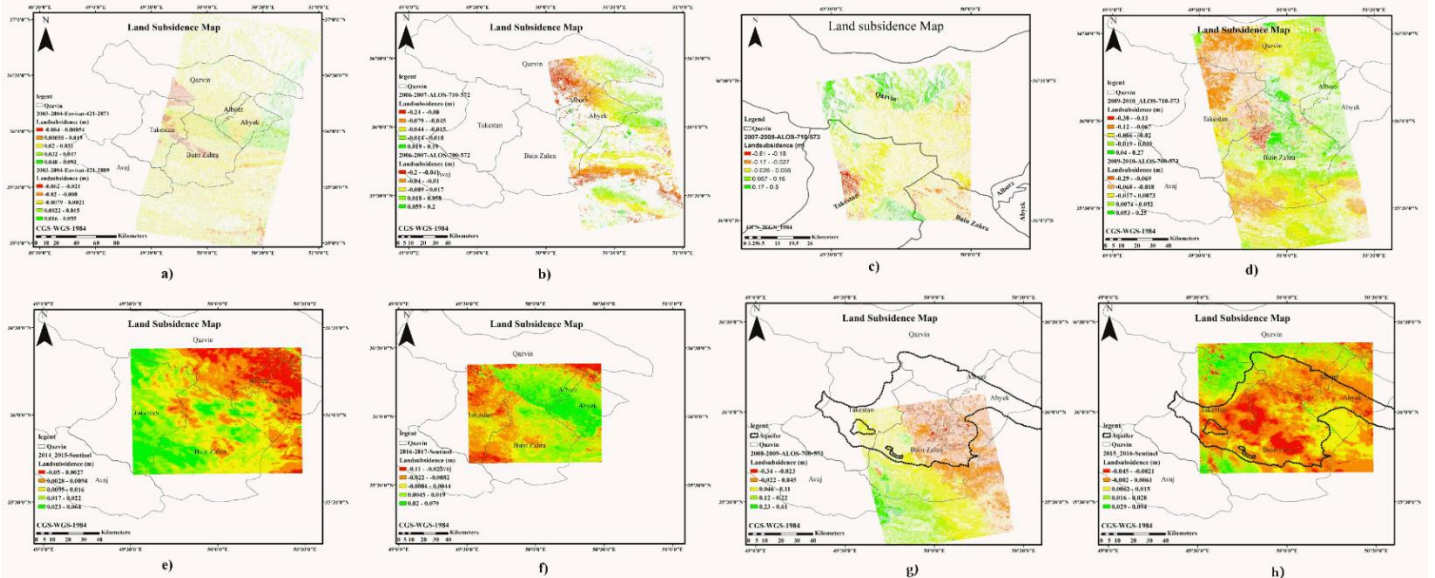
شکل ۵: میدان جابه‌جایی تصحیح شده نسبت به سایر مؤلفه‌های خطا در نرم‌افزار گوگل ارث (۲۰۱۰-۲۰۰۳) (بابایی و همکاران، ۱۳۹۲)

مطالعه فرونشست در دشت قزوین با استفاده از یک مجموعه داده ENVISAT در طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۶ و دو مجموعه داده Sentinel-1 در طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۶ استفاده گردید و تجزیه و تحلیل سری زمانی از داده‌های ENVISAT نشان می‌دهد که این دشت با سرعت متوسط ۴۰ میلی‌متر در سال و با حداکثر مقدار ۵۰ میلی‌متر در سال و بر اساس نتایج Sentinel-1، با مقدار متوسط ۶۵ میلی‌متر در سال در حال فرونشست می‌باشد. نتایج نشان داد که نرخ فرونشست زمین در جهت شمال غربی به جنوب شرقی در داخل دشت رو به رشد می‌باشد (Babae et al., 2019).



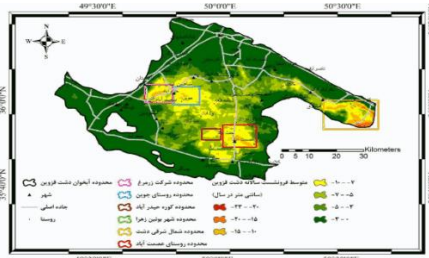
شکل ۶: نقشه جابجایی، سرعت متوسط فرونشست حاصل از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی (۲۰۰۳-۲۰۰۶) (Babae et al., 2019)

تهیه نمونه‌هایی از نقشه‌های فرونشست زمین در دشت قزوین با استفاده از تصاویر راداری در طی سالیان متمادی توسط جانباز فوتمی و همکاران (۱۳۹۹) مطابق با شکل (۷) صورت پذیرفت. جهت ارزیابی بلند مدت فرونشست زمین از ترکیب داده‌های ماهواره‌های Envisat، Alos palsar و Sentinel از سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۷ استفاده شده است. میانگین سالانه فرونشست زمین طی سالیان ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۷ در محدوده آبخوان قزوین معادل ۳۹/۹ میلی‌متر و در استان قزوین ۳۳ میلی‌متر بوده است.



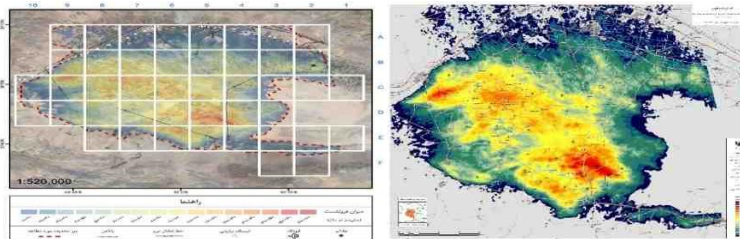
شکل ۷: نقشه فرونشست استان قزوین طی سال‌های (a): ۲۰۰۳-۲۰۰۴، (b): ۲۰۰۶-۲۰۰۷، (c): ۲۰۰۷-۲۰۰۸، (d): ۲۰۰۹-۲۰۱۰، (e): ۲۰۱۴-۲۰۱۵، (f): ۲۰۱۶-۲۰۱۷ و نقشه فرونشست آبخوان قزوین طی سال‌های (g): ۲۰۰۸-۲۰۰۹، (h): ۲۰۱۵-۲۰۱۶ (فوتومی و همکاران، ۱۳۹۹)

سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین، ضمن تعیین موقعیت مکانی کلیه لاگ‌های چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی موجود در دشت قزوین، اقدام به تعیین متوسط فرونشست سالانه دشت قزوین در بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ نموده است. در شکل (۸) محدوده نواحی شش‌گانه حساس به فرونشست زمین مشخص گردیده است. مطابق با این شکل، محدوده شمال شرقی دشت قزوین، محدوده شهرستان بوئین زهرا، روستای عصمت آباد، روستای جنت آباد، روستای جوین و شرکت زرمغ، به‌عنوان نواحی شناخته شده و بحرانی در فرونشست ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی اعلام گردیدند. بر این اساس، وسعت و الگوی حداکثر فرونشست زمین، منطبق با موقعیت و انبوه چاه‌های استحصال آب‌های زیرزمینی می باشد.



شکل ۸: متوسط فرونشست سالانه دشت قزوین بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ (سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۹)

سازمان نقشه برداری کشور به منظور پایش تغییرات پوسته زمین، تعیین نواحی مستعد، ممنوعه و اعلام نرخ آن در سطح دشت قزوین، از روش‌هایی با پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی گسترده از طریق مشاهدات شبکه ترازبایی دقیق و پردازش تصاویر راداری حاصل شده از روش تداخل سنجی راداری استفاده نموده است. نقشه فرونشست دشت قزوین در اثر پردازش ۳۲ تصویر ماهواره سنتینل از ژانویه ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۹ فراهم گردیده است (شکل ۹). تعداد زوج تصاویر انتخابی برای پردازش ۱۶۷ زوج است که حجم پردازش عظیمی را شامل می‌شود و نتایج پردازش نیز از دقت حدود ۱ سانتی‌متر برخوردار است. مطابق با این نقشه، طی سال‌های ۲۰۱۷ الی ۲۰۱۹ دشت قزوین بیشینه مقدار فرونشستی معادل با ۱۶۰ الی ۱۷۰ میلی‌متر در سال را تجربه نموده است.



شکل ۹: نقشه و اطلس فرونشست دشت قزوین بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ (سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۸)

#### راهکارهای مقابله با افت سطح ایستابی و فرونشست دشت قزوین:

اتخاذ و اجرای سیاست‌های کنترل جمعیت به منظور جلوگیری از بحران کم آبی، اعمال مدیریت کلی بر تأمین و توزیع آب، کنترل حجم مصرف آب از طریق به‌کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری در اراضی زراعی همچون سیستم‌های آبیاری تحت فشار، قطره‌ای و بارانی و نوسازی شبکه‌های آبیاری و ترویج استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف، احداث زهکش زیرزمینی و استخرهای ذخیره آب، تعیین محدوده‌های مطالعاتی دارای برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی به‌عنوان نواحی ممنوعه، استقرار و توسعه ایستگاه‌های اندازه‌گیری GPS در راستای کنترل مداوم نشست زمین و عدم صدور مجوزهای بهره‌برداری جدید، نصب سیستم هوشمند و پایش برداشت از چاه‌های مجاز، مسدود نمودن چاه‌های غیرمجاز و جلوگیری از برداشت‌های غیر مجاز، تعادل‌سازی میان مصرف آب شرب، صنعت و آب بخش کشاورزی، بازچرخانی پساب حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری، روستایی و صنعتی مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به وسیله سیلاب‌های فصلی، فرهنگ‌سازی، آموزش و افزایش سطح دانش همگانی.

#### نتیجه‌گیری:

با تغییر اقلیم و خشکسالی‌ها از اوایل دهه ۸۰ تاکنون نه تنها آب‌های زیرزمینی تغذیه نشده، بلکه با برداشت‌های روزافزون و بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، سطح ماندگاری آبی نیز کاهش یافته است که در پی آن، فرونشست دشت قزوین همواره دارای روندی رو به رشد بوده و هر ساله محدوده گسترده‌تری را در بر می‌گیرد به گونه‌ای که بر اساس نتایج پژوهش سایر محققان، میزان بیشینه نشست دشت قزوین طی سالیان ۲۰۰۶-۲۰۰۳، ۷ سانتی‌متر و طی سالیان ۲۰۱۷-۲۰۱۴، به ۱۴ سانتی‌متر افزایش یافته و اکنون دشت قزوین با سالیانه ۱۷ سانتی‌متر نشست زمین مواجه گردیده که نواحی بحرانی فرونشست دشت در شمال، جنوب شرقی و جنوب غربی مشاهده گردیده که علت اصلی آن افت سطح ایستابی می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود با وجود سیر صعودی، فرونشست دشت قزوین به فرونشست دشت نظراباد ملحق شود. همچنین با بررسی تغییرات لایه‌بندی خاک و مقادیر فرونشست حاصل از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان بیان نمود نواحی مستعد فرونشست در محیط آبخوان می‌باشد که بنابر اظهار معاون بهره‌برداری و توسعه منابع آب شرکت آب و فاضلاب استان قزوین، طی ۱۰ سال آینده دشت آبرفتی قزوین بی‌آب شده و به کویر تبدیل خواهد شد، پس توجه به این مسأله، شناخت خطرپذیری و انجام مطالعاتی جدی‌تر در نواحی مستعد فرونشست در دشت قزوین که در حال حاضر دارای نشست بوده و یا در آینده در معرض خطر این پدیده قرار خواهند گرفت به علت موقعیت چشمگیر ناحیه و همجواری با پایتخت، به ضرورتی عملی و اجرائی مبدل گردیده است.

#### منابع

بابایی، س، ۱۳۹۴. بررسی فرونشست دشت قزوین با استفاده از تداخل سنجی راداری، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری گرایش ژئودزی، دانشگاه زنجان.

جانباز فوتمی، م، خلقی، م، عبده کلاهی، ع، و روستایی، م، ۱۳۹۹. بررسی فرونشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری: مطالعه موردی استان قزوین. تحقیقات منابع آب ایران، سال شانزدهم، شماره ۳ دهقانی بیدگلی، ر، کوهبنانی، ح، و یزدانی، م، ۱۳۹۷. پهنه بندی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت بیرویه آبهای زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و تصاویر Sentinel-1A

شادفر، ص، نصیری، ا، چیتگر، س، و احمدی، ع، ۱۳۹۴. پهنه بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ناحیه مورد مطالعه (شهر بوئین زهرا)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی-پژوهشی، سال دوازدهم، شماره ۴۸.

شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲. مطالعات بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوزه آبریز دریاچه نمک، گزارش بیلان محدوده مطالعاتی قزوین (۴۱۰۶).

عظیمی، ا، ۱۳۹۲. پیش بینی احتمال فرونشست دشت قزوین با توجه به بیلان منفی آب زیرزمینی و راهکارهای جلوگیری یا کنترل آن، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب (مدیریت منابع آب)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

- Andaryani, S., Nourani, V., Trolle, D., Dehghani, M., and Mokhtari Asl, A., 2019. Assessment of land use and climate change effects on land subsidence using a hydrological model and radar technique. *Journal of Hydrology*, 578,124070.
- Babaei, S., Mousavi, Z., Masoumi, Z., Hojati Malekshah, A., Roostaei, M., and Aflaki, M., 2020. Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran, *International Journal of Remote Sensing*, 41:12, 1778-4796.
- Budhu, M., and Adiyaman, I. B., 2010. Mechanics of land subsidence due to groundwater pumping, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech*, Vol 34, 1459-1478.
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., and Hong, S.H., 2013. Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of Environment*, 128, 150-161.
- Foroughnia, F., Nemati, S., Maghsoudi, Y., and Perissin, D., 2019. An iterative PS-InSAR method for the analysis of large spatio-temporal baseline data stacks for land subsidence estimation. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 248-258.
- Galloway, D. L., and Burbey, T. J., 2011. Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction., *Hydrogeol. J.*, Vol 19, 1459-1486.
- Haghshenas Haghghi, M., and Motagh, M., 2019. Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: Results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. *Remote Sensing of Environment*, 221,550-534.
- Martinez, J. P., Cabral-Cano, E., Wdowski, S., Marin, M. H., Ortiz-Lozano, J. A., and Zermeno-Leon, M. E., 2015. Application of InSAR and gravimetry for land subsidence hazard zoning in Aguascalientes, Mexico, *Remote Sensing*, Vol. 7, pp. 17035-17050.
- Sowter, A., Bin Che Amat, M., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A., and Ashammari, L., 2016. Mexico City land subsidence in 2014-2015 with Sentinel-1 IW TOPS:Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52:230-242.

## بررسی آلودگی زیست محیطی در معدن تراورتن دینگله کهریز ۵ همدان

۱. هدی شیردره ، ۲. مهرداد براتی\*

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا

عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا

[barati@basu.ac.ir](mailto:barati@basu.ac.ir)

### چکیده :

منطقه‌ی دینگله کهریز در ۱۵ کیلومتری شرق شهر همدان و در زون ساختاری سنندج - سیرجان قرار دارد. در این منطقه ۵ معدن و چندین برون‌زدگی تراورتن وجود دارد. از نظر سنی این رسوبات به سازند قم تعلق داشته و تحت تاثیر فعالیت تکتونیکی قرار دارند. معدن دینگله کهریز ۵ در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، این معدن حداقل دارای ۶ نوع تراورتن می‌باشد که به روش سیم برش الماسه و پارس و گوه با سینه‌کارهایی در جهات مختلف برداشت می‌گردد. بلوک‌ها ابعاد متفاوتی داشته، مینیمم ضخامت هر بلوک ۱/۲۰ تا ۱/۵۰ می‌باشد و هر بلوک پس از بریده شدن از سینه‌کار به چند قواره با ابعاد بین ۱ تا ۳ متر و وزن بیش از ۱۰ تن بریده می‌شوند. باطله در این معدن همان ماده معدنی است که عمدتاً در روی ماده معدنی بوده ولی می‌تواند همراه آن نیز باشد، با ابعاد و وزن مشابه در هر قواره. حجم کلی باطله‌ها متفاوت است ولی نسبت باطله به ماده معدنی در این معدن به طور متوسط ۳ به ۱ می‌باشد که در برخی مواقع تا ۵ به ۱ نیز می‌رسد، لذا باطله‌ها مشکل اصلی زیست‌محیطی در این معدن شناخته شده‌اند. وزن و حجم زیاد این باطله‌ها جابجایی آنها را بسیار مشکل و هزینه‌بر کرده و برای جابجایی آنها نیاز به ماشین‌آلات گرانیقیمت و سنگین وزن می‌باشد. وسعت زیادی از زمین‌های اطراف صرف دپوی این باطله‌ها گردیده که منظره ناخوشایندی ایجاد کرده است. هرگونه تغییر دپوی باطله‌ها نیاز به صرف هزینه و انرژی زیادی دارد. آلودگی صوتی دیگر آلودگی این معدن است که رفع آن توسط گوشی توصیه شده است که باتوجه به گرمی هوا و نیز جنس و وزن و شکل گوشی‌ها تمایل به استفاده از آنها ناچیز است .

کلید واژه : تراورتن، دینگله کهریز، باطله، حجم و وزن زیاد، آلودگی صوتی

## Investigation of environmental pollution in Dingleh Kahriz 5 travertine mine, Hamedan

Hoda shirdarreh; Mehrdad Barati\*

### Abstract

Dingleh Kahriz region is located 15 km east of Hamadan city and Sanandaj-Sirjan structural zone. There are 5 mines and several travertine outcrops in this area in terms of age, these sediments belong to the Qom formation and they are affected by tectonic activity. Dingle Kahriz 5 mine was investigated in this study, this mine has at least 6 types of travertine, which can be harvested by diamond cutting wire, plug and feather with in different directions. The blocks have different dimensions, the minimum thickness of each block is 1.20 to 1.50 and each block after being cut from the working face, is cut into several slabs with dimensions between 1 to 3 meters that weighting more than 10 tons. Waste in this mine is the same mineral that is mainly on the mineral but can be accompanied by it, with similar

dimensions and weight in each slate. The total volume of tailings is different, but the ratio of tailings to minerals in this mine is on average 3 to 1, which sometimes reaches 5 to 1, therefore, tailings are known to be the main environmental problem in this mine. The heavy weight and volume of these wastes make their transportation very difficult and costly and to move them, expensive and heavy machines are needed. A large area of the surrounding land has been spent on the depot of this waste, which has created an unpleasant view. Any change of landfill requires a lot of money and energy. Noise pollution is another pollution of this mine which is recommended by the headphone due to the hot weather and the material, weight and shape of the phones, the tendency to use them is negligible.

#### مقدمه :

منابع معدنی از بزرگترین ثروت های هر کشوری است، که بایستی با برنامه ریزی های مدون و مدیریت اصولی در جهت توسعه اقتصادی به صورتی موثر مورد استفاده و بهره برداری قرار گیرد. آلودگی های زیست محیطی همراه با استخراج و مصرف منابع معدنی ابعاد گسترده ای به خود گرفته و زمین را برای زندگی بشر به سمت بحرانی شدن پیش می برد. سنگ های تزئینی و ساختمانی را می توان یکی از همین منابع معدنی بشمار آورد. سنگ های ساختمانی بدلیل کاربردی که در فضاهای بیرونی و درونی ساختمان ها و همینطور اماکن و معابر عمومی دارند مورد توجه می باشند. در این میان تراورتن به لحاظ رنگ و کیفیت و بازار اقتصادی مطلوب از اهمیت خاصی برخوردار است. تراورتن سنگ آهکی متخلخل سیمانی شده و متراکم است که در نتیجه ته نشینی سریع کربنات کلسیم از آب های زیرزمینی و سطحی (سرد یا گرم) ناشی شده و در اطراف چشمه ها، رودخانه ها، غارها و در امتداد شکستگی ها و گسل ها دیده میشود (Mitchell, 1985). کربنات کلسیم یا کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ )، کانی اصلی سنگ های آهکی است که به مقدار زیاد در اطراف دهانه و مجاری چشمه ها رسوب می کند و سنگ تراورتن را تشکیل می دهد. در استان همدان و در شرق شهرستان همدان ۵ معدن فعال تراورتن و ۱۰ بیرون زدگی این سنگ به همراه چندین معدن متروکه وجود دارد. این معادن به صورت نواری عریض با تغییر شیبی که تابع مورفولوژی زمین است در شرق همدان گسترده است و تنوع گوناگونی از رنگ های مختلف سفید، کرم، طوسی، پرتقالی، گردویی، لیمویی و ... در آنها دیده می شود (براتی و همکاران، ۱۳۹۸ الف). تراورتن ها به وفور بعنوان سنگ ساختمانی مورد استخراج و بهره برداری قرار می گیرند. با این حال، معدنکاری تأثیرات مخرب و منفی نیز دارد که از مهمترین آنها می توان به آلودگی و آسیب رساندن به محیط زیست از طریق: جنگل زدایی؛ زهکشی اسید معدن؛ سروصدا؛ گردوخاک؛ تخلیه حاصل از فرآوری سنگ معدن سیانوری، تولید فلزات سنگین، وارد کردن جیوه و آرسنیک به منابع هوا و آب؛ انتشار گازهای سمی؛ تولید پسماند جامد و ایجاد آلودگی ناشی از پساب و... اشاره کرد. این صنعت هم باید مانند تمامی صنایع با اصول حفظ محیط زیست از مرحله اکتشاف تا پس از اتمام بهره برداری و ترک معدن آشنا بوده و با بکارگیری اصول و روش های مدیریتی صحیح سعی در پیشگیری و به حداقل رسانیدن آسیب ها و اثرات مخرب آن به محیط داشته باشد.

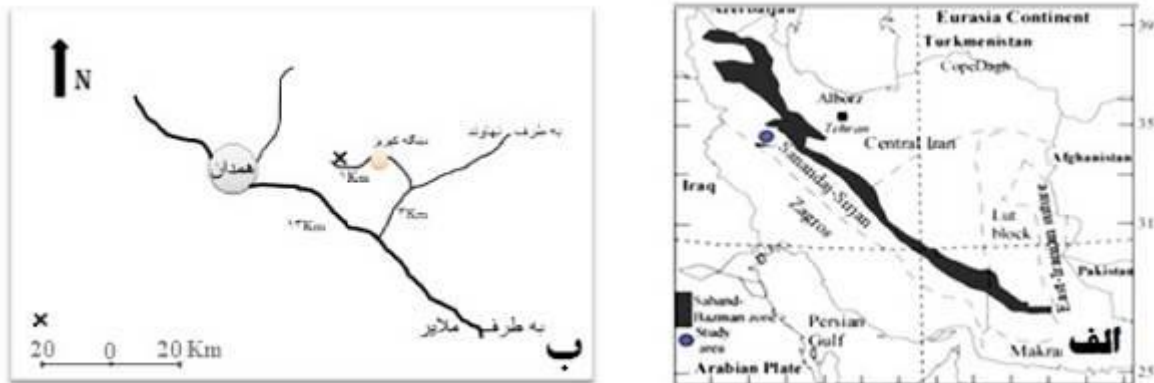
وجود لایه های رسی و انحلال پذیر در این معادن سبب گردیده تا حجم باطله برداری در آنها تا ۵ برابر ماده معدنی افزایش یابد. مطالعات علمی اقتصادی در این معادن انجام نشده است (براتی و همکاران، ۱۳۹۸ ب) و مشکلات استخراجی و اقتصادی و زیست محیطی آنها بررسی علمی نشده است. در این مقاله به بررسی آلودگی زیست محیطی در نتیجه استخراج معادن تراورتن (به طور موردی معدن تراورتن دینگله کهریز ۵ همدان) می پردازیم.



### روش مطالعه:

۱. موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه:

منطقه مورد مطالعه در شرق شهرستان همدان و در اطراف روستای دینگله کهریز و در مسیر جاده همدان- ملایر قرار دارد. از دیدگاه زمین شناسی این منطقه در زون ساختاری سنندج- سیرجان و در شمال رشته کوه الوند قرار دارد و در مختصات این منطقه در حدود فواصل طول های جغرافیایی  $57^{\circ} 40' 48''$  عرض های جغرافیایی  $34^{\circ} 49' 05''$  می باشد. (شکل ۱)



شکل ۱: الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در زون سنندج - سیرجان ، ب) راه های دسترسی به جاده

قدیمی ترین سنگ های رخنمون یافته در منطقه مربوط به کرتاسه می باشد، این سنگ ها در شمال شرق منطقه بیرون زدگی داشته و در اثر فعالیت های تکتونیکی به شدت خرد شدگی یافته اند و پدیده کارستی شدن شدید این سنگ ها ، در معدن آفتاب در ۲ کیلومتری معدن دینگله کهریز ۵ با پر شدگی رسوبات آهن و آلومینیوم ( بوکسیت) دیده می شود.

۲. روش بهره برداری و استخراج تراورتن:

با پیمایش صورت گرفته در معدن دینگله کهریز ۵، بیش از ۶ نوع تراورتن براساس تنوع در رنگ و کیفیت قابل مشاهده و بررسی می باشد که این میزان تنوع رنگی و بافتی را می توان از ویژگی های تولیدات این معدن باز شمرد. البته وجود هوازدگی های سطحی، شکستگی های تکتونیکی عمودی و افقی و همچنین حضور لایه های ضعیف و رسی کارستی شده در اعماق مختلف معدن باعث پایین آمدن کیفیت تراورتن در نقاط مختلف معدن نیز شده است. در هنگام استخراج، این لایه های ضعیف باعث ایجاد شکستگی در بلوک ها شده و در نتیجه آنها را به باطله تبدیل می کند که تفاوت باطله (گانگ) و ماده معدنی در ابعاد قواره، رنگ، طرح و کیفیت ماده معدنی است. در هر معدن باتوجه به ظرفیت تولید و هزینه های سرمایه ای و عملیاتی و... و همینطور با در نظر گرفتن شرایط فنی و اقتصادی سعی می شود بهترین روش استخراجی انتخاب شود. در این معدن از روش سیم برش الماسه و به مقدار بسیار کم از پارس و گوته برای استخراج تراورتن استفاده می کنند. به منظور استخراج ابتدای بایستی محل مناسب جهت احداث سینه کار انتخاب شود. انتخاب محل مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا سیستم برش باید از هر نظر دارای سنگ سالم، یکدست و خوش رنگ بوده و تحت تاثیر عوامل تکتونیکی خرد نشده باشد. برای استخراج تراورتن بایستی یک بلوک (کوپ) از سنگ از دیواره جدا شود، سپس برای جابجایی راحت تر به قواره تبدیل شود. قواره های تراورتنی شکل هندسی مشخص داشته، معمولاً مکعب مستطیل با ابعاد  $1/2 * 1/2 * 2/5$  متر می باشد ولی بسته به وجود شکستگی ها

و مخصوصاً لایه رسی کارستی با حفظ شکل هندسی، ابعاد تغییر میکند به طور مثل  $۰/۵ * ۱/۲ * ۳$  متر می‌رسد. پس از اتمام عملیات باطله برداری و آماده سازی و ایجاد کارگاه استخراج (پله)، دستگاه های حفاری و بدنبال آن ماشین آلات سیم برش الماسه مستقر شده و مراحل بهره برداری و استخراج انجام می‌پذیرد. قطعات بریده شده توسط بلدوزر و لودر به روی سکوی بارگیری هل داده شده و قواره ها به وسیله ماشین های سنگین به سنگبری ها منتقل می شوند. در شکل ۲ سینه کار و مراحل بهره برداری در معدن دینگله کهریز ۵ نشان داده شده است.



شکل ۲: الف) سینه کار شماره ۳ در معدن دینگله کهریز ۵. ب) یک بلوک در کنار سینه کار. ج) نحوه ی حمل و نقل بلوک ها با استفاده از ماشین آلات سنگین وزن در داخل معدن. د) یک قواره بریده شده از ماده معدنی

### ۳. پیمایش صحرائی :

با مطالعات میدانی و بازدیدهای صحرائی صورت گرفته، مشاهده شد که وجود لایه های رسی کارستی که در حقیقت یک لایه با میزان رس و سرسیت بالاست، در این معدن سبب گردیده در قسمت های گوناگون معدن، کیفیت کل قواره کاهش یافته و گاهاً قواره را بدل به باطله کند. مهمترین آلودگی زیست محیطی در این معدن و به طور کلی معادن تراورتن دینگله کهریز حجم عظیم باطله ی فوق الذکر است، که بعنوان زباله های جامد بایستی آنها را در نظر گرفت. بدلیل عدم وجود شیوه های مدیریت اصولی و همینطور عدم طراحی محل مناسب به منظور دپوی باطله ، به لحاظ جلوگیری از افزایش هزینه حمل و نقل و مصرف سوخت و انرژی، باطله ها و مواد زاید در محل قواره کردن باقی می‌مانند. نسبت تولید ماده معدنی به باطله در این معدن ۳:۱ است، که گواهی بر بالا بودن میزان باطله این معدن می باشد. باتوجه به استخراج صورت گرفته، در حال حاضر معدن دارای ۳ کارگاه استخراجی است که ۲ کارگاه غیرفعال و تنها کارگاه شمال شرقی فعال می باشد. فعال بودن و عدم فعالیت کارگاه ها به عوامل مختلفی بستگی دارند که ذکر مهمترین آنها ضروریست. تراورتن ها بدلیل تنوع بالایی که در رنگ و بافت

دارند از منظر زیبایی شناختی و عوامل شهری کاربردهای فراوانی دارند که این موضوع بسیار بر روی مشتری پسندی و اقتصادی شدن آنها در بازار تاثیرگذار است. لذا میزان تقاضا در بازار اقتصادی بر روی استخراج تراوتن نیز تاثیرگذار خواهد بود و باتوجه به تغییر رنگ فراوانی که معادن تراوتن به واسطه‌ی عناصر و ناخالصی دارند، باعث تغییر در محل سینه کارها و افزایش باطله می‌شود. همینطور دیگر علت غیرفعال شدن کارگاه های استخراجی، حضور لایه های ضعیف رسی و مارنی در اعماقی با عمق ۲/۵ تا ۴ متر که در عمل تولید بلوک و قواره‌دهی را با مشکل مواجه کرده است. در قسمت غربی محدوده معدنی حجم بالای باطله ها بدلیل عدم مشتری پسندی از نظر رنگ سنگ و همین طور حضور رگه های ناخالصی در داخل قواره ها است که از نظر اقتصادی استخراج را با مشکل مواجه می کند. در اندیس مرکزی نیز کیفیت بسیار پایین ماده معدنی، شکستگی ها و خردشدگی های موجود در داخل تراوتن ها ، باعث عدم قواره دهی مناسب شده و در نتیجه انبوهی از باطله ها را بصورت حجم بزرگی برهم انباشته کرده است. (شکل ۳).



شکل ۳: الف) کارگاه استخراج فعال، سینه کار فقط جهت برداشت باطله. ب) محل دپوی باطله‌های غربی (کارگاه استخراج غیرفعال) باطله‌های زیاد. ج) اندیس مرکزی (کارگاه استخراج غیرفعال) باطله های زیاد. د) وجود باطله های حجیم و سنگین در داخل معدن و اطراف آن.

#### ۴. استخراج معدن و تاثیر آن بر محیط زیست:

باتوجه نوع عملیات استخراج، که به صورت روباز و توسط سیم‌برش الماسه انجام می‌پذیرد، اثرات زیست محیطی مختلفی بر جای گذاشته می‌شود. تاثیر استخراج مواد معدنی و همچنین آنچه پس از آن معمولاً به وجود می‌آید شامل موارد زیر است:

❖ مشکلات ناشی از دور ریختن و مدیریت باطله ها و زایدات معدنی

❖ اثرات زیستی و زیست محیطی عملیات معدن: بهم ریختگی زمین، آلودگی صوتی و مشکلات رفت و آمد، مشکلات سلامتی کارگران معدنی

- مشکل اساسی که این معدن از نظر زیست محیطی در منطقه ایجاد کرده است حضور انبوهی از باطله ها و مواد زاید است که در مجاور معدن دپو شده و چشم انداز ناخوشایندی در منطقه ایجاد کرده است. (شکل ۴) انتخاب محل مناسب دفع مواد زاید برای جلوگیری از مشکلات ناپایداری، امری اساسی است، اما نظر به اینکه وزن هریک از قواره ها که باتوجه به ابعاد آن بین ۸/۵ تا ۱۰ تن می باشد، جابجایی آنها جز با ماشین آلات سنگین مانند لودرهای بزرگ و یا بلدوزر امکانپذیر نمی باشد. استهلاک بالا، مصرف سوخت و انرژی، زمانبر بودن و... همگی باعث می شوند جابجایی باطله ها از نظر اقتصادی، مقرون به صرفه نبوده و همچنان بعنوان یه آلودگی زیست محیطی در معدن باقی بماند. در نتیجه تاثیر زیبا شناختی این سرباره باعث ایجاد بدریختی زیست محیطی شده است. از باطله ها می توان بعنوان سنگ لاشه ی ساختمانی استفاده نمود. باطله های دپو شده در معرض هوازدگی قرار دارند و می توانند مورد فرسایش بادی و آبی قرار بگیرند، در نتیجه این فرسایش، ذرات بسیار ریز به صورت گرد و غبار در هوا پخش و سپس بر روی زمین های اطراف ته نشست می گردند. که البته با مرطوب کردن مواد زاید و جاده ها با استفاده از آب زاید، می توان فرسایش باد را کمتر کرد، اما کنترل فرسایش آب دشوار است.



شکل ۴: چشم اندازی از موقعیت دپوی باطله های معدن دینگله کهریز ۵ و وسعت منطقه ی دپو شده.

اکنون با افزایش قیمت سنگ، فرآوری این ضایعات از نظر اقتصادی توجیه پذیر شده است. برای مدیریت بهینه این مشکل زیست محیطی و کاهش این حجم عظیم باطله ها می توان از روش های مختلفی باتوجه به شرایط روز جامعه بهره برد. این مواد

باطله بعنوان سنگ لاشه کاربردهای بسیار وسیعی داشته و در صنایع گوناگونی می توان از آنها بهره برد، بعنوان مثال در ساخت مصنوعات سنگی (ظروف سنگی و...)، مصنوعات هنری، مجسمه سازی، پودر سنگ، صنعت شیشه، سنگ های مصنوعی، بعنوان پرکننده در تهیه آسفالت، در صنایع سیمان، ملات بتن، برای استحکام و دوام ساختمان که بعنوان جایگزین شن و ماسه استفاده می شود. همچنین از باطله ها بعنوان سنگهای آنتیک و لقمه نیز میتوان استفاده کرد.

