بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران
۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹
The 23rd Symposium of Geological Society of Iran
10-11 November, 2020

بررسی و مقایسه پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی قدیمی و جوان سبلان

زهرا کتابی
دانشجوی دکتری پترولوژی دانشگاه صنعتی شاهرود
جلیل قلمقاش
دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

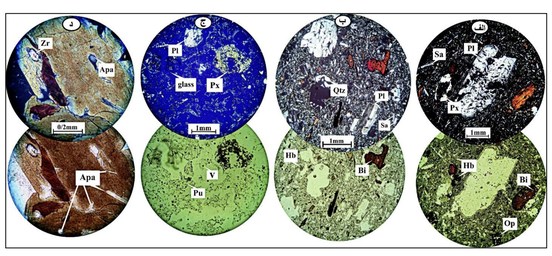
چکیده

آتشفشان سبلان از آتشفشان‌های پلیوسن – کواترنری واقع در شمال‌غرب ایران می‌باشد. فعالیت آن در دو مرحله شامل: ۱) فوران‌های قبل از تشکیل کالدرا، و ۲) فوران‌های بعد از تشکیل کالدرا که به ترتیب موجب تشکیل سنگ‌های آتشفشانی سبلان قدیمی و سبلان جوان شده است. سنگ‌های گدازه‌ای سبلان قدیمی با ترکیب تراکی‌آندزیتی تا آندزیت و سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان دارای ترکیب تراکی-آندزیت، تراکی‌داسیت تا داسیت هستند. تغییرات منظم و پیوسته اکسیدهای عناصر اصلی و عناصر فرعی در برابر SiO_2 نشانگر هم منشأ و هم ماگما بودن سنگ‌های آتشفشانی سبلان قدیمی و جوان است. بر پایه تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در برابر SiO_2 به نظر می‌رسد که ماگمای سنگ‌های آتشفشانی جوان سبلان تفریق یافته‌تر از سنگ‌های آتشفشانی قدیمی سبلان است. در الگوی توزیع عناصر نادرخاکی عادی‌سازی شده با ترکیب کندریت سنگ‌های آتشفشانی سبلان دارای غنی شدگی نسبی از LREE نسبت به HREE هستند. نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب سنگ‌های آتشفشانی سبلان قدیمی و جوان دارای ویژگی‌های مشابه شامل غنی‌شدگی نسبی آنها از عناصر LILE نسبت به عناصر HFSE هستند. در نمودارهای عنکبوتی عناصر Ba, Nb, Ta, Pr آنومالی منفی و عناصر U, Th, La, Sr آنومالی مثبت نشان می‌دهند. رفتار ژئوشیمیایی مشابه سنگ‌های آتشفشانی سبلان در الگوی توزیع عناصر نادرخاکی و کمیاب نمودارهای عنکبوتی فرضیه هم منشأ و هم ماگما بودن آنها را تأیید می‌کند.

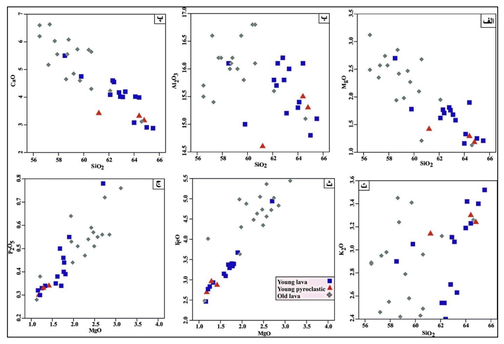
واژه‌های کلیدی: سبلان جوان، سبلان قدیمی، عناصر اصلی، فرعی و کمیاب و نادر خاکی

