



# بیست و سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹ The 23<sup>rd</sup> Symposium of Geological Society of Iran 10-11 November, 2020

## جایگاه چین خوردگی‌های هم‌لرزه در ارزیابی خطرات لرزه‌ای مجامع شهری

### (مطالعه موردی شهر بیرجند - خاور ایران)

محمد امیر علیمی

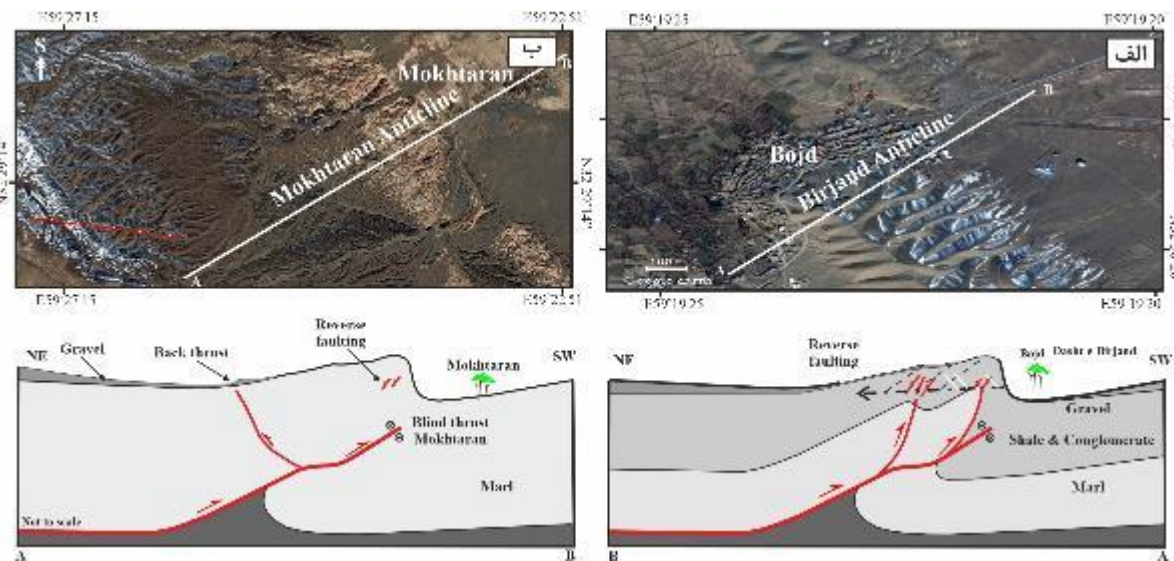
استادیار گروه مهندسی معدن دانشگاه صنعتی بیرجند

[malimi@birjandut.ac.ir](mailto:malimi@birjandut.ac.ir)

#### تاق‌دیس هم‌لرزه مختاران

تاق‌دیس مختاران، به طول تقریبی ۲۰ کیلومتر و عرض حدود ۵ کیلومتر، باعث چین‌خوردگی و کج‌شدگی لایه‌های گراول به سن کواترن پسنین و لایه‌های مارن (نئوزن) شده و روند شمال-باختر - جنوب‌خاور دارد (شکل ۱-ب) که به موازات ساختارهای قدیمی در رشته کوه باقران کشیده شده است. این تاق‌دیس توسط رانده‌هایی با شیب به سمت جنوب و شمال ایجاد شده‌اند. این تاق‌دیس توسط کوهستان باقران در شمال و کوهستان‌های شاه و زر و نیز دق اکبرآباد در جنوب احاطه شده است.

گسل‌های خطرناک در گستره مختاران، گسل‌های معکوس و چین‌های فعال مرتبط با رانده‌های پنهان هستند که به علت مجاورت با روستاهای پرجمعیت منطقه و نیز نزدیکی به شهر بیرجند (فاصله ۴۵ کیلومتری) باید مورد توجه ویژه قرار گیرند. چین هم‌لرزه مختاران یکی از ساختارهای مهم منطقه بوده که در روند تکامل پیش‌رونده آن گسل اصلی پنهان در یال جنوبی رشد کرده و در ادامه گسل رانده‌ی پستی در یال شمالی چین، شکل می‌گیرد (شکل ۴-ب).