- منبع اصلی سر و صدا در معدن و معدنکاری: تاسیسات ثابت، تجهیزات متحرک و وسایل حمل و نقل و فعالیت چالزنی و ... است. بررسی ها نشان داده است که ۱۶ درصد افت های شنوایی از نوع شغلی و ناشی از صدا در محیط کار است. همچنین حدود ۰/۲ الی ۲ درصد تولید ناخالص داخلی در کشورهای در حال توسعه صرف هزینه های ناشی از صدا می شود و حدود یک سوم افت های شنوایی، ناشی از مواجهه با صدای بیش از حد است (گل محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). آلودگی صوتی و مشکلات ناشی از سروصدا، علاوه بر اثرات غیر مستقیم بر روی عملکرد کارگران از جمله کاهش راندمان و بهره وری کاری و افزایش خطر بروز حوادث و خطا به علت کاهش تمرکز، می تواند در درازمدت بر روی شنوایی ایشان نیز تاثیرگذار باشد. ایجاد ضایعه در دستگاه شنوایی که می تواند باعث افت شنوایی در اثر صداهایی که با ارتعاشات و ضربه ها همراه است باشد. به همین منظور می توان از ابزارها و لوازمی که صدا را کاهش می دهند در جهت محافظت از گوش ها استفاده کرد. باتوجه به اینکه شغل معدن به لحاظ زمان طولانی کار، محیط نامناسب، شرایط بد آب و هوایی و... جزو سخت ترین مشاغل می باشد، لذا اغلب کارگران معدن دارای برخی بیماری ها و ناراحتی های عصبی می شوند. که از برخی موارد می توان به کاهش واکنش مقاومتی پوست و بیماری های پوستی (خشکی پوست و ترک های روی آن) و بیماری های دستگاه تنفسی ناشی از استنشاق گرد و غبار، بیماری های چشم و نیز تغییرات موقت در برخی رفتار بیولوژیکی از قبیل تغییر حجم ضربان قلب و ناتوانی در پاسخ گویی به محرک های بیرونی و... که می توان با استفاده از لوازم ایمنی و بهداشتی همچون ماسک و عینک و پوشش محافظ از بروز آنها جلوگیری و همینطور با چکاپ ماهیانه توسط پزشک تاحدی پیشگیری نمود. معادن سنگ های تزئینی که با سیم برش استخراج می گردند، نسبت به کلیه معادن دیگر که با انفجار یا دستگاه هایی نظیر پیکور و چکش بادی استخراج می گردند، دارای مینیمم آلودگی صوتی می باشند. باتوجه به آنکه کارگران روزانه مدت زیادی در محل معدن حضور داشته و کار همزمان چندین دستگاه استخراجی را انجام می دهند، لذا استفاده از گوشی در این معادن توصیه می گردد. استفاده از گوشی به منظور حفاظت گوشها هرچند میزان تخریب بافت شنوایی را کاهش می دهد ولی سبب کاهش آلودگی صوتی نمی گردد. مشخصه های دستگاه های فعال در معدن ایجاد سروصداها می باشد. البته استفاده از گوشی نیز مشکلات خاص خود را دارد بطوریکه ایجاد گرما نموده و در مجاورت نور آفتاب گرمای تولیدی افزایش می یابد. این پارامتر سبب می گردد تا کارگران تمایلی به استفاده از گوشی نداشته باشند. علاوه بر آنکه به واسطه ی شکل فیزیکی و مواد بکار برده شده در این گوشی ها جریان هوا در داخل آنها وجود نداشته این خود سبب عرق کردن گوش می شود که مشکلاتی را برای فرد استفاده کننده به وجود می آورد.

در این معدن برای کاهش آلودگی صوتی و با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی پیشنهاد ایجاد فضای سبز و سد گیاهی مقرون به- صرفه است. برای کاهش آلودگی صوتی استفاده از درختان سوزنی برگ و همیشه گی بسیار مؤثر است و فضای سبز مثلاً درختان سرو، کاج و افاقیا که قابلیت جذب صدای بالایی دارند، پر کرد.

#### نتیجه گیری:

با مطالعاتی که در این پژوهش انجام گرفت مشخص گردید عمده آلودگی زیست محیطی در معدن دینگله کهریز ۵ از نوع مواد جامد می باشد و در مرحله بعدی و به میزان بسیار کمتر آلودگی صوتی است. باطله ها مواد تشکیل دهنده ی آلودگی های جامد

را در این معدن تشکیل می‌دهند. باطله همان ماده‌ی معدنی است که از دیدگاه مشتریان قابل خرید نمی‌باشد این باطله‌ها عمدتاً بدرنگ، بدساخت و بدبافت بوده یا دارای حفرات با ابعاد مختلف می‌باشند. مشکل اصلی این باطله‌ها ابعاد بزرگ و وزن زیاد آنها است که جهت جابجایی آنها به ماشین آلات سنگین وزن مانند لودرهای بسیار بزرگ نیاز می‌باشد. بدلیل وزن بالای این باطله‌ها حمل و نقل آنها حتی توسط ماشین آلات غول پیکر معدنی نیز به دشواری انجام می‌گیرد. در نتیجه وسعت زیادی از زمین‌های منطقه صرف دپوی این باطله‌ها گردیده که دورنمای ناخوشایندی در منطقه ایجاد کرده است و هرگونه تغییر در اندازه و شکل این دپوها باتوجه به وزن بالای بلوک‌ها علاوه بر آنکه خطرساز است و نیاز به دقت بالا دارد بسیار هزینه‌بر نیز می‌باشد.

استفاده از گوشی تنها روش درمان ماندن از سروصدای نابهنجار در درون این معدن می‌باشد. باتوجه به گرمی هوا، جنس و شکل گوشی‌ها و مشکلاتی که برای پرسنل ایجاد می‌کند، تمایل به استفاده از این وسایل، بخصوص در فصول گرم سال وجود ندارد.

#### منابع:

- بررسی های زمین شناسی زیست محیطی در منطقه قروه- بیجار- گزارش مقدماتی.  
ابراهیمی، ابوالقاسم؛ جعفری، زهرا؛ احمدی، ایوب و نصرالهی وسطی، لیلیا (۱۳۹۲). سنجش وضعیت عملکرد صادرات سنگ. مطالعات مدیریت راهبردی، شماره ۱۳، ۱۸۷-۱۶۳.
- براتی، م. شیردره، ه. (۱۳۹۸). بررسی اثرات ساختاری و لایه رسی کارستی در استخراج معدن تراورتن دینگله کهرئز ۵. هفتمین همایش ملی زمین ساخت و زمین شناسی ساختاری ایران.
- براتی، م. شیردره، ه. (۱۳۹۸). بررسی خواص کیفی و کمی زمین شناسی مهندسی انواع تراورتن معدن دینگله کهرئز ۵ همدان. دوازدهمین همایش ملی تخصصی زمین شناسی دانشگاه پیام نور.
- طاهری، ع. رهنما راد، ج. جودکی، و . برزگری، ط. (۱۳۹۰). بررسی آلودگی های ناشی از معادن سنگ های تزئینی شهرستان الیگودرز، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود.
- گل محمدی، ر. علی آبادی، م. (۱۳۹۰). بررسی میزان آلودگی صدا و اثرات آزاردهندگی آن در بیمارستان های شهرهای همدان، مجله تحقیقات نظام سلامت، چاپ ۷ شماره ۶.
- Mitchell, R.S. 1985. Dictionary of rocks, 228 pp. New York (Van Nostrand).

## ارزیابی کیفیت آبهای زیرزمینی برای اهداف آبیاری در غرب استان مازندران، رامسر

نیکو شیروودعیسی<sup>۱\*</sup>، بیتا مسعودیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری تخصصی زمین شناسی زیست محیطی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه

آزاداسلامی، لاهیجان، ایران.

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

nikoo.shiroodeasa1990@yahoo.com

### چکیده:

به دلیل افزایش سریع جمعیت و شهرنشینی و فعالیت‌های انسانی مرتبط با این مناطق، منابع آب زیرزمینی آنها مستعد آلودگی از منابع مختلف است. ارزیابی کیفیت آب آبیاری باید بر روی نمک، غلظت سدیم، وجود عناصر غذایی و عناصر، قلیایی بودن، اسیدیته و سختی آب متمرکز شود. منطقه مورد مطالعه در غربی‌ترین بخش استان مازندران واقع شده و جزئی از سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشد. ۵ چشمه از بین چشمه‌های منطقه انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد. پس از انجام آزمایشات مربوطه شاخص‌های آبیاری محاسبه و نمودارهای Wilcox، Durov و USSSL رسم گردید. چشمه کچانک دارای تیپ آب کلسیم-بی‌کربنات و سایر چشمه‌ها دارای تیپ آب کلسیم - کلرید هستند. برطبق نمودار Wilcox تمامی نمونه‌ها دارای رده عالی تا خوب هستند. طبق نمودار USSSL تمامی نمونه‌ها در رده  $C_2S_1$  قرار دارند و جهت استفاده در بخش کشاورزی مناسب هستند. با توجه به محاسبات انجام شده شاخص‌های SAR، SSP، KR، MH، RSBC و SAR در تمامی نمونه‌ها دارای کیفیت مناسب و RSC و PS در تمامی نمونه‌ها نامناسب طبقه‌بندی شدند. شاخص PI در چشمه کچانک و ریش‌برازدره مناسب و در چشمه‌های کتالم، نمکدره و گیاش دارای کیفیت نامناسب هستند. طبق آزمایشات انجام شده مقدار TDS در همه نمونه‌ها در رده آب شیرین و هدایت الکتریکی (EC) در چشمه گیاش عالی و در ۴ چشمه دیگر خوب تشخیص داده شده است.

کلیدواژه: آب زیرزمینی، چشمه، آبیاری، شوری، رامسر

## Assessment of groundwater quality for irrigation purposes in west of

Mazandaran province, Ramsar

Nikoo Shirud Issa<sup>\*1</sup>, Bita Masoudian<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD Student in Environmental Geology, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

<sup>2</sup> Master of Sedimentology and Sedimentary Petrology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

### Abstract

Due to the rapid increase in population and urbanization and human activities related to these areas, their groundwater resources are prone to pollution from various sources. Irrigation water quality assessment should focus on salt, sodium concentration, presence of nutrients and elements, alkalinity, acidity and hardness of water. The study area is located in the westernmost part of Mazandaran province and is part of the southern shores of the Caspian Sea. 5 springs were selected from the springs of the region and sampling was performed. After performing the relevant experiments, irrigation indices were calculated and Durov, Wilcox and USSSL diagrams were drawn. Kachanak

spring has calcium-bicarbonate water type and other springs have calcium-chloride water type. According to the Wilcox diagram, all samples range from excellent to good. According to the USSL diagram, all springs are in the C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> category and are suitable for use in agriculture. According to the calculations, RSBC, MH, KR, SSP and SAR indices in all samples were of good quality and RSC and PS in all samples were classified as unsuitable. PI index is suitable in Kachanak and Rish Borazdareh springs and in Katalam, Namkadareh and Giash springs are of poor quality. According to the tests performed, the amount of TDS in all samples in the category of fresh water and electrical conductivity (EC) in Giash spring is excellent and in the other 4 springs is well detected.

#### مقدمه:

آبهای زیرزمینی نقش مهمی را در سراسر جهان برای زنده ماندن گیاهان و جانوران ایفا می کنند (Singh & et al., 2020). از این رو ارزیابی سطح و کیفیت آبهای زیرزمینی برای کاربردهای متعدد آن در مصارف خانگی، آبیاری و صنعتی در سراسر جهان یک موضوع مهم است (Elsayed Gabr et al., 2020).

به دلیل افزایش سریع جمعیت و شهرنشینی و فعالیتهای انسانی مرتبط با این مناطق، منابع آب زیرزمینی آنها مستعد آلودگی از منابع مختلف است (Al-Kalbani et al., 2017). این آلاینده‌ها می‌تواند هم منشاء طبیعی (زمین شناسی) و هم منشاء انسان‌زاد داشته باشند (حسن زاده و شمس الدینی، ۱۳۹۹).

به طور کلی، ارزیابی کیفیت آب آبیاری باید بر روی نمک، غلظت سدیم، وجود عناصر غذایی و عناصر، قلیایی بودن، اسیدیته و سختی آب متمرکز شود. در هر سال شوری کره زمین منجر به از بین رفتن خاک‌های حاصلخیز می شود. کیفیت آب بر مناسب بودن آن برای استفاده متمرکز است. اگر کیفیت آب در شرایط مناسب خاک و مدیریت مناسب باشد، حداکثر عملکرد را می‌توان بدست آورد. مشکل نمک در خاک زمانی اتفاق می‌افتد که آب مورد استفاده برای آبیاری حاوی نمک‌های محلول بیشتری باشد که در منطقه ریشه تجمع می‌یابند، زیرا گیاهان آب را جذب می‌کنند و در نتیجه عملکرد را کاهش می‌دهند (Baht et al., 2018).

از فرم و مقدار عناصر محلول در آب آبیاری برای شناسایی کیفیت آب استفاده می‌شود. به طور کلی، برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری از شوری، سمیت یونی خاص، سمیت عناصر کمیاب و اثرات مختلف بر روی محصولات حساس استفاده می‌شود. به طور کلی، در شرایط هدایت الکتریکی بالا، محصولات می‌توانند با خشکسالی فیزیولوژیکی روبرو شوند. معمولاً آب‌هایی با مقادیر هدایت الکتریکی کمتر از ۷۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به عنوان آب‌های مناسب آبیاری دسته‌بندی می‌شوند (Asadi et al., 2020).

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غربی‌ترین بخش استان مازندران واقع شده و از لحاظ جغرافیایی در بین طول‌های  $50^{\circ}24'00''$  و  $50^{\circ}50'00''$  شرقی و عرض‌های  $36^{\circ}45'14''$  و  $36^{\circ}54'00''$  شمالی قرار دارد. دارای اقلیم معتدل و مرطوب است و جزئی از سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشد.

۵ چشمه از بین چشمه‌های منطقه به تناسب مسافت و توزیع در مناطق جلگه‌ای و کوهستانی انتخاب شد. چشمه کچانک (SH1) در شهر شیرود و در آبرفت‌های دلتایی تفکیک نشده، چشمه کتالم (SH2) در شهر کتالم و در نهشته‌های دریایی واقع شده‌اند (قابل ذکر است که این چشمه در نزدیکی چشمه‌های آبگرم منطقه رامسر قرار دارد). چشمه ریش برازدره (SH3) در ارتفاعات رامسر و در جنگل دالخان قرار دارد و مظهر آن از سازند روته خارج می‌شود. چشمه نمکدره (SH4) در ارتفاعات

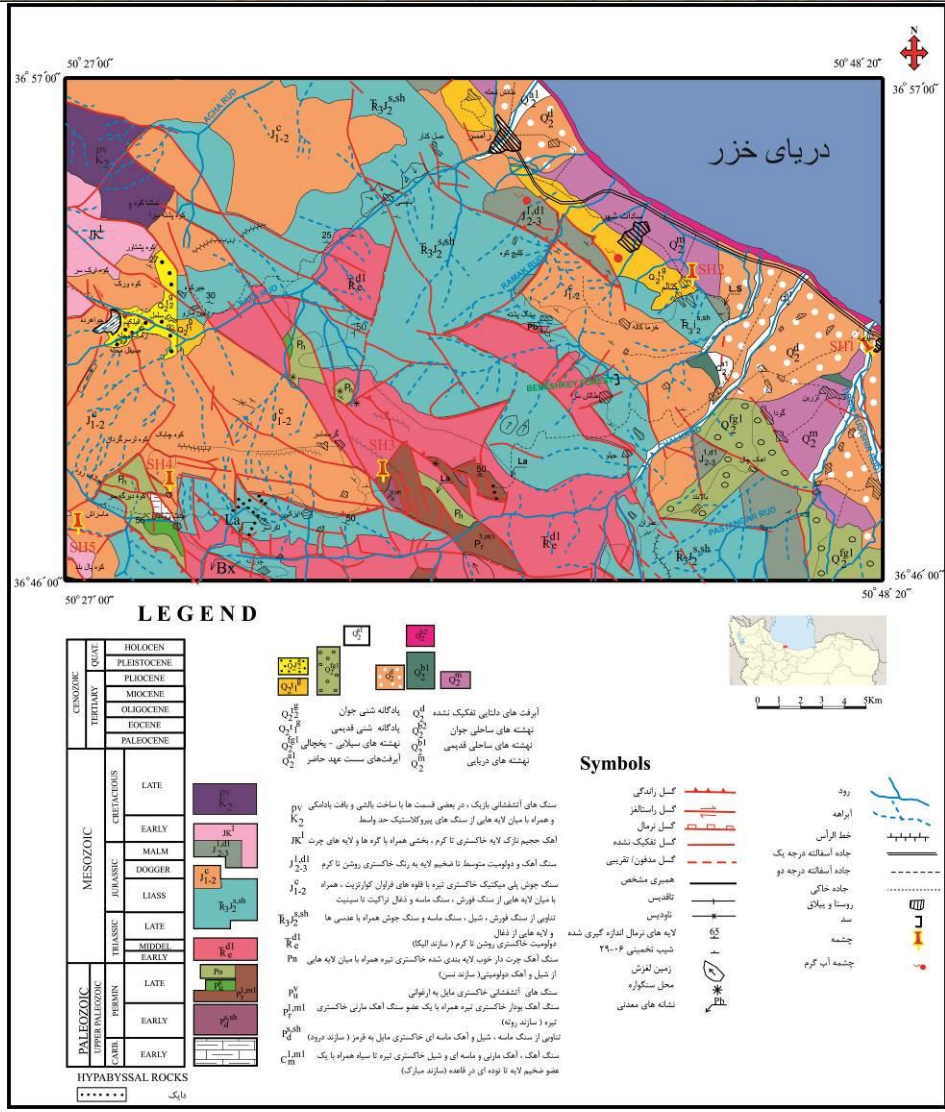


رامسر و در روستای نمکدره از توابع دهستان جنت رودبار واقع شده است. چشمه گیاش (SH5) در واقع اصلی ترین و بزرگترین چشمه منطقه است و در ارتفاعات رامسر و در حوالی روستای ماستراش از توابع دهستان جنت رودبار واقع شده است. جنس لیتولوژی مظهر چشمه های نمکدره و گیاش در بین سنگ جوش پلیمیکتیک خاکستری با قله های فراوان کوارتزیت، همراه با میان لایه هایی از سنگ فورش، ماسه سنگ و ذغال قرار دارد (شکل ۱ و ۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی چشمه ها

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه (بهارفیروزی و همکاران، ۱۳۷۹؛ بهارفیروزی و شفیعی، ۱۳۸۱).

در این منطقه سازندهای الیکا، نسن، روتنه، مبارک، درود و جواهرده برونزد دارد. این محدوده در بخش شمال البرز مرکزی جای گرفته است و راستای عمومی ساختمان های زمین شناسی منطقه، شمال باختر - جنوب خاور است (بهارفیروزی و همکاران، ۱۳۷۹). این ساختمان ها به وسیله انبوهی از گسلش هایی که عمدتاً از نوع راندگی هستند و چین خوردگی ها به وجود آمده است (شکل ۲) (Alavi, 1996).

**روش مطالعه:**

پس از انجام مطالعات اولیه در ناحیه شهرستان رامسر و باظراحی مجدد نقشه منطقه از ۲ نقشه رامسر و جواهرده با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی)، ۵ چشمه با توجه به توزیع مکانی مناسب و پرمصرف ترین در منطقه انتخاب و نمونه برداری انجام شد. نمونه ها در ظروف پلی اتیلن نگهداری و به آزمایشگاه های Actlabs کانادا و شرکت زیست دانش آزما (پارک علمی فناوری استان گیلان) جهت انجام آنالیزهای هیدروشیمیایی انتقال داده شد. با توجه به پارامترهای اندازه گیری شده (جدول ۲)، شاخص های آبیاری مانند درصد سدیم محلول (SSP)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کربنات سدیم باقیمانده (RSC)، سدیم بی کربنات باقیمانده (RSBC)، پتانسیل شوری (PS)، خطر منیزیوم (MH)،

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



شاخص نفوذپذیری (PI)، نسبت کلی (KR) و سختی کل (TH) محاسبه و توسط نرم افزارهای RockWare AqQA، Grapher، نمودارهای Wilcox، Durov، USSL، رسم و مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت. در جدول ۱ حدود و طبقه بندی برای پارامترهای اندازه گیری شده و محاسبه شده مشخص و فرمول محاسبه آنها آورده شده است.

جدول ۱: طبقه بندی پارامترهای آب برای مناسب بودن در آبیاری

منبع	مقادیر طبقه بندی	فرمول	پارامتر
Wilcox, 1955	(عالی) <۲۵۰ (خوب) ۲۵۰-۷۵۰ (مجاز) ۷۵۰-۲۲۵۰ (مشکوک) ۲۲۵۰-۵۰۰۰ (نامناسب) >۵۰۰۰	-	EC (μS/cm)
Freeze & Cherry, 1979	(آب شیرین) ۱۰۰۰-۰	-	TDS (mg/L)
Islam & et al., 2018	(نرم) ۷۵-۰ (سختی متوسط) ۱۵۰-۷۵ (سخت) ۱۵۰- (خیلی سخت) >۳۰۰	$CaCO_3(TH)=2.497Ca^{2+}+4.11Mg^{2+}$	TH (mg/L)
Abdel-Satar & et al., 2017	(عالی) <۱۰ (خوب) ۱۰-۱۸ (مشکوک) ۱۸-۲۶ (نامناسب) >۲۶	$SAR = \frac{Na^+}{2\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$	SAR (meq/L)
Wilcox, 1955	(عالی) <۲۰ (خوب) ۲۰-۴۰ (مجاز) ۴۰-۸۰ (ضعیف) >۸۰	$SSP(Na\%) = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100$	SSP
Bhat & et al., 2018	(مناسب) <۱ (میزان مازاد) >۱	$KR = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$	KR (meq/L)
Vasu & et al., 2015	(مناسب) <۳ (نامناسب) >۳	$PS = Cl^- + \frac{1}{2} SO_4^{2-}$	PS (meq/L)
Shiksha, 2012	(خوب و مناسب) >۶۰ (ضعیف و نامناسب) >۶۰	$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Na^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100$	PI
Bhat & et al., 2018	(مناسب) >۵۰ (نامناسب) <۵۰	$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$	MH
Shiksha, 2012	(خوب) <۱/۲۵ (نسبتاً خوب) ۱/۲۵-۲/۵ (ضعیف - نامناسب) > ۲/۵	$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$	RSC (meq/L)
Islam & et al., 2018	(ایمن) <۵ (حد مرز) ۵-۱۰ (نامطلوب) >۱۰	$RSBC = HCO_3^- - Ca^{2+}$	RSBC (meq/L)

بحث:

پس از تعیین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی (جدول ۱)، شاخص‌های مورد کاربرد در بررسی کیفیت آب آبیاری بر اساس فرمول‌های جدول ۲ محاسبه و مقادیر محاسبه شده در جدول ۳ بیان گردید.  
 جدول ۲: پارامترهای اندازه‌گیری شده.

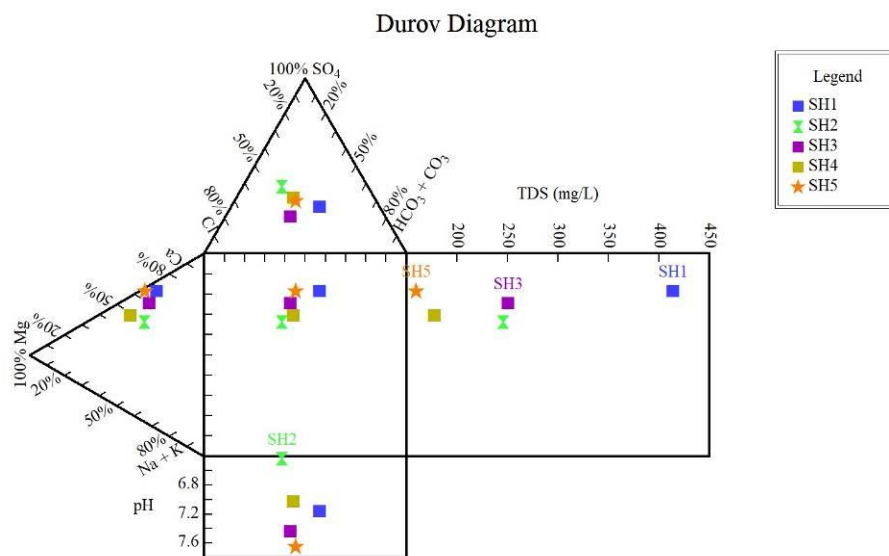
SH5	SH4	SH3	SH2	SH1	روش اندازه گیری	پارامترها
۱۲۷/۹۶	۱۲۳/۵۷	۱۸۳/۳۶	۱۴۷/۴۳	۳۴۳/۲۹	Calculated	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)
۱۹۵/۲	۱۶۵/۹۲	۲۵۳/۷۶	۲۱۹/۶	۴۱۴/۸	Calculated	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
۱۴۵/۸	۱۲۲	۱۲۰/۱	۱۸۸	۱۷۳/۲	SM 4500	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)
۱۴۱/۸	۱۱۳/۴۴	۱۹۸/۵۲	۱۵۵/۹۸	۱۴۱/۸	SM 4500Cl <sup>-</sup> -B	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
۲/۴۸	۲/۱۱	۱/۸۵	۱/۷۶	۱/۶۶	SM 4500NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - B	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
۱۰/۷	۱۴	۱۵/۳	۱۴/۷	۲۴	ICP-MS	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)
۳۳/۶	۲۶/۴	۴۸/۲	۳۴/۸	۹۷/۹	ICP-MS	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)
۰/۷۸	۴/۷۳	۷/۳۵	۱۰/۸	۷/۱۶	ICP-MS	Na <sup>+</sup> (mg/L)
۰/۳۹۵	۲/۱۳	۱/۳۳	۴/۸۵	۱/۶۶	ICP-MS	K <sup>+</sup> (mg/L)
۰/۲۴۲	۰/۲۶۶	۰/۳۷۶	۰/۳۶۹	۰/۶۱۸	SM2540C	Conductivity (ms)
۱۶۰	۱۳۶	۲۰۸	۱۸۰	۳۴۰	SM 2320B	Alkalinity (mgCaCO <sub>3</sub> /L)
۱۶۰	۱۷۸	۲۵۱	۲۴۶	۴۱۴	SM2540C	TDS (mg/L)
۷/۶۴۷	۷/۰۳	۷/۴۴	۶/۴۴	۷/۱۶	ASTM D-1293	pH

جدول ۳: محاسبه شاخص‌های مختلف برای طبقه‌بندی آب مناسب برای اهداف آبیاری.

SSP	SAR	RSC	MH	PI	KR	TH	RSBC	PS	نمونه
۴/۸۸	۰/۱۷	۱۱/۳۵	۲۹/۰۱	۴۰/۵۱	۰/۰۴	۳۴۳/۱	۱/۹۱	۵/۸	SH1
۱۶/۶۹	۰/۳۸	۵/۵۵	۴۱/۳۱	۶۸/۹۱	۰/۱۶	۱۴۷/۳	۱/۸۶	۶/۳۵	SH2
۸/۷۶	۰/۲۳	۶/۵۹	۳۴/۶	۵۸/۹۱	۰/۰۹	۱۸۳/۲	۱/۷۵	۶/۸۴	SH3
۹/۴۷	۰/۱۸	۴/۳۵	۴۶/۹۲	۶۸/۹	۰/۰۸	۱۲۳/۵	۱/۴	۴/۴۵	SH4
۱/۶۸	۰/۰۳	۴/۸۹	۳۴/۶۷	۶۹/۹۶	۰/۰۱	۱۲۷/۹	۱/۵۲	۵/۵۱	SH5

با توجه به محاسبات انجام شده شاخص‌های درصد سدیم محلول (SSP)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سدیم بی‌کربنات باقیمانده (RSBC)، خطر منیزیم (MH) و نسبت کلی (KR) در تمامی نمونه‌ها دارای کیفیت عالی و مناسب؛ کربنات سدیم باقیمانده (RSC) و پتانسیل شوری (PS) در تمامی نمونه‌ها نامناسب تشخیص داده شده‌اند. شاخص نفوذپذیری (PI)، در چشمه کچانک (SH1) و ریش برازره (SH3) مناسب و در چشمه‌های کتالم (SH2)، نمکدره (SH4) و گیاش (SH5) دارای کیفیت نامناسب و ضعیف هستند. طبق آزمایشات انجام شده مقدار TDS در همه نمونه‌ها در رده آب شیرین طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین هدایت الکتریکی (EC) در چشمه گیاش (SH5) عالی و در ۴ چشمه دیگر خوب تشخیص داده شده است.

غلظت کاتیون و آنیون اصلی نمونه‌های جمع‌آوری شده از آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار Durov ترسیم شده است. نمودار Durov (۱۹۴۸) به تفسیر روندهای تکاملی کمک می‌کند و اطلاعات بیشتری در مورد فرآیندهای هیدروشیمیایی که در سیستم آب‌های زیرزمینی رخ می‌دهد، ارائه می‌دهد و می‌تواند مخلوط انواع مختلف آب، تبادل یونی و فرایند تبادل یونی معکوس را نشان دهد (Verma & et al., 2020). موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر روی نمودار Durov در شکل ۳ نمایش داده شده است. براساس آنالیزهای نرم‌افزار RockWare AqQA، چشمه کچانک (SH1) دارای تیپ آب کلسیم-بی‌کربنات و چشمه‌های کتالم (SH2)، ریش برازدره (SH3)، نمکدره (SH4) و گیاش (SH5) دارای تیپ آب کلسیم - کلرید هستند.

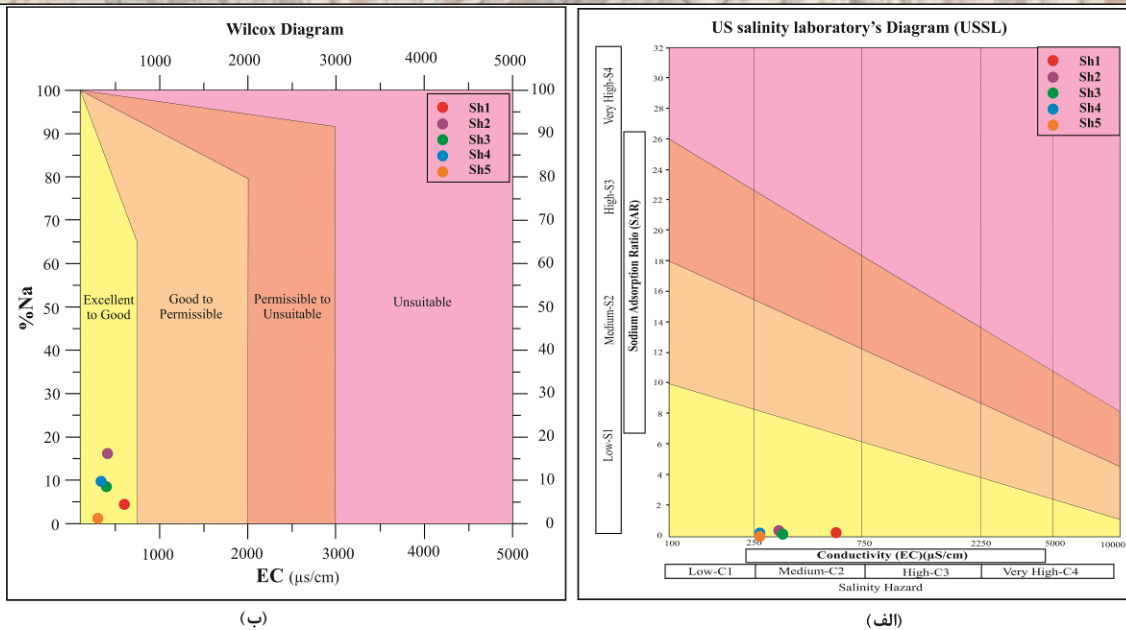


شکل ۳: نمودار Durov (Durov, 1948).

در شکل ۴- الف، مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (EC) در نمودار USSL (نمودار آزمایشگاه شوری ایالات متحده) ترسیم شده است (USSL 1954 ; Karanth 1989). این نمودار ۱۶ دسته مختلف آب آبیاری را از نظر خطر سدیم / قلیایی و خطر شوری متمایز می‌کند (جدول ۴). خطر شوری با مقادیر هدایت الکتریکی در محور X (نمک کم تا بسیار زیاد) و خطر قلیائیت با مقادیر نسبت جذب سدیم در محور Y (قلیایی کم تا بسیار زیاد) نشان داده می‌شود (Palanisamy et al., 2020). همچنین در شکل ۴- ب، مقادیر هدایت الکتریکی (EC) در مقابل درصد سدیم محلول (SSP) در نمودار Wilcox (Wilcox 1955) رسم شده است. دارای ۵ طبقه بندی شامل عالی تا خوب، خوب تا مجاز، مجاز تا مشکوک، مشکوک تا نامناسب و نامناسب می‌شود (Palanisamy et al., 2020).

جدول ۴: طبقه بندی کیفیت آب آبیاری براساس SAR و EC (Richards 1954).

خطر شوری	طبقه بندی	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	خطر شوری	طبقه بندی	SAR
کم (Low)	C1	<۲۵۰	کم (Low)	S1	<۱۰
متوسط (Medium)	C2	۲۵۰-۷۵۰	متوسط (Medium)	S2	۱۰-۱۸
بالا (High)	C3	۷۵۰-۲۲۵۰	بالا (High)	S3	۱۸-۲۶
خیلی بالا (Very High)	C4	>۲۲۵۰	خیلی بالا (Very High)	S4	>۲۶



شکل ۴: طبقه بندی خطر شوری و قلیایی نمونه های زیرزمینی در نمودار USSL (الف) (Karant 1989؛ USSL 1954) و نمودار Wilcox (ب) (Wilcox 1955).

### نتیجه گیری:

طبق نتایج و آنالیزهای نرم افزار AqQA، چشمه کچانک دارای تیپ آب کلسیم-بی کربنات و چشمه های کتالم، ریش برازدره، نمکدره و گیاش دارای تیپ آب کلسیم - کلرید هستند. در نمودار Durov نیز این مورد و میزان بالای TDS در چشمه کچانک نسبت به سایر چشمه ها نمایان است.

برطبق نمودار Wilcox و معیارهای آب مورد استفاده در کشاورزی، تمامی نمونه ها دارای رده عالی تا خوب هستند. بر طبق نمودار USSL تمامی نمونه ها در رده  $C_2S_1$  قرار دارند و از نظر SAR دارای خطر شوری کم و از نظر EC دارای خطر شوری متوسط هستند. با این حال تمامی نمونه ها جهت استفاده در بخش کشاورزی مناسب هستند.

با توجه به محاسبات انجام شده شاخص های RSBC، MH، KR، SSP و SAR در تمامی نمونه ها دارای کیفیت عالی و مناسب و RSC و PS در تمامی نمونه ها نامناسب تشخیص داده شده اند. شاخص PI در چشمه کچانک و ریش برازدره مناسب و در چشمه های کتالم، نمکدره و گیاش دارای کیفیت نامناسب و ضعیف هستند. طبق آزمایشات انجام شده مقدار TDS در همه نمونه ها در رده آب شیرین طبقه بندی می شوند. همچنین هدایت الکتریکی (EC) در چشمه گیاش عالی و در ۴ چشمه دیگر خوب تشخیص داده شده است.