مقدمه

آتشفشان سبلان از آتشفشان‌های پلیوسن – کواترنری واقع در شمال‌غرب ایران می‌باشد که در دو مرحله فوران نموده است: - فوران‌های قبل از تشکیل کالدرا، سنگ‌های گدازه‌ای سبلان قدیمی و فوران‌های بعد از تشکیل کالدرا سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان را ایجاد کرده است. سنگ‌های سبلان قدیمی سن Ma ۱.۳- ۴.۵ و سنگ‌های سبلان جوان Ma ۰.۱۸۸- ۰.۴۸۱ به روش U/Pb با طیف‌سنجی جرمی توسط کریستال‌های زیرکن دارند (Ghalamghash et al., 2013). براساس مطالعات ژئوشیمی پیشین انجام گرفته از جمله ((Alberti and Stolfa, 1973)، (Alberti et al., 1975)، (Didon and Gemain, 1976)، (Dostal and Zerbi, 1978)، (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱)، (Ghalamghash et al., 2013)، (Shahbazi Shiran and Shafaii Moghadam, 2014)، (کتابی و همکاران، ۱۳۹۵)) ترکیب شیمیایی سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک آتشفشانی سبلان جوان دارای ترکیب تراکی‌آندزیت، تراکی‌داسیت تا داسیت و سنگ‌های گدازه‌ای آتشفشانی سبلان قدیمی با ترکیب تراکی‌آندزیتی تا آندزیت هستند. هدف از این تحقیق بررسی رفتار عناصر اصلی و کمیاب سنگ‌های آتشفشانی سبلان جوان و قدیم همراه با مقایسه و ارتباط این عناصر با یکدیگر می‌باشد.



شکل ۱. تصاویر میکروسکوپی سنگ گدازه‌ای سبلان قدیمی و سنگ گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان (الف) سنگ گدازه-ای سبلان قدیمی. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک همراه با بلورهای پیروکسن، بیوتیت، آمفیبول (هورنبلند) و آلکالی‌فلدسپار (سانیدین). بعضی از کانی‌های مافیک به اپک تبدیل شده‌اند. (ب) سنگ گدازه‌ای سبلان جوان. پلاژیوکلاز با ماکل دوتایی و غربالی، هورنبلند و بیوتیت‌هایی که به‌صورت درشت‌بلور و ریزبلور در خمیره هستند. (ج) سنگ پیروکلاستیک سبلان جوان. دارای بلور، حفره و شیشه که بلورها شکسته شده است و از حاشیه خورده شده و بهم جوش خورده‌اند. در خمیره شیشه حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد. (د) تصویر کانی‌های جزئی در سنگ‌های سبلان جوان. بلورهای آپاتیت و زیرکن در کانی بیوتیت را نشان می‌دهد. علائم: Pl- پلاژیوکلاز، Sa- سانیدین، Hb- هورنبلند (آمفیبول)، Bi- بیوتیت، Px- پیروکسن، Qtz- کوارتز، Glass- شیشه Op- اپک، Apa- آپاتیت، Sph- اسفن، Zr- زیرکن. عکس‌برداری در دو نور عادی (PPL) (Plane-Polarized Light) و پلاریزه (XPL) (Cross-Polarized Light) انجام شده است.



شکل ۲. نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به تغییرات SiO_2 و MgO (مربع آبی: گدازه‌های سبلان جوان، مثلث قرمز: سنگ‌های پیروکلاستیک سبلان جوان و لوزی خاکستری: گدازه‌های سبلان قدیمی).

بحث

۱. بررسی ترکیب سنگی عناصر اصلی و فرعی

بر اساس ترکیب سنگی، بافت اصلی سنگ‌های سبلان قدیم پورفیریتیک و هیالوپورفیتیک با خمیره‌ای جریانی، میکرولیتی و شیشه است. درشت‌بلورهای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول (هورنبلند) و کلینوپیروکسن (اوژیت) و آلکالی‌فلدسپار می‌باشند. پلاژیوکلاز فراوان‌ترین درشت‌بلور موجود در سنگ‌های آتشفشانی سبلان قدیم است و نسبت به سبلان جوان فراوانی بیشتری دارد. خمیره سنگ از میکرولیت‌های آلکالی‌فلدسپار (سانیدین)، آمفیبول، پیروکسن، بیوتیت و شیشه تشکیل شده است (شکل ۱ الف). کانی‌های اپک، آپاتیت و زیرکن به‌عنوان کانی‌های فرعی می‌باشند.