شکل ۴- الف- تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نیمرخ تاق‌دیس بیرجند در محل روستای بجد، رشد رانده‌ی پنهان بیرجند در عمق مشهود است [۱]. ب- تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نیمرخ تاق‌دیس مختاران در محل روستای مختاران، رشد رانده‌ی پستی در رسوبات کواترنری آشکار است [۲].

#### ارزیابی خطرات لرزه‌ای چین خوردگی‌ها

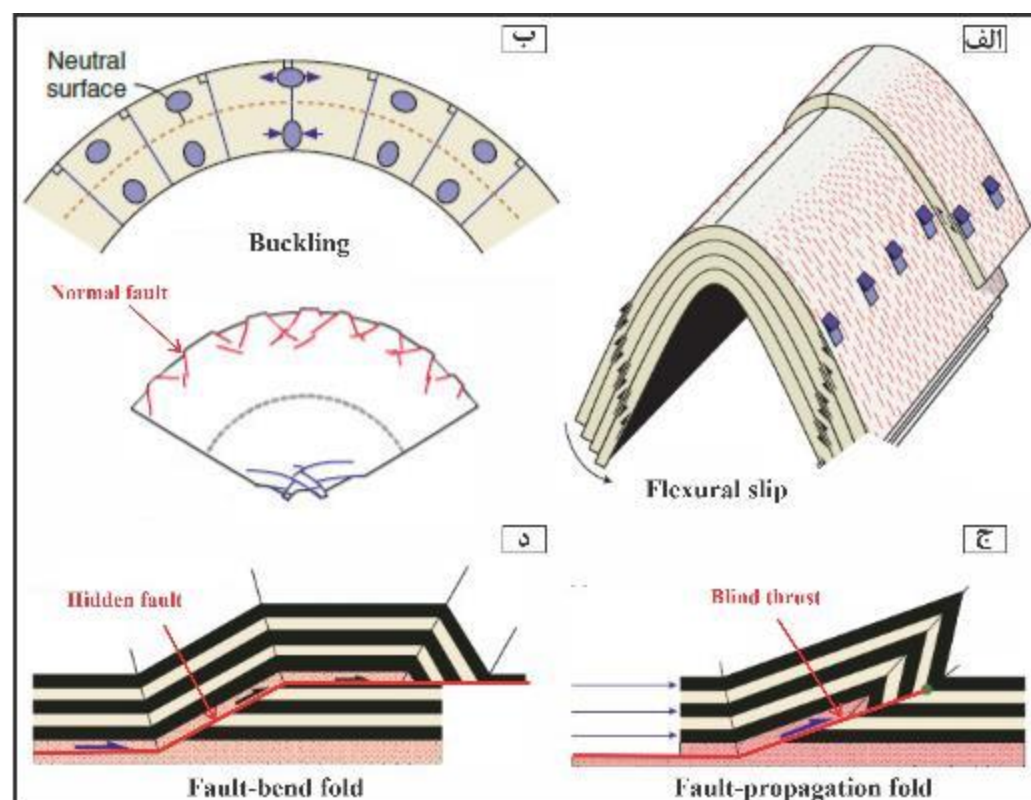
زلزله‌هایی که با رشد چین‌ها همراه هستند در مجاورت کمربندهای چین خورده - رانده دیده می‌شوند. ساختارهای زیرین این چین‌ها از رانده‌ی تشکیل شده که هر از چند گاهی باعث ایجاد زلزله‌های نیمه عمیق می‌شوند. ساز و کار چین خوردگی‌های لرزه‌زا یا هم‌لرزه دو دسته‌اند:

الف- ساز و کار خمشی لغزشی: در این ساز و کار ضخامت لایه‌های مقاوم ثابت مانده و لایه‌های سنگی پوری خمیده می‌شوند که لایه‌های رویی بر روی لایه‌های زیرین لغزش می‌یابند (شکل ۲-الف). در این حالت سطح لایه به صورت سطوح ضعیف عمل نموده و همانند سطح گسله عمل می‌کنند. گسله‌های خمشی - لغزشی در سطح لایه‌بندی باقی می‌مانند و قادر به نفوذ به اعماق بیشتر از دامنه‌های خمشی - لغزشی نمی‌باشند. این گسل‌ها معمولاً در حین زلزله ایجاد و یا شروع به فعالیت می‌کنند. نمونه‌ای از زلزله‌های مرتبط با این ساز و کار در منطقه معدنی لامپوک در کالیفرنیا (زلزله با بزرگی ۲/۵، ۱۹۸۱) دیده شده است.

ب- ساز و کار کمانشی: در این ساز و کار بخش محدب سطح چین خورده کشیده و بخش مقعر آن فشرده می‌شود. در اینصورت عوارض ثانویه همراه با چین خوردگی ایجاد می‌شوند که شامل: گسله‌های تقلی یا نرمال در بخش کششی و گسل‌های معکوس در بخش مقعر. کسله‌هایی که با این مکانیزم تشکیل می‌شوند گسله‌های کوچکی هستند (شکل ۲-ب). در زمین‌لرزه ۱۹۹۴ سفیدابه نمونه‌هایی از این نوع گسلش گزارش شده است.

ج- ساز و کار خمش: در اثر دو الگوی چین خم گسلی و چین رشد گسلی خمش در واحدهای سنگی واقع در فرادواره رانده‌هایی که در عمق فعالیت دارند ایجاد می‌شود (اشکال ۲-الف و ب). این گسل‌های پنهان، نش‌نهایی را

بوسیله چین خوردگی نمایش می‌دهند و قادر به ایجاد زمین‌لرزه‌های بزرگ هستند. بیشترین مناطق خطر در زمین‌لرزه‌های مرتبط با گسله‌های رانده پنهان، مربوط به جاهایی است که چین‌ها حالت خمیدگی پلکانی دارند. در این مناطق گسله‌های مدفون توسط گسل‌های تراگذر بریده شده‌اند. بنابراین در برآورد خطر زمین‌لرزه این مناطق باید با ریسک بالای زلزله در نظر گرفته شود.



شکل ۲- ساز و کارهای مرتبط به ایجاد چین خوردگی‌های لرزه‌ای و هم‌لرزه [۱]. الف- خمشی - لغزشی؛ ب- کمانشی؛ ج- چین رشد گسلی؛ چین خم گسلی.