### منابع:

- بهارفیزی، خ، شفیعی، ع. ر، ۱۳۸۱، نقشه و گزارش ورقه یکصد هزارم جواهرده، ورقه ۶۰۶۳، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- بهارفیزی، خ، ندیم، ح، شفیعی، ع. ر، سهندی، م. ر، وحدتی دانشمند، ف، نظری، ح، خاننظر، ن. ا، ۱۳۷۹، نقشه و گزارش ورقه یکصد هزارم رامسر، ورقه ۶۱۶۳، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- حسن زاده، ف، شمس الدینی، م، ۱۳۹۹. بررسی کیفی آب های سطحی و زیرزمینی روستاهای اطراف معدن مس درآلو از نظر آنیون ها و وجود عناصر سنگین، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، سال چهاردهم، شماره ۵۰، بهار ۹۹، ۱-۱۵.

- Abdel-Satar AM, Al-Khabbas MH, Alahmad WR, Yousef WM, Alsomadi RH, Iqbal T. Quality assessment of groundwater and agricultural soil in Hail region, Saudi Arabia. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 2017;43(1):55-64.
- Alavi, M., 1996. Tectonostratigraphy synthesis and structural style of the Alborz Mountain system in northern Iran. *Geodynamics Journal*, 21, 1–33.
- Al-Kalbani, M.S., Price, M, F., Ahmed, M., Abahussain, A., O’Higgins, T., 2017. Environmental quality assessment of groundwater resources in Al Jabal Al Akhdar, Sultanate of Oman. *Appl Water Sci*, 7, 3539–3552.
- Asadi, E., Isazadeh, M., Samadianfard, S., Ramli, M. F., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, Sh., Hajnal, E., Chau, K.W., 2020. Groundwater Quality Assessment for Sustainable Drinking and Irrigation. *Sustainability* 2020, 12, 177. 1-13.
- Bhat, MA., Wani, S.A., Singh, V.K., Sahoo, J., Tomar, D., Sanswal, R., 2018. An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. *Journal of Agricultural Science and Food Research*. Volume 9. Issue 1. 1-9.
- Durov, S.A., 1948. Natural waters and graphic representation of their composition. *Dokl Akad Nauk SSSR* 59:87–90.
- Elsayed Gabr, M., Soussa, H., Fattouh, E., 2020. Groundwater quality evaluation for drinking and irrigation uses in Dayrout city Upper Egypt, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 12, Issue 1, March 2021, Pages 327-340.
- Freeze, R., Cherry, J., 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Islam, M. A., Rahman, M. M., Bodrud-Doza, M., Muhib, M. I., Shammi, M., Zahid, A., et al., 2018. A study of groundwater irrigation water quality in south-central Bangladesh: a geo-statistical model approach using GIS and multivariate statistics. *Acta Geochimica*. 37(2):193-214.
- Karant, K. R., 1989. *Hydrogeology*. Tata McGraw Hill Publ. Co., Ltd., New Delhi. pp. 1–455.
- Palanisamy, A., Karunanidhi, D., Subramani, T., Roy, T. D., 2021. Demarcation of groundwater quality domains using GIS for best agricultural practices in the drought-prone Shanmuganadhi River basin of South India. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 18423–18435 (2021).
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. US Department of Agriculture Hand Book, Washington; p. 60.
- Shiksha, k., 2012. *Soil and Plant Analysis (1+1)*. <http://ecoursesonline.iasri.res.in/course/view.php?id=135> . India.
- Singh, K. Kr., Tewari, G., Kumar, S., 2020. Evaluation of Groundwater Quality for Suitability of Irrigation Purposes: A Case Study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. *Journal of Chemistry*. Volume 2020, 1-15.
- USSL (US Salinity Laboratory), 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Agriculture Handbook No. 60 USDA, p 160.
- Vasu, D., Singh, S., Tiwary, P., Butte, P., Duraisami, V., 2015. Evaluation of groundwater quality for irrigation suitability in Thimmajipet mandal, Mahabubnagar district. *Andhra Pradesh Journal of Agricultural Sciences*. 1(4):1-6.
- Verma, P., Singh, P. K., Sinha, R.R., Tiwari, A. K., 2020. Assessment of groundwater quality status by using water quality index (WQI) and geographic information system (GIS) approaches: a case study of the Bokaro district, India. *Applied Water Science* (2020) 10:27.
- Wilcox, L., 1955. *Classification and use of irrigation waters*: US Department of Agriculture.

## آلودگی غبار مدارس؛ مطالعه موردی: برخی مدارس ابتدایی کلان شهر تهران

عطا شاکری<sup>۱\*</sup>، فاطمه هاشم آبادی<sup>۲</sup>، میثم رستگاری مهر<sup>۱</sup>، امیرحسین روشنگر منش<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

[atashakeri@khu.ac.ir](mailto:atashakeri@khu.ac.ir)

### چکیده:

این پژوهش با هدف مطالعه آلودگی، منشاء یابی و ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمناک (آلومینیم، آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، مولیبدن، نیکل، سرب، آنتیموان، وانادیم و روی) در غبارهای مدارس ابتدایی مناطق ۱۲، ۱۳ و ۱۸ کلان شهر تهران انجام شد. ۲۷ نمونه غبار (شامل ۱۷ نمونه از داخل کلاس و ۱۰ نمونه از محوطه مدرسه) برداشته شد و غلظت فلزات سنگین با طیف سنج جرمی پلاسمای جفتیده القایی (ICP-MS) اندازه گیری شد. محاسبه ضریب غنی شدگی و فاکتور آلودگی نشان داد که عناصر مس، روی، آنتیموان و سرب بیشترین غنی شدگی و آلودگی را نسبت به دیگر عناصر دارند. براساس تحلیل مولفه اصلی، علاوه بر منشأ زمین زاد برخی عناصر، ترافیک، استفاده از عناصر در قطعات خودرو و پوشش آسفالت ها به عنوان عوامل انسان زاد اصلی تعیین شدند. بررسی شاخص خطر سلامت نشان داد آرسنیک، مس، نیکل، سرب و روی ترتیب مشابهی از خارج قسمت خطر (HQ) را در کودکان و بزرگسالان نشان دادند در حالی که این شاخص برای کروم و منگنز ناشی از تماس پوستی در بزرگسالان بیش از کودکان بود. همچنین شاخص خطر (HI) در تمام عناصر برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است. در غبار بیرونی شاخص خطر برای عناصر سرب و کروم در کودکان بیش از یک است و سلامتی کودکان را تهدید می کند.

کلید واژه: فلزات سنگین، غبار، ریسک سلامت، تهران

## Dust contamination in schools; case study: some elementary schools of Tehran Megacity

Ata Shakeri<sup>1</sup>; Fatemeh Hashemabadi<sup>2</sup>, Meisam Rastegari Mehr<sup>1</sup>; Amirhossein Roshanak Manesh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University

<sup>2</sup> MSc of Environmental Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharzmi University

### Abstract:

This research is intended to study the contamination, source identification and health risk assessment of potentially toxic elements (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, Zn) in dusts of elementary schools in the districts 12, 13 and 18 of Tehran Megacity. A total of 27 dust samples (including 17 indoor and 10 outdoor dusts) were collected and concentration of heavy metals were measured using inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). Calculation of enrichment factor and contamination factor showed that Cu, Zn, Sb and Pb have the highest enrichment and contamination compared to the other elements. Based on principal component analysis, in addition to geogenic sources for some elements, traffic, using elements in vehicles and asphalt covers were



determined as the main anthropogenic sources. Assessment of the risk index in case of As, Cu, Ni, Pb and Zn showed a similar order of hazard quotient (HQ) in children and adults while the index was higher in adults compared to the children through dermal contact for Cr. Also, hazard index (HI) is higher in children than adults for all the elements. In the outdoor dust, the risk index for Pb and Cr in children is higher than unity and it threatens the health of children.

#### مقدمه:

آلودگی هوای کلان‌شهرهای ایران به خصوص شهر تهران دارای علل متعددی است. منابع تولید آلودگی عموماً به دو دسته، منابع ساکن و متحرک تقسیم می‌شوند. در سال‌های اخیر در شهر تهران، رشد جمعیت، مهاجرت فراوان از شهرهای دیگر، عبور و مرور مکرر شهروندان در سطح شهر، توسعه صنایع و احداث کارخانجات و مراکز تولیدی فراوان باعث افزایش تولید و پراکنش آلاینده‌ها در سطح شهر شده است (Praveena et al., 2018). بنابراین ارزیابی کیفیت غبار به عنوان یکی از منابع تولید آلودگی مورد توجه قرار گرفته است. این نگرانی‌ها در محیط‌هایی مانند مدارس (به‌ویژه مدارس ابتدایی) اهمیت ویژه‌ای دارد چرا که کودکان در برابر آلاینده‌ها آسیب‌پذیرتر از بزرگسالان هستند و از طرف دیگر با توجه به فعالیت‌های صورت‌گرفته در مدارس، قرارگیری افراد در معرض غبار بیشتر است (رفرنس)، بنابراین مطالعه آن‌ها در این محیط‌ها امری ضروری می‌باشد. در مدارس شهر تهران بدلیل تراکم جمعیت دانش‌آموزی و به‌ویژه تحرک بیشتر دانش‌آموزان ابتدایی در فضای مدرسه و کلاس‌ها غبارهای آلوده ته‌نشین شده دوباره در فضای کلاس و حیاط مدرسه پراکنده شده، غبارات قابل استنشاق وارد مجاری تنفسی می‌شوند و بیماری‌های مختلف تنفسی و به‌ویژه آسم را در کودکان تشدید می‌کند. بنابراین مطالعه منشأ، ترکیب و ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین در غبار محیط‌های آموزشی مدارس ابتدایی امری ضروری است. هدف کلی از انجام این پژوهش بررسی غلظت و منشأ فلزات سنگین در غبارهای قابل استنشاق موجود در کلاس‌های درس برخی مدارس ابتدایی کلان‌شهر تهران است. علاوه بر این تلاش می‌شود با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی، میزان آلودگی و ارزیابی خطر سلامت غبار بر دانش‌آموزان مناطق مورد مطالعه بررسی گردد.

#### روش مطالعه

از مجموع ۲۲ منطقه کلان‌شهر تهران، سه منطقه ۱۲، ۱۳ و ۱۸ برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. منطقه ۱۲ نشان‌دهنده آلودگی در مرکز و منطقه ۱۳ به نوعی نشان‌دهنده آلودگی در شرق تهران و منطقه ۱۸ که در جنوب غربی تهران قرار گرفته به عنوان یک منطقه با بار ترافیکی کمتر در حاشیه تهران مورد بررسی قرار گرفتند. شش واحد آموزشی از هر منطقه به گونه‌ای انتخاب شد که از مرکز و حاشیه هر منطقه نمونه‌گیری انجام شود. نمونه‌برداری از فضای داخلی کلاس‌ها (۲۰ تا ۳۰ گرم) از سطوح ثابت تمام نقاط در دسترس دانش‌آموزان مانند کف، گوشه‌ها، زیر تخته سیاه و یا تخته وایت‌برد، طاقچه و یا زیر پنجره‌ها با استفاده از قلم‌موی نرم و بی‌رنگ و خاک‌انداز پلاستیکی صورت گرفت. همچنین به‌منظور مقایسه آلودگی داخل کلاس و محیط بیرونی، در برخی مدارس از محیط بیرونی و حیاط مدرسه نیز نمونه غبار گرفته شد. در مجموع ۲۷ نمونه غبار از فضای داخلی و بیرونی کلاس در اسفند ماه ۹۷ جمع‌آوری شد، که از این تعداد ۱۷ نمونه از داخل کلاس و ۱۰ نمونه از محوطه مدرسه برداشته شد. نمونه‌ها به کیسه‌های زیپ‌دار کد گذاری شده منتقل شدند و برای آماده‌سازی به بخش زمین‌شیمی دانشگاه خوارزمی منتقل شدند. هر نمونه به مدت ۲ روز در محیط آزمایشگاه قرار گرفته تا کاملاً خشک شوند. سپس برای جداسازی غبار از مواد زائد از غربال با مش ۲۳۰ استفاده شد. ذرات غبار با اندازه کوچک‌تر از ۶۳ میکرون در کیسه‌های

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



پلاستیکی قرار گرفته و برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین توسط طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) به آزمایشگاه زرا ما ارسال شدند. جدول ۱ موقعیت نقاط نمونه برداری از غبار مدارس را نشان می دهد.

جدول ۱: موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری از غبار برخی مدارس مناطق ۱۲، ۱۳ و ۱۸ تهران

کد نمونه	Out/In door	Y	X	نوع مدرسه	نام منطقه	سال تأسیس مدرسه	نام مدرسه
D <sub>1</sub>	In	3949996	539810	دخترانه-دولتی	۱۳	۱۳۸۸	شهید اندرزگو
D <sub>2</sub>	Out						
D <sub>3</sub>	In	3957929	529855	دخترانه-دولتی	۱۳	۱۳۸۷	میرزا کوچک خان
D <sub>4</sub>	Out						
D <sub>5</sub>	In	3952034	544219	دخترانه-دولتی	۱۳	۱۳۷۰	پروین اعتصامی
D <sub>6</sub>	In	3949950	541492	پسرانه-دولتی	۱۳	۱۳۲۲	ابوذر
D <sub>7</sub>	Out						
D <sub>8</sub>	In	3950051	543792	پسرانه-دولتی	۱۳	۱۳۸۴	مهدیون
D <sub>9</sub>	In	3952329	544588	پسرانه-دولتی	۱۳	۱۳۸۰	علویه
D <sub>10</sub>	In	3949426	540823	دخترانه-دولتی	۱۲	۱۳۷۱	هدی
D <sub>11</sub>	Out						
D <sub>12</sub>	In	3949916	537611	دخترانه-دولتی	۱۲	-	مهر مریم
D <sub>13</sub>	Out						
D <sub>14</sub>	In	3949659	539946	دخترانه-دولتی	۱۲	-	علوی اسلامی
D <sub>15</sub>	Out	3948792	540319	پسرانه-دولتی	۱۲	۱۳۸۸	شهید محمد امیری کیا
D <sub>16</sub>	In						
D <sub>17</sub>	In	3947891	540378	پسرانه-دولتی	۱۲	-	امام سجاد
D <sub>18</sub>	Out						
D <sub>19</sub>	In	3956731	528299	دخترانه-دولتی	۱۸	۱۳۷۲	سوم شعبان
D <sub>20</sub>	Out						
D <sub>21</sub>	In	3944948	531031	دخترانه-دولتی	۱۸	۱۳۵۳	سیزده رجب
D <sub>22</sub>	In	3949236	521657	دخترانه-دولتی	۱۸	۱۳۸۵	پروین اعتصامی
D <sub>23</sub>	Out						
D <sub>24</sub>	In	3943902	532624	دخترانه-دولتی	۱۸	۱۳۶۰	شهدای ایران تایر (شهید تهرانی)
D <sub>25</sub>	Out						
D <sub>26</sub>	In	3945263	531088	دخترانه-دولتی	۱۸	-	متقین
D <sub>27</sub>	In	3956613	522419	دخترانه-دولتی	۱۸	-	شهدای خلیج فارس

در این مطالعه از شاخص های زمین شیمیایی مانند ضریب غنی شدگی (Eby, 2004)، فاکتور آلودگی (Hakanson, 1980) و شاخص ارزیابی خطر سلامت (USEPA, 2001) استفاده شد در این پژوهش برای تعیین منشأ عناصر انتخابی از روش تحلیل مولفه اصلی (Principle component Analysis) با استفاده از نرم افزار SPSS .V23 استفاده شد.

بحث

خلاصه آماری غلظت ۱۴ فلز سنگین منتخب (آرسنیک، کادمیم، کبالت، کرم، مس، آهن، منگنز، آلومینیم، آهن، وانادیم، آنتیموان، سرب، روی و نیکل) در غبار داخلی و بیرونی (حیاط مدارس)، و نیز میانگین غلظت عناصر در خاک جهانی در جداول ۲ و ۳ آورده شده است.

بر اساس نتایج، میانگین غلظت عناصر آلومینیم و آهن در غبار داخلی و بیرونی مدارس مطالعه شده در شهر تهران از میانگین غلظت این عناصر در خاک جهانی کمتر است، اما میانگین غلظت عناصر کبالت و وانادیم و منگنز در غبار داخلی مدارس مورد مطالعه تقریباً نزدیک به میانگین غلظت آن‌ها در خاک جهانی و در غبار بیرونی اندکی بیشتر از غلظت آن‌ها در خاک جهانی است.

جدول ۲: آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) غبار داخلی مدارس

Element	Mean	Median	Std.deviation	CV	Min	Max	World-Soil average <sup>a</sup>
Al	31717.59	33587	10881.74	0.34	16387	50174	71000
As	8.80	9.1	3.57	0.41	2.1	15.8	4.7
Cd	95	0.9	0.23	0.25	0.5	1.6	0.5
Co	9.35	9.5	2.82	0.30	4.6	13.7	8.25
Cr	99.82	88	57.19	0.572	39	235	54
Cu	216.18	195	72.86	0.34	131	443	14
Fe	24972.24	25615	9818.57	0.39	12482	54842	35000
Mn	449.65	466	124.41	0.28	245	652	437
Mo	4.61	3.7	2.09	0.45	2.3	9.9	1.8
Ni	51.35	42	46.77	0.91	25	228	20.5
Pb	229.41	216	69.53	0.30	99	382	25
Sb	8.54	7.7	4.39	0.51	3.8	23.2	0.5
V	48.18	53	13.59	0.42	28	69	60
Zn	861.94	864	330.36	0.38	362	1332	64

جدول ۳: آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) غبار بیرونی مدارس

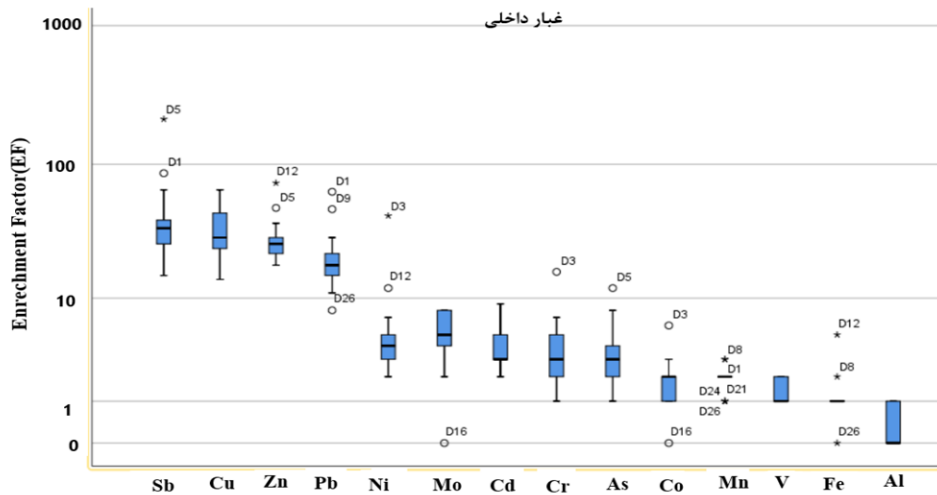
Element	Mean	Median	Std.deviation	CV	Min	Max	World-Soil average <sup>a</sup>
Al	44206.30	44909.50	5347.431	0.12	34548	52911	71000
As	9.390	9.95	1.8496	0.20	6.5	11.4	4.7
Cd	0.91	0.9	0.16	0.18	0.7	1.3	0.5
Co	11.04	11.30	1.60	0.30	7.8	13.4	8.25
Cr	88.40	83	31.44	0.14	51	165	54
Cu	232.2	202	102.50	0.44	99	482	14
Fe	27802.6	28399.50	1914.59	1.15	24766	30032	35000
Mn	608.30	618	65459	0.11	498	701	437
Mo	4.640	4	2.06	0.44	2.8	8.6	1.8
Ni	44.40	43.50	9.81	0.22	30	68	20.5
Pb	310.70	234	202.91	0.653	136	816	25
Sb	7.18	7	2.89	0.402	3.4	13.7	0.5
V	64.30	66.50	7.227	0.112	52	75	60
Zn	1035.20	1016.50	257.635	0.24	674	1443	64

روند کاهشی میانگین غلظت فلزات نسبت به میانگین آن‌ها در خاک جهانی در غبار داخلی و غبار بیرونی به صورت زیر است:

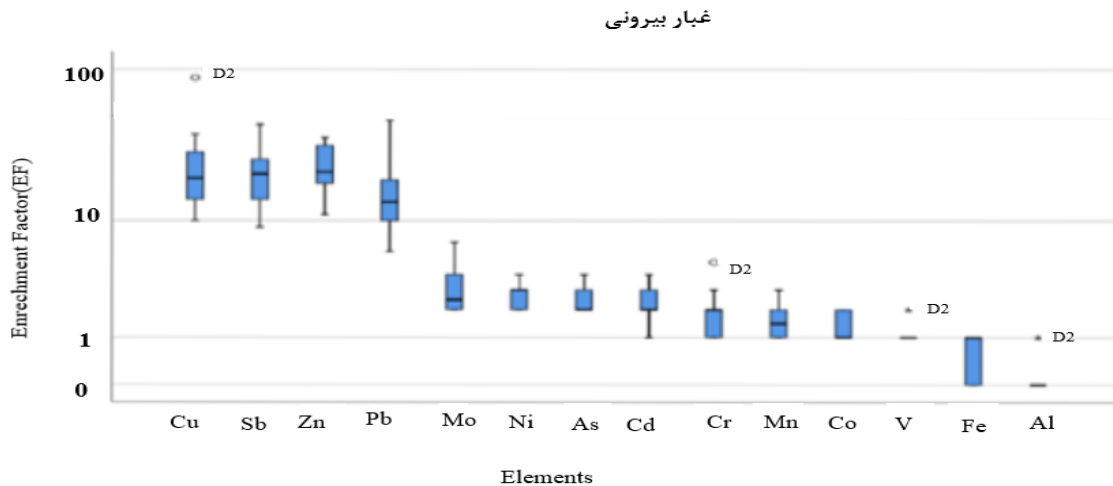
Sb>Cu>Zn>Pb>Mo>Ni>Cd>As>Cr>Co>Mn>V>Fe>Al غبار داخلی

Cu>Zn>Sb>Pb>Mo>Ni>As>Cd>Cr>Mn>Co>V>Fe>Al غبار بیرونی

نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی برای ۱۴ عنصر مورد مطالعه در نمونه‌های غبار داخلی و بیرونی مدارس مطالعه‌شده شهر تهران با استفاده از عنصر اسکاندیم به عنوان عنصر مرجع در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

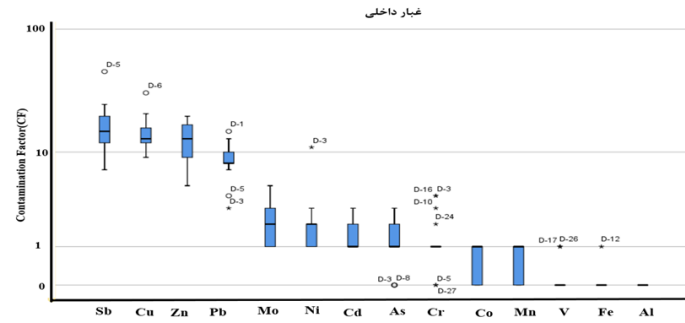


شکل ۱: نمودار جعبه‌ای ضریب غنی‌شدگی عناصر مختلف در نمونه‌های غبار داخل مدارس

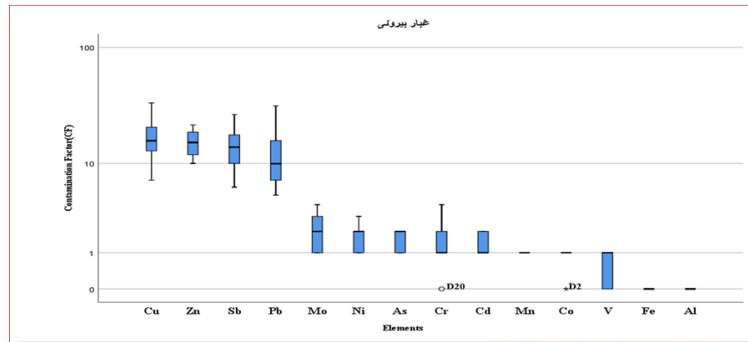


شکل ۲: نمودار جعبه‌ای غنی‌شدگی عناصر مختلف در نمونه غبار بیرونی مدارس

فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین در غبار داخلی و بیرونی مدارس شهر تهران محاسبه در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳: نمودار جعبه‌ای فاکتور آلودگی غبار داخلی



شکل ۴: نمودار جعبه‌ای فاکتور آلودگی غبار بیرونی

نتایج ارزیابی خطر برای فلزات سنگین با توجه به غلظت میانگین عناصر محاسبه و در جدول های ۴ و ۵ آورده شده‌است.

جدول ۴: خارج قسمت خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) در کودکان

	As	Co	Cr	Cu	Cd	Pb	Mn	Ni	Zn
<b>In-Dust</b>									
HQ <sub>ing</sub>	3.75E-01	5.98E-03	4.55E-02	4.23E-04	4.08E-03	8.38E-01	1.24E-01	3.28E-02	3.67E-02
HQ <sub>inh</sub>	1.76E-05	9.86E-04	2.68E-04	3.23E-06	5.76E-07	3.92E-05	1.89E-02	1.49E-06	1.72E-06
HQ <sub>dermal</sub>	8.37E-03	2.09E-05	9.06E-01	6.44E-04	3.43E-03	1.56E-02	8.74E-03	3.40E-04	5.14E-04
HI	3.83E-01	6.99E-03	9.51E-01	1.07E-03	7.51E-03	8.53E-01	1.52E-01	3.31E-02	3.72E-02
<b>Out-Dust</b>									
HQ <sub>ing</sub>	3.94E-01	7.02E-03	4.38E-01	7.75E-02	1.20E-02	1.16	1.56E-01	2.86E-02	4.39E-02
HQ <sub>inh</sub>	1.84E-05	1.15E-03	2.16E-03	3.23E-06	5.65E-07	4.09E-03	2.50E-02	1.30E-06	2.06E-06
HQ <sub>dermal</sub>	8.07E-02	2.45E-05	6.14E-01	7.24E-04	3.36E-03	2.18E-02	2.50E-02	2.97E-04	5.14E-04
HI	4.74E-01	8.20E-03	1.05	7.82E-02	1.53E-02	1.26	2.02E-01	2.89E-02	4.45E-02

جدول ۵: خارج قسمت خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) در بزرگسالان

	As	Co	Cr	Cu	Cd	Pb	Mn	Ni	Zn
In-Dust									
HQ <sub>ing</sub>	4.02E-02	6.56E-05	4.55E-02	7.40E-03	1.31E-03	8.97E-02	1.33E-02	3.51E-03	2.11E-04
HQ <sub>inh</sub>	2.24E-06	1.25E-04	2.68E-04	4.13E-07	7.37E-08	5.00E-06	2.41E-03	1.91E-07	2.2E-07
HQ <sub>dermal</sub>	1.17E-02	3.19E-06	9.09E-02	9.84E-05	5.24E-04	2.38E-03	1.52E-04	5.19E-05	7.85E-05
HI	5.19E-02	1.95E-04	1.36E-01	7.50E-03	6.55E-03	9.21E-02	1.50E-02	3.57E-03	2.99E-04
Out-Dust									
HQ <sub>ing</sub>	4.22E-02	7.52E-04	4.70E-02	8.30E-03	1.28E-03	1.25E-01	1.77E-02	3.06E-03	4.70E-01
HQ <sub>inh</sub>	2.38E-06	1.47E-04	2.76E-04	4.63E-07	7.22E-08	6.98E-06	3.19E-03	1.67E-07	2.66E-07
HQ <sub>dermal</sub>	1.23E-02	3.75E-06	9.38E-03	1/10E-04	5.14E-04	3.33E-03	1.76E-03	4.53E-05	9.38E-05
HI	5.19E-02	9.04E-04	5.66E-02	8.41E-03	1.80E-03	1.28E-01	2.26E-02	3.11E-03	4.70E-01

نتایج تحلیل مولفه اصلی در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶: نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای فلزات سنگین در نمونه‌های غبار

Element	Component			
	4	3	2	1
V	0.214	0.129	-0.098	0.961
Mn	-0.157	0.101	-0.022	0.937
Al	-0.054	0.136	-0.125	0.929
Co	0.069	0.090	0.353	0.735
Fe	0.104	0.218	-0.008	0.471
Ni	0.147	-0.184	0.886	0.324
Cr	0.096	0.102	0.863	0.472
Cd	0.265	0.852	-0.208	-0.085
Pb	0.174	0.764	0.174	0.231
Zn	0.233	0.761	-0.007	0.477
Cu	0.215	0.735	-0.134	-0.149
Sb	0.185	0.715	-0.378	0.215
Mo	0.642	-0.054	-0.192	0.415
As	0.518	-0.274	0.295	0.471

### نتیجه گیری

مقادیر میانگین شاخص ضریب غنی‌شدگی نشان می‌دهند که در غبار داخلی عناصر آنتیموان، مس و روی در رده غنی‌شدگی خیلی شدید، سرب در رده غنی‌شدگی شدید، نیکل و مولیبدن در رده غنی‌شدگی متوسط تا شدید، آرسنیک، کادمیم و کروم در رده غنی‌شدگی متوسط، منگنز، کبالت، وانادیم و آهن در رده غنی‌شدگی کم و آلومینیم در رده بدون غنی‌شدگی قرار دارند. در حالی که در غبار بیرونی مس در رده غنی‌شدگی خیلی شدید، آنتیموان، روی و سرب در رده غنی‌شدگی شدید، مولیبدن و نیکل در رده غنی‌شدگی متوسط، آرسنیک، کادمیم، کروم، منگنز، کبالت، وانادیم، آهن در رده غنی‌شدگی کم و آلومینیم به جز در ایستگاه D<sub>2</sub> (مدرسه اندرزگو منطقه ۱۳) در سایر ایستگاه‌ها بدون غنی‌شدگی قرار دارند به طور کلی مدارس منطقه ۱۳ آلودگی بیشتری را در نمونه‌های غبار نشان دادند. روند کاهشی تغییرات میانگین فاکتور آلودگی فلزات سنگین در غبار داخلی

و بیرونی مشابه یکدیگر است تنها تفاوت آن‌ها این است که در غبار بیرونی سطح آلودگی مس و روی از آنتیموان بیشتر است. با توجه به مقادیر فاکتور آلودگی، عناصر مس، روی، آنتیموان و سرب آلودگی بسیار بالا، مولیبدن، نیکل، آرسنیک، کروم، کادمیم، منگنز، کبالت و وانادیم آلودگی متوسط، آهن و آلومینیم آلودگی کم در نمونه‌های غبار داخلی و بیرونی مدارس را نشان دادند. به طور کلی بیشترین فاکتور آلودگی مربوط به ایستگاه D<sub>16</sub> (مدرسه امیری کیا - منطقه ۱۲) در غبار داخلی و کم‌ترین آن مربوط به ایستگاه D<sub>20</sub> (مدرسه سوم شعبان - منطقه ۱۸) در غبار بیرونی است. نتایج شاخص ارزیابی خطر سلامت نشان داد که در معرض قرارگیری ذرات غبار برای تمام عناصر از راه بلع در کودکان خطر بیشتری نسبت به دیگر مسیرهای در معرضی ایجاد می‌کند و به دنبال آن به ترتیب تماس پوستی و استنشاق قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که در غبار بیرونی شاخص خطر برای عناصر سرب و کروم در کودکان بیش از یک است و سلامتی کودکان را تهدید می‌کند. نتایج تحلیل مولفه اصلی نشان داد عناصر وانادیم، منگنز، آلومینیم و کبالت در فاکتور اول قرار گرفتند که با توجه به نتایج ضرایب زمین‌شیمیایی می‌توان منشأ این عناصر را زمین‌زاد در نظر گرفت. فاکتور دوم شامل عناصر نیکل و کروم می‌باشد، می‌توان گفت این عناصر در برخی ایستگاه‌ها تحت تاثیر منابع انسان‌زاد (استفاده در قطعات خودرو و پوشش آسفالت‌ها) قرار گرفته‌اند. فاکتور سوم شامل عناصر کادمیم، سرب، روی، مس و آنتیموان می‌باشد که با توجه به نتایج ضرایب زمین‌شیمیایی می‌توان منشأ انسان‌زاد مانند ترافیک را عامل افزایش غلظت این عناصر در نظر گرفت و در نهایت فاکتور چهارم شامل عناصر مولیبدن و آرسنیک می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که این دو عنصر نیز منشأ طبیعی داشته و در برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از منابع انسان‌زاد منشأ گرفته‌اند. به طور کلی مدارس مناطق ۱۳ (مدرسه شهید اندرزگو، مدرسه پروین اعتصامی و مدرسه مهدیون) و مدرسه مهر مریم (منطقه ۱۲) بیشترین آلودگی را دارند این امر می‌تواند به دلیل تردد زیاد وسایل نقلیه باشد چراکه جزو مناطق پر تردد شهر تهران هستند.

#### منابع

- Eby G.N., 2004. "Principles of environmental chemistry", USA: Thomson Learning Publication, pp. 514.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research, 14(8), 975-1001.
- Praveena, S. M., & Aris, A. Z., 2018. Status, source identification, and health risks of potentially toxic element concentrations in road dust in a medium-sized city in a developing country. Environmental geochemistry and health, 40(2), 749-762.
- USEPA, 2001. "Development of a Relative Potency Factor (RPF) Approach for Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Mixtures (External Review Draft)". US Environmental Protection Agency, Washington, DC.