سنگ‌های سبلان جوان دارای بافت پورفیریتیک و هیالوپورفیریتیک هستند و درشت‌بلورهای این گدازه‌ها پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول (هورنبلند) و کوارتز در خمیره شیشه‌ای، میکرولیتی و جریانی حضور دارند. خمیره از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز (آلبیت)، آلکالی‌فلدسپار (سانیدین)، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول (هورنبلند)، پیروکسن و شیشه تشکیل شده است (شکل ۱ ب). کانی‌های اپک، آپاتیت و زیرکن به‌عنوان کانی‌های فرعی می‌باشد (شکل ۱ د). بافت سنگ‌های پیروکلاستیک سبلان جوان به‌خصوص ایگنیمبریت‌ها، هیالوپورفیروکلاستیک با خمیره شیشه‌ای می‌باشد. در متن آنها درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت، شیشه و قطعات سنگی پومیس وجود دارد. بیشتر درشت‌بلورها به‌صورت شکسته یا نیمه شکل‌دار در متن سنگ حضور دارند (شکل ۱ ج).

۲. بررسی ژئوشیمی عناصر

۲-۱. بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی

در نمودار تغییرات MgO در برابر SiO_2، مقدار اکسید MgO، با افزایش SiO_2 کاهش می‌یابد. در این نمودار سنگ‌های پیروکلاستیک میزان SiO_2 بالاتر و MgO پایین‌تری نسبت به گدازه‌های جوان سبلان دارند در صورتی‌که گدازه‌های قدیمی با SiO_2 پایین‌تر و MgO بالاتری نسبت به سنگ‌های آتشفشانی سبلان جوان متمایز هستند. روند کاهشی اکسیدهای یادشده نشان‌دهنده روند تفریق ماگمای اولیه سنگ‌های آتشفشانی سبلان جوان نسبت از ماگمای اولیه سنگ‌های آتشفشانی سبلان قدیمی می‌باشد. به همین دلیل کانی‌های فرومنیزین از جمله الیوین، پیروکسن، تیتانیت و مگنتیت در سنگ‌های جوان سبلان نسبت به سنگ‌های قدیمی سبلان کمتر متبلور شده‌اند (شکل ۲ الف). نمودار تغییرات Al_2O_3 در برابر SiO_2، با افزایش SiO_2، مقدار Al_2O_3 کاهش یافته است. در این نمودار سنگ‌های سبلان جوان به‌خصوص سنگ‌های پیروکلاستیک سبلان جوان، SiO_2 بالا و Al_2O_3 پایین‌تری نسبت به گدازه‌های قدیمی دارند و سنگ‌های پیروکلاستیک جوان SiO_2 بالا و Al_2O_3 پایین‌تری نسبت به گدازه‌های جوان دارند (شکل ۲ ب).

در نمودار تغییرات CaO در برابر SiO_2، با افزایش SiO_2، مقدار CaO کاهش می‌یابد. در این نمودار سنگ‌های پیروکلاستیک سبلان جوان SiO_2 بیشتری نسبت به گدازه‌های سبلان جوان دارند در صورتی‌که در گدازه‌های قدیمی سبلان میزان SiO_2 پایین-تر و CaO بالاتری نسبت به سنگ‌های آتشفشانی سبلان جوان دارند. لذا با توجه به این روند، می‌توان گفت که تبلور پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار در مسیر صعود ماگما کاهش پیدا کرده است و نشان‌دهنده روند تفریق در ماگما است و همچنین تبلور پلاژیوکلاز کلسیک در سنگ‌های جوان کمتر از سنگ‌های قدیمی بوده است (شکل ۲ پ) که با مطالعات پتروگرافی هماهنگی خوبی دارد (شکل ۱ الف). نمودار تغییرات K_2O در برابر SiO_2، گدازه‌ها و سنگ‌های پیروکلاستیک جوان سبلان با افزایش SiO_2 مقدار K_2O بیشتری دارند. در ضمن سنگ‌های پیروکلاستیک K_2O بالاتری نسبت به گدازه‌های جوان سبلان دارند. در حالی‌که در گدازه‌های قدیمی سبلان تغییرات K_2O نامنظم می‌باشد (شکل ۲ ت). نمودار تغییرات FeO_t در برابر MgO، مقدار FeO_t با افزایش MgO بیشتر شده است. سنگ‌های جوان (گدازه و پیروکلاستیک) FeO_t و MgO پایینی دارند. براساس شواهد تغییرات می‌توان اظهار کرد که تبلور کانی‌های فرومنیزین در سنگ‌های سبلان جوان کمتر از سنگ‌های گدازه‌ای سبلان قدیمی بوده است (شکل ۲ ث). در نمودار تغییرات P_2O_5 در برابر MgO، با افزایش MgO مقدار P_2O_5 افزایش یافته است، درصورتی که سنگ‌های جوان به‌خصوص سنگ‌های پیروکلاستیک P_2O_5 کمتری نسبت به سنگ‌های قدیمی سبلان دارند. از آنجایی که تمرکز عنصر فسفر در کانی‌هایی از جمله آپاتیت است. بنابراین تبلور کانی آپاتیت در سنگ‌های جوان کمتر می‌باشد (شکل ۲ ج).