#### نتیجه گیری

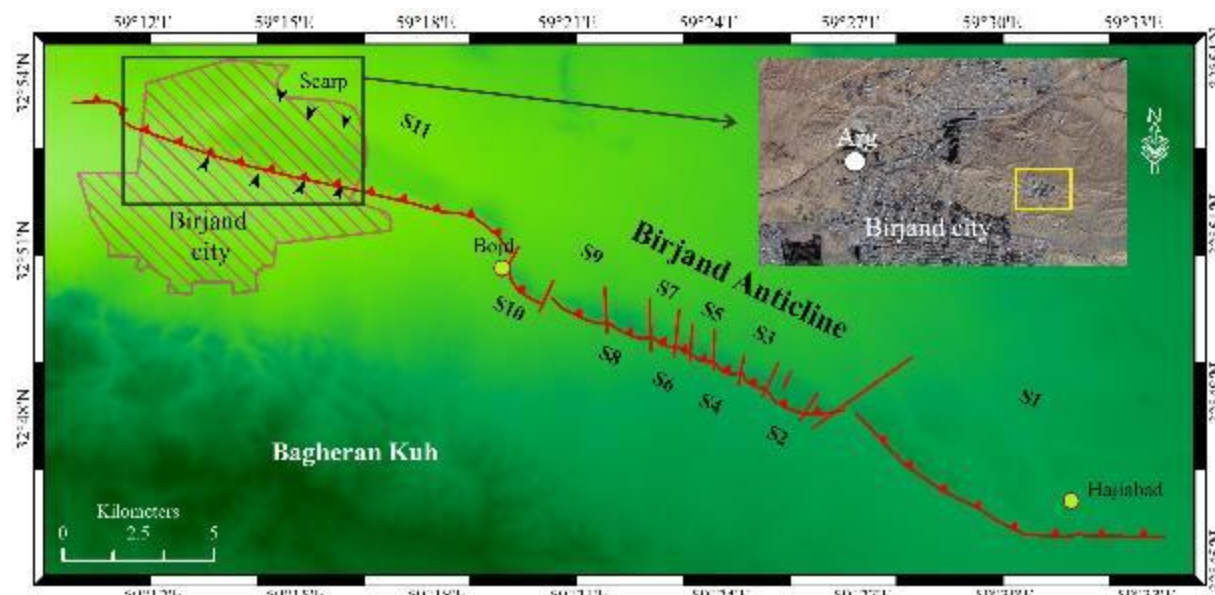
تاق‌دیس‌های بیرجند و مختاران از جمله چین خوردگی‌های هم‌لرزه هستند که در ارزیابی لرزه‌زمین‌ساختی شهر بیرجند بایستی با نگاهی ویژه به آنها پرداخته شود. وجود گسل‌های تراگذر در تاق‌دیس بیرجند به آن ظاهری خمیده داده است. این بدین معناست که گسل رانده‌ی پنهان زیرین در اثر عملکرد گسل‌های تراگذر قطعه قطعه شده است. بیشترین خمیدگی چین که نتیجه جابجایی گسل تراگذر بجد است در قطعه‌ای از چین دیده می‌شود که شهر بیرجند در آن توسعه یافته است. بنظر می‌رسد خطر لرزه‌ای در این قطعه بسیار بالا باشد. در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای احتمالی علاوه بر خطرات ناشی از امواج لرزه‌ای، ایجاد برش در بخش‌هایی از چین (بخصوص در محل افرازهای گسلی) محتمل است. همچنین ایجاد ساختارهای ثانویه هم‌زمان با رخداد لرزه‌ای، نظیر گسل‌های نرمال در قله چین و لغزش‌های بین یالی، ساخت و سازهای جدید شهری بر روی چین و نیز بخشی از بافت قدیمی شهر را تحت تأثیر قرار خواهد داد. تاق‌دیس مختاران نیز بدلیل شواهدی از رشد چین در دشت ماژان و نیز نمود رانده‌ی پستی در رسوبات کواترنری بعنوان یک سرچشمه لرزه‌ای در منطقه محسوب می‌شود که بعلاوه نزدیکی به شهر بیرجند باید در ارزیابی لرزه‌زمین‌ساختی شهر بیرجند مورد توجه قرار گیرد.

#### تاق‌دیس هم‌لرزه بیرجند

تاق‌دیس بیرجند با شواهد بالآمدگی تاق شکل و روند شمال-باختر - جنوب‌خاور، به طول تقریبی ۴۰ کیلومتر و عرض حدود ۴-۲ کیلومتر در واحدهای سخت شده کنگلومرایی، مارن، توف، مارن توفی نئوزن و گراول‌های آبرفتی کواترنری گسترده شده است و نتیجه فعالیت رانده‌ی پنهان بیرجند در عمق کم دارد (شکل ۴-الف). با توجه به اینکه تاق‌دیس بیرجند زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۷/۶ در ۴۷۱ سال قبل ایجاد کرده است، چین خوردگی هم‌لرزه‌ی بوده و در ارزیابی لرزه‌زمین‌ساختی آن باید ملاحظات ویژه‌ای صورت گیرد.