## تولید سولفات باریم قابل کاربرد در صنایع دارویی از طریق اسیدشویی کانه‌های باریت

رضا حسن‌پور کاشانی<sup>۱\*</sup>، سارینا احدی<sup>۱</sup>، میکائیل حسینی آل‌مان آبادی<sup>۲</sup>، حجت‌الله اسدیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه

<sup>۲</sup> گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه

<sup>۳</sup> گروه صنعتی فریمان

rezahkashani14@gmail.com

### چکیده:

با توجه به کاربردهای باریت در صنایع دارویی و پزشکی، هدف از این تحقیق بررسی امکان خالص‌سازی نمونه‌های معدنی باریت با میزان خلوص متفاوت، جهت استفاده در ساخت سولفات باریم مورد استفاده در عکسبرداری پزشکی است. مقایسه درجه خلوص نمونه‌های باریت با استاندارد دارویی سولفات باریم، حاکی از شرایط مناسبی از نظر سولفات باریم محتوی برای نمونه‌های مورد مطالعه، و عدم نیاز به فرآوری اولیه جهت پرعیارسازی آنها است. به منظور خالص‌سازی و تولید محصول مطابق با استانداردهای دارویی، آزمایش‌های لیچینگ با استفاده از اسید HCl و H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>، در مدت زمان‌های متفاوت (۱ و ۲ ساعت) و برای دو حالت نمونه خرد شده (d<sub>50</sub>=15 μm) و نمونه اولیه (d<sub>50</sub>=165 μm)، انجام گرفته است. بر اساس نتایج، بیشترین مقدار مواد حل شده در اسید (برای نمونه d<sub>50</sub>=165 μm) مربوط به لیچینگ باریت (با مقدار ناخالصی بیشتر) در HCl، به میزان ۱۹/۰۵ درصد است. کمترین مقدار مواد حل شده نیز مربوط به همین نمونه باریت و در H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> است. بطور کلی لیچینگ باریت خرد نشده (d<sub>50</sub>=165 μm) با هر دو اسید، نتیجه مناسبی در کاهش مقادیر ناخالصی‌ها تا حد مجاز نداشته است. از این‌رو جهت دستیابی به استانداردهای دارویی، لیچینگ برای نمونه خرد شده (d<sub>50</sub>=15 μm) و با افزایش مدت زمان فرایند به دو ساعت انجام گرفته است. لیچینگ باریت (حاوی ناخالصی کمتر) در HCl، دارای مناسب‌ترین نتیجه در کاهش فلزات سنگین باریت و رساندن آنها به حد مجاز است. بطور کلی، آسیا کردن و افزایش زمان ماند در لیچینگ باریت در HCl و در حضور دماهای بالاتر از محیط، تاثیر چشمگیری در کاهش فلزات سنگین نمونه و یا بعبارت دیگر، خالص‌سازی سولفات باریم داشته است.

کلیدواژه: سولفات باریم، ذخایر باریت، استاندارد دارویی، اسیدشویی

## Production of barium sulfate applicable in the pharmaceutical industry through acid leaching of barite ores

Reza Hasanpour Kashani<sup>1</sup>, Sarina Ahadi<sup>1</sup>, Mikael Hosseini Almanabadi<sup>2</sup>, Hojjatullah Asadian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University

<sup>2</sup> Department of Materials and Metallurgy Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University

<sup>3</sup> Fariman Industrial Group

### Abstract

Considering the applications of barite in the pharmaceutical and medical industries, the purpose of this study is to investigate the possibility of purification of barite mineral samples with different purity for



use in the manufacturing of barium sulfate utilized in medical photography. Comparison of the purity of barite samples with the pharmaceutical standard of barium sulfate indicates the appropriate conditions in terms of barium sulfate content for the studied samples, and no need for initial processing to concentrate them. To purify and produce the per pharmaceutical standards, leaching tests utilizing HCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acids for crushed ( $d_{50} = 15 \mu\text{m}$ ) and raw samples ( $d_{50} = 165 \mu\text{m}$ ) were performed at different times (1 and 2 hours). According to the results, the highest amount of solutes in acid (for example  $d_{50} = 165 \mu\text{m}$ ) is related to barite leaching (with higher impurity content) in HCl, at the rate of 19.05%. The lowest amount of solute is related to the same barite sample in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. In general, the leaching of uncrushed barite ( $d_{50} = 165 \mu\text{m}$ ) with both acids did not have a good result in reducing the number of impurities to the allowable level. Therefore, to achieve pharmaceutical standards, leaching was performed for the crushed sample ( $d_{50} = 15 \mu\text{m}$ ) with increasing process time to two hours. Leaching of barite (containing fewer impurities) in HCl has the most suitable result in reducing the heavy metals of barite and bringing them to the permissible level. In general, grinding and increasing the retention time of barite leaching in HCl and the presence of higher ambient temperatures had a significant effect on the reduction of heavy metals in the sample i.e., the purification of barium sulfate.

#### مقدمه:

بخشی از مواد اولیه صنایع دارویی (مواد موثر یا اکسی‌پیان‌ها) منشا معدنی دارند، از این‌رو شناخت ویژگی‌ها و خصوصیات این مواد که اغلب توسط کتاب‌های داروسازی (Pharmacopoeia) بیان می‌شوند، بسیار مهم است (اسماعیلی، ۱۳۷۸). کانی‌های صنعتی به‌وفور در داروسازی بصورت ماده موثر دارویی یا پرکننده بعنوان عامل تعلیق، رقیق‌کننده، چسباننده، متلاشی‌کننده، افزایش دهنده ویسکوزیته و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از کانی‌های صنعتی پرکننده در صنایع داروسازی، به علت خنثی بودن و خواص فیزیکی منحصربفرد آنهاست (فنینگ، ۱۳۸۰). از جمله کانی‌های صنعتی دارویی می‌توان به باریت و نمک‌های باریم، بنتونیت، بروبورات‌ها، برماین، کلسیت، ژیپس، منیزیت، پتاس، هالیت، تالک و غیره اشاره کرد (کلاین و هاربلوت، ۱۳۸۹). هر چند میزان فروش کانی‌های صنعتی به صنایع دارویی نسبت به دیگر صنایع از حجم بسیار پایینی برخوردار است؛ اما با توجه به قیمت بالای این کانی‌ها در صورت حصول خواص منطبق با استانداردهای دارویی، فرآوری و تولید آنها موجب ایجاد ارزش افزوده بسیار بالایی خواهد شد (Galindo et al., 2007).

کانی باریت به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصربفرد، شامل وزن مخصوص بالا، سختی متوسط، قیمت نسبتاً پایین، خنثی بودن از نظر شیمیایی، فراوانی ذخایر و ساینده‌گی پایین کاربردهای فراوانی در صنایع گل حفاری چاه‌های نفت (عمده-ترین کاربرد)، رنگ، لوازم آرایشی، عایق، مصارف شیمیایی، دارویی، رادیولوژی و پزشکی دارد (Ginai-Karamat, 1987). تحقیق‌های متعددی در رابطه با استفاده از این ماده معدنی بعنوان عایق و همچنین کاربرد آن در تهیه سوسپانسیون‌های مورد استفاده در رادیولوژی انجام گرفته است (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۶؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۹۷). سولفات باریم یک ماده واسطه غیر محلول است که از باریت تهیه می‌شود. سولفات باریم به دلیل دارا بودن خاصیت فلوتورسانس و فسفرسانس و در نتیجه ایجاد کنتراست (Contrast) مناسب، بعنوان ماده دارویی مناسب برای عکسبرداری در کاربردهای پزشکی استفاده می‌شود (در صورت عدم استفاده از این ماده کیفیت عکس حاصل نامناسب خواهد بود). سوسپانسیون سولفات باریم بعنوان ماده واسطه مثبت غیریونی بوده که بطور وسیعی در رادیولوژی و CT-Scan، برای قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش استفاده می‌شود. میزان مصرف سوسپانسیون‌های سولفات باریم وابسته به نظر پزشک معالج بوده و معمولاً در رادیولوژی مری، معده و روده

بزرگ بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی لیتر است. این ماده ضمن عبور از دستگاه گوارش میزان جذب اشعه ایکس را افزایش می دهد، و بدین ترتیب شکل و ساختمان دستگاه گوارش را آشکار می سازد. سولفات باریم در برونوگرافی (نایژه گرافی) و یا مکیدن و تخلیه ریه ها (آسپریشن) که منجر به فرم های گرانولومایی شده نیز کاربرد دارد. همچنین سولفات باریم به سیمان های مربوط به ساخت استخوان های مصنوعی و گچ دندانپزشکی اضافه می شود (Williams and Remington, 2006; Remington, 2000).

سولفات باریم مورد استفاده در تهیه باریم خوراکی برای آزمایش های اشعه ایکس، به دو صورت شیمیایی و طبیعی تولید می گردد. در روش تولید سولفات باریم طبیعی، باریت استخراج شده از معدن برای رسیدن به استانداردهای مورد نظر در صنایع داروسازی (USP) بایستی تحت عملیات فرآوری قرار گیرد. در استاندارد USP (United states pharmacy) (۲۰۰۷) در رابطه با کاربرد سولفات باریم در صنایع دارویی میزان  $BasO_4$  موجود در کانی بیش از ۹۷/۵ درصد تعیین شده است؛ این مایع بایستی در ظروف کاملاً بسته نگهداری شود، و  $pH$  آن بین ۳/۵ تا ۱۰ در یک سوسپانسیون آبی (w/w) ۱۰ درصد باشد. حد مجاز فلزات سنگین موجود در محلول سولفات باریم کمتر از ۰/۰۰۱ درصد، میزان سولفیدها کمتر از ۵ میکروگرم، میزان مواد قابل حل در اسید کمتر از ۰/۳ درصد و حد مجاز نمک های باریم کمتر از ۰/۰۰۱ درصد تعیین شده است (Harben and Peter, 1998). برای دستیابی به این استاندارد، کانسنگ استخراجی از معدن باید طی عملیات فرآوری خالص شود. ذخایر باریت در طبیعت بصورت لایه ای و یا رگه ای تشکیل شده اند. این ذخایر معمولاً با کانی های فلوتورین، سلسنتین، کوارتز، گالن، اسفالریت، کلسیت، دولومیت و سیدریت در محیط های مختلف زمین شناسی همراه هستند (کلاین و هاربلوت، ۱۳۸۹). با توجه به اینکه در معادن باریت همواره امکان دسترسی به باریت خالص مطابق با استانداردهای داروسازی وجود ندارد، لزوم جدایش باریت از باطله های همراه و فرآوری کانسنگ مطرح می شود. در این راستا مجموعه ای از روش های فرآوری شامل سنگجوری، خردایش، آسیاکنی، جداکننده های مغناطیسی، جیگ، اسپیرال، فلوتاسیون، لیچینگ و غیره بکار گرفته می شود (نعمت الهی، ۱۳۹۴).

از روش های تجاری متداول که برای تولید سولفات باریم دارویی استفاده می شود، می توان به روش *Mallinckrodt process* و روش پتنت *Dennis W.J Stone* اشاره کرد. در روش *Mallinckrodt process* ذرات ریز کانی باریت بوسیله اسید بصورت محلول درآمده و سپس سولفات باریم رسوب داده می شود؛ این روش بسیار مشکل و پرهزینه است. همچنین رسوب تشکیل شده از سولفات باریم حاوی ناخالصی بوده که نیاز به مراحل خالص سازی بیشتر و لیچینگ اسیدی دارد. بنابراین روش *Mallinckrodt* یک روش مشکل و پرهزینه در تولید سولفات باریم دارویی است؛ بلعکس روش پتنت *Dennis W.J Stone* یک روش آسان و اقتصادی در تهیه سولفات باریم دارویی است (Harben and Peter, 1998). این روش شامل آسیاکردن کانی باریتی که بطور طبیعی حاوی کریستال های سولفات باریم خالص به همراه کانی های باطله است. پس از خردایش اولیه کانی باریت، جهت جدایش ذرات مغناطیسی از یک جداکننده مغناطیسی تر شدت بالا استفاده می شود. بخش غیرمغناطیسی باقیمانده حاوی سولفات باریم و کانی های با وزن مخصوص پایین است؛ که جهت جداکردن سولفات باریم خالص از این مواد، از روش های جدایش ثقلی استفاده می گردد. سپس اندازه ذرات سولفات باریم جدا شده با استفاده از آسیای سایشی (Attrition mill) به حدود ۱۰۰ میکرون رسانده می شود. لازم به ذکر است که جهت جلوگیری از آلودگی سولفات باریم از واسطه های خردایش سرامیکی و یا آلیاژهای فولادی استفاده می شود. در نهایت، برای جداکردن ناخالصی های همراه سولفات باریم (که قابل حل در اسید هستند)، عملیات لیچینگ با اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک انجام می گیرد. پسماند بدست آمده

بعنوان محصول نهایی با آب شسته و سپس به منظور بررسی تطابق با استانداردهای دارویی مورد آنالیز قرار می‌گیرد ( Stone, 1979).

در ایران منابع متعددی از باریت در مناطق مختلف گزارش شده است. از بزرگترین معادن باریت ایران می‌توان به معدن باریت مفتخر یزد (با ذخیره ۳۲۹ هزار تن) و معدن باریتین آبرش کرمان (میزان ذخیره ۳۰۰ هزار تن) اشاره کرد. در این تحقیق با تهیه نمونه‌هایی از باریت معادن مختلف، به مطالعه و امکان‌سنجی استفاده از این ذخایر در صنایع دارویی پرداخته شده است. نمونه‌های مورد مطالعه بر مبنای درجه خلوص باریت و میزان ناخالصی‌ها با توجه به استانداردهای داروسازی تهیه گردیده است. پس از تطابق خواص نمونه‌ها با استانداردهای صنایع دارویی، نمونه‌های مستعد جهت انجام فرایند خالص‌سازی انتخاب، و بر روی آنها عملیات فرآوری انجام گرفته است.

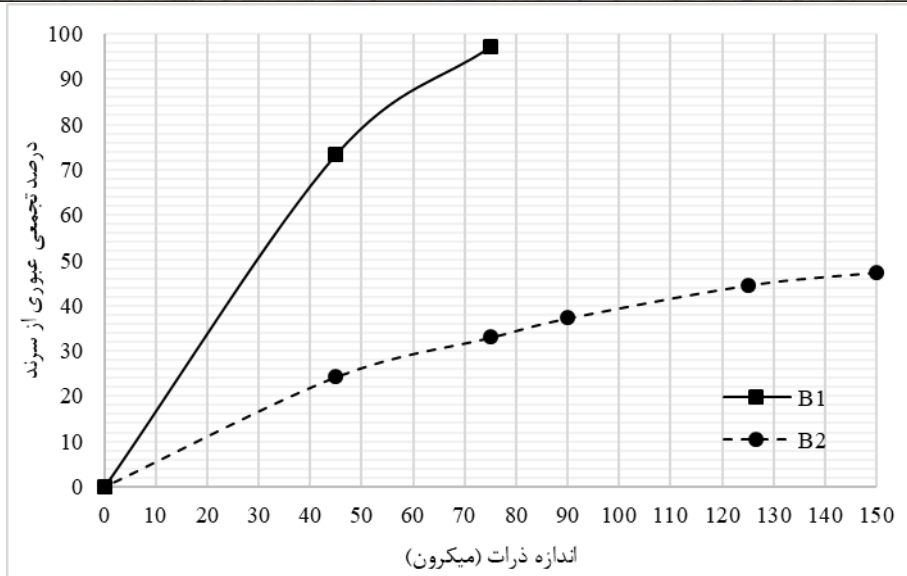
### روش مطالعه:

#### معرفی نمونه‌های باریت مورد مطالعه

دو نمونه باریت که با کدهای B1 و B2 معرفی شده‌اند، به ترتیب نمونه‌ای از پودر باریت مورد استفاده در گل حفاری و نمونه پودر کریستال‌های باریت هستند. همچنین یک نمونه سولفات باریم که با کد B معرفی شده است، از داروخانه بعنوان نمونه خالص تهیه و در مقایسات بعنوان نمونه شاهد و استاندارد در نظر گرفته شده است. اندازه‌گیری وزن مخصوص نمونه‌های B1، B2 و نمونه شاهد B نشان داده است که، پودر باریت مصرفی در گل حفاری دارای وزن مخصوص ۴/۲، باریت حاصل از خریداری کریستال‌های پرعیار دارای وزن مخصوص ۴/۴ و وزن مخصوص باریت دارویی تهیه شده از داروخانه، ۴ است. عمده‌ترین ترکیبات ناخالصی موجود در نمونه B1، به ترتیب ترکیبات حاوی گوگرد، کلسیت و سیلیس هستند. ترکیبات ناخالصی عمده نمونه B2 مشابه با نمونه قبلی بوده اما مقادیر آنها به مراتب کمتر از نمونه B1 است.

#### شناسایی نمونه‌های باریت

در راستای شناسایی خواص فیزیکی و شیمیایی هر یک از نمونه‌های باریت پس از تعیین وزن مخصوص، بر روی آنها آنالیزهای توزیع دانه‌بندی و تعیین ترکیب شیمیایی (XRF) انجام گرفته است. در شکل ۱، نتایج مربوط به آنالیز سرنبدی دانه‌بندی نمایش داده شده است. تمامی ذرات نمونه شاهد (B) دارای اندازه کوچکتر از ۴۵ میکرون بوده‌اند. لازم به ذکر است که مطالعه عینی و سنجش زبری (با استفاده از دست) نمونه B، نشان‌دهنده وجود ذرات با اندازه بزرگتر از حالت پودری (بزرگتر از ۴۵ میکرون) بوده است؛ اما با انجام آنالیز سرنبدی به روش تر، تمامی ذرات از سرنبد با اندازه ۴۵ میکرون عبور کرده‌اند. با توجه به شکل ۲، نمونه B1 نسبت به B2 دارای اندازه ذرات ریزتری بوده و d<sub>80</sub> آن ۵۲ میکرون است.



شکل ۱: آنالیز سرندهی نمونه‌های باریت B1 و B2

نتایج آنالیز XRF دو نمونه باریت B1 و B2 با نمونه B (باریت دارویی) در جدول ۱ آمده است. لازم به ذکر است که در این جدول، مقادیر ترکیبات با میزان کمتر از ۰/۰۵ درصد، ذکر نشده است.

جدول ۱: نتایج آنالیز XRF نمونه باریت دارویی با نمونه‌های معدنی و اسیدشویی شده

Code	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SrO	LOI
B	۰/۴۸	<۰/۰۵	۵۸/۳۴	۰/۱۱	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۷	۳۱/۵۱	۱/۳۶	۷/۹۴
B1	۳/۸۱	۰/۱۴	۵۸/۴۶	۳/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۶	<۰/۰۵	۳۱/۴۶	۱/۲۱	۱/۳۷
B2	۱/۱۴	۰/۱۱	۶۲/۳۵	۰/۴۱	۰/۰۶	<۰/۰۵	۰/۰۸	۳۳/۵۷	۱/۳۲	۰/۹۱

### آزمایش‌های لیچینگ

با توجه به اینکه نمونه‌های باریت از عیار مناسبی برخوردار هستند (عیار باریت بر مبنای مقدار وزن مخصوص آن سنجیده می‌شود)، از این رو نیاز به انجام آزمایش‌های اولیه پری‌عیارسازی باریت از جمله جدایش مغناطیسی، ثقلی و فلوتاسیون نمی‌باشد. بنابراین جهت خالص‌سازی نمونه‌ها و حذف عناصر مزاحم همراه (جهت کاربرد دارویی) بر روی آنها مستقیماً آزمایش‌های لیچینگ انجام گرفته است. آزمایش‌های اسیدشویی در دو مرحله به شرح زیر صورت گرفته است. در ابتدا، بر روی نمونه‌های باریت، لیچینگ در شرایط عملیاتی مختلف انجام و شرایط بهینه تعیین شده است. بدین ترتیب که، آزمایش‌های لیچینگ بر روی دو نمونه باریت B1 و B2 با استفاده از اسیدهای سولفوریک اسید ۹۸ درصد و هیدروکلریک اسید ۳۷ درصد انجام گرفته است (در مجموع ۴ آزمایش). لیچینگ با H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> در ظروف با حجم ۲۰۰ ml، و از حل کردن ۴۰ g اسید ۹۸ درصد در ۱۲۰ آب مقطر و اضافه کردن ۴۰ g باریت به این محلول صورت گرفته است. لازم به ذکر است که در طی انجام آزمایش، همزدن بصورت مکانیکی و به مدت ۱ ساعت (مدت زمان ماند) انجام گرفته است. لیچینگ با HCl نیز در ظروف ۱۰۰ ml و از اضافه کردن ۲۰ g باریت به ۸۰ g اسید صورت گرفته است. سایر شرایط مشابه آزمایش انجام گرفته با H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> است. در هر آزمایش پس از طی شدن مدت زمان ماند به طول یک ساعت، محصول اسیدشویی فیلتر، و پس از خشک شدن مورد آنالیزهای درصد مواد حل شده، XRF و ICP-MS قرار گرفته است.

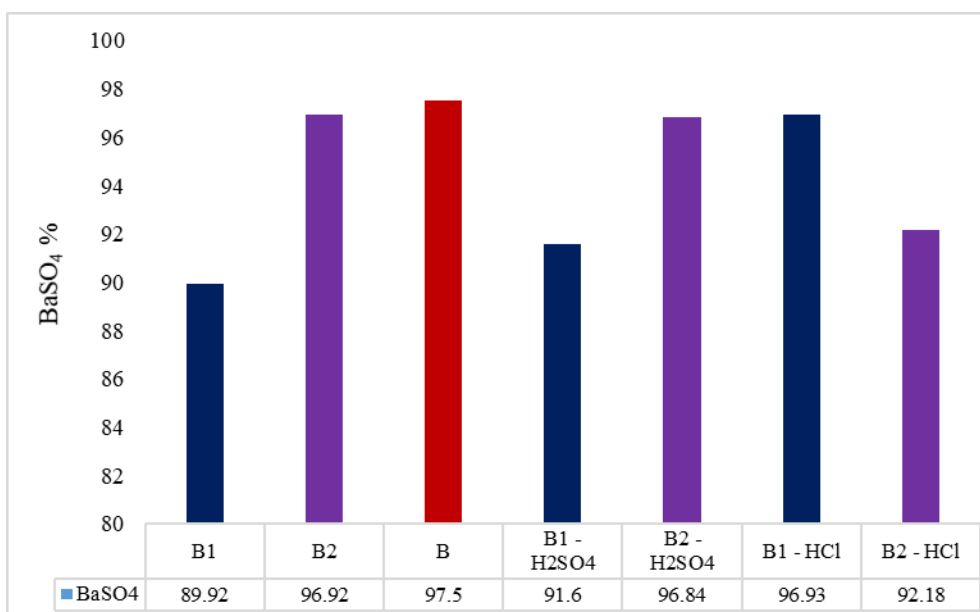
در مرحله دوم، پس از خردایش نمونه‌های باریت (d<sub>90</sub>=45 μm)، با استفاده از آسیای میله‌ای به مدت زمان ۲ ساعت بر روی آنها لیچینگ با HCl، ۳۷ درصد انجام گرفته است. آزمایش‌های لیچینگ در ظروف با حجم ۱۰۰ ml، و با درصد جامد محلول

۲۰، انجام گرفته است. محلول حاصل بر روی حرارت با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد با استفاده از همزن مکانیکی با سرعت rpm ۸۰ و به مدت ۲ ساعت (مدت زمان ماند) قرار گرفته است. در نهایت محصول اسیدشویی فیلتر، و پس از خشک شدن مورد آنالیزهای درصد مواد حل شده، XRF و ICP-MS قرار گرفته است.

بحث:

### بررسی تاثیر انواع اسید بر لیچینگ باریت

در راستای تولید سولفات باریم مطابق با استانداردهای دارویی با حذف ناخالصی‌های موجود از نمونه‌های معدنی، لیچینگ با دو اسید  $H_2SO_4$  و  $HCl$  برای دو نمونه مورد مطالعه انجام گرفته است. با توزین جامد باقیمانده از آزمایش‌های لیچینگ مشاهده گردید که بیشترین درصد مواد حل شده در اسید مربوط به نمونه B1 شستشو شده با  $HCl$  و به میزان بیش از ۱۹ درصد است؛ همین نمونه دارای کمترین درصد مقدار مواد حل شونده در  $H_2SO_4$  است (۳/۷ درصد). بطور کلی می‌توان گفت که میزان حل‌شدگی ناخالصی‌ها برای هر دو نمونه باریت در  $HCl$  بیش از  $H_2SO_4$  است. در شکل ۲، نمودار میله‌ای تغییرات  $BaSO_4$  برای نمونه‌های باریت قبل و پس از لیچینگ، و مقایسه آنها با نمونه شاهد آمده است. تمامی نمونه‌های اسیدشویی شده و نمونه‌های خام از نظر  $BaSO_4$  محتوی، کمتر از نمونه باریت دارویی هستند. مقایسه مقادیر سولفات باریم نمونه‌ها با مقدار استاندارد موجود (با میزان ۹۷/۵۰ درصد)، نشان می‌دهد که نمونه B1 اسیدشویی گل حفاری با  $HCl$ ، دارای کمترین انحراف از مقدار استاندارد است.



شکل ۲: مقدار  $BaSO_4$  محتوی نمونه‌های خام و اسیدشویی شده باریت و مقایسه آنها با استاندارد

در جدول ۲ نتایج آنالیز XRF نمونه‌های باریت قبل و پس از لیچینگ آمده است. لازم به ذکر است که در این جدول مقادیر ترکیباتی نظیر  $MgO$ ،  $MnO$ ،  $Na_2O$  و  $TiO_2$  که قبل و پس از اسیدشویی دارای تغییر چشمگیری نبوده‌اند، ذکر نشده است. بر اساس نتایج اسیدشویی نمونه باریت (با وزن مخصوص ۴/۲) در  $HCl$  (B1 - HCl) مناسب‌ترین نتیجه را در افزایش مقدار  $BaO$  داشته است. بررسی تغییرات  $SO_3$  بعنوان ترکیب با بالاترین عیار پس از  $BaO$  گویای این مطلب است که عملکرد  $HCl$

در رابطه با کاهش مقدار  $SO_3$  باریت (با وزن مخصوص ۴/۴) ( $B2 - HCl$ ) بهتر بوده، و منجر به دستیابی به مقدار مطابق با نمونه باریت داروخانه‌ای شده است. در رابطه با  $SiO_2$  عملکرد  $H_2SO_4$  بر روی نمونه B2، و همچنین عملکرد  $HCl$  بر روی B1 مناسب بوده است. اما  $HCl$  در رابطه با باریت با وزن مخصوص ۴/۴ نتیجه مناسبی نداشته است.

جدول ۲: نتایج آنالیز XRF و ICP-MS نمونه باریت دارویی با نمونه‌های معدنی و اسیدشویی شده

Code	XRF							ICP-MS					
	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	BaO %	CaO %	SO <sub>3</sub> %	SrO %	LOI %	As (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)	Cu (ppm)
B	۰/۴۸	<۰/۰۵	۵۸/۳۴	۰/۱۱	۳۱/۵۱	۱/۳۶	۷/۹۴	<۰/۰۱	۱۳	۷	۱۰۰	۳۳۹	۶
B1	۳/۸۱	۰/۱۴	۵۸/۴۶	۳/۰۸	۳۱/۴۶	۱/۲۱	۱/۳۷	۷۰/۹	۳۴	۴۶	۱۰۷۸	۲۳۲۹۷	۴۴۹
B2	۱/۱۴	۰/۱۱	۶۲/۳۵	۰/۴۱	۳۳/۵۷	۱/۳۲	۰/۹۱	۲/۲	۱۸	۲۴	۶۱۱	۷۷۰	۱۰۱
B1- H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۳/۷۱	۰/۰۵	۵۹/۵۵	۲/۸۱	۳۲/۰۵	۱/۲۵	۰/۵۸	<۰/۰۱	۸۴	۱۰	۳۹۲	۲۰۴۰۹	۱۶
B2- H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۱/۲۷	۰/۱۱	۶۲/۹۱	۰/۲۴	۳۳/۹۳	۱/۲۱	۰/۲۶	<۰/۰۱	۲۴	۳۲	۴۲۷	۱۱۲۹	۷
B1- HCl	۱/۰۷	۰/۱۰	۶۳/۰۱	۰/۱۳	۳۳/۹۲	۱/۳۲	۰/۳۷	<۰/۰۱	۳	۸	۶۱۷	۲۷۳	۵
B2- HCl	۴/۱۰	۰/۰۸	۵۹/۸۴	۱/۶۸	۳۲/۳۱	۱/۳۸	۰/۵۳	۰/۸	۲	۱۵	۱۷۰	۱۱۶۹۸	۱۹

با توجه به اینکه مقادیر فلزات سنگین شامل سرب و روی و همچنین آرسنیک مهم‌ترین پارامترها در استانداردهای دارویی باریت هستند، در جدول ۲ به ارائه مقادیر این عناصر و مقایسه آنها با نمونه شاهد پرداخته شده است. همچنین در این جدول میزان تغییرات سایر فلزات سنگین ناشی از اسیدشویی آمده است. بر اساس نتایج، مناسب‌ترین نتیجه از دیدگاه کاهش مقادیر سرب و روی مربوط به اسیدشویی نمونه B1 - HCl است. مقادیر سایر عناصر دارای تغییر قابل توجهی در مراحل قبل و بعد از اسیدشویی نیستند. با توجه به جدول ۲، عناصر آهن، کلسیم، مس و منیزیم نیز از جمله ترکیبات موجود در سولفات باریم با میزان بالاتر از حد مجاز (در مقایسه با نمونه سولفات باریم داروخانه) استاندارد دارویی هستند. در رابطه با آهن، اسیدشویی باریت حاوی مقادیر بالاتر ناخالصی با HCl نتیجه مناسبتری داشته است، با این وجود مقدار آهن ۷۰ ppm بیشتر از حد مجاز است. کاهش مقدار آهن محتوی به منظور دستیابی به درجه سفیدی (Whiteness) مناسب در داروی سولفات باریم، توسط فرایند اسیدشویی با اسید هیپوکلریک انجام می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود جهت مطالعات تکمیلی یک مرحله شستشو با اسید هیپوکلریک انجام شود. در رابطه با Cu و Ca نیز شستشوی باریت حاوی ناخالصی بالاتر با HCl کارایی مناسبی در رساندن مقادیر این عناصر به کمتر از حد مجاز داشته است.

### بررسی تاثیر اندازه ذرات خوراک باریت و زمان ماند فرایند بر خالص‌سازی باریت

با توجه به نتایج آزمایش‌های مرحله قبل، لیچینگ باریت با استفاده از HCl منجر به ارائه نتایج مناسب‌تری شده است. بدین منظور و جهت حصول نتایج بهینه در راستای کاهش مقدار عناصر سنگین سرب و روی، در این مرحله به بررسی تاثیر خردایش باریت و افزایش زمان لیچینگ در خالص‌سازی باریت پرداخته شده است. پس از خردایش باریت B2، با استفاده از الک ۴۵ میکرون مورد آنالیز اندازه ذرات قرار گرفت. بر اساس این آنالیز بیش از ۹۴ درصد ذرات دارای اندازه کمتر از ۴۵ میکرون بوده، که تقریباً مشابه با نمونه باریت شاهد است. در جدول ۳، مقادیر سه عنصر آرسنیک، سرب و روی برای خوراک و محصول این آزمایش و همچنین نمونه شاهد، بیان شده است. بنابر نتایج می‌توان اظهار داشت که آسیا کردن و افزایش زمان

ماند در حالت انجام آزمایش لیچینگ در حضور دماهای بالاتر از محیط، تاثیر چشمگیری در کاهش فلزات سنگین و یا بعبارت دیگر، خالص سازی سولفات باریم جهت کاربرد دارویی داشته است. اما با توجه به کاهش مقدار Zn, Pb و As به ترتیب از ۲۴، ۱۳ و ۰/۱ به مقادیر کمتر از ۱ در مورد دو عنصر اول و ۰/۱ در رابطه با As، می توان گفت که خردایش تاثیر بسیار چشمگیری داشته است.

جدول ۳: مقادیر فلزات سنگین در خوراک و محصول لیچینگ باریت خرد شده

Code	Al (ppm)	As (ppm)	Ca (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
B	<۱۰۰	<۰/۰۱	۳۳۹	۱۳	۷
B2	۵۶۵	۲/۲	۷۷۰	۱۸	۲۴
B2 – G – HCl	۶۹۸	<۰/۱	۱۵۶	<۱	<۱

### نتیجه گیری:

در این تحقیق که با هدف تولید سولفات باریم قابل کاربرد در صنایع دارویی، از کانه های باریت معدنی انجام گرفته است، نتایج زیر حاصل شده است:

۱. بدون خردایش باریت تا ابعاد کمتر از ۴۵ میکرون، اسیدشویی تاثیر چشمگیری در حذف و یا کاهش مقدار عناصر و ترکیب-های کلسیت، اکسید آلومینیوم و سیلیس نداشته است. برای حذف این ترکیبات لازم است از روش های ثقلی فرآوری مواد معدنی از جمله میز و جیگ قبل از فرایند اسیدشویی استفاده نمود.
۲. مقدار عناصر مزاحم سرب و آرسنیک، با خردایش و سپس لیچینگ توسط HCl تا حد مجاز استاندارد کاهش یافته است.
۳. رنگ باریت متاثر از مقدار آهن محتوی بوده و مقدار مجاز آهن در باریت دارویی حدود ۱۰ ppm است. با توجه به بالا بودن مقدار آهن در نمونه های باریت، پیشنهاد می گردد که از جداکننده های مغناطیسی و سپراتورهای آهن زدا (قبل از لیچینگ) به منظور کاهش مقدار آهن محتوی استفاده شود.

### منابع:

- اسماعیلی، کامران؛ "بررسی قابلیت استفاده از کانی های سیلیکاته در صنایع داروسازی کشور"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی - دانشگاه تهران، ص. ۱، (۱۳۷۸).
- بهرامی، عطاله؛ حسینی، سید محمدرئوف؛ کاظمی، فاطمه؛ "بررسی امکان فرآوری باریت های آذربایجان غربی به منظور کاربرد در صنایع دارویی با روش های ترکیبی فیزیکی و شیمیایی"، نشریه مهندسی منابع معدنی، (۲) ۳، ۷۰-۸۱، (۱۳۹۷).
- بهرامی، عطاله؛ کاظمی، فاطمه؛ سیدپور، سید علی؛ موتاب، مهدی؛ "تولید بتن سنگین از سنگدانه های باریت معادن استان آذربایجان غربی"، تحقیقات بتن، (۳) ۱۰، ۴۵-۵۱، (۱۳۹۶).
- فنینگ، دی ای سی؛ ترجمه: هرمزی، احمد؛ "مبانی کانی های صنعتی"، انتشارات .....، (۱۳۸۰).
- کلاین، ک؛ هارلیوت، ک، اس؛ ترجمه مر، فرید؛ مدبری، سیروس؛ "کانی شناسی"، جلد دوم، چاپ سوم (۱۳۸۹)، تهران، مرکز نشر دانشگاهی. صص. ۲۱۵-۳۰۰، (۱۹۰۶).
- نعمت اللهی، حسین؛ "کانه آرایبی جلد ۱ و ۲"، چاپ ششم با ویرایش و افزوده ها، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران، (۱۳۹۴).
- Ginai-Karamat, A.Z., 1987. "Contrast media for radiological examination in gastrointestinal tract leakage: An experimental and clinical study". Printed in the Netherlands by Van den Berg & Versluijs BV. Dordrecht, p. 13.

- Harben, H., and Peter, W., 1998. *Industrial mineral Handbook*. Third Edition.
- López Galindo, A., Viseras, C., and Cerezo, P., 2007. "Compositional, technical and safety specifications of clays to be used as pharmaceutical and cosmetic products". *Applied Clay Science* 36, pp. 51–63.
- Remington, G. A., 2000. *the science and practice of pharmacy*. 20 st edition.
- Stone, D.W.J., 1979. *Production of pharmaceutical barium sulphate*. United States Patent. 119(4). pp. 700.
- Williams, L., Remington, W., 2006. *the science and practice of pharmacy*. 21 st edition, pp.100-103.