۲-۲. بررسی ژئوشیمی عناصر جزئی

نمودارهای تغییرات عنصر Nb، Sr، Y و Yb در برابر SiO_2 روند مشابهی دارند، با افزایش SiO_2 میزان عنصر Nb، Sr، Y و Yb کاهش یافته است. سنگ‌های جوان (گدازه و پیروکلاستیک) SiO_2 بیشتر همچنین، Nb، Sr، Y و Yb کمتری نسبت به سنگ-های گدازه قدیمی دارند. تمرکز عنصر Nb در کانی‌هایی از جمله اسفن و هورنبلند است هچنین میزان تمرکز عنصر Sr در کانی-های پلاژیوکلاز و ارتوز می‌باشد (Rollinson, 1993) بنابراین کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و اسفن در سنگ‌های جوان کمتر متبلور شده‌اند. تمرکز عنصر Y, Yb در کانی گارنت می‌باشد به‌همین دلیل سنگ‌های سبلان جوان (گدازه و پیروکلاستیک) نشان می‌دهد که کانی گارنت در سنگ منشأ باقی مانده است و در طی ذوب‌بخشی این کانی ذوب نشده است (شکل ۳ الف، ب، پ، ت) (Guo et al., 2007) و (Karsli et al., 2010).

نمودارهای تغییرات و U در برابر MgO مشابه هم می‌باشد. با افزایش MgO مقدار Rb و U کاهش می‌یابد. در این دو نمودار سنگ‌های پیروکلاستیک جوان نسبت به سنگ‌های گدازه‌ای جوان و قدیمی سبلان مقدار Rb و U بیشتری دارد. تمرکز عنصر Rb در کانی بیوتیت می‌باشد، تمرکز عنصر U در کانی‌های زیرکن و آلانیت می‌باشد (Rollinson, 1993)، بنابراین تبلور کانی‌های بیوتیت، زیرکن و آلانیت در سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان بیشتر بوده است (شکل ث و ج). در نمودار تغییرات Ba در برابر MgO با افزایش MgO مقدار Ba بیشتر شده است. در این نمودار سنگ‌های گدازه‌ای جوان به‌خصوص سنگ‌های پیروکلاستیک، مقدار Ba کمتری نسبت به سنگ‌های گدازه‌ای قدیمی سبلان دارد. تمرکز عنصر Ba در کانی‌های مانند بیوتیت و هورنبلند می‌باشد (Rollinson, 1993) بنابراین تبلور کانی‌های فرومنیزین در سنگ‌های جوان کمتر بوده است (شکل د).

۳. بررسی ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادرخاکی

۳-۱. بررسی الگوی توزیع عناصر نادرخاکی عادی‌سازی شده با کندریت

برای ترسیم الگوی توزیع عناصر نادرخاکی، ترکیب شیمیایی سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان بر اساس ترکیب کندریت با استفاده از داده‌های (Sun and McDonough, 1989) عادی‌سازی شده‌اند (شکل ۴ الف). همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود عناصر نادرخاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر کمیاب‌خاکی سنگین غنی‌شدگی بیشتری دارند. آنومالی خفیف مثبت از عنصر Nd مشاهده می‌شود که بیشتر بوسیله کانی هورنبلند در سنگ‌های داسیتی تا ریولیتی کنترل می‌شود (Rollinson, 1993). مقادیر بالای نسبت La/Yb سنگ‌ها و شیب زیاد در این نمودار نشان‌دهنده‌ی این است که گارنت در سنگ منشأ باقی مانده است. در الگوی توزیع عناصر نادرخاکی گدازه‌های سبلان قدیمی که بر اساس ترکیب کندریت عادی‌سازی شده‌اند دارای ویژگی‌های مشابه سنگ‌های سبلان جوان هستند و هم منشأ و هم ماگما بودن آنها را تأیید می‌کند (شکل ۴ الف).