تاق‌دیس بیرجند در اثر عملکرد ۱۲ گسله تراگذر قطعه قطعه شده و به حالت خمیدگی پلکانی در آمده است که علت آن تفاوت رشد گسل در قسمت‌های باختری و خاوری می‌باشد. یکی از قطعات اصلی تاق‌دیس بیرجند، قطعه شماره ۱۱ است. طول تقریبی آن در راستای محور ۱۶ کیلومتر بوده که از روستای بجد شروع و تا شمال‌باختر بیرجند گسترش یافته است. بعلاوه خمیدگی که در محل روستای بجد چین به خود گرفته در برآورد خطر زمین‌لرزه این منطقه باید با ریسک بالای زلزله در نظر گرفته شود.

همچنین بافت تاریخی شهر بیرجند (قلعه تاریخی بیرجند متعلق به دوره صفویه) بر روی قطعه شماره ۱۱ بنا شده و نیز بخشی از ساخت و سازهای جدید شهری و تجهیزات نظامی بر روی آن واقع است [۱]. در این قطعه، در بخش شمالی چین افرازهای رانده‌ی پستی و در بخش جنوبی افرازهایی که نتیجه به سطح رسیدن شاخه‌های جدا شده از رانده‌ی پنهان اصلی می‌باشند، نمایان شده‌اند که خطر برش سطحی زمین در هنگام رخداد زمین‌لرزه را خاطر نشان می‌کند (شکل ۳).



شکل ۳- تعداد ۱۲ گسل تراگذر، تاق‌دیس بیرجند را به ۱۱ قطعه گسیخته است. بخشی از بافت قدیمی شهر و نیز ساخت و سازهای جدید شهری بر روی قطعه شماره ۱۱ قرار گرفته است.

#### چکیده

در مناطق مختلف زمین زلزله‌های بزرگی رخ داده‌اند که کانون رومرکزی پاره‌ای از آنها بر گسلش آشکار شده در سطح منطبق نیستند. در چنین مناطقی چین خوردگی‌های هم‌لرزه عامل اصلی لرزه‌زایی بوده و با رانده‌ی پنهان ارتباط دارند. این رانده‌ی پنهان در حاشیه کوهستان‌های فعال و در دشت‌های آبرفتی رشد می‌کنند و در اکثر موارد در مجاورت شهرهای بزرگ قرار دارند. تاق‌دیس‌های بیرجند و مختاران از جمله چین‌های هم‌لرزه هستند که خطر لرزه‌ای برای شهر بیرجند محسوب می‌شوند. تاق‌دیس بیرجند در مجاورت شهر واقع شده و توسط گسل‌های تراگذر به قطعاتی گسسته شده است. بر روی بزرگترین قطعه چین، ساخت و سازهای شهری صورت گرفته است. با توجه به خمیده شدن چین در این قطعه، در اثر عملکرد گسل تراگذر بجد، خطر زمین‌لرزه در آن بسیار بالاست. همچنین افرازهای گسلی در مناطقی از شهر نمود دارد که خطر برش را در زمان وقوع زمین‌لرزه محتمل می‌کند. در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای بزرگ خطر احتمال ایجاد ساختارهای ثانویه نظیر گسل‌های نرمال در قله چین و لغزش یال‌های چین را نباید نادیده گرفت. تاق‌دیس مختاران نیز که در جنوب رشته کوه باقران واقع است بدلیل رشد سرشاخه‌های رانده‌ی در دشت ماژان و نیز ایجاد رانده‌ی پستی در رسوبات کواترنری فعال است و بعلاوه نزدیکی به شهر بیرجند باید در تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی آن مورد توجه ویژه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: چین هم‌لرزه، رانده‌ی پنهان، خطر لرزه‌ای، بیرجند، خاور ایران.