## اثرات زیست محیطی نهشته‌های گوانو

هادی امین رسولی<sup>۱\*</sup>، نسیم حقیقت جو<sup>۱</sup>، شرمین ظاهری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

<sup>۲</sup> وزارت آموزش و پرورش، دبیرستان صادق وزیری، سنندج، ایران

[h.aminrasouli@uok.ac.ir](mailto:h.aminrasouli@uok.ac.ir)

### چکیده:

گوانوها از منابع مهم مواد آلی در غارها محسوب می‌شوند. میکروارگانیسم‌ها، مواد ارگانیک موجود در گوانو را تجزیه و منجر به پدید آمدن گازهای سمی  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{S}$ ،  $\text{NH}_3$  در هوای داخل غار و اسیدهای آلی و معدنی در نهشته‌های گوانو می‌شوند. آبشویی رسوبات گوانو به وسیله محلول‌های اسیدی سبب تغییر فراوانی عناصر در گوانو و تغییر شیمی آب داخل غار می‌شود. آب‌های اسیدی پدید آمده همچنین منجر به انحلال سنگ‌های کربناته بستر غار و تغییر سطح ایستایی آب‌های زیر زمینی، با ریزش کف غار، و خشک شدن چشمه‌های پیرامون غار در منطقه می‌گردند.

چشمه‌های کارستی تامین کننده آب آشامیدنی تعداد زیادی از مردم است. عبور آب از گوانوها سبب نامناسب شدن آب چشمه‌ها در منطقه می‌شود. آنالیز نمونه آب چشمه‌های نزدیک چنین غارهایی نشان‌دهنده بالا بودن غلظت بیش از حد استاندارد  $\text{Ni}$ ،  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{As}$ ،  $\text{Pb}$  و آلودگی میکروبی در این نمونه‌ها است. این آلودگی‌ها خطرات قابل توجهی برای سلامت انسان و حیوانات به همراه دارند.

کلید واژه: گوانو، غار، محلول اسیدی، میکروارگانیسم، زیست محیطی

## Environmental effects of guano deposits

H. Amin-Rasouli<sup>1\*</sup>, N. HaghighatJou<sup>1</sup>, S. Zaheri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup>Education Organization, Sadegh Vaziri high school, Sanandaj, Iran

### Abstract:

Guano deposits are significant sources of organic matter in caves. Microorganism activities lead to the decomposition of the organic matter in guano deposits and give rise to toxic gases such as  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{S}$ ،  $\text{NH}_3$  in the air inside the cave and organic-, and inorganic- acids in the guano deposits. Leaching of guano deposits by acidic solutions changes the abundance of elements in them and the chemistry of the water inside the cave. This acidic groundwater also dissolves the carbonate bedrock and lowers the water table due to the collapse of the cave substrate. As a result, the springs around the cave dry up.

Karst springs supply drinking water to many people. The water passing across the guano causes unsuitable spring water in the area. Springwater analyses close to these caves reveal that the concentration of  $\text{Ni}$ ،  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{As}$ ،  $\text{Pb}$ ، and microorganisms' pollutions are high; due to the leaching of the guano deposits by the cave water. These pollutions pose significant potential risks to human and animals' health.

#### مقدمه

کارست‌ها محیط‌هایی هستند که در آن‌ها انحلال و فرسایش سنگ بستر کربناته به‌وسیله آب‌های زیر زمینی منجر به ایجاد غارد در منطقه می‌شود (Ford and Williams, 2007). عامل ایجاد این انحلال آب‌های اسیدی هستند که می‌توانند از طریق انحلال گاز CO<sub>2</sub> تولید شوند. این گازها ممکن است از هوا، خاک و یا از طریق فرآیندهای شیمیایی درون غار به آب زیرزمینی اضافه شود. از فرآیندهای شیمیایی تولید کننده این گازها در غار می‌توان به فعل و انفعالات موجود در نهشته‌های گوانو اشاره کرد. نهشته‌های گوانو فضولات جانورانی مانند خفاش‌ها (Maher, 2006)، و از منابع عمده انرژی و مواد مغذی در غارها می‌باشند (Wurster et al., 2015; Ferreira, 2019). گوانوها دارای میکروارگانیسم‌های گوناگونی مانند باکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها، و ویروس‌ها در غارها هستند (Adetutu and Ball, 2014; Newman et al., 2018; Dimkić et al., 2021). میکروارگانیسم‌های موجود در گوانو با تغییر در pH آب‌های جاری، منجر به واکنش محلول‌های اسیدی با سنگ‌های بستر غار و گوانوها شده که ضمن این واکنش میزان انحلال و فراوانی مواد محلول در آب افزایش می‌یابد. حمل این مواد به‌درون بخش‌هایی از آب زیر زمینی می‌تواند برای انسان به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم مضر باشد (Wolkers-Rooijackers et al., 2019). al., 2019) غارهای کشور ما از نظر زیست‌محیطی آلوده هستند. آلودگی غارها برای جانورانی که در آن زندگی می‌کنند و همچنین بازدید کنندگان آن، خطرآفرین و اکوسیستم غار و سیستم آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کنند. هدف از این نوشته بیان اثرات زیست محیطی نهشته‌های گوانو است.

#### فعالیت میکروارگانیسم‌ها

به‌طور معمول فعالیت بسیاری از ریزجانداران، به‌ویژه باکتری‌ها و قارچ‌ها به‌آزاد شدن اسیدهای فسفریک، سولفوریک و نیتریک در گوانوها می‌انجامد (Onac and Forti, 2011). پدیدار شدن فسفات محلول به‌گمان قوی، در شرایط کمبود اکسیژن و تولید اسیدهای آلی و معدنی ناشی از تجزیه نهشته‌های گوانو توسط فعالیت باکتری *N. maritimus* (Kumaresan et al., 2015) و پدید آمدن کانی‌های فسفاته زیستی در نهشته‌های داخل غار است (Ortiz et al., 2013). تجزیه گوانوها به‌وسیله باکتری‌ها به‌آزاد شدن گوگرد مواد آلی و تشکیل H<sub>2</sub>S منجر می‌شود (De Waele et al., 2016). اسید یاد شده به‌وسیله باکتری‌های اکسید کننده گوگرد/ تیوباسیلوس، رایج ترین نوع باکتری در غارها، (Romero, 2009) به‌سولفات، و با انجام واکنش با اجزای کربناته سبب تشکیل کانی ژیپس و گاز CO<sub>2</sub> در غار می‌شوند. فعالیت باکتری *Nitrosomonas* در تغییر آمونیاک به نیترات (Kumaresan et al., 2015; Lavoie, 2015) و آزاد شدن گرما (Dumitraş and Marincea, 2021) مؤثر می‌باشد. تجزیه اوره خفاش ابتدا آمونیاک (NH<sub>3</sub>) تولید می‌کند که در حضور آب، به‌یون آمونیوم (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) بسیار محلول (Audra et al., 2021) تغییر می‌کند.

جلبک در غارها رشته‌های سیانوباکتری (Miscoe et al., 2016a) و دیاتومه (Miscoe et al., 2016b) هستند. دیاتومه‌ها، جلبک غالب در غارها، عموماً در محیط‌های با مواد غذایی و نور کم توانایی زندگی را دارند (Romero, 2009). آن‌ها با انجام فرایند فتوسنتز به کاهش گاز CO<sub>2</sub> در فضای داخل غار منجر می‌شوند.

در نهشته‌های دیواره داخلی سکونتگاه خفاش‌ها نهشته‌های کرمی شکل کربنات کلسیم دیده می‌شود که ناشی از فعالیت‌های میکروبی هستند (Addesso et al., 2021). این میکروب‌ها کمواتوتروف بوده و انرژی لازم برای حیات خود را از طریق سنتز شیمیایی با استفاده از عناصر شیمیایی (مانند Ca, Mg, Fe, Mn, S) و ترکیبات آلی و معدنی در سنگ‌های میزبان، رسوبات غارها، آب‌های زیرزمینی و هوا، جذب می‌کنند. گوانوها، منبع بسیاری از ویروس‌های مشترک بین انسان و حیوانات مانند

ویروس‌های ابولا (Ebola; Hayman et al., 2010)، ماربورگ (Marburg; Calisher et al., 2006)، نیپه (Nipah; Luis et al., 2013)، و کووید ۱۹ هستند (Corona; Dimkić et al., 2021). این ویروس‌ها در دوره‌های گسترش خود در بیماری و مرگ موجودات زنده نقش گسترده‌ای داشته‌اند. گوانوی خفاش مناسب‌ترین بستر برای تولید مثل و انتشار قارچ‌های بیماری‌زا برای حیوانات و انسان است (Ogórek et al., 2016). از جمله می‌توان به مخمرهای بیماری‌زا و قارچ‌های بیماری‌زای کراتینوفیلیک و دیمورفیک انسانی مانند قارچ کریپتوکوکوز کننده Cryptococcosis، و هیستوپلاسما کپسولاتوم (*Histoplasma Capsulatum*) (Alteras, 1966) اشاره کرد (Dimkić et al., 2021).

### آلودگی‌های هوای داخل غارها

غارها محیط‌هایی بدون نور با رطوبت بالا، دمای ثابت و پایین، و حرکات ناچیز هوا هستند (Simon, 2012). دماهای پایین محیط غار باعث کاهش سرعت متابولیسم میکروارگانیسم‌ها و افزایش طول عمر آن‌ها می‌شود و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا در شرایط سخت رشد کنند (Davis et al., 2005). تجزیه گوانو توسط فعالیت‌های میکروبی به‌پدید آمدن اسیدهای قوی سولفوریک و فسفریک می‌انجامد، در حالی که تجزیه اوره خفاش موجب تولید اسید نیتریک و سایر اسیدهای آلی ضعیف می‌شود. این فرآیندها سبب افزایش اسیدیته، انحلال بیشتر یون‌های آلکالی (Forti, 2001) و آزاد شدن انرژی گرمایی (Lundberg and McFarlane, 2021) می‌شوند. میزان گرمای آزاد شده در برخی بخش‌های گوانو بقدری زیاد است که منجر به‌پدید آمدن نقاط داغ، خشک شدن سریع گوانو، تخریب بافت اولیه نهشته‌ها (Onac et al., 2007; Lundberg and McFarlane, 2021) می‌شود (Dumitraş and Marincea, 2021). گرما همچنین سبب تغییر اسیدهای سولفوریک و به‌ویژه اسید نیتریک (به ترتیب) به‌گازهای  $\text{NH}_3$ ،  $\text{H}_2\text{S}$  و انتشار آن‌ها در هوای داخل غار می‌شود (Onac, 2019). صعود گازها و برخورد آن‌ها با سقف غار نیز در پدید آمدن فضاهای گنبدی بالای پشته‌های گوانو (Audra et al., 2019, 2021) همراه با انتشار میکروارگانیسم‌ها در فضای داخل غار (Armstrong et al., 2018) مؤثر می‌باشند. هوای داخل غار زیستگاه مهمی برای فعالیت میکروب‌ها و باز تولیدشان است (Womack et al., 2010) و بسیاری از باکتری‌های موجود در نهشته گوانو وارد اتمسفر غار می‌شوند. فراوانی انواع میکروارگانیسم‌ها در هوای غارها بسیار بالا است (Daniela et al., 2014) و آن‌ها عاملی برای انتقال بیماری‌های مشترک خفاش و انسان، به‌ویژه بیماری هیستوپلاسموز هستند (Jülg et al., 2008). بیماری هیستوپلاسموز، ناشی از وجود قارچ هیستوپلاسما کپسولاتوم *Histoplasma Capsulatum* نوعی عفونت قارچی است که در بیشتر موارد خفیف و غیر قابل تشخیص است. بیماری هیستوپلاسموز ریوی حاد در میان غارشناسان "بیماری غار" نامیده شده است. هیستوپلاسموز می‌تواند ریه‌ها، دستگاه عصبی مرکزی و دستگاه گوارش را درگیر کند. این بیماری شایع‌ترین بیماری پوستی قارچی ناشی از گوانوی خفاش می‌باشد. باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس *Staphylococcus aureus*، استرپتوکوک اشیریشیا کولی *Streptococcus escherichia coli* از دیگر میکروارگانیسم‌های موجود در هوای غار هستند (Borda et al., 2014). تجمع گوانو در غار همچنین می‌تواند منجر به‌افزایش گاز رادون (ناشی از تخریب مواد رادیواکتیو)، مواد سمی و گازهای دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن شود.

### آلودگی آب‌های زیرزمینی

غارها دربردارنده میکروارگانیسم‌های ویژه‌ای هستند که می‌توانند در مقادیر کم به‌عنوان عاملی تهدید کننده بر روی کیفیت آب‌های غار باشند (Bidwell et al., 2010). میکروارگانیسم‌ها به‌طور عمده از طریق مدفوع خفاش‌ها دفع می‌شوند (Fabian

(et al., 2005) و با عبور آب زیر زمینی از داخل و روی نهشته‌های گوانو این آب‌ها توسط آن‌ها آلوده می‌شوند. وجود باکتری‌ها در آب به‌عنوان فراوان‌ترین موجودات زنده ی تک سلولی در آن، قابل توجه هستند. به دلیل اینکه آب نقش اساسی در بقا زندگی انسان ایفا می‌کند، در صورت آلوده بودن توانایی زیادی برای انتقال انواع گوناگونی از بیماری‌ها و امراض را نیز دارد. این بیماری‌ها به وسیله باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها، پروتوزوئرها و کرم‌ها در انسان ایجاد می‌شوند. روش کنترل بیماری‌های یاد شده ریشه کن کردن منبع بیماری است. آبشویی رسوبات گوانو و جریان محلول‌های اسیدی در میان نهشته‌های گوانو و سنگ بستر غار به‌تغییر در فراوانی عناصر در گوانو، تغییر شیمی آب‌های زیرزمینی داخل غار، انحلال و ریزش کف غار، پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه و خشک شدن چشمه‌های پیرامون غار منجر خواهد شد. عبور آب از داخل گوانوها، همانند نشت فاضلاب به‌داخل آب شرب، موجب انتقال مواد مغذی و عوامل بیماری‌زا در آب‌های زیرزمینی، و رشد میکروارگانیسم‌های گوناگون در آن‌ها می‌شود.

### مخاطرات و منشاء عناصر

تحت شرایط طبیعی منشاء عناصر ناشی از آب شویی گوانو و سنگ‌های مسیر به‌وسیله آب‌های زیرزمینی است. فرآیند آب شویی در نهشته‌های گوانو سبب افزایش اسیدیته آب‌های زیر زمینی و حلالیت کاتیون‌های فلزی در آن‌ها می‌شود. آب‌های داخل غار با pH اسیدی نقش مهمی در انحلال و افزایش کاتیون‌های فلزی و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) در محلول‌ها را دارند. با خروج آب از طریق چشمه نزدیک غار و افزایش pH آب، حلالیت مواد محلول کاهش و بخشی از آن به‌صورت آهک و لجن در مسیر آب رسوب می‌کنند. در سال‌های اخیر نگرانی‌هایی در ارتباط با عناصر سرب و HREE به‌وجود آمده است. چرا که این عناصر در محیط زیست ماندگار هستند و تجمع آن‌ها در بدن موجودات زنده خطرآفرین است (Li et al., 2013).

### نتیجه‌گیری

محیط‌های دربردارنده گوانو خطر آفرین هستند. فعالیت میکروارگانیسم‌ها در نهشته‌های گوانو سبب تشکیل اسیدهای معدنی و آلی خواهد شد. آبشویی رسوبات گوانو به‌وسیله محلول‌های اسیدی و جریان این محلول‌ها در میان نهشته‌های گوانو و سنگ بستر غار به‌تغییر فراوانی عناصر در گوانو، تغییر بیوشیمیایی و آلودگی میکروبی در آب‌های زیرزمینی داخل غار، انحلال و ریزش کف غار، پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه و خشک شدن چشمه‌های پیرامون غار خواهد شد. تجزیه گوانو در غار منجر به پراکندگی میکروارگانیسم‌ها، ایجاد گازهای سمی دی اکسید کربن، سولفید هیدروژن، آمونیاک و گاز رادون (ناشی از تخریب مواد رادیواکتیو) در هوای داخل غار می‌شود. در نتیجه تردد زیاد در این غارها سبب بروز بیماری می‌شود. آب در چنین مناطقی بسیار آلوده است و اگر چاه‌ها و چشمه‌ها بدون نظارت مناسب بر کیفیت آب استفاده شوند، می‌توانند از طریق مصرف و تماس با پوست و ورود باکتری‌ها به‌بدن انسان باعث ایجاد بیماری‌های جدی در انسان شود. بالا بودن میزان آرسنیک، سرب، روی و میکروارگانیسم‌ها در آب‌های چنین مناطقی در مقایسه با استاندارد جهانی منجر به‌بیماری‌های مختلف گوارشی، مسمومیت و سنگ کلیه می‌شود. برای رفع مشکلات یاد شده لازم است که غارها، با رعایت موارد بهداشتی و ایمنی، از نهشته‌های گوانو پاک شوند.

منابع:

- امین‌رسولی، ه.، حقیقت‌جو، ن. و مرادی، م.، ۱۴۰۰. ژئوشیمی و سن سنجی  $^{14}\text{C}$  نهشته‌های گوانوی غار کرفتو، دیواندره، استان کردستان. فصلنامه علوم زمین. دوره ۲۱، صفحه ۳۰-۲۱.
- Addesso, R., Gonzalez-Pimentel, J.L., D'Angeli, I.M., De Waele, J., Saiz-Jimenez, C., Jurado, V., Miller, A.Z., Cubero, B., Vigliotta, G., Baldantoni, D., 2021. Microbial Community Characterizing Vermiculatons from Karst Caves and Its Role in Their Formation. *Microbial Ecology* 81:884–896.
- Adetutu, E.M., Ball, A.S., 2014. Microbial diversity and activity in caves. *Microbiology Australia* 35(4): 192-194.
- Armstrong, P., Beard, J., Bonilla, L., Arboleda, N., Lindsley, M., Chae, S., Castillo, D., Nuñez, R., Chiller, T., De Perio, M., Pimentel, R., Vallabhaneni, S., 2018. Outbreak of severe histoplasmosis among tunnel workers—Dominican Republic, 2015. *Clin Infect Dis* 66: 1550- 1557.
- Audra, P., De Waele, J., Bentaleb, I., Chroňáková, A., Křišťůfek, V., D'Angeli, I.M., Carbone, C., Madonia, G., Vattano, M., Scopelliti, G., Cailhol, D., Vanara, N., Temovski, M., Bigot, J.-Y., Nobécourt, J.-C., Galli, E., Rull, F., Sanz-Arranz, A., 2019. Guano-related phosphate-rich minerals in European caves. *International Journal of Speleology* 48: 75-105.
- Audra, P., Heresanu, V., Barriquand, L., Boutchich, M.E.K., Jaillet, S., Pons-Branchu, E., Bosák, P., Cheng, H., Edwards, R.L., Renda, M., 2021. Bat guano minerals and mineralization processes in chameau cave, Eastern Morocco. *International Journal of Speleology* 50: 91-109.
- Bidwell, J.R., Becker, C., Hensley, S., Stark, R., Mever, M.T., 2010. Occurrence of organic wastewater and other contaminants in cave streams in Northeastern Oklahoma and Northwestern Arkansas. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54: 286-298.
- Borda, D.R., Nastase-Bucur, R. M., Spinu, M., Uricariu, R., Mulec, J., 2014. Aerosolized microbes from organic rich materials: case study of bat guano from caves in Romania. *Journal of Cave and Karst Studies* 76: 114–126.
- Calisher, C., Childs, J., Field, H., Holmes, K., Schountz, T., 2006. Bats: important reservoir hosts of emerging viruses. *Clin Microbiol Rev.* 19: 531–545.
- Daniela, R., Borda, R.M., Bucur, N., Spinu, M., Uricariu, R., Mulec, J., 2014. Aerosolized microbes from organic rich materials: case study of bat guano from caves in Romania, *Journal of Cave and Karst Studies* 76: 114–126.
- Davis, R.K., Hamilton, S., Van Brahana, J., 2005. *Escherichia coli* survival in mantled karst springs and streams, northwest Arkansas Ozarks, USA, *Journal of the American Water Resources Association* 41: 1279–1287.
- De Waele, J., Audra, P., Madonia, G., Vattano, M., Plan, L., D'Angeli, I.M., Bigot, J.-Y., Nobécourt, J.C., 2016. Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: Examples from southern France, Austria, and Sicily. *Geomorphology* 253: 452-467.
- Dimkić, I., Stanković, S., Kabić, J., Stupar, M., Nenadić, M., Ljaljević-Grbić, M., Žikić, V., Vujisić, P., Tešević, V., Vesović, N., Pantelić, D., Savić-Šević, S., Vukojević, J., Čurčić, S., 2020. Bat guano-dwelling microbes and antimicrobial properties of the pygidial gland secretion of a trogliphilic ground beetle against them. *Appl Microbiol Biotechnol* 104: 4109–4126.
- Dimkić, I., Fira, D., Janakiev, T., Kabić, J., Stupar, M., Nenadić, M., Unković, N., Grbić, M.L., 2021. The microbiome of bat guano: for what is this knowledge important? *Applied microbiology and biotechnology* 105: 1407–1419.
- Dumitraș, D., Marincea, Ș., 2021. Sequential dehydration of the phosphate–sulfate association from Gura Dobrogei Cave, Dobrogea, Romania. *European Journal Mineralogy*, 33: 329–340.
- Fabian, M.P., Miller, S.L., Reponen, T., Hernandez, M.T., 2005. Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessments of flood reclamation, *Aerosol Science*, 36: 763–783.
- Ferreira, R.L., 2019. Guano communities. In: White WB, Culver DC, Pipan T (eds) *Encyclopedia of caves*, 3rd edn. Academic Press, Cambridge 474–484 pp.
- Ford, D.C., Williams, P., 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley, Chichester, 562 pp.
- Hayman, D.T., Emmerich, P., Yu, M., Wang, L.F., Suu-Ire, R., Fooks, A.R., Cunningham, A.A., Wood, J.L., 2010. Long-term survival of an urban fruit bat seropositive for Ebola and Lagos Bat viruses. *PLOS ONE* 5:

e11978.

- Jülg, B., Elias, J., Zahn, A., Koppen, S., Becker-Gaab, C., Bogner, J.R., 2008. Bat-Associated Histoplasmosis Can Be Transmitted at Entrances of Bat Caves and Not Only Inside the Caves, *Journal of Travel Medicine* 15: 133-136.
- Kumaresan, D., Hillebrand-Voiculescu, A.M., Wischer, D., Stephenson, J., Chen, Y., Murrell, J.C., 2015. Microbial life in unusual cave ecosystems sustained by chemosynthetic primary production. In: A.S. Engel (ed.), *Life in extreme environments: microbial life of cave systems*. De Gruyter, Berlin 215- 230 pp.
- Lavoie, K.H., 2015. A grand, gloomy, and peculiar place: microbiology in the Mammoth Cave region. In: A.S. Engel (ed.), *Life in extreme environments: microbial life of cave systems*. De Gruyter, Berlin 47- 78 pp.
- Li, X., Chen, Z., Chen, Z., Yonghe, Z., 2013. A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China 93: 1240-1246.
- Luis, A.D., Hayman, D.T., O'Shea, T.J., Cryan, P.M., Gilbert, A.T., Pulliam, J.R., Mills, J.N., Timonin, M.E., Willis, C.K., Cunningham, A.A., Fooks, A.R., 2013. A comparison of bats and rodents as reservoirs of zoonotic viruses: are bats special? *Proc Biol Sci* 280(1756): 20122753.
- Lundberg, J., McFarlane, D.A., 2021. The impact of burning on the structure and mineral composition of bat guano. *International Journal of Speleology* 50: 189-202.
- Maher, Jr, L., 2006- Environmental information from guano palynology of insectivorous bats of the central part of the United States of America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 237: 19-31.
- Miscoe, L.H., Johansen, J., Vaccarino, M., Pietrasiak, N., Sherwood, A., 2016a- Novel cyanobacteria from caves on Kauai, Hawaii. *Bibliotheca Phycologica* 120: 75- 152.
- Miscoe, L.H., Johansen, J., Kocielek, J., Lowe, R., Vaccarino, M.A., Pietrasiak, N., Sherwood, A., 2016b- The diatom flora and cyanobacteria from caves on Kauai, Hawaii. *Bibliotheca Phycologica*, 120: 3-74.
- Newman, M.M., Klopper, L.N., Duncan, M., McInroy, J.A., Klopper, J.W., 2018. Variation in Bat Guano Bacterial Community Composition With Depth. *Frontiers in Microbiology* 9: 1-9.
- Ogórek, R., Dyląg, M., Kozak, B., Višnovska, Z., Tančinová, D., Lejman, A., 2016. Fungi isolated and quantified from bat guano and air in Harmanecká and Driny Caves (Slovakia). *J Cave Karst Stud* 78(1): 41-49.
- Onac, B.P., 2019. Cave discovered by mining activities and mined caves. In: G.M.L. Ponta and B.P. Onac (eds.), *Cave and karst systems of Romania*. Springer International, Cham 475-483 pp.
- Onac, B.P., Forti, P., 2011- Minerogenetic mechanisms occurring in the cave environment: an overview. *International Journal of Speleology* 40: 79-98.
- Onac, B.P., Vereş, D.Ş., 2003. Sequence of secondary phosphates deposition in a karst environment: evidence from Măgurici Cave (Romania). *European Journal of Mineralogy* 15: 741-745.
- Onac, B.P., Effenberger, H.S., Breban, R.C., 2007- High-temperature and "exotic" minerals from the Cioclovina Cave, Romania: a review. *Studia UBB, Geologia* 52: 1-7.
- Ortiz, M., Neilson, W.J., Nelson, W.M., Legatzki, A., Byrne, A., Yu, Y., Wing, R.A., Soderlund, C.A., Pryor, B.M., Pierson III, L.S., Maier, R.M., 2013. Profiling Bacterial Diversity and Taxonomic Composition on Speleothem Surfaces in Kartchner Caverns, AZ. *Microbial Ecology* 65: 371-383.
- Romero, A., 2009- *Cave biology: Life in darkness*. 1st ed., New York, Cambridge University Press, 306 p.
- Simon, K.S., 2012. Cave ecosystems. In: W.B. White and D.C. Culver (eds.), *Encyclopedia of Caves*, 2nd ed. Amsterdam, Academic Press: 4.
- Wolkers-Rooijackers, J., Rebmann, K., Bosch, T., Hazeleger, W., 2019. Fecal bacterial communities in insectivorous bats from the Netherlands and their role as a possible vector for foodborne diseases. *Journal Acta Chiropterologica* 20: 475- 483.
- Womack, A.M., Bohannon, B.J., Green, J.L., 2010. Biodiversity and biogeography of the atmosphere, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. Biological Sciences* 365: 3645-3653.
- Wurster, C.M., Munksgaard, N., Zwart, C., Bird, M.I., 2015. The biogeochemistry of insectivorous cave guano: a case study from insular Southeast Asia. *Springer International Publishing Switzerland* 124:1-13.

## بررسی تاثیرات مصرف آب آشامیدنی آلوده به عناصر سنگین فلزی بر ساختار هیستولوژیکی و عملکرد اندام‌های کبد و کلیه در شرایط آزمایشگاهی

سیامک یاری<sup>۱\*</sup>، ابراهیم طالع فاضل<sup>۲</sup>، رضا علی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup>گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>۲</sup>گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

yarisiamak@yahoo.com

### چکیده:

فرایند استحصال طلا یکی از منابع اصلی آلودگی به فلزات سنگین در محیط است. مطالعات نشان داده که فلزات سنگین نظیر جیوه، آرسنیک و کادمیوم در پساب معدن طلای زرشوران وجود دارد. در این پژوهش تاثیر مصرف آب جمع‌آوری شده از حوزه آبریز محدوده معدن طلای زرشوران از نظر هیستولوژیکی و بیوشیمیایی بر اندام‌های داخلی کبد و کلیه موش بررسی شده است. در این مطالعه از ۲۰ سر موش نژاد NMRI به دو گروه: کنترل (مصرف آب شیر به عنوان آب آشامیدنی) و گروه زرشوران (مصرف آب رقیق شده حوزه زرشوران (به نسبت یکی به یک با آب شیر). بررسی هیستولوژیکی کبد و کلیه با رنگ آمیزی هماتوکسیلین-ئوزین انجام شد. همچنین سطح آنزیم‌های آلانین امینوترانسفراز، آسپاراتات آمینو ترانسفراز، اوره و کراتینین سرم سنجیده شد. بررسی‌های هیستولوژیکی نشان داد که مصرف آب جمع‌آوری شده از حوزه زرشوران اثرات تخریبی بر بافت کبد و کلیه دارد. همچنین تیمار با آب زرشوران منجر به افزایش سطح آنزیم‌های ALT، AST، اوره و کراتینین می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف آب‌های حوزه‌ی زرشوران منجر به آسیب‌های هیستولوژیکی و تغییرات بیوشیمیایی در کبد و کلیه خواهد شد.

کلیدواژه: آرسنیک، کادمیوم، جیوه، کبد، زرشوران

## Evaluation of the effects of drinking water contaminated by heavy metal elements on the histological structure and function of liver and kidney organs in vitro

Siamak Yari<sup>1\*</sup>, Ebrahim Tale Fazel<sup>2</sup>, Reza Alipour<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Department of Biology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

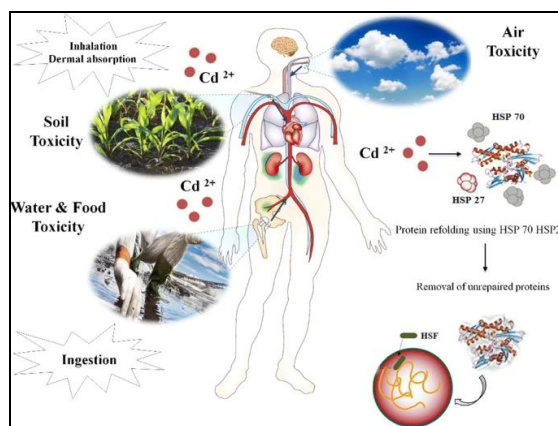
<sup>2</sup>Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

### Abstract

Gold mining is main source of heavy metal contamination in environments. Studies shown that heavy metal including mercury, arsenic and cadmium present in waste water of Zarshuran gold mine during gold extraction process. In this study we aimed to investigate experimentally the effects of consumption of water collected from near the Zarshuran gold mine, histologically and biochemically on liver and kidneys of mice. In this study, 20 male NMRI mice were divided into 2 groups: control (drinking with tap water) and Zarshuran (drinking with Zarshuran gold mine waste water). Histopathological evaluation of hepatic and renal tissues with H&E staining were performed. Additionally, serum aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), blood urea nitrogen (BUN) and creatinine levels were assessed. Histological evaluation show that Zarshuran waste water consumption had disruptive effects on hepatic and renal tissues. In addition, treatment with Zarshuran water resulted in elevated levels of AST, ALT, BUN and creatinine. Results of this study showed that waste water of Zarshuran gold mine result in histopathological and biochemical changes to liver and kidney.

**مقدمه:**

با ازدیاد فعالیت‌های معدنکاری در تمام جهان و انباشت باطله‌های حاصل از معدنکاری در محیط اطراف معدن، اثرات زیست‌محیطی قابل توجه‌ای بر این محیط می‌تواند داشته باشد و منجر به آلوده شدن اکوسیستم منطقه شود که شامل آلوده شدن منابع آب (آب‌های سطحی و زیرزمینی)، آلودگی هوا و خاک است. هیچ یک از فعالیت‌های معدنکاری اعم از استخراج ذخایر فلزی و غیرفلزی بدون اثرات جانبی زیست‌محیطی و تخریب محیط نبوده و طلا نیز از این قاعده مستثنی نیست. معدنکاری فلز طلا اغلب دارای اثرات زیست‌محیطی فیزیکی و شیمیایی است. اثرات فیزیکی آن شامل تخریب سطحی، ایجاد حفرات سطحی، ریختن خاک سطحی غنی از مواد آلی به داخل رودخانه‌ها و منابع آبی و تخریب بستر رودخانه‌ها به علت استخراج رسوبات پلاستی است. ایجاد گردوغبار در حین استخراج و اثرات شیمیایی که در اثر استفاده از جیوه، سیانور، آمونیاک، اکسید نیتروژن، اکسید گوگرد که در بردارنده آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و زمینه‌ساز خطراتی برای جانوران و گیاهان است، نمایان می‌شود و در نهایت در اثر تماس مستقیم یا غیرمستقیم انسان با این مواد، در معرض خطرات جدی قرار می‌گیرد. شکل ۱ عملکرد فلز سنگین کادمیوم ( $Cd^{2+}$ ) در اندام‌های مختلف بدن را نشان می‌دهد.



شکل ۱: عملکرد فلز سنگین کادمیوم به صورت ترکیب یونی  $Cd^{2+}$  در اندام‌های مختلف انسان.

توجه به سابقه طولانی فعالیت معدن طلا-آرسنیک دار منطقه معدنی زرشوران (شمال تکاب)، اثرات فعالیت‌های معدنکاری بر منطقه مورد مطالعه، همچنین با توجه به موقعیت و مسیرهای عبور رودخانه زرشوران (از بالادست معدن، روستاهای اطراف معدن و زمین‌های کشاورزی)، به نظر می‌رسد که بررسی اثرات زیست‌محیطی فعالیت معدن مذکور بر روی آب و رسوبات بستر رودخانه زرشوران، امری بسیار مهم و ضروری است. معدن طلا-آرسنیک‌دار زرشوران در ۳۷ کیلومتری شمال تکاب و در ۶ کیلومتری شمال-شمال شرقی روستای زرشوران قرار دارد. این معدن شیب ۴۵ درجه دارد. ورودی آب رودخانه زرشوران از داخل تونل‌های معدن و چشمه‌های اطراف معدن سرچشمه گرفته و با شیب و سرعت نسبتاً زیاد به سوی جنوب منطقه و روستای زرشوران جاری می‌شود (شکل ۲).