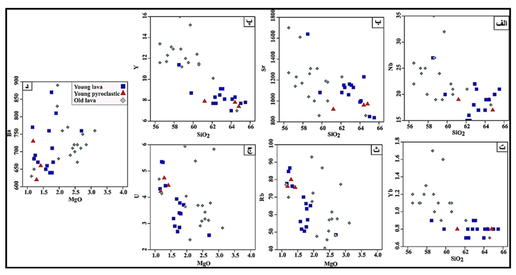
۳-۲-۳. بررسی نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب عادی‌سازی شده با گوشته اولیه

برای ترسیم نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان ترکیب آنها را بر پایه داده‌های گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) عادی‌سازی شده‌اند (شکل ۴ ب). نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب سنگ‌های آتشفشانی سبلان جوان و قدیمی دارای ویژگی‌های مشابه شامل غنی‌شدگی نسبی آنها از عناصر LILE نسبت به عناصر HFSE و وجود غنی‌شدگی مثبت و تهی‌شدگی نسبی در عناصر مشابه هستند. در این نمودارهای عنکبوتی عناصر Ba, Nb, Ta, Pr تهی-شدگی نسبی را نشان می‌دهند و بیشترین تهی‌شدگی نسبی مربوط به عنصر Nb می‌باشد. وجود تهی‌شدگی نسبی Nb, Ta در نمودارهای عنکبوتی نشانگر شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی است و یا نشانگر نقش فرورانش در محیط تشکیل سنگ‌های آتشفشانی سبلان است. با این حال عناصر U, Th, La, Sr آنومالی مثبت و غنی‌شدگی نسبت به گوشته اولیه نشان می‌دهند. غنی‌شدگی از این عناصر احتمالاً نشان‌دهنده‌ی تحوّلات ماگمایی و نقش پوسته در سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد. U, Th بوسیله آلانیت و زیرکن کنترل می‌شود. La به‌وسیله آلانیت، زیرکن و بیوتیت کنترل می‌شود. Sr نیز توسط کانی پلاژیوکلاز کنترل می-شود. براساس تشابه نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب سنگ‌های آتشفشانی سبلان عادی‌سازی با گوشته اولیه فرضیه هم منشأ و هم ماگما بودن سنگ‌های قدیمی و جوان را تأیید می‌کند (شکل ۴ ب).

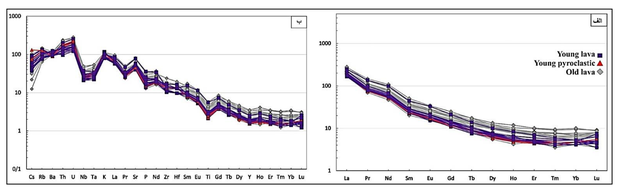
نتیجه گیری

بیشتر مقاطع سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان با افزایش SiO_2 بلورهای پلاژیوکلاز در ابعاد کوچکتر دیده شدند. کانی‌های مافیک کمتری در سنگ وجود دارد. در مقاطع سنگ‌های قدیمی سبلان میزان SiO_2 کمتر بوده و در خمیره آنها شیشه کمتری نسبت به سنگ‌های جوان می‌باشد. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در ابعاد بزرگتر از سنگ‌های سبلان جوان هستند. کانی‌های مافیک به‌خصوص پیروکسن بیشتری در سنگ‌های قدیم حضور دارد.