#### مقدمه

مطالعه زمین‌لرزه‌های مخرب نیواپریا، کوالینگا، ویترناری کالیفرنیا در چهار دهه پیش، روشن ساخت که در هنگام زلزله دامنه تاق‌دیس‌های سطحی افزایش یافته است و زلزله همراه با گسیختگی سطحی نمی‌باشد. تا پیش از این تفکر حاکم این بود که زمین‌لرزه‌های زمین‌ساختی بوسیله لغزش بر روی سطوح گسله‌ها اتفاق می‌افتند. به این ترتیب توجه افراد زیادی بر روی مسئله ارتباط چین‌های فعال، گسله‌ها و زلزله‌ها معطوف گردید. در برخورد با این مسئله دو دیدگاه مطرح شد:

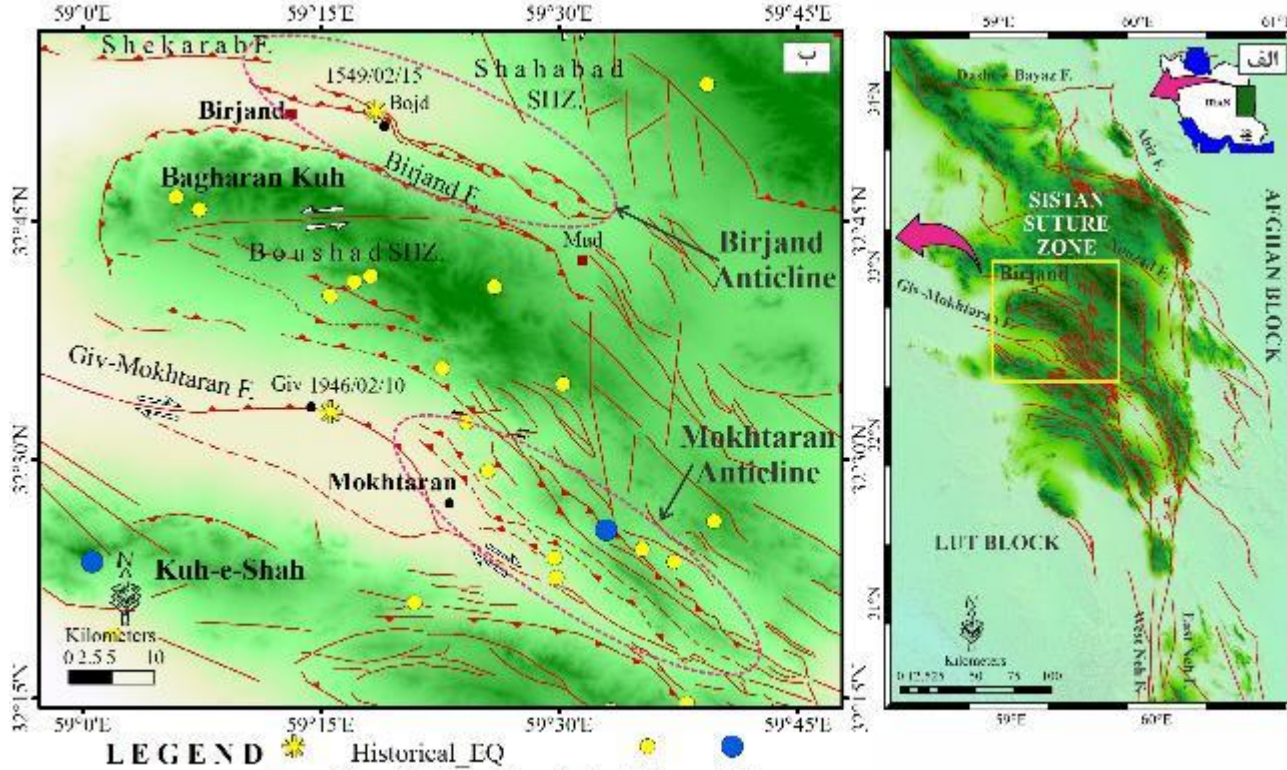
الف- چین خوردگی لرزه‌زا: چین خوردگی مسبب لرزه‌زایی است.