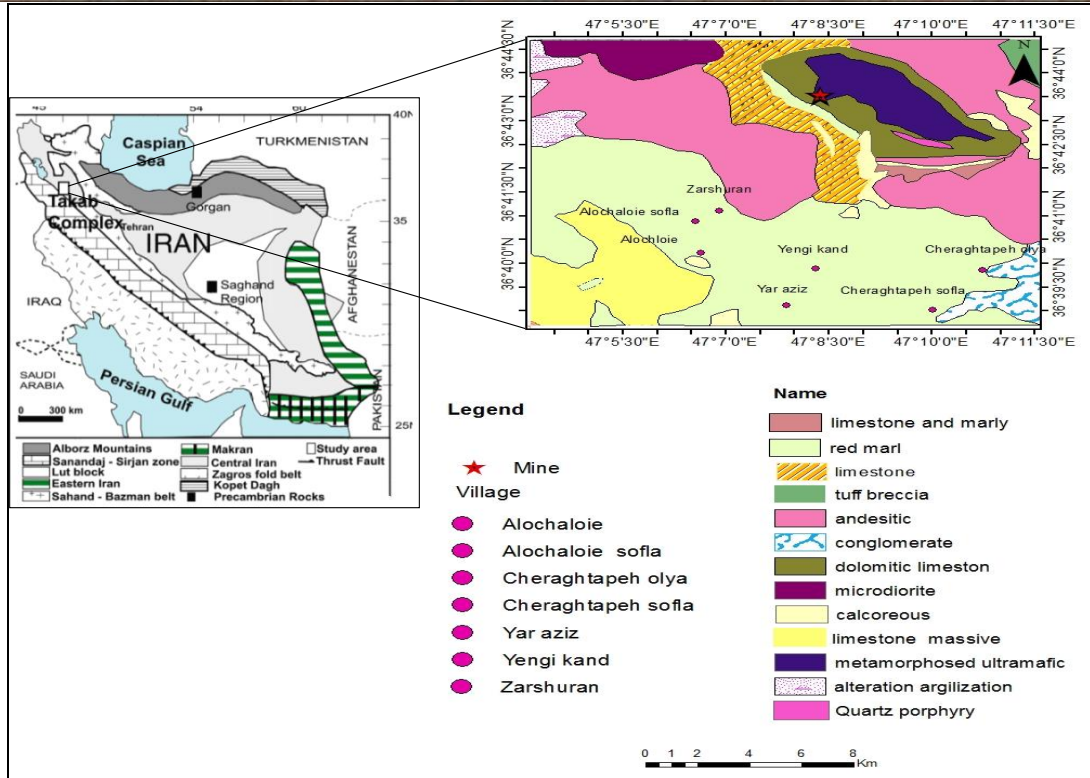




شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای موقعیت اتصال رودخانه زرشوران به ساروق و رسیدن آنها به سد زرینه‌رود.

### زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه:

همانطور که اشاره شد برای دستیابی به اهداف این پژوهش مطالعه موردی بر روی ذهاب‌های معدن طلای زرشوران و تاثیر زیست-محیطی آنها در آب‌های حوزه زرشوران و رود ساروق مورد بررسی قرار گرفته است. معدن زرشوران (مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۲۱ ثانیه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۸ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی) در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان تکاب، استان آذربایجان غربی قرار دارد. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی از میکاشیست و کوارتزیت‌های پرکامبرین تشکیل شده که در هسته‌ی طاق‌دیس ایمان‌خان وجود دارند (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶). پس از آن، واحد زرشوران متشکل از شیل، سیلتستون، آرژیلیت، مواد آلی و رگه‌های ژاسپروئیدی سولفید آرسنیک (طلادار) همراه با میان لایه‌های کربنات تشکیل شده است. این واحد میزبان بخش اصلی کانی‌سازی در معدن طلای زرشوران است (موسوی، ۱۳۹۵). دامنه‌ی جنوبی طاق‌دیس از توف ریولیتی، کوارتزپورفیری، ریولیت دگرسان شده، ماسه‌سنگ و شیل‌های قرمز و دولومیت‌های که روی واحد زرشوران قرار دارد، تشکیل شده‌اند. سن اغلب این واحدها کامبرین زیرین-اردوویسین است و توسط بخش‌های پایین‌تر پالئوزوئیک و ترشیاری دنبال می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳: موقعیت منطقه تکاب در نقشه زمین‌شناسی-ساختاری ایران و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (علامت ستاره).

### روش مطالعه:

**نمونه‌برداری:** نمونه‌برداری‌ها در راستای رودخانه زرشوران و در نزدیک‌ترین فاصله ممکن از معدن و همچنین از انشعابات رودخانه و آب آشامیدنی در روستاهای یارعزیز و زرشوران برداشت شدند. نمونه‌برداری در فصل کم بارش انجام شد. طی آن تعداد ۱۰ نمونه آب و ۱۶ نمونه از رسوبات و انشعابات رودخانه در روستاهای یارعزیز و زرشوران، به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین برداشت شد. در تصاویر شکل ۴ وضعیت زمین‌شناسی و مورفولوژی حوزه آبریز منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

**حیوانات آزمایشگاهی و طراحی آزمایش:** در این مطالعه، موش نژاد NMRI با وزن تقریبی ۳۰-۴۰ گرم استفاده شد. حیوانات در شرایط استاندارد از نظر دوره روشنایی-تاریکی، دما (۲۵ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نگهداری شدند و دسترسی نامحدود به آب و غذا داشتند. موازین اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی که مورد تایید کمیته اخلاق گروه زیست‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان بود، هنگام کار با رت‌ها رعایت شد. حیوانات آزمایشگاهی به دو گروه و هر گروه شامل ۶ سر رت تقسیم شدند. گروه اول (کنترل): دریافت آب آشامیدنی شهری، گروه دوم: دریافت آب آشامیدنی حوزه معدنی پس از طی شدن دوره مطالعه (۳۰ روز)، حیوانات با تزریق فنوبایتورات کشته شدند. کبد و کلیه‌ها بلافاصله خارج شدند و پس از شستشو، توزین شدند. کبد و کلیه‌های خارج شده پس از شستشو با سالین سرد به فرمالین بافری خنثی ۱۰ درصد منتقل شدند. همچنین خون موش‌ها پس از بیهوشی، جمع‌آوری شد و پس از جدا کردن سرم، نمونه‌ها به فریزر ۷۰- منتقل شدند تا برای سنجش میزان آنزیم‌های کبدی، اوره و کراتینین مورد استفاده قرار گیرند.

**بررسی‌های هیستولوژیکی:** نمونه‌های بافتی تهیه شده از هر یک از کلیه‌های متعلق به گروه‌های مختلف پس از خارج نمودن از بدن حیوانات مورد مطالعه، در فرمالین خنثی شده بافری ۱۰ درصد تثبیت شدند پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها با استفاده از محلول‌های اتانولی با درجات صعودی آبیگری شدند و پس از شفاف‌سازی، با استفاده از پارافین، نمونه‌ها قالب‌گیری شدند. در ادامه، برش‌هایی با ضخامت ۵ میکرومتر از نمونه‌های بافتی با استفاده از میکروتوم تهیه شد و سپس برش‌های تهیه شده پارافین زدایی شد و با استفاده از

رنگ‌های هماتوکسین و اتوزین، رنگ آمیزی شدند و با استفاده از میکروسکوپ نوری (زایس) بررسی شدند و عکس برداری از بخش‌های مورد مطالعه صورت گرفت. پارامترهای زیر در مطالعه‌ی برش‌های بافت کبد مورد بررسی قرار گرفت:

۱. نحوه توزیع ارتشاح سلول‌های التهابی، ۲. توزیع سلول‌های کوپفر، ۳. چیدمان توپرکولارها در لوب‌های کبدی، ۴. وجود اریتروسیت‌ها در بافت کبدی

همچنین، پارامترهای زیر در برش‌های بافت کلیه گروه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت:

۱. نکروز توپولی، ۲. اتساع لوله‌های توپولی، ۳. ارتشاح سلول‌های التهابی، ۴. فیروز بافت بینابینی، ۵. ناهنجاری‌های شکلی موجود در گلومولها

سنجش آنزیم‌های کبدی ALT و AST و همچنین فاکتورهای عملکردی کلیه شامل اوره و کراتینین موجود در سرم: میزان آنزیم‌های کبدی و میزان اوره و کراتینین سرم خون موش‌های متعلق به گروه‌های مختلف تیماری با استفاده از کیت تشخیصی مورد نظر سنجش شد.

آنالیز آماری: داده‌های بدست آمده از سنجش میزان اوره و کراتینین و همچنین وزن نسبی کلیه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با روش Turkey's post hoc مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد.



شکل ۴: دورنمایی از معدن زرشوران به همراه زهاب‌های اسیدی حاصل از استخراج و نمونه برداری از رودخانه‌های حوزه مورد مطالعه.

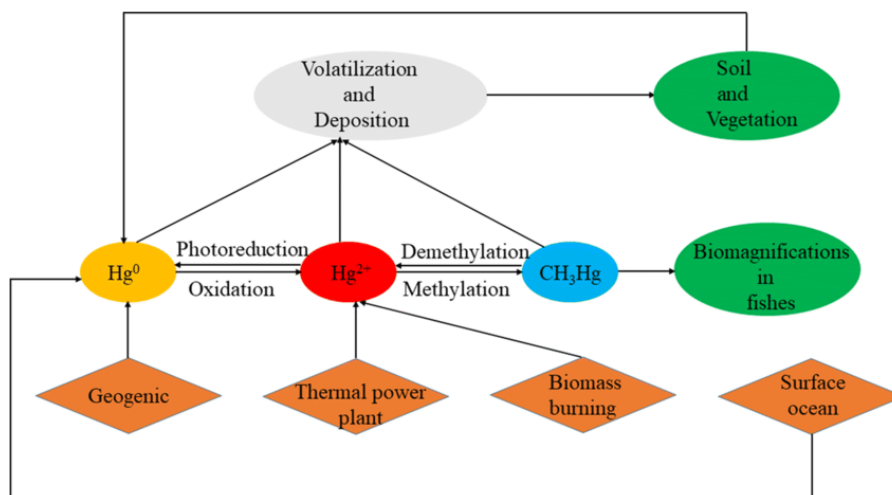
بحث:

#### آسیب‌شناسی مصرف آب‌های منطقه بر اندام‌های داخلی موجود

شش و سیستم گوارشی دو مسیر اصلی است که موجب آلودگی و مسمومیت با فلز کادمیوم می‌شوند. البته از طریق پوست هم امکان آلودگی وجود دارد ولی میزان آن کمتر است. کادمیوم از طریق ناقل‌هایی که در روده باریک حضور دارند از دیواره لوله گوارشی عبور می‌کند. این ناقل‌ها در واقع ناقل‌های یون‌های دوظرفیتی غیراختصاصی هستند. از آنجاییکه تمایل این ناقل‌ها به جذب یون کادمیوم بیشتر از یون‌های دوظرفیتی ضروری بدن مانند یون آهن دوظرفیتی می‌باشد، لذا در صورت حضور یون کادمیوم در مواد غذایی و آب آشامیدنی، نسبت به یون‌های فلزی مورد نیاز بدن، به میزان بیشتری جذب بدن موجودات زنده و همچنین انسان می‌شود (Johri et al., 2010). همچنین مطالعات نشان داده است که کمبود برخی یون‌های فلزی مورد نیاز بدن مانند  $Fe^{2+}$  موجب افزایش تولید ناقل‌های یونی بخش راسی اپیتلیوم روده می‌شود و در صورت آلوده بودن مواد غذایی و آب آشامیدنی به کادمیوم، میزان جذب کادمیوم

تشدید می‌گردد همین امر علت مستعد بودن زنان به آلودگی‌های کادمیوم را توجیه می‌کند. یون کادمیوم پس از ورود به سلول، با ترکیبی به نام متالوتیونین پیوند برقرار می‌کند و مطالعات نشان داده است که میزان سمیت کادمیوم در حالت کمپلکس با متالوتیونین، به میزان زیادی کاهش می‌یابد (Johri et al., 2010). البته بایستی خاطر نشان شد که ذخیره‌ی سلولی متالوتیونین محدود می‌باشد و در صورت تداوم آلودگی با کادمیوم، این ظرفیت خنثی‌سازی سمیت کادمیوم از طریق تشکیل کمپلکس کاهش یافته و عوارض شدید مسمومیت سلولی با کادمیوم بروز می‌کند. از آنجاییکه اولین سلول‌هایی که در معرض یون‌های کادمیوم هستند و در جذب این یون‌ها دخیل می‌باشند، اپیتلیوم روده باریک می‌باشد لذا می‌توان کاهش شدید وزن حیوانات آزمایشگاهی مورد مطالعه را تخریب سلول‌های اپیتلیوم روده باریک و در نتیجه عدم جذب صحیح مواد غذایی دانست.

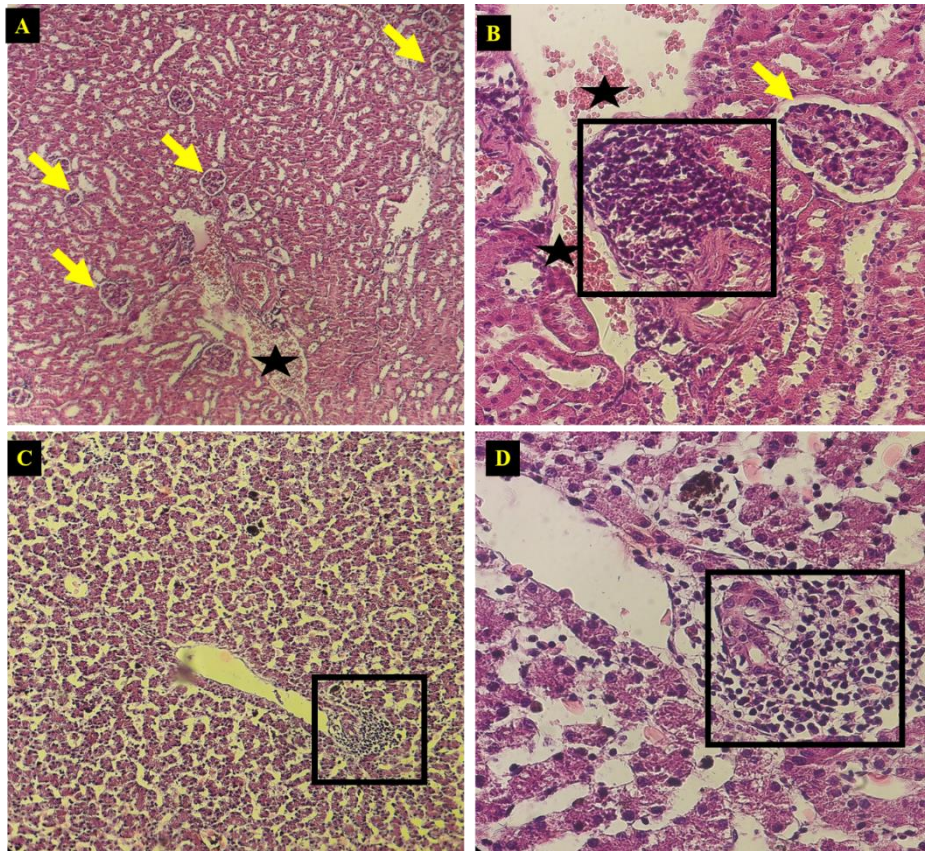
جیوه در هوا، آب و خاک به فرم‌های جیوه فلزی ( $Hg^0$ ) و جیوه غیرآلی ( $Hg^{2+}$  و  $Hg^+$ ) و همچنین جیوه آلی عموماً به شکل متیل و اتیل مرکوری حضور دارد (شکل ۵). جیوه عنصری یا فلزی در دمای اتاق به شکل مایع بوده و تبخیر می‌شود و بخارات حاصله سمیت بیشتری نسبت به جیوه مایع دارد. میزان سمیت جیوه آلی بیشتر از فرم غیر آلی جیوه می‌باشد. ترکیبات جیوه در صنعت اکتشاف معدن برای استخراج طلا، تولید لامپ‌های فلورسنت و همچنین در تولید بعضی داروها در گذشته استفاده شده است (Chen et al., 2019). همچنین از کلرید جیوه در تولید کرم‌های سفید کننده پوست استفاده می‌شود این ترکیب با مهار آنزیم تیروزین کیناز موجب کاهش تولید ملانین در ملانوسیت‌ها می‌شود (El-Sokkary et al., 2005; Fay et al., 2018). همچنین از یک ترکیب آلی حاوی جیوه تحت عنوان تیمروسال به‌عنوان ترکیب حفاظتی در واکسن‌ها استفاده می‌شود.



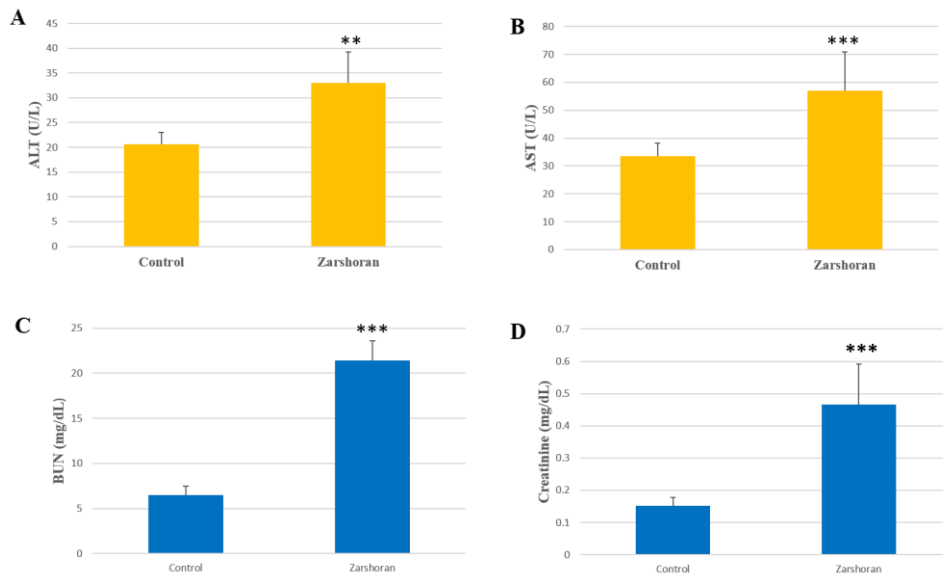
شکل ۵: نمودار جریانی عملکرد فلز سنگین جیوه در محیط‌های مختلف (Balali-Mood et al., 2021).

کبد اولین اندامی است که یون‌های کادمیوم موجود در جریان خون، وارد آن می‌شوند (Gorini et al., 2014). با اینکه متالوتیونین موجود در سلول‌های کبدی و بطور کلی هر سلول دیگری از بدن، نقش حمایتی از سلول در برابر سمیت کادمیوم دارد با این حال، پس از مصرف مولکول‌های متالوتیونینی ذخیره شده در سلول‌ها، آسیب‌های سلولی شدید شروع به ظاهر شدن در بافت مذکور می‌گردد. از این رو کبد یکی از اندام‌های اصلی درگیر با مسمومیت فلزات سنگین بوده و در این مطالعه نیز ما شاهد آسیب‌های شدید بافتی در کبد موش‌های تیمار شده با آب آلوده به کادمیوم بودیم. در برش‌های بافتی کبد موش‌های تیمار شده با آب دارای کادمیوم شاهد بهم ریختگی شدید بافتی، خونریزی، اتساع مجاری درون لوبولی، فیبروز بافتی و همچنین ارتشاح سلول‌های التهابی بودیم (شکل ۶). از طرفی شاهد افزایش سطح آنزیم‌های کبدی مانند آلانین آمینو ترانسفراز و آسپاراتات آمینو ترانسفراز به شکل معنی داری نسبت به آنزیم‌های کبدی گروه کنترل بودیم (شکل ۶). این آنزیم‌ها درون سلول‌های عملکردی پارانشیم کبد قرار دارند و در صورت

آسیب سلولی و تخریب غشای سلول‌های کبدی وارد جریان خون می‌شوند از این رو افزایش سطح این آنزیم‌ها در خون نشانه افزایش آسیب‌های بافتی می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپ نوری از برشهای مربوط به بافت کبد و کلیه در بزرگنمایی‌های مختلف. در A و B شاهد آتروفی گلوبرولی (پیکان زرد رنگ)، خونریزی و اتساع عروق (ستاره سیاه‌رنگ) و ارتشاح سلولهای التهابی (کادر سیاه‌رنگ) هستیم. در تصویر C و D شاهد ارتشاح شدید سلولهای التهابی در بخش‌های مختلف هستیم (کادر سیاه‌رنگ).



شکل ۷: مقایسه میانگین سطح آنزیم ALT، AST، اوره (BUN) و کراتینین در سرم گروه‌های کنترل و موش‌های متعلق به گروه زرشوران.

قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین نظیر کادمیوم، سرب، جیوه و آرسنیک و ورود این عناصر به بدن منجر به تولید رادیکالهای آزاد و در نتیجه استرس اکسیداتیو در بافتهای مختلف بدن موجودات زنده مختلف می شود. بعنوان مثال آرسنیک در بدن رادیکالهای سوپراکسید، نیتریک اکساید و پراکسید هیدروژن می شود. سایر عناصر هم مشابه با آرسنیک باعث افزایش رادیکالهای آزاد در بدن انسان یا موجودات زنده در معرض فلزات سنگین می شود (Balali-Mooda et al., 2021). همچنین فلزات سنگین باعث کاهش ذخیره آنتی اکسیدانی بافتهای مختلف می شود بعنوان مثال این فلزات سنگین باعث غیرفعال شدن گلوکوتایون ردوکتاز و گلوکوتایون پراکسیداز که از جمله آنتی اکسیدانتهای آنزیمی و درونزاد می باشند، می شود. کاهش ذخیره آنتی اکسیدانتهای درون سلولی منجر به آسیبهای درون سلولی و در نهایت القا مرگ سلولی می شود (Gazwi et al., 2020).

آرسنیک یکی دیگر از فلزات سنگینی بود که در آب آشامیدنی موشهای تیمار شده در این مطالعه حضور داشت. در واقع در حالت طبیعی هم منبع آلودگی با این فلز از طریق مصرف غذا و آب آشامیدنی می باشد. بررسیها نشان داده که مهمترین مسیر ورود آرسنیک به بدن از طریق سیستم گوارشی (روده باریک) می باشد. تماس پوستی و تنفس هم مسیرهای دیگر آلوده شدن موجودات با این فلز می باشد. آرسنیک پس از ورود به بدن در اندامهای مختلف مانند مغز، کبد، کلیه و ماهیچهها انباشته می شود و منجر به شکل گیری آسیبهای بافتی می گردد. آرسنیک با مهار گروههای سولفیدریل موجود در آنزیمها، منجر به اختلال در عملکرد بسیاری از آنزیمهای حیاتی بدن می شود. همچنین آرسنیک با مهار عملکرد آنزیم پیرووات دهیدروژناز منجر به توقف چرخه کربس و در نهایت باعث توقف سنتز ATP در سلولها می شود. توقف تولید ATP منجر به القا مرگ سلولی در سلولهای در معرض این عنصر می شود (شکل ۷). همچنین آرسنیک منجر به آسیب شدید به اندوتلیوم رگها شده و باعث پارگی عروق و مویرگها و در نتیجه هموراژی بافتی می شود (Yates and Goldman, 1990). در مطالعه حاضر نیز می توان یکی از علل وجود خونریزیهای بافتی مشاهده شده در برشهای بافت کبدی را به حضور و القا مسمومیت ناشی از آرسنیک نسبت داد.

#### نتیجه گیری:

موجودات آبی یکی از مهمترین منابع متیله شدن جیوه موجود در منابع آبی می باشند و از طریق همین موجودات به ویژه ماهیها جیوه آلی (متیل مرکوری) وارد زنجیره غذایی انسانها می شود و همانطوریکه گفته شد توکسیسیتی جیوه به فرم آلی از تمامی فرمهای دیگر جیوه بیشتر است. مسمومیت با جیوه آلی عوارضی مانند آتاکسی، خستگی مفرط، ناتوانی در تکلم، ناتوانی در بلع و جویدن را نشان می دهد. کبد و کلیه از جمله اندامهایی هستند که بیشترین آسیبهای ناشی از مسمومیت با جیوه را متحمل می شوند. مطالعات کلینیکی نشان داده است که بین میزان جیوه در خون افراد و سطح آنزیمهای کبدی مانند آلانین ترانسفراز و آسپارات آمینو ترانسفراز رابطه مستقیم وجود دارد که نشان دهنده تخریب و مرگ سلولی در هپاتوسیتهای کبد می باشد. مطالعات نشان داده است که در افرادی که در مناطق معدنی دارای جیوه زندگی می کنند سطح کراتینین و اوره که دو شاخص اصلی عملکرد کلیه هستند افزایش پیدا می کند که نشان دهنده آسیب به بافت کلیه می باشد. در مطالعه حاضر نیز شاهد آسیب شدید هیستولوژیکی در بافت کبد بودیم. در واقع مطالعات نشان داده است که در شرایطی که چند فلز سنگین که توانایی ایجاد مسمومیت در بدن افراد دارند به صورت همزمان باعث آلودگی موجود زنده شوند میزان آسیب وارد شده به مراتب بیشتر از عوارض ناشی از یک عنصر خواهد بود که این امر نشانگر تاثیر سینرژیستیک این عناصر می باشد.

#### منابع:

باباخانی، ع.، قلمقاش، ج.، ۱۳۷۶. برگه زمین شناسی تخت سلیمان در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

موسوی، پ.، ۱۳۹۵، بررسی آلودگی‌های زیست محیطی عناصر سنگین و سمی در منطقه زرشوران، شمال تکاب، آذربایجان غربی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.

- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M., Sadeghi, M., (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in Pharmacology*. 12. 643972.
- Chen, X., Wang, Z., Zhu, G., Nordberg, G. F., Jin, T., and Ding, X. (2019). The association between cumulative cadmium intake and osteoporosis and risk of fracture in a Chinese population. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 29: 435–443.
- El-Sokkary, G. H., Abdel-Rahman, G. H., and Kamel, E. S. (2005). Melatonin protects against lead-induced hepatic and renal toxicity in male rats. *Toxicol.* 213: 25–33.
- Fay, M.J., Alt, L.A.C, Ryba, D., Salamah, R., Peach, R., Papaeliou, A. (2018). Cadmium nephrotoxicity is associated with altered microRNA expression in the rat renal cortex. *Toxics* 6: 16.
- Gazwi, H.S.S., Yassien, E.E., and Hassan, H.M. (2020). Mitigation of lead neurotoxicity by the ethanolic extract of Laurus leaf in rats. *Ecotoxicol. Environ. Safe* 192: 110297.
- Gorini, F., Muratori, F., and Morales, M.A. (2014). The role of heavy metal pollution in neurobehavioral disorders: a focus on autism. *Rev. J. Autism Dev. Disord.* 1: 354–372.
- Johri, N., Jacquillet, G., Unwin, R., (2010). Heavy metal poisoning: The effects of cadmium on the kidney. *Biomaterials: an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine.* 23: 783-92.
- Yates, D.H., Goldman, K.P., (1990). Acute cadmium poisoning in a foreman plater welder. *Br J Ind Med* 47: 429–431.

## ارزیابی تأثیر کودهای شیمیایی بر فرسایش پذیری خاک‌های منطقه حیدره همدان با

### دستگاه شبیه ساز باران

سید داود محمدی<sup>۱\*</sup>، فاطمه روحی معین<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیات علمی گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا

d.mohammdi@basu.ac.ir

#### چکیده:

پارامترهای مختلفی بر میزان فرسایش پذیری خاک‌ها موثر می‌باشند که از این میان می‌توان به کودهای شیمیایی اشاره نمود. به منظور بررسی تأثیر کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم به خاک‌های منطقه حیدره همدان سه ایستگاه نمونه برداری انتخاب شده، و سپس آزمایش‌های پایه خاک از جمله دانه بندی نمونه‌های خاک، تعیین Gs، حدود آتربرگ، آزمایش پین هول، تعیین درصد کربنات کلسیم، تعیین ماده آلی، تعیین کلر، تعیین مقدار سولفات و pH بر روی نمونه‌های خاک پایه انجام شد. در این راستا به نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه مقادیر درصدی ۱٪، ۳٪، ۵٪، ۷٪ و ۹٪ کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم به طور مجزا اضافه گردید. سپس، آزمایش‌های پین هول (سوراخ سوزنی) و نیز فرسایش با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران با درصدهای مختلف کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم بر روی نمونه‌های خاک هر سه ایستگاه در شیب‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه انجام گردید. نتایج آزمایش فرسایش نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر کودهای شیمیایی مقدار خاک فرسایش یافته در همه ایستگاه‌های نمونه برداری کاهش چشمگیر داشته است. علت کاهش میزان فرسایش را می‌توان به افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش میزان رواناب، با افزایش مقادیر کودهای شیمیایی مصرفی و نیز عدم تأثیر کودهای مورد استفاده بر میزان واگرایی خاک، مرتبط دانست.

کلیدواژه: واگرایی، کود شیمیایی اوره، کود شیمیایی سولفات پتاسیم، شیب زمین

## Assessment of the chemical fertilizers effect on soil erodibility of Heidareh area of Hamadan by using rainfall simulator

Seyed Davoud Mohammadi<sup>1\*</sup>, Fatemeh Rouhi Moen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Prof. of Engineering Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> M.Sc. of Environmental Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

#### Abstract

Various parameters affect the erodibility of soils, including chemical fertilizers. In order to investigate the effect of urea and potassium sulfate fertilizers on the soils of Heidareh area of Hamedan, three sampling stations were selected, and then principle experiments including soil sample size, determination of Gs, Atherberg limits, pinhole test, determination of calcium carbonate percentage, determination of the organic matter, Chlorine determination, sulfate content, and pH were undertaken on soil samples. In this regard, the percentages of 1%, 3%, 5%, 7%, and 9% of urea fertilizer and potassium sulfate fertilizer were added to the soil samples of the studied stations separately. Then pinhole and also erodibility tests were undertaken by using a rainfall simulator with different percentages of urea fertilizer and



potassium sulfate fertilizer on soil samples of all three stations in slopes of 10, 20, 30, and 40 degrees. The results of the erosion test show that with increasing the amount of chemical fertilizers, the amount of eroded soil in all sampling stations has decreased significantly. The reason for reducing erosion can be related to increasing soil permeability and reducing runoff, by increasing the amount of chemical fertilizers and also the lack of effect of fertilizers on soil dispersive.

#### مقدمه:

شبیه سازی باران به طور وسیعی در شناخت فرسایش و فرایندهای مربوط به آن مورد استفاده قرار گرفته است. طراحی و ساخت دستگاهی که باران‌هایی مشابه باران طبیعی تولید نماید، بدون شناخت عوامل مؤثر در فیزیک باران، میسر نیست. با توجه به وضعیت بحرانی فرسایش در ایران، اخیراً در محل پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری برای شبیه سازی باران و فرسایش، آزمایشگاهی ساخته شده که از بسیاری جنبه‌ها متفاوت از سایر انواع موجود در کشور می‌باشد. استفاده از شبیه ساز باران در پارامترسازی و واسنجی مدل‌های با مبنای فیزیکی کاربرد دارد (Seeger and Ries, 2000). استفاده از کودهای شیمیایی در مزارع کشاورزی به اندازه نیاز گیاه لازم می باشد اما امروزه استفاده بیش از اندازه و فراوان از کودهای شیمیایی باعث ایجاد خطرات زیست محیطی زیادی از جمله فرسایش پذیری و آلودگی خاک های مختلف شده است. استفاده بیش از اندازه از کودهای شیمیایی در یک منطقه علاوه بر تاثیر سوء بر گیاهان، باعث تغییر در رفتار خاک ها می شود که در این راستا می توان به مخاطره زیست محیطی فرسایش خاک ها اشاره نمود. برخی تحقیقات در زمینه استفاده از شبیه سازی باران شامل بررسی تولید رواناب و فرسایش در شرایط مختلف اقلیمی (Imeson et al., 1998)، ساختمان خاک سطحی نظیر سله (Le Bissonais et al., 2005) و مطالعه تغییر در خصوصیات خاک در اثر بارندگی در مناطق کشاورزی (Schiettecatte et al., 2005) می‌باشد.

جیلی و رایس (Gilley and Risse 2000) اثر کود دامی را بر روی رواناب و فرسایش خاک بررسی کرد. در این مطالعه از ضایعات دامی برای بهبود تولید محصولات زراعی و خاصیت خاک به دلیل داشتن مواد مغذی استفاده شده است. کود دامی به شدت بر مقدار رواناب اثر می‌گذارد، و فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. البته کودی که به صورت سالانه به خاک اضافه می‌شود، کاهش چشمگیری در تولید رواناب و رسوب خاک دارد.

ازدمیر و همکاران (Özdemir et al., 2015) اثر مواد آلی و معدنی را بر فرسایش پذیری خاک بررسی کرد. نمونه‌های خاک با مواد آلی و معدنی نظیر آهک، زئولیت و پلی آکریل آمید به مدت ۱۰ هفته در چهار سطح اصلاح شد. بعد از اصلاح و تیمار خاک با مواد آلی و معدنی، افزایش پایداری ساختار و کاهش فرسایش پذیری خاک مشاهده گردید. اثر بخشی بهبود خاک، بسته به نوع و میزان مواد آلی و معدنی متفاوت است.

در این پژوهش، به منظور بررسی تاثیر کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم به خاک های منطقه حیدره همدان سه ایستگاه نمونه برداری انتخاب شده، و سپس آزمایش‌های پایه مهندسی بر روی نمونه‌های خاک پایه انجام شد. در این راستا به نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه مقادیر مختلفی از کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم به طور مجزا اضافه گردید. آزمایش فرسایش با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران نیز با درصد های مختلف کود شیمیایی اوره و کود شیمیایی سولفات پتاسیم بر روی نمونه‌های خاک هر سه ایستگاه در شیب‌های مختلف انجام گردید.

#### روش مطالعه:

- نمونه برداری و آماده سازی

منطقه حیدره همدان یکی از دره‌های واقع در کوهستان الوند است و در حاشیه غربی شهر همدان، بین دره عباس آباد و دره وسیع و کم عمقی به نام دره فخرآباد قرار دارد. مسیر دسترسی به منطقه حیدره از طریق میدان مدرس به سمت بلوار آزادگان، دانشکده کشاورزی و در ادامه به دره حیدره که از طریق مسیر آسفالته است. این تحقیق شامل سه ایستگاه نمونه برداری ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. مختصات نقاط ایستگاه‌های نمونه برداری در جدول (۱) ارائه شده است. به طور کلی نمونه برداری به صورت دست خورده و پراکنش نمونه‌ها به صورت زیکزاک بوده است.