بیشتر اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی به صورت منظم و پیوسته با افزایش SiO_2 و MgO تغییر می‌کنند که نشانگر هم منشأ و هم ماگما بودن سنگ‌های آتشفشانی سبلان قدیمی و جوان است. بر پایه تغییرات عناصر اصلی در برابر SiO_2 و MgO به نظر می‌رسد که ماگمای سنگ‌های آتشفشانی جوان سبلان تفریق یافته‌تر از سنگ‌های آتشفشانی قدیمی سبلان است. در الگوی توزیع عناصر نادرخاکی عادی‌سازی شده با ترکیب کندریت سنگ‌های آتشفشانی سبلان دارای غنی‌شدگی نسبی از LREE نسبت به HREE هستند. نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب سنگ‌های آتشفشانی سبلان جوان و قدیمی دارای ویژگی‌های مشابه شامل غنی‌شدگی نسبی آنها از عناصر LILE نسبت به عناصر HFSE هستند. در این نمودارهای عنکبوتی عناصر Ba, Nb, Ta, Pr تهی‌شدگی نسبی را نشان می‌دهند. عناصر U, Th, La, Sr آنومالی مثبت و غنی‌شدگی نسبت به گوشته اولیه نشان می‌دهند. رفتار ژئوشیمیایی مشابه سنگ‌های آتشفشانی سبلان در الگوی توزیع عناصر نادرخاکی و کمیاب نمودارهای عنکبوتی فرضیه هم منشأ و هم ماگما بودن آنها را تأیید می‌کند.



شکل ۳. نمودارهای تغییرات عناصر فرعی نسبت به تغییرات SiO_2 و MgO (مربع آبی: گدازه‌های سبلان جوان، مثلث قرمز: سنگ‌های پیروکلاستیک سبلان جوان و لوزی خاکستری: گدازه‌های سبلان قدیمی).



شکل ۴. نمودار الگوی عناصر نادرخاکی عادی‌سازی شده نسبت به کندریت (Sun and McDonough, 1989). (الف) گدازه‌های سبلان قدیمی و سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان (ب) نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب عادی‌سازی شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989): گدازه‌های سبلان قدیمی و سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک سبلان جوان. (مربع آبی: گدازه‌های سبلان جوان، مثلث قرمز: سنگ‌های پیروکلاستیک سبلان جوان و لوزی خاکستری: گدازه‌های سبلان قدیم).

منابع

۱. موسوی، س.، قلمقاش، ج.، درویش‌زاده، ع.، وثوقی عابدینی م.، ۱۳۹۱. مقاله ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آداکیتی آتشفشان سبلان، چکیده سی و یکمین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشو، صفحه ۸۸.

۲. کتابی، ز.، قلمقاش، ج.، موسوی، س.، ۱۳۹۵. رساله پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی سبلان جوان، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷ صفحه.

3. Alberti, A., Stolfa, D., 1973, First data on the Sabalan volcano, the upper series. Rend. Sco. Ita. mineral. petrol., 29: 369-385.

4. Alberti, A., CHiaramonti, P. C., Battistini, G. D., Sinigoi, S., Zerbi, M., 1975. On The Magmatism Of The Savalan Volcano, (North-West Iran), p.337-350.

5. Didon, J., Gemain, Y. M., 1976. Le Sabalan,volcan Plio- quaternaire de l, Azarbyjan oriental, Iran, These de 3eme cycle, univ. Geroble, 304p.

6. Dostal, J., Zerbi, M., 1978, "Geochemistry of the Savalan volcano (northwestern Iran)," Chemical Geology. p. 31-42.

7. Ghalamghash, J., Mousavi, Z., Hassanzadeh, J., and Schmitt, A. K., 2013. Sabalan volcano, northwest Iran: Geochemistry and U-Pb zircon geochronology, GSA Annual Meeting in Denver: 125th Anniversary of GSA.

8. Shahbazi Shiran, H., Shafaii Moghadam, H., 2014. Geochemistry and petrogenesis of the Sabalan Plio-Quaternary volcanic rocks: implication for post-collisional magmatism. IRANIAN SOCIETY OF CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY vol. 22, 57-68.

9. Rollinson, H. R., 1993. Using geological data, evolution, presentation, interpretation, Longman Ltd. Publication, 357 pp.

10. Karsli, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydin, F., Kandemir, R., Wijbrans, J., 2010. Generation of the Early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination. Lithos, v. 114, 109-120. doi:10.1016/j.lithos.2009.08.003.

11. Guo, Z., Wilson, M., Liu. J., 2007. Post-collision adakites in south Tibet: Products of partial melting of subductin0modified lower crust. Lithos, v. 96, 205-224, doi:10.1016/j.lithos.2006.09.011.

12. Sun, S. S., McDonough W. E., 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Magmatism in the ocean Basins. Ed. Sunders A.D., Norry M.J. Geologycal Society of London Special Publication, v. 42, 313-345.