ب- چین خوردگی هم‌لرزه: عامل اصلی لرزه‌زایی و رشد چین‌ها، گسل‌های پنهان هستند.

در سال‌های اخیر وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب در مجاورت مناطق شهری، تهدید جدی گسل‌های فعال را یادآوری می‌کند. شهر بیرجند در خاور ایران مرکز استان خراسان جنوبی است که دارای سابقه لرزه‌خیزی تاریخی می‌باشد. این شهر بر روی رسوبات آبرفتی دشت بیرجند بنا شده است که توسط گسل‌های فعال در مرز کوهستان‌های اطراف و دشت احاطه شده است. تاق‌دیس‌های بیرجند و مختاران، از جمله چین‌های هم‌لرزه هستند که مطالعه آنها بدلیل نزدیکی به شهر بایستی در ارزیابی‌های لرزه‌زمین‌ساختی مورد بررسی قرار گیرند.

#### موقعیت لرزه زمین ساختی منطقه

توزیع گسلش فعال و شکل‌گیری زمین‌ساختی امروزی در ایران از ۵Ma آغاز شده است [۳ و ۷]. لرزه‌خیزی در ایران نتیجه توزیع همگرایی در رشته کوه‌های مرتفع جنوبی (زاگرس)، شمالی (البرز و کپه‌داغ) و خاور ایران است. دگربرخشی فعال خاور ایران توسط گسل‌های راست‌الغز راست‌بر شمال‌باختری یا شمالی - جنوبی و نیز رانده‌ی پنهان‌های آنها با روند شمال-باختری - جنوب‌خاوری کنترل می‌شود [۴]. شهر بیرجند بر روی دشت بیرجند واقع است که توسط کوهستان باقران در جنوب و کوهستان‌های مؤمن‌آباد - شکراب و دشت اسداباد در شمال احاطه شده است (شکل ۱-الف). در دشت‌های میان کوهستانی مذکور نهشته‌های کواترنری به صورت مخروط‌افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید، پادگانه‌های آبرفتی رودخانه‌ای و رسوبات جدید رودخانه‌ای نمود دارند. این منطقه از نظر زمین‌لرزه‌های تاریخی نیز حائز اهمیت است. در ۲۶ بهمن ۹۲۷ ه. ش، زمین‌لرزه‌ای با بزرگی تقریبی (Ms = 6.7) [۵] بیرجند و روستاهای بجد، شازلیه، تقاب و سیوجان را تخریب کرد که در این واقعه ۳۰۰۰ تن جان باختند. با وجود اینکه هیچ سطح شکستی از این زمین‌لرزه در منطقه شناسایی نشده، اما به نظر می‌رسد که زمین‌لرزه مذکور نتیجه فعالیت رانده‌ی پنهان شمال بیرجند بوده است (شکل ۱-ب).



شکل ۱- الف- موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه زمین‌دز سیستان؛ ب- گسلش فعال و لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه.

[۱] علیمی، م. ا.، ۱۳۹۴. ارزیابی لرزه‌زمین‌ساختی پهنه‌های برشی پنهان فعال (خاور ایران - خراسان جنوبی). دانشگاه بیرجند، رساله دکتری.  
[۲] علیمی، م. ا.، ۱۳۹۵. شواهدی از رشد رانده‌ی پستی در تاق‌دیس لرزه‌ای مختاران (خاور ایران). بیستین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تهران.

#### References

- [3]. Allen, M.B., Jackson, J. & Walker, R.T., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation. *Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian on rates*: Tectonics, v. 23, TC2008.
- [4]. Berberian, M., *Plateau*: Elsevier, 699 p.
- [5]. Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M.M. & Priestley, K., 2000. The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: Blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone. *Geophys. J. Int.*, v. 142, p. 283-299.
- [6]. Fossen, H., 2010. *Structural geology*. Cambridge university press.
- [7]. Walker, R.T. & Jackson, J.A., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran: Tectonics, v. 23, TC5010.