جدول ۱: مختصات نقاط نمونه برداری مورد مطالعه

شماره ایستگاه نمونه برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ایستگاه ۱	۳۴° ۴۹' ۲۰"	۴۸° ۲۵' ۹۶"
ایستگاه ۲	۳۴° ۴۹' ۲۲"	۴۸° ۲۶' ۴۹"
ایستگاه ۳	۳۴° ۴۹' ۴۵"	۴۸° ۲۷' ۰۸۳"

### برنامه آزمایش‌های خاک

مطالعات آزمایشگاهی در راستای این پژوهش به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های شیمیایی و رفتار مهندسی خاک‌های منطقه مورد مطالعه مطابق استاندارد ASTM صورت پذیرفته است. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به طور کلی عبارت از تعیین حدود آتربرگ، دانه بندی و رده بندی خاک، تعیین وزن مخصوص ذرات جامد (Gs)، آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD)، تعیین درصد آهک خاک‌ها (کلسیمتری)، تعیین درصد مواد آلی خاک‌ها، تعیین درصد سولفات، تعیین pH، انجام آزمایش واگرایی از نوع پین هول (سوراخ سوزنی)، انجام آزمایش تراکم استاندارد و آزمایش فرسایش با دستگاه شبیه ساز باران بر روی خاک‌های پایه و آلوده به کود شیمیایی در شیب‌های ۱۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه می‌باشد.

جدول ۲: تعداد آزمایش‌ها و استانداردهای انجام آنها در این پژوهش

نام آزمایش	تعداد آزمایش	استاندارد آزمایش
دانه بندی مکانیکی	۳	ASTM D422-63
هیدرومتری	۳	ASTM D422-63
رده بندی خاک	۳	ASTM D422-63
حدود آتربرگ	۱۸	ASTM D4318-84
تعیین pH	۳	ASTM D4972 - 18
XRD	۳	ASTM STP479
تعیین Gs	۹	ASTM D854-87
تراکم استاندارد	۳	ASTM D698-78
درصد مواد آلی	۳	ASTM D2974 - 14
درصد کلر و سولفات	۱۸	ASTM C1580
واگرایی خاک	۳	ASTM D4647

### برنامه آزمایش‌های فرسایش پذیری

به منظور بررسی تأثیر کودهای شیمیایی متداول به کار رفته در منطقه مورد مطالعه (کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم) بر میزان فرسایش پذیری با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران، نمونه‌های خاک با درصدهای ۱٪، ۵٪ و ۹٪ کودهای

شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم آلوده شده، سپس با استفاده از رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک بدست آمده از آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه خاک‌های آلوده شده با کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم، نمونه خاک‌های مورد مطالعه در قالب‌های مخصوص فرسایش، متراکم شده است.

بحث:

### نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک پایه

کلید آزمایش‌های پایه بر روی خاک پایه مطابق استانداردهای ASTM انجام گردیده و نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: خلاصه نتایج آزمایش‌های پایه روی خاک‌های مورد مطالعه

ایستگاه	رده خاک	Gs	درصد رطوبت بهینه	وزن واحد حجم حداکثر (gr/cm <sup>3</sup> )	درصد کلر	درصد کربنات کلسیم	مقدار pH	مواد آلی (g)	توصیف واگرایی خاک
ایستگاه ۱	CL	۲/۷۱	۱۷/۵	۱/۶۲	۱/۶	۲۸/۸۸	۷/۸۶	۰/۱۹	غیر واگرا
ایستگاه ۲	CL	۲/۷۰	۱۴	۱/۷۸	۱/۱	۳۴/۱۱	۷/۳۳	۰/۶۶	غیر واگرا
ایستگاه ۳	SM	۲/۷۰	۱۵	۱/۷۵	۱/۱	۲۲/۷۴	۷/۴۸	۰/۱۳	غیر واگرا

جدول ۴: نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش بر روی نمونه‌های پایه مورد مطالعه بر حسب Kg/m<sup>2</sup>/h

شماره ایستگاه نمونه برداری	شیب ۱۰ درجه	شیب ۲۰ درجه	شیب ۳۰ درجه	شیب ۴۰ درجه
۱	۱۳۲/۸۵	۱۸۲/۴۱	۱۷۸/۵۱	۱۴۵/۱۴
۲	۱۳۸/۸۴	۱۵۲/۳۶	۱۱۶/۹۳	۱۰۲/۹۰
۳	۱۲۷/۵۰	۱۲۳/۸۷	۱۳۴/۶۶	۱۲۵/۳۸

### نتایج آزمایش‌های مهندسی انجام شده بر روی خاک‌های آلوده به کود شیمیایی

۱- آزمایش واگرایی (پین هول)

با استفاده از رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک به دست آمده از درصدهای ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم حاصل از آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه خاک‌های آلوده شده، نمونه‌های آزمایش پین هول آماده گردیده و نتایج به دست آمده برای درصدهای ۱، ۵ و ۹ در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۵: نتایج حاصل از آزمایش پین هول نمونه خاک‌های حاوی کود شیمیایی اوره

درصد اوره	ایستگاه ۱ (CL)	ایستگاه ۲ (CL)	ایستگاه ۳ (SM)
۱٪	SD	SD	SD
۵٪	SD	SD	SD
۹٪	SD	ND	SD

SD: رس با واگرایی کم که تحت هد ۱۸۰ میلیمتر به آرامی فرسایش می‌یابد.  
 ND: رس‌های غیر واگرا با فرسایش کلونیدی بسیار جزئی یا بدون فرسایش تحت هد ۳۸۰ میلیمتر

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



جدول ۶: نتایج حاصل از آزمایش بین هول نمونه خاک‌های حاوی کود شیمیایی سولفات پتاسیم

درصد سولفات پتاسیم	ایستگاه ۱ (CL)	ایستگاه ۲ (CL)	ایستگاه ۳ (SM)
۱٪	ND	ND	ND
۵٪	SD	ND	ND
۹٪	SD	ND	ND

SD: رس با واگرایی کم که تحت هد ۱۸۰ میلیمتر به آرامی فرسایش می یابد.  
 ND: رس های غیر واگرا با فرسایش کلونیدی بسیار جزئی یا بدون فرسایش تحت هد ۳۸۰ میلیمتر

۲- نتایج آزمایش های فرسایش با استفاده از شبیه ساز باران بر روی خاک های آلوده به کود شیمیایی میزان فرسایش نمونه های خاک ایستگاه های مورد مطالعه در هر یک از درصدهای ۱٪، ۵٪ و ۹٪ کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم در شیب های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه ارزیابی شد. نتایج بدست آمده از آزمایش فرسایش نمونه خاک های آلوده شده با کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم در جدول های ۷ تا ۱۲ آورده شده است.

جدول ۷: نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش خاک تحت تأثیر کود شیمیایی اوره ایستگاه ۱ بر حسب Kg/m<sup>2</sup>/h

درصد اوره	شیب ۱۰ درجه	شیب ۲۰ درجه	شیب ۳۰ درجه	شیب ۴۰ درجه
۱٪	۶۵/۳۱	۹۶/۷۳	۱۲۸/۴۰	۶۳/۰۱
۵٪	۳۸/۳۷	۵۰/۵۸	۵۸/۱۸	۲۶/۵۶
۹٪	۷/۳۴	۱۵/۴۳	۴۴/۷۳	۷/۳۹

جدول ۸: نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش خاک تحت تأثیر کود شیمیایی اوره ایستگاه ۲ بر حسب Kg/m<sup>2</sup>/h

درصد اوره	شیب ۱۰ درجه	شیب ۲۰ درجه	شیب ۳۰ درجه	شیب ۴۰ درجه
۱٪	۵۸/۴۶	۱۰۶/۳۹	۸۷/۲۰	۸۳/۷۲
۵٪	۶۰/۵۸	۶۸/۰۲	۴۸/۸۳	۳۶/۶۲
۹٪	۲۸/۵۱	۴۳/۶۰	۲۶/۱۶	۲۲/۶۷

جدول ۹: نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش خاک تحت تأثیر کود شیمیایی اوره ایستگاه ۳ بر حسب Kg/m<sup>2</sup>/h

درصد اوره	شیب ۱۰ درجه	شیب ۲۰ درجه	شیب ۳۰ درجه	شیب ۴۰ درجه
۱٪	۱۰۴/۶۵	۱۱۳/۳۷	۱۲۲/۰۹	۸۵/۴۶
۵٪	۸۵/۴۶	۹۵/۹۳	۱۰۹/۸۸	۶۸/۰۲
۹٪	۳۴/۰۸	۶۸/۰۲	۸۰/۲۳	۱۶/۴۴

جدول ۱۰: نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه های خاک مورد مطالعه تحت تأثیر کود شیمیایی سولفات پتاسیم ایستگاه ۱ بر حسب

Kg/m<sup>2</sup>/h

درصد سولفات پتاسیم	شیب ۱۰ درجه	شیب ۲۰ درجه	شیب ۳۰ درجه	شیب ۴۰ درجه
۱٪	۱۲۳/۸۳	۱۵۶/۹۷	۱۶۹/۱۸	۱۳۶/۰۴
۵٪	۹۲/۰۲	۱۳۹/۵۳	۱۵۳/۴۸	۱۰۶/۳۹
۹٪	۷۸/۴۸	۸۷/۲۰	۱۱۶/۸۴	۹۵/۷۷

جدول ۱۱: نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک مورد مطالعه تحت تأثیر کود شیمیایی سولفات پتاسیم ایستگاه ۲ بر حسب

Kg/m<sup>2</sup>/h

درصد سولفات پتاسیم	شیب ۱۰ درجه	شیب ۲۰ درجه	شیب ۳۰ درجه	شیب ۴۰ درجه
۱٪	۱۲۲/۰۹	۱۳۰/۸۱	۱۰۴/۶۵	۹۵/۹۳
۵٪	۱۰۳/۶۹	۱۱۳/۳۷	۷۷/۰۵	۷۱/۳۰
۹٪	۷۹/۳۶	۹۲/۴۴	۵۸/۲۵	۵۸/۱۸

جدول ۱۲: نتایج افت وزنی ناشی از فرسایش نمونه‌های خاک مورد مطالعه تحت تأثیر کود شیمیایی سولفات پتاسیم ایستگاه ۳ بر حسب

Kg/m<sup>2</sup>/h

درصد سولفات پتاسیم	شیب ۱۰ درجه	شیب ۲۰ درجه	شیب ۳۰ درجه	شیب ۴۰ درجه
۱٪	۱۰۶/۳۹	۱۰۹/۸۸	۱۲۲/۰۹	۱۱۳/۳۷
۵٪	۶۹/۷۶	۸۵/۴۶	۹۵/۹۳	۶۹/۶۷
۹٪	۱۷/۷۰	۱۸/۲۲	۲۶/۱۶	۱۱/۰۸

### نتیجه‌گیری:

- نتایج آزمایش دانه بندی و رده بندی خاک، بیانگر وجود خاک های CL برای ایستگاه های اول و دوم و خاک SM برای ایستگاه سوم می باشد.
- نتایج آزمایش های شیمیایی، بیانگر مقادیر بسیار ناچیز کلر، سولفات و ماده آلی در خاک های مورد مطالعه بوده، ولی مقادیر کربنات کلسیم از ۲۲/۷۴ تا ۳۴/۱۱ درصد متغیر است. همچنین مقدار pH، بیانگر شرایط خنثی می باشد.
- نتایج آزمایش تراکم استاندارد بر روی خاک پایه نشان می دهد که حداکثر وزن واحد حجم خشک و رطوبت بهینه هر سه خاک مورد مطالعه نزدیک به هم می باشد.
- نتایج آزمایش واگرایی بر روی خاک پایه با استفاده از روش پین هول، عدم واگرایی را برای هر سه خاک مورد مطالعه نشان می دهد.
- نتایج آزمایش های فرسایش پذیری بر روی خاک پایه نشان داد که خاک ایستگاه سوم، دارای افت وزنی کمتر (فرسایش پذیری کمتر) می باشد، که با توجه به بافت خاک (خاک SM)، قابل قبول می باشد.
- نتایج آزمایش های پین هول نشان می دهد که درصد افزایش کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم تأثیری بر میزان واگرایی خاک نداشته که به دلیل عدم افزایش یون سدیم به خاک می باشد.
- نتایج آزمایش تراکم استاندارد نشان می دهد که افزودن کودهای شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم بر روند تراکم پذیری خاک ها تأثیری نداشته و لذا تأثیر آن بر میزان فرسایش پذیری خاک ها قابل چشم پوشی است.
- در شرایط فیزیکی یکسان، با افزایش هر دو نوع کود شیمیایی اوره و سولفات پتاسیم، کاهش چشمگیر فرسایش پذیری خاک مشاهده شده است.
- نتایج به دست آمده نشان می دهد که خاک های حاوی اوره نسبت به خاک های حاوی سولفات پتاسیم، نرخ کاهش فرسایش پذیری بیشتری را نشان می دهد و رسوب کمتری را ایجاد می کند.

### منابع:

ASTM D4318, 2000. Standard test method for Liquid Limit, plastic limit and plasticity index of soil, Annual Book of ASTM Standard.

- ASTM, 1992. Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by Pinhole Test, ASTM Designation D 6447-92.
- ASTM D854, 2000. Standard test methods for specific gravity of soil, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM D422-63, 2000. Standard Test Method for particle size of soil. Annual Books of ASTM Standards.
- Gilley, J. E., M., Risse. 2000. Runoff and soil loss as affected by the application of manure. Trans. ASAE 43(6): 1583-1588.
- Imeson, A.C., Lavee, H, A. Calvo, A, Cerda, A., 1998. The erosional response of calcareous soil along a climatological gradient in southeastern Spain. *Geomorphol.*, 24: 3-16.
- Le Bissonais, Y.,Cerdan. O., Lecomte. V., Benkhadra. H., Souchere.V., Martin. P., 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena*, 62: 111-124.
- Özdemir, N., Öztürk, E., Kop Durmuş O. T., Ekberlia, I., 2015. Effects of organic and inorganic amendments on soil erodibility. *Eurasian J Soil Sci*, 4 (4) 266-271.
- Seeger, M., Rise. J. B., 2002. Runoff generation on abandoned field in the Central Ebro Basin-result from modelling. In: Garcia-Ruiz, J.M., J.A.A. Jones and J. Arnaez. (Eds.), *Environmental Change and Water Sustainability*. CSIC. Zaragoza. Pp. 83-97.
- Schiettecatte, W., Jin, K., Yao, Y., Cornelis, W. M., Lu, J., Wu, H., Verbist, K., Cai, D., 2008. Soil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation. *Catena* 75, pp: 191-199.

## A short comment on confronting the effects of international sanctions against Iran and the environmental protection in one of the driest regions of Iran

Vahab Amiri

Department of Geology, Faculty of Science, Yazd University  
[v.amiri@yazd.ac.ir](mailto:v.amiri@yazd.ac.ir)

### Abstract

Restrictions imposed by international sanctions against Iran in the oil and banking sectors and the effects of the outbreak of the Coronavirus have dramatically reduced the Iranian government's revenues. These conditions have led the Iranian government to move towards a resistance economy, which means identifying areas of pressure and trying to neutralize and control them. Given the Iranian government's approach to engaging with the world and preparing the ground for constructive dialogue, the West should take advantage of this opportunity and, while welcoming this new approach, halt the sanctions plan and engage and cooperate seriously with Operate the Islamic Republic of Iran using the existing capacities in the country to protect the environment. Otherwise, due to the complexity of the factors affecting the destruction of the environment, serious and irreparable damage to the environment of Iran is expected.

**Keywords:** *Environmental protection, Mining, Water Resources, International Sanctions, Iran*

### Introduction

Currently, environmental issues have become one of the most challenging international issues in the world due to the complexity of environmental factors. Perhaps the situation in Iran is special and important. Restrictions imposed by international sanctions against Iran in the oil and banking sectors and the effects of the outbreak of the Coronavirus have dramatically reduced the Iranian government's revenues. These conditions have led the Iranian government to move towards a resistance economy, which means identifying areas of pressure and trying to neutralize and control them. To achieve the goals of a resilient economy, it is necessary to reduce foreign dependencies and work to increase production in the country. One of the issues is internal capacities in the mining sector. Iran is rich in mineral resources. So far, 68 minerals have been identified and lead, zinc, and copper reserves are the most significant. The discovered mineral reserves occupy about 7% of Iran's area and this is a sign of the high capacity of the mining area. Iran is currently among the world's 15 mineral powers with 27 billion tons of discovered reserves and 57 billion tons of potential reserves. However, in recent years, the development of mines in Iran has been accompanied by some destructive environmental effects.

### Study Area

Yazd province is one of the 31 provinces of Iran with an area of about 74645 km<sup>2</sup> located in the central plateau of Iran. The average annual precipitation in this province is approximately 98 mm, equivalent to 39% of the average annual rainfall in Iran (250 mm) and about 10% of the global average annual rainfall (990 mm) (Amiri et al., 2021, 2020). Approximately 48.9 MCM of groundwater resources were exploited for drinking and sanitation (WTTYU, 2019). It should be noted that Yazd city was selected as a world heritage status in the 41<sup>st</sup> session UNESCO World Heritage Committee meeting in Krakow, Poland (<https://whc.unesco.org>).

### Discussion

Aliabad and Darreh Zereshk copper mines are located in the heart of very limited water resources in Yazd province and experts have been arguing for years about the effects and environmental consequences of this mine. The results of the study of experts and specialists in the field of groundwater show that the activity of these mines will destroy the limited and valuable groundwater quality, the soil and air of this region, and the forced migration of the old inhabitants of this region.

Since the primary resources of the environment are inherently fixed and in most cases are non-renewable and irreplaceable, the lack of proper management at the national, regional, and especially international scales in the exploitation of these resources has left the world community with irreparable problems such as environmental degradation, extinction of plant and animal species and lack of natural resources. Iran, as a member of the United Nations, has ratified all relevant regional and international environmental conventions and protocols. Their provisions are currently in force as law in the country.

On the other hand, the principle of a resistance economy and limited budgets cause the Iranian government to consider the necessities and prioritize the implementation of development plans and programs. In other words, in the current situation, the extraction of these mines is one of the necessities of the Iranian government to finance the country and it is expected that the issue of environmental protection will be given second priority.

Socially, given the direct link between economic sanctions and the unintended spread of poverty, the continued implementation of tough economic sanctions will weaken the economies of national communities that have played a major role in protecting the environment. Because they are inadvertently forced to misuse the declining resources of the environment and destroy them to meet their basic needs.

Controlling and solving such big problems requires the necessary financial resources and scientific and technical assistance. Under sanctions, even past plans may slow down or stop altogether. As a result, Iran may not be able to play its key role in protecting the national and regional environment well.

## Conclusion

Given the Iranian government's approach to engaging with the world and preparing the ground for constructive dialogue, the West should take advantage of this opportunity and, while welcoming this new approach, halt the sanctions plan and engage and cooperate seriously with Operate the Islamic Republic of Iran using the existing capacities in the country to protect the environment. Otherwise, due to the complexity of the factors affecting the destruction of the environment, serious and irreparable damage to the environment of Iran (for example in the Yazd as World Heritage) is expected.

## References

- Amiri, V., Bhattacharya, P., Nakhaei, M., 2021. The Hydrogeochemical Evaluation of Groundwater Resources and Their Suitability for Agricultural and Industrial Uses in an Arid Area of Iran. *Groundwater for Sustainable Development* 12, 100527. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100527>
- Amiri, V., Kamrani, S., Ahmad, A., Bhattacharya, P., Mansoori, J., 2020. Groundwater quality evaluation using Shannon information theory and human health risk assessment in Yazd province, central plateau of Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 1108-1130. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10362-6>
- <https://whc.unesco.org/en/list/1544/>
- WTYU (Water Think Tank of Yazd University) (2019) Statement No.5: Drinking water management.



## بررسی آلودگی آبخوان گرگان با استفاده از شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) و شاخص فلزی (MI)

حسن مازنی<sup>۱\*</sup>، مجتبی قره محمودلو<sup>۲</sup>، نادر جندقی<sup>۲</sup>، مصطفی رقیمی<sup>۳</sup>، علی حشمت پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس

<sup>۲</sup> استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس

<sup>۳</sup> استاد گروه زمین شناسی دانشگاه گلستان

mazanihasan1375@gmail.com

### چکیده:

امروزه یکی از مشکلات جوامع بشری آلودگی آب‌های زیرزمینی به فلزات سنگین است. هدف از این پژوهش ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی آبخوان شهر گرگان به فلزات سنگین (آرسنیک، سرب، منگنز، آهن) با استفاده از شاخص‌های آلودگی کیفیت آب در دو فصل بهار و پاییز سال (۱۳۹۶) می‌باشد. بدین منظور از آنالیز شیمیایی ۶۳ چاه آب شرب و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) و شاخص فلزی (MI) شهر گرگان استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که متوسط شاخص‌های HPI و MI در فصل بهار (به ترتیب ۱۲/۴۲ و ۰/۳۶۳) و پاییز (به ترتیب ۱۲/۳۹ و ۰/۳۵۶) تغییر چندانی نداشته است و بسیار کمتر از آستانه خطر تعیین شده برای شرب می‌باشد. اگرچه براساس شاخص‌های HPI و MI آبخوان شهر گرگان در معرض آلودگی بیش از حد مجاز به فلزات سنگین نیست اما با گسترش جمعیت و شهرنشینی، نبود سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری و صنعتی و ... می‌تواند خسارات غیر قابل جبرانی را به دنبال داشته باشد.

کلید واژه: شاخص آلودگی، فلزات سنگین، هیدروژئوشیمی، آب‌های زیرزمینی

## Investigation of Gorgan aquifer pollution using heavy metal pollution index (HPI) and metal index (MI)

Hasan Mazani<sup>1\*</sup>, Mojtaba G. Mahmoodlu<sup>2</sup>, Nader Jandaghi<sup>2</sup>, Mostafa Raghimi<sup>3</sup>, Ali Heshmatpour<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc student of Rangeland and watershed management, Gonbad Kavous University

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Rangeland and watershed management, Gonbad Kavous University

<sup>3</sup> Professor, Department of Geology, Golestan University

### Abstract

Nowadays, one of the problems of human societies is the pollution of groundwater with heavy metals. The purpose of this study is to evaluate the groundwater pollution of Gorgan aquifer to heavy metals (arsenic, lead, manganese, iron) using water quality pollution indices in spring and autumn (2017). For this purpose, chemical analysis of 63 drinking water wells and heavy metal pollution index (HPI) and

metal index (MI) of Gorgan were used. The results of this study showed that the average HPI and MI indices in spring (12.42 and 0.363, respectively) and autumn (12.39 and 0.356, respectively) did not change much and were much lower than the risk threshold for drinking purposes. Although according to HPI and MI indicators, Gorgan aquifer is not exposed to excessive pollution of heavy metals, but with the expansion of population and urbanization, the lack of municipal and industrial wastewater collection system, etc. can lead to irreparable damage.

#### مقدمه

آب زیرزمینی از جمله منابع با ارزشی است که مطالعات کمی و کیفی آن‌ها به دلیل کاربرد وسیع در بخش‌های مختلف (شرب، صنعت و کشاورزی) و همچنین مسائل مربوط به آلودگی آب از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. به‌طور کلی نوع و غلظت عناصر اصلی، فرعی و کمیاب، موجود در آب زیرزمینی به نوع سنگ تشکیل‌دهنده آبخوان، میزان انحلال‌پذیری کانی‌ها، قابل دسترس بودن عناصر در خاک و سنگ‌های در تماس با آب، منشأ آب زیرزمینی، شرایط احیایی آب، مسافت طی شده توسط آب زیرزمینی، واکنش‌های انحلالی بین آب و سنگ، میزان سطح تماس و مدت زمان تماس سنگ با آب، شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی دارد (قره‌محمودلو و همکاران، ۱۳۹۷؛ اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۹۹).

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب با چالش‌های متفاوتی نظیر کاهش میزان تغذیه آب زیرزمینی توسط آب‌های سطحی، برداشت بی‌رویه و در پی آن افت سطح آب زیرزمینی، نفوذ آب شور، ورود انواع آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی روبرو می‌باشد (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۵).

گسترش بی‌رویه شهر گرگان و نبود سیستم جامع جمع‌آوری فاضلاب‌های شهری و خانگی در کنار عوامل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی باعث افزایش میزان انواع آلودگی در آبخوان شهر گرگان شده است. از آنجایی که قسمت عمده آب شرب شهر گرگان از آب زیرزمینی (استفاده از چاه) تأمین می‌شود، از اینرو بررسی هیدروژئوشیمی و آلودگی آبخوان این منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار است.

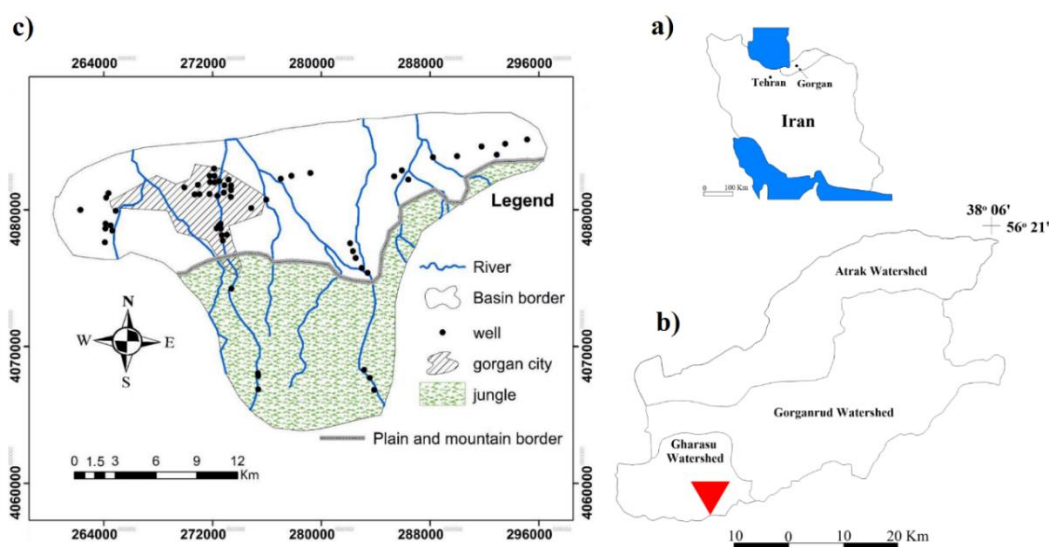
تاکنون مطالعات فراوانی بر روی آلودگی آب زیرزمینی انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. اصغری مقدم و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت نقده و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) پرداختند. نتایج این پژوهش نشان‌داد که برخی از پارامترها نظیر EC و فلزات سنگین نظیر Fe، Mn و Al نمونه‌های آب زیرزمینی از مقدار استاندارد بین‌المللی است. نتایج رده‌بندی شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نشان داد که کیفیت حدود ۷۰٪ نمونه‌های آب مناسب و بقیه نمونه‌ها نامناسب می‌باشد. شاخص HPI کلی دشت نقده ۲۳/۲۴ بود که پایین‌تر از مقادیر بحرانی آن (۱۰۰) می‌باشد. همچنین نتیجه گرفتند که غلظت بالای فلزات سنگین می‌تواند به انحلال سازندهای زمین‌شناسی، استخراج معدن سنگ‌آهن، فعالیت واحدهای صنعتی و تغلیظ عناصر در آب زیرزمینی در نتیجه تبخیر بالا در مناطق با عمق کم سطح ایستایی مربوط باشد.

در تحقیقی رضا پورطبری و ایل بیگی (۱۳۹۶) به بررسی تاثیر منابع زمین‌زاد و انسان‌زاد بر غلظت فلزات سنگین در آبخوان دشت زنجان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان‌داد که عمده آلودگی در نیمه شمالی دشت ناشی از منابع زمین‌زاد بوده و بصورت طبیعی در آبخوان بروز می‌نماید. در بخش مرکزی آبخوان مورد مطالعه نیز باتوجه به تمرکز صنایع و وجود شهر زنجان، فعالیت‌های انسان‌زاد به عنوان منشأ وجود فلزات سنگین شناسایی شد.

## مواد و روش‌ها

### - منطقه مورد مطالعه

شهر گرگان با موقعیت طول جغرافیایی ۵۴/۲۶ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۰، مساحت حدوداً ۱۶۱۵ کیلومتر مربع و ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا ۱۶۰ مرکز استان گلستان می‌باشد. این شهر در مجاورت استان سمنان، شهرهای آق قلا و ترکمن، علی آباد، کردکوی واقع شده است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، شهر گرگان نزدیک به نیم میلیون نفر جمعیت دارد. شهر گرگان دارای آب و هوای معتدل خزری یا مدیترانه ای است که بطور معمول از غرب مازندران بارش کمتری دارد. هر چند تابستانهای آن نسبتاً گرم و شرجی است. مهمترین رودهای گرگان که به دریای خزر می‌ریزند رودهای قره سو، کفشگیری و زیارت هستند. آبخوان مورد مطالعه بیشتر تحت تاثیر رسوب گذاری رودخانه زیارت می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

### - بررسی وضعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

از نظر زمین شناسی، محدوده مورد مطالعه بطور عمده در زون ساختاری البرز واقع شده است. مجموعه سازندهای پالئوزوئیک، شیست‌های سبز گرگان، مجموعه شیست‌ها و سنگ آهک‌های ژوراسیک، و سنگ آهک‌های کرتاسه پایانی از مهمترین واحدهای سنگ چینه ای در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱). در این میان سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی بیشترین برونزد را در حوزه آبریز مورد مطالعه دارد. واحدهای سنگ چینه ای سنوزوئیک دارای گسترش محدودی در این حوزه است که در این میان رسوبات نئوژن شامل شیل، مارن، ماسه و کنگلومرا دارای بیشترین گسترش سطحی است. نهشته های لسی از گسترده ترین رسوبات دوران چهارم است که بصورت تپه ماهوری برونزد دارد (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۴ : شاه پسندزاده، ۱۹۹۲).

### - روش کار

در این تحقیق پس از بررسی اولیه، تعداد ۶۳ حلقه چاه آب شرب مربوط به شرکت آب و فاضلاب استان گلستان انتخاب شد. لازم به ذکر است چاه‌های منتخب در محدوده‌ی مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای پراکنش مناسب بوده (شکل ۱) و نواقص آماری نداشتند. برای هر یک از چاه‌های منتخب خصوصیات فیزیکی شیمیایی به همراه مختصات جغرافیایی آن‌ها در دوره آماری مشترک از شرکت مذکور جمع‌آوری شد. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های آلودگی مربوط به فلزات سنگین وضعیت آلودگی آب زیرزمینی محدوده مورد بررسی شد.

- شاخص آلودگی فلزات سنگین (Heavy metal pollution index): شاخص HPI بر اساس وزن اختصاص داده شده به هر پارامتر انتخابی محاسبه و ارزیابی می‌شود. این وزن انتخابی، مقدار دلخواهی بین صفر تا یک دارد و انتخاب آن به ملاحظات کیفی فردی و مشاهداتی بستگی دارد. در پژوهش حاضر وزن  $W_i$  به صورت نسبت عکس مقدار مجاز استاندارد برای هر فلز سنگین ( $S_i$ ) در نظر گرفته شده‌است. در مطالعه حاضر، حدود غلظت یعنی مقدار مجاز استاندارد ( $S_i$ ) و بیشترین مقدار مطلوب ( $I_i$ ) حد ایده‌آل هر عنصر بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی تعریف شده‌اند. مقدار عددی ۱۰۰ را به عنوان حد بحرانی شاخص آلودگی معرفی کردند. این شاخص از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $Q_i$  و  $W_i$  به ترتیب بیانگر زیرشاخص و واحد وزن نام عنصر سنگین و  $n$  نشاندهنده تعداد عناصر مورد بررسی می‌باشند. زیرشاخص  $Q_i$  به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$MI = \sum_{i=1}^n \frac{M_i - I_i}{S_i - I_i} \times 100 \quad (2)$$

$I_i$  بیانگر غلظت ایده‌آل و غلظت مجاز استاندارد  $i$  امین عنصر و  $M_i$  بیانگر مقدار اندازه‌گیری شده عنصر سنگین می‌باشند.

- شاخص فلزی (Metal Index):

شاخص فلزی براساس نسبت غلظت اندازه‌گیری شده یک عنصر به حداکثر مجاز غلظت آن در آب محاسبه می‌شود

$$MI = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{S_i} \quad (3)$$

$M_i$  و  $S_i$  به ترتیب بیانگر مقدار اندازه‌گیری شده و حداکثر غلظت مجاز  $i$  امین فلز سنگین می‌باشند. غلظت‌های زیاد فلز در مقایسه با مقدار  $S_i$  نشان دهنده کیفیت نامناسب و بد آب می‌باشد. براساس شاخص فلزی اگر:

الف)  $M_i$  کمتر از یک باشد آب برای شرب مناسب می‌باشد

ب)  $M_i$  بیشتر از یک باشد آب برای شرب مناسب نمی‌باشد

ج)  $M_i$  برابر با یک باشد آب در آستانه خطر می باشد.

### نتایج و بحث

فلزات سنگین موجود در اکوسیستم‌های آبی دارای دو منشأ طبیعی زمین‌شناسی و یا انسانی هستند. منشأ طبیعی عمدتاً ناشی از هوازدگی خاک و سنگ‌ها، فرسایش محیط، آتش‌سوزی جنگل‌ها و فوران آتشفشان‌ها می‌باشند (Yang et al., 2015). منشأ انسانی ناشی از تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، تخلیه مواد زائد کشاورزی، معدنکاری، رواناب شهری و غیره هستند (Shang et al., 2015).

– شاخص آلودگی فلزات سنگین: فلزات سنگین براساس شاخص HPI به ۵ رده آب باکیفیت عالی، خوب، ضعیف، خیلی ضعیف و نامناسب طبقه‌بندی می‌شود (Elumalai et al., 2017). مقادیر محاسبه شده برای شاخص آلودگی فلزات سنگین در جدول ۲ ارائه شده‌است. براساس طبقه‌بندی موجود برای این شاخص، کیفیت آب زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه در هر دو فصل بهار و پاییز فاقد آلودگی به فلزات سنگین می‌باشد. اگرچه میزان متوسط شاخص آلودگی فلزات سنگین در فصل بهار (۱۲/۴۲) اندکی بیشتر از فصل پاییز (۱۲/۳۹) می‌باشد. کمترین مقدار شاخص فوق به میزان ۹/۱۵ به ترتیب مربوط به چاه‌های شماره ۳۹ (بهار) و ۴۰ (پاییز) می‌باشد. همچنین بیشترین میزان شاخص آلودگی فلزات سنگین در دو فصل مربوط به چاه شماره ۲۲ می‌باشد.

جدول ۱: نتایج شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) در دو فصل پاییز و بهار

چاه	شاخص HPI		چاه	شاخص HPI	
	بهار	پاییز		بهار	پاییز
1	17.33	17.33	34	9.37	9.41
2	15.10	15.16	35	10.58	10.58
3	15.12	13.82	36	9.33	9.33
4	13.95	13.95	37	9.45	9.44
5	13.48	14.90	38	9.43	9.45
6	13.68	13.71	39	9.15	9.45
7	13.74	13.74	40	10.47	9.15
8	10.36	10.36	41	10.88	10.47
9	18.15	18.15	42	10.49	10.97
10	15.25	15.25	43	10.49	10.49
11	11.59	11.70	44	9.51	10.49
12	15.12	15.12	45	10.53	9.51
13	18.37	18.37	46	9.37	10.53
14	14.99	16.11	47	10.49	9.28
15	15.03	15.03	48	9.25	10.49
16	12.10	12.17	49	9.37	9.28
17	15.81	15.81	50	9.21	9.37
18	16.70	16.73	51	10.19	9.21
19	12.27	12.27	52	10.34	10.27
20	16.04	16.04	53	10.32	10.34

21	18.12	18.12	54	10.31	10.45
22	19.05	19.05	55	10.11	10.45
23	15.46	15.46	56	10.01	10.11
24	14.01	13.93	57	10.37	10.01
25	13.78	13.78	58	9.54	10.37
26	13.70	13.71	59	10.37	9.62
27	13.85	13.85	60	13.96	10.24
28	12.11	12.11	61	14.08	14.42
29	14.05	14.05	62	13.86	14.08
30	10.53	10.53	63	14.17	14.19
31	9.20	9.24	میانگین	12.42	12.39
32	9.15	9.15	کمترین	9.15	9.15
33	10.49	10.49	بیشترین	19.05	19.05

- شاخص فلزی: برای محاسبه شاخص فلزی و تعیین آلودگی منابع آبی از نظر فلزات سنگین لازم است غلظت‌های به دست آمده از فلزات را با بیشترین حد مجاز یک عنصر فلزی در حالت استاندارد مورد مقایسه قرار گیرد. اگر مقادیر بدست آمده برای MI کمتر از یک باشد ( $MI < 1$ ) آب قابل آشامیدن است. اگر مقدار بدست آمده برای MI بیشتر از یک باشد ( $MI > 1$ ) آب غیرقابل آشامیدن است. اگر مقادیر بدست آمده برای MI برابر یک باشد ( $MI = 1$ ) آب در آستانه خطر قرار دارد (نجفی و همکاران ۱۳۹۹). براساس نتایج بدست آمده، متوسط شاخص فلزی در فصل بهار و پاییز اختلاف ناچیزی دارند (به ترتیب ۰/۳۶۳ و ۰/۳۵۶). بیشترین مقدار این شاخص در هر دو فصل بهار و پاییز مربوط به چاه شماره ۹ می‌باشد. کمترین مقدار شاخص فلزی در فصل بهار و پاییز به ترتیب مربوط به چاههای ۴۵ و ۴۴ می‌باشد.

جدول ۲: نتایج شاخص فلزی (MI) در دو فصل پاییز و بهار

چاه	MI		چاه	MI	
	بهار	پاییز		بهار	پاییز
1	0.54	0.54	34	0.24	0.25
2	0.42	0.432	35	0.27	0.27
3	0.43	0.43	36	0.257	0.257
4	0.4	0.4	37	0.242	0.23
5	0.4	0.414	38	0.23	0.235
6	0.379	0.385	39	0.23	0.3
7	0.38	0.38	40	0.3	0.295
8	0.24	0.24	41	0.295	0.28
9	0.642	0.642	42	0.26	0.29
10	0.41	0.41	43	0.29	0.29
11	0.31	0.33	44	0.29	0.217
12	0.43	0.43	45	0.217	0.28
13	0.592	0.592	46	0.28	0.25
14	0.5	0.46	47	0.266	0.286
15	0.45	0.45	48	0.286	0.272
16	0.42	0.444	49	0.265	0.25
17	0.49	0.49	50	0.25	0.28

18	0.462	0.47	51	0.28	0.344
19	0.402	0.402	52	0.33	0.312
20	0.458	0.458	53	0.312	0.323
21	0.57	0.57	54	0.3	0.32
22	0.528	0.528	55	0.3	0.292
23	0.43	0.43	56	0.292	0.31
24	0.414	0.394	57	0.31	0.312
25	0.44	0.44	58	0.312	0.29
26	0.385	0.386	59	0.27	0.312
27	0.346	0.346	60	0.332	0.492
28	0.37	0.37	61	0.388	0.371
29	0.462	0.462	62	0.371	0.42
30	0.276	0.276	63	0.351	0.355
31	0.272	0.282	میانگین	0.356	0.363
32	0.3	0.3	کمترین	0.217	0.217
33	0.29	0.29	بیشترین	0.642	0.642

### نتیجه گیری

امروزه بحث آلودگی در کیفیت آب امری ضروری بشمار می رود که پژوهشگران در صدد شناسایی این آلودگی ها و عناصر مضر موجود در آب هستند. وجود فلزات سنگین در آب اثرات مخربی به همراه دارد که سلامت انسان را تهدید می کند. پژوهش حاضر به منظور بررسی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در آبخوان شهر گرگان انجام شد، بدین منظور بر اساس رهنمودهای WHO (2011) با استفاده از شاخص های ارزیابی آلودگی آب شامل HPI و MI، وضعیت آب به لحاظ آلودگی به آب دریا بررسی شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به رده بندی کیفیت آب براساس شاخص HPI همه چاه های نمونه برداری، درجه آلودگی کم را نشان می دهند، همچنین نتایج حاصل از بررسی شاخص فلزی MI نشان داد همه نمونه های چاه پایین تر از آستانه خطر آلودگی قرار دارند و همگی قابل شرب می باشند. مقادیر میانگین شاخص های HPI و MI در نمونه های آب آبخوان گرگان در فصل بهار به ترتیب ۱۲/۴۲ و ۰/۳۶۳ و در فصل پاییز به ترتیب برابر با ۱۲/۳۹ و ۰/۳۵۶ می باشد، که با بررسی مقادیر بدست آمده نتیجه می گیریم که این دو فصل روند مشابهی با هم دارند و اختلاف زیادی در آنها مشاهده نشد. همچنین استفاده از آب زیرزمینی براساس شاخص های محاسبه شده در این پژوهش بلامانع است.

### منابع

- اصغری مقدم، ا، ندیری، ع، و صادقی اقدم، ف، ۱۳۹۹. بررسی ویژگی های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت نرده و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI). نشریه پژوهشی علوم زمین. ۲۹(۱۱۵)، ۹۷-۱۱۰.
- پورطبری، م، ایل بیگی، م، ۱۳۹۶. رویکردی جهت بررسی تاثیر منابع زمین زاد و انسان زاد بر غلظت فلزات سنگین دز دشت آبخوان زنجان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹ (۴): ۱۹۵-۲۰۱.

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ – دانشگاه خوارزمی (تهران)  
24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



- شمعانیان، غ، ح، رقیمی، م، و یخکشی، م، ا، ۱۳۸۵. هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در دشت گرگان: راهکاری برای حساسیت‌سنجی آلودگی آب‌های زیرزمینی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳(۴)، ۱۰-۱.
- شمعانیان، غ، ح، رقیمی، م، یخکشی، ا، احمدی، م، یارمحمدی، م، دهقان، ح، ۱۳۸۴. هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی در حوزه آبریز گرگانرود – قره سو، استان گلستان، همایش انجمن زمین شناسی ایران، دوره ۹.
- قره‌محمودلو، م، حشمت‌پور، ع، جندقی، ن، زارع، ع، و مهرابی، ح، ۱۳۹۷. بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت سیدان- فاروق، استان فارس. فصلنامه اکوهیدرولوژی. ۱۲۴۱-۱۲۵۳، (۴)۵.
- Shahpasandzadeh, M, 1992. Structural and sedimentary environment interpretation of metamorphic rocks complex of Gorgan. Tehran Tarbiat Moalem University. Gology M.Sc. Dissertation, 297p.
- Najafi, M., Zamani, A.R., Shaluei, F., & Ghorbani, D. P, 2020. Evaluation of heavy metal pollution levels in the Water of the Beheshtabad River.
- Elumalai, V., Brindha, K., & Lakshmanan, E, 2017. Human exposure risk assessment due to heavy metals in groundwater by pollution index and multivariate statistical methods: a case study from South Africa. *Water*, 9(4), 234.
- Shang, Z., Ren, J., Tao, L., & Wang, X, 2015. Assessment of heavy metals in surface sediments from Gansu section of Yellow River, China. *Environmental monitoring and assessment*, 187(3), 1-10.
- Yang, X., Duan, J., Wang, L., Li, W., Guan, J., Beecham, S., & Mulcahy, D, 2015. Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China. *Environmental monitoring and assessment*, 187(3), 1-11.



## ارزیابی کیفی آب چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان

حسن مازنی<sup>۱\*</sup>، مجتبی قره محمودلو<sup>۲</sup>، نادر جندقی<sup>۲</sup>، مصطفی رقیمی<sup>۳</sup>، علی حشمت پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس

<sup>۲</sup>استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه گنبد کاووس

<sup>۳</sup>استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه گلستان

mazanihasan1375@gmail.com

### چکیده

این تحقیق بمنظور بررسی کیفیت آب چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان برای مصرف شرب انجام شد. در این پژوهش از نتایج یک دوره آنالیز شیمیایی مربوط به ۶۳ حلقه چاه استفاده شد. برای طبقه‌بندی آب برای شرب، ابتدا پارامترهای شیمیایی با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد. در مرحله بعد برخی از پارامترهای مهم در بخش شرب نظیر کل مواد جامد محلول، سختی کل، غلظت یون کلرید با استانداردهای موجود مقایسه و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان بحث شد. براساس تجمع نمونه‌ها در دیاگرام‌های مثلثی آنیون و کاتیون غالب آب زیرزمینی به ترتیب بی‌کربنات و کلسیم می‌باشد. باتوجه به اینکه بخش وسیعی از ارتفاعات دشت مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی دربر می‌گیرد. غالب بودن یون‌های کلسیم و بی‌کربنات بدیهی می‌باشد. همچنین باتوجه به متوسط غلظت یونهای اصلی در آب، می‌توان نتیجه گرفت که تیپ غالب آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه به احتمال فراوان، بی‌کربنات کلسیک می‌باشد. مقایسه پارامترهای شیمیایی با دستورالعمل WHO نشان داد که هیچ کدام از پارامترها از حد مجاز تجاوز نمی‌کند. مقایسه TDS و کلرید نمونه‌ها با دیگر استانداردهای موجود نشان داد تنها یک نمونه جزء آب‌های لب شور بوده و مناسب شرب نمی‌باشد. براساس میزان سختی، آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه جزء آب‌های با سختی بالا طبقه‌بندی می‌شود. باتوجه به دیاگرام شولر، کیفیت آب دشت مورد مطالعه در رده خوب قرار می‌گیرد.

کلیدواژه: هیدروژئوشیمی، کیفیت آب زیرزمینی، چاه آب شرب،

## Quality assessment of drinking water supply wells in Gorgan

Hasan Mazani<sup>1\*</sup>, Mojtaba G. Mahmoodlu<sup>2</sup>, Nader Jandaghi<sup>2</sup>, Mostafa Raghimi<sup>3</sup>, Ali Heshmatpour<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc student of Rangeland and watershed management, Gonbad Kavous University

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Rangeland and watershed management, Gonbad Kavous University

<sup>3</sup> Professor, Department of Geology, Golestan University

### Abstract

This study was conducted to investigate the water quality of drinking water supply wells in Gorgan for drinking. In this study, the results of a chemical analysis period related to 63 wells were used. To classify drinking water, chemical parameters were first compared with WHO guidelines. In the next step, some important parameters in the drinking sector such as total soluble solids, total hardness,

chloride ion concentration were compared with existing standards and their effect on human health was discussed. Based on the accumulation of samples in the triangular diagrams of anion and cation, the predominant groundwater is bicarbonate and calcium, respectively. Due to the fact that a large part of the heights of the study plain is covered with limestone. The predominance of calcium and bicarbonate ions is obvious. Also, considering the average concentration of major ions in water, it can be concluded that the predominant type of groundwater in the study area is likely to be Bicarbonate is calcium. Comparison of chemical parameters with WHO guidelines showed that none of the parameters exceeds the allowable limit. Comparison of TDS and chloride samples with other existing standards showed that only one sample is part of brackish water and is not suitable for drinking. Based on the degree of hardness, the groundwater of the study plain is classified as high hardness water. According to Schuler diagram, the quality of plain water under study is in a good category.

#### مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از حیاتی‌ترین منابع‌های آب برای شرب و کشاورزی در بیشتر نقاط دنیا می‌باشد. از این‌رو حفظ کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی از مهمترین عامل‌ها در مدیریت آن‌ها می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی، بعنوان یکی از مهمترین و آسیب پذیرترین منابع‌های تأمین آب در دهه‌های اخیر، از اهمیت بالایی برخوردار است (Sawyer and McCartly, 1967; Janardhana Raju, 2007).

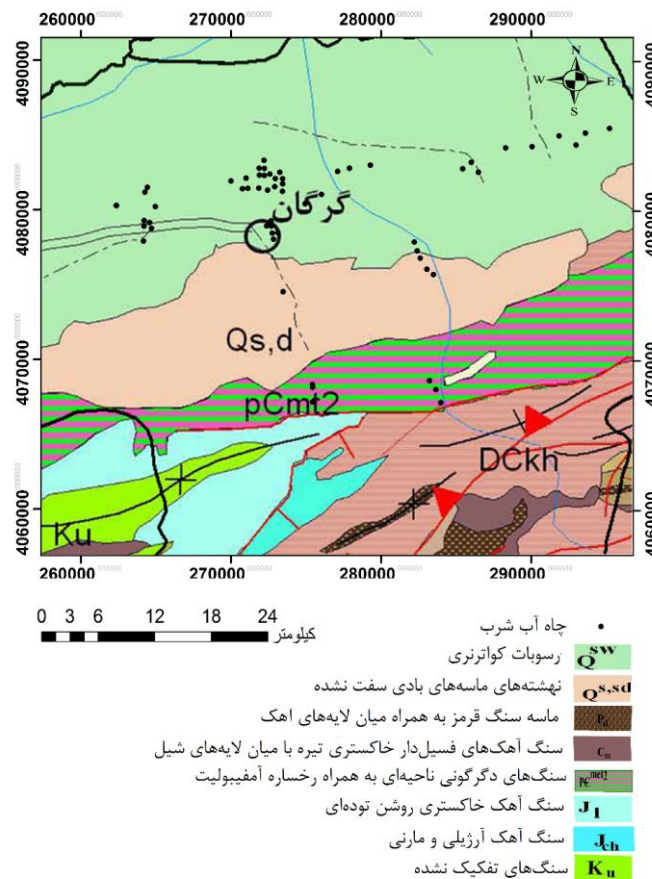
تاکنون روش‌های متنوعی برای مطالعه داده‌های کیفی و طبقه‌بندی آبهای زیرزمینی برای مصرف‌های مختلف در داخل و خارج کشور انجام شده است که در ادامه به برخی آن‌ها اشاره شده است. Shirvani et al. (2016) با استفاده از نمودارهای شولر و ویلکوکس به ارزیابی کیفی آب مخازن چاه‌نیمه زابل از نقطه نظر شرب و کشاورزی پرداختند. Alipour et al. (2017) با استفاده از شاخص‌های WQI و ویلکوکس به بررسی کیفیت آب زیرزمینی نه استان خشک و نیمه‌خشک کشور برای مصرف‌های شرب و کشاورزی پرداختند. در تحقیقی دیگر Kaur et al. (2017) کیفیت آب زیرزمینی منطقه‌ای را در جنوب غرب پنجاب هند برای مصرف‌های شرب و کشاورزی با استفاده از استانداردهای کشور هند و نسبت جذب سدیم، نسبت منیزیم و نسبت خورندگی ارزیابی کردند. با توجه به موارد بیان شده، بررسی کیفی آب‌های سطحی و یا زیرزمینی برای مصرف‌های شرب و کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، انجام یک مطالعه به‌نسبت جامع برای تعیین کاربری آب برای هدف‌های مختلف مانند شرب و کشاورزی می‌تواند داده‌های مفیدی را به محققان، سازمان‌های ذینفع و یا حتی عموم مردم بدهد. اهداف اصلی این پژوهش به‌ترتیب شامل (۱) بکارگیری روش‌های هیدروژئوشیمیایی و روش‌های گرافیکی برای تعیین عامل-های مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی شهر گرگان و (۲) مقایسه پارامترهای شیمیایی با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) و استفاده از دیاگرام شولر بمنظور طبقه‌بندی آب برای شرب می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### موقعیت و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

شهر گرگان با مساحت تقریبی ۱۶۱۵ کیلومتر مربع و ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا ۱۶۰ مرکز استان گلستان می‌باشد. این شهر دارای آب و هوای معتدل خزری یا مدیترانه‌ای است که بطور معمول از غرب مازندران بارش کمتری دارد. مهمترین رودهای گرگان که به دریای خزر می‌ریزند رودهای قره سو، کفشگیری و زیارت هستند. آبخوان مورد مطالعه بیشتر تحت تاثیر رسوب گذاری رودخانه زیارت می‌باشد. از نظر زمین شناسی، محدوده مورد مطالعه بطور عمده در زون ساختاری البرز واقع

شده است. مجموعه سازندهای پالئوزوئیک، شیستهای سبز گرگان، مجموعه شیست ها و سنگ آهکهای ژوراسیک، و سنگ آهکهای کرتاسه پایانی از مهمترین واحدهای سنگ چینه ای در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱). در این میان سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی بیشترین برونزد را در حوزه آبریز مورد مطالعه دارد. واحدهای سنگ چینه- ای سنوزوئیک دارای گسترش محدودی در این حوزه است که در این میان رسوبات نفوژن شامل شیل، مارن، ماسه و کنگلومرا دارای بیشترین گسترش سطحی است. نهشتههای لسی از گستردهترین رسوبات دوران چهارم است که بصورت تپه ماهوری برونزد دارد (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۴؛ شاه پسندزاده، ۱۹۹۲).



شکل ۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعاتی

### طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی در شرب

آب مورد استفاده در بخش شرب باید بدون رنگ، کدورت و میکروارگانسیم باشد. یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب دیاگرام شولر می‌باشد. این دیاگرام بر پایه غلظت یون‌های اصلی سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم استوار است. در این دیاگرام غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان گرم در لیتر نشان داده می‌شود. براساس دیاگرام شولر آب‌ها از نظر شرب به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامناسب و غیر قابل شرب تقسیم می‌شود.

استانداردهای آب آشامیدنی، پارامترهای لازم برای ارزیابی کیفیت آب شرب می‌باشند. از این‌رو، بسیاری از کشورهای پیشرفته برای ارزیابی کیفی آب شرب خود استانداردهایی تهیه کرده‌اند. سازمان بهداشت جهانی برای آن دسته از کشورهایی که

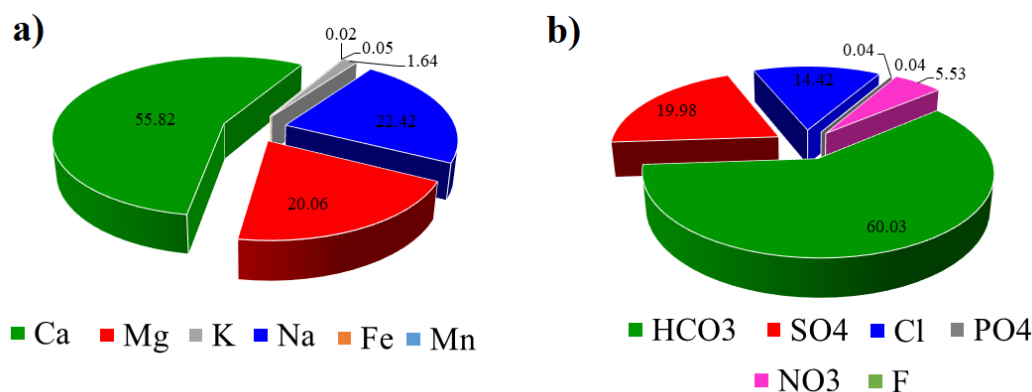
استاندارد داخلی ندارند یک راهنما و دستورالعمل برای بررسی کیفیت آب در بخش شرب تهیه کرده است که بعنوان معیاری برای کیفیت آب آشامیدنی محسوب می شود. در این تحقیق افزون بر مقایسه یون های اصلی با استاندارد WHO، برخی از پارامترهای شیمیایی نظیر کل جامدات محلول، یون کلر و سختی با استانداردهای موجود در منابع های مختلف مقایسه شد. تعیین سختی آب یک سنج بسیار ارزشمند برای ارزیابی کیفیت آب برای استفاده در بخش های شرب، کشاورزی و صنعت می باشد (Sheikhy Narany et al., 2014). بطور کلی آب سخت سبب بروز سنگ کلیه آنانسفالی<sup>۱</sup>، مرگ و میر، شیوع برخی از انواع سرطان و اختلالات قلبی و عروقی می شود (Durvey et al., 1991). آب های سخت همچنین می توانند سبب تشکیل رسوب و پوسته در آبگرمکن ها، لوله های انتقال آب، پمپ های چاه ها، دیگ های بخار و وسایل پخت و پز شوند. از آنجایی که غلظت یون های کلسیم و منیزیم در آب های طبیعی بیش از یون های دیگر است سختی آب براساس غلظت این دو یون محاسبه می شود. این دو کاتیون ممکن است با تشکیل ترکیبات کربناته و غیرکربناته سبب ایجاد سختی در آب شوند. سختی کل (برحسب CaCO<sub>3</sub>) نمونه های آب را می توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد (Bhat et al., 2018):

$$[\text{CaCO}_3] = 2.5[\text{Ca}^{2+}] + 4.1[\text{Mg}^{2+}] \quad (1)$$

غلظت یون ها در رابطه ۱ برحسب میلی اکی والان بر لیتر می باشد.

### نتایج و بحث

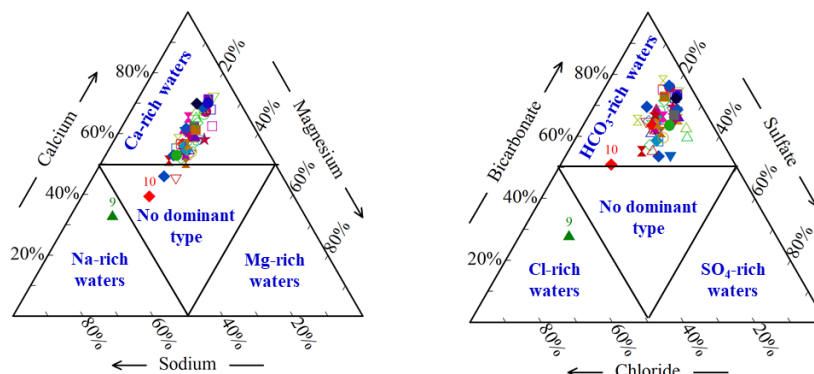
شیمی آب: به منظور بررسی کیفی آب چاه های تامین کننده آب شرب شهر گرگان و تشخیص فرآیندهایی که آب های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می دهند، تعداد ۶۳ نمونه از چاه های آب شرب واقع در بخش جنوب غربی دشت گرگان مورد مطالعه، در سال ۱۳۹۶ برداشت شد (شکل ۱). پارامترهای شیمیایی نظیر کل مواد جامد محلول، بی کربنات، کلراید، سولفات، فلوراید، فسفات، نیترات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن و منگنز در آزمایشگاه آب و فاضلاب گرگان اندازه گیری شد. میزان آنیون ها و کاتیون های موجود در آب زیرزمینی به جنس سنگ ها، میزان انحلال کانی های تشکیل دهنده سنگ ها، سرعت و مسیر حرکت آب های زیرزمینی بستگی دارد. شکل ۲ نمودار دایره ای پارامترهای کیفی آب چاه های آب شرب گرگان را نشان می دهد. براین اساس، کلسیم و بیکربنات به ترتیب کاتیون و آنیون غالب آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه می باشد.



شکل ۲: نمودار دایره ای پارامترهای کیفی، متوسط کاتیون های (a) و آنیون های (b)

به منظور تفسیر بهتر شیمی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از دیاگرام های مثلثی Ca-Mg-Na و HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Cl استفاده شد (شکل ۳). بر اساس تجمع نمونه ها در دیاگرام های مثلثی آنیون و کاتیون غالب آب زیرزمینی به ترتیب بی کربنات

و کلسیم می‌باشد. باتوجه به اینکه بخش وسیعی از ارتفاعات دشت مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی دربر می‌گیرد (شکل ۱)، غالب بودن یون‌های کلسیم و بی‌کربنات بدیهی می‌باشد. همچنین باتوجه به متوسط غلظت یون‌های اصلی در آب (شکل ۲)، می‌توان نتیجه گرفت که تیپ غالب آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه به احتمال فراوان، بی‌کربنات کلسیک می‌باشد.



شکل ۳: دیاگرام سه‌گانه  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$  و  $\text{Ca-Mg-Na}$  برای تعیین کاتیون و آنیون غالب

طبقه‌بندی آب برای شرب: آب مورد استفاده در بخش شرب می‌بایست بدون رنگ، کدورت و میکروارگانیسم باشد. برای تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی در بخش شرب و بهداشت عمومی از پارامترهای هیدروشیمیایی مطرح شده در جدول ۱ استفاده شد. بدین منظور ابتدا پارامترهای بیان شده با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان داد که هیچ کدام از پارامترهای هیدروشیمیایی اندازه‌گیری شده در این تحقیق از حد مجاز استانداردهای جهانی تجاوز نمی‌کند (WHO, 2004).

میزان pH نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه بین ۶/۹۹ و ۷/۸ متغیر می‌باشد. براین اساس آب زیرزمینی دشت بطور طبیعی کمی طبیعت قلیایی دارند.

جدول ۱: پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در چاه‌ها و مقایسه آن‌ها با استانداردهای WHO برای شرب

پارامترهای شیمیایی	کمترین	بیشترین	حد مجاز WHO	اثرهای نامطلوب
کلسیم	31	164	200	پوسته گذاری
منیزیم	11.5	51.1	150	-
سدیم	5.5	215	200	فشار خون بالا
پتاسیم	0.9	7.2	12	تلخ مزه
بی‌کربنات	140	440	600	-
سولفات	18.1	231	600	ملین
کلراید	11.3	466	600	شور مزه
کل جامدات محلول	191	1155	1500	تحریک دستگاه گوارش
pH	6.99	7.8	9.2	طعم ناخوشایند

بیست و چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
 ۲۵ و ۲۶ آبان ماه ۱۴۰۰ - دانشگاه خوارزمی (تهران)  
 24<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran



کل جامدات محلول (TDS) بطور کلی شامل نمک‌های معدنی مانند کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، کلریدها، سولفات‌ها، فسفات‌ها و نیترات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن و غیره است. غلظت TDS در محدوده مورد مطالعه بین ۱۹۱ تا ۱۱۵۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. برای اطمینان از مناسب بودن آب‌های زیرزمینی برای هر هدفی، طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی براساس ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها بویژه TDS ضروری می‌باشد. براساس طبقه‌بندی Davis and De Wiest (1966) بیشتر نمونه‌های آب برای شرب مجاز یا مطلوب می‌باشد و تنها یک نمونه مناسب شرب نمی‌باشد (جدول ۱). براساس طبقه‌بندی Freeze and Cherry (1979) نیز بیشتر نمونه‌ها در کلاس آب شیرین قرار می‌گیرند و تنها یک نمونه (چاه شماره ۹) جزء آب‌های لب شور بحساب می‌آید.

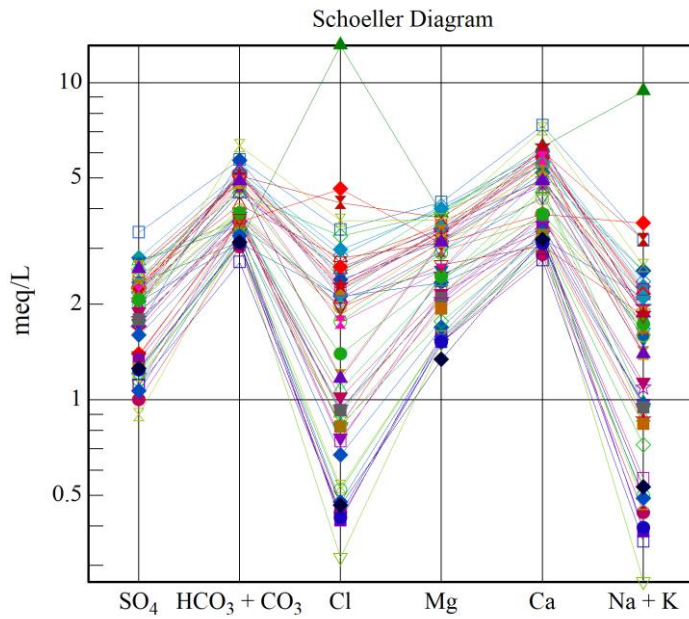
بطور کلی تغییرهای سختی در منطقه بین حدود ۱۲۶ تا ۶۱۲ میلی‌گرم بر لیتر نوسان دارد. براساس جدول ۲ آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه دارای سختی متوسط تا خیلی زیاد می‌باشد. سختی آب نشان دهنده ماهیت تشکیلات زمین‌شناسی است که آب زیرزمینی با آن‌ها در ارتباط می‌باشد. باتوجه به پراکندگی سازندهای آهکی، آهکی-دولومیتی و دولومیتی، بالا بودن سختی آب بدیهی بنظر می‌رسد.

جدول ۲: طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی بر اساس پارامترهای مختلف برای شرب (Freeze and Cherry, 1979)

تعداد نمونه‌ها	طبقه‌بندی	مقدار	پارامتر
33	مطلوب برای شرب	<500	کل مواد جامد محلول*
32	مجاز به شرب	500-1000	
1	مناسب برای کشاورزی	1000-3000	
-	نامناسب برای کشاورزی و شرب	>3000	
-	سبک	<75	سختی* (Hardness)
1	کمی سخت	75-150	
25	سختی متوسط	150-300	
37	خیلی سخت	>300	

\* کل مواد جامد محلول و سختی برحسب میلی‌گرم بر لیتر و یون کلراید برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر

در دیاگرام شولر یکی از مهمترین طبقه‌بندی‌ها برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب می‌باشد. باتوجه به این دیاگرام، کیفیت آب آبخوان گرگان در رده خوب قرار می‌گیرد (شکل ۳). اگرچه برای اطمینان بیشتر از سلامت آب دشت در بخش شرب، پیشنهاد می‌شود که نمونه‌های آبی به لحاظ میکروبی و دیگر پارامترهای شیمیایی نظیر نیترات، فلزهای سنگین بررسی شوند.



شکل ۳: نمودار شولر نمونه‌های آبی دشت مورد مطالعه

### نتیجه‌گیری

در اکثر نقاط جهان، آب زیرزمینی تأمین کننده اصلی آب شرب است. بیش از ۸۰٪ آب شرب شهر گرگان، از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود (صابری و همکاران، ۱۳۸۹). این پژوهش بمنظور بررسی کیفی آب زیرزمینی قسمت جنوب غربی دشت گرگان برای مصرف شرب انجام شد. براساس مطالعات هیدروژئوشیمیایی، کلسیم و بی‌کربنات به ترتیب آنیون و کاتیون غالب آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌باشند. الگوی پراکندگی نمونه‌ها در دیاگرام سه گانه، نشان از رخساره‌های بیکربناته در آبخوان دشت گرگان دارد.

مقایسه پارامترهای هیدروشیمیایی اندازه‌گیری شده نظیر کلسیم، سدیم، منیزیم، کلراید، کل جامدات محلول و pH با دستورالعمل‌های WHO نشان داد که در هیچ کدام از پارامترهای شیمیایی از حد مجاز استانداردهای جهانی تجاوز نمی‌کند بجز در یک نمونه (چهار شماره ۹ مقدار غلظت یون سدیم ۲۱۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد) غلظت یون سدیم بیشتر از مقدار استاندارد می‌باشد. میزان pH نمونه‌های آب زیرزمینی بیانگر آن است که آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه طبیعت به نسبت قلیایی دارند. مقایسه کل جامدات محلول و غلظت یون کلراید با دیگر استانداردهای موجود نشان داد که تنها یک نمونه جزء آب‌های لب شور بوده و مناسب شرب نمی‌باشد. درحالی‌که براساس نمودار شولر، کیفیت آب منطقه در رده خوب قرار می‌گیرد.

### منابع

- شمعانیان، غ، ح، رقیمی، م، یخکشی، ا، احمدی، م، یارمحمدی، م، دهقان، ح، ۱۳۸۴. هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی در حوزه آبریز گرگانرود - قره سو، استان گلستان، همایش انجمن زمین شناسی ایران، دوره ۹.
- صابری، ن، ماهینی، ع، س، عبدی، ا، ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی شهر گرگان با تأکید بر جنبه آب شرب، همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دوره ۴.
- Alipour, A., Rahimi, J., & Azarnivand, A., 2017. Groundwater quality analysis for drinking and agricultural purposes-a prerequisite for land use planning in the arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management* 70(2), 423-434.

- Bhat, M. A., Wani, S. A., Singh, V. K., Sahoo, J., Tomar, D., & Sanswal, R., 2018. An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. *J Agric Sci Food Res*, 9(1), 9.
- Durvey, V. S., Sharma, L. L., Saini, V. P., & Sharma, B. K., 1991. Handbook on the methodology of water quality assessment. Rajasthan agriculture university, India, 156.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979. Groundwater Prentice Hall, Engle Wood Cliffs, p 604.
- Kaur, T., Bhardwaj, R., & Arora, S., 2017. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Applied water science*, 7(6), 3301-3316.
- Raju, N. J., 2007. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. *Environmental Geology*, 52(6), 1067-1074.
- Sawyer, C. N., & McCarty, P. L., 1967. Chemistry for sanitary engineers.
- Shahpasandzadeh, M, 1992. Structural and sedimentary environment interpretation of metamorphic rocks complex of Gorgan. Tehran Tarbiat Moalem University. Gology M.Sc. Dissertation, 297p.
- Sheikhy Narany, T., Ramli, M. F., Aris, A. Z., Sulaiman, W. N. A., Juahir, H., & Fakharian, K., 2014. Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater using classic integrated geochemical methods and geostatistical techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Shirvani, T., Shirvani Saroei, I., Boochani, M. H., & Aref, F., 2015. Qualitative assessment of groundwater for agriculture and industry purposes in Sahra Bagh plain, Larestan, Iran. *Iranian journal of Ecohydrology*, 2(4), 345-356.





دانشگاه خوارزمی  
KHARAZMI UNIVERSITY



# PROCEEDING OF 24th SYMPOSIUM OF GEOLOGICAL SOCIETY OF IRAN

16 & 17 November 2021- Kharazmi University (Tehran)



آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان شهید مفتح، نرسیده به انقلاب، پلاک ۴۳، کدپستی: ۱۴۹۱۱-۱۵۷۱۹، تلفکس: ۰۲۱-۸۶۰۷۲۷۱۰

وبگاه همایش: <http://www.GSI24.khu.ac.ir> ایمیل همایش: [GSI24@khu.ac.ir](mailto:GSI24@khu.ac.ir)