

## شناسایی گسل مسبب زمین‌لرزه ۱۹ اسفندماه ۱۳۸۶ آراین شهر

### به کمک تحلیل پس‌لرزه‌ها

حسام یزدان پناه<sup>۱</sup>، محمد مهدی خطیب<sup>۲</sup>، سید سعید احمدی زاده<sup>۳</sup>

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه بیرجند

۲ - عضو هیئت علمی دانشگاه بیرجند، گروه زمین‌شناسی

۳ - عضو هیئت علمی دانشگاه بیرجند، گروه مهندسی محیط زیست

### چکیده

نوزدهم اسفند ماه سال ۱۳۸۶، زمینلرزه نسبتاً شدیدی با بزرگای  $M_L = 5/1$ ، آراین شهر در ۵۵ کیلومتری شمال شرق بیرجند را لرزاند. این زمینلرزه موجب ویرانی روستاهای زیادی در منطقه گردیده است. ابتدا گسل سده با روند N76 به عنوان سرچشمه این زمینلرزه معرفی شد. اما توزیع پس‌لرزه‌ها در گستره‌ای بیضوی شکل به وقوع پیوسته که محور بزرگ این بیضوی (N120) تقریباً عمود بر روند گسل سده واقع شده است. پس از وقوع زمینلرزه، شبکه‌های لرزه‌نگاری مستقر در منطقه بیش از ۱۰۰ پس‌لرزه ثبت نموده است. پس‌لرزه‌هایی که به صورت مشترک با بیش از سه دستگاه ثبت گردیده‌اند، استخراج و پارامترهای آنها تعیین و روی نقشه گسل‌های منطقه ترسیم شده‌اند. بدین ترتیب توزیع کانونی پس‌لرزه‌ها مشخص گردید و به کمک آن ابعاد و هندسه گسل مسبب زمینلرزه اصلی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسی توزیع پس‌لرزه‌ها و تفسیر داده‌های هوامغناطیس بیانگر وجود گسل پنهان (گسل قیصار) به موازات محور بزرگ بیضوی گسترش پس‌لرزه‌ها می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** آراین شهر، پس‌لرزه، گسل سده، گسل قیصار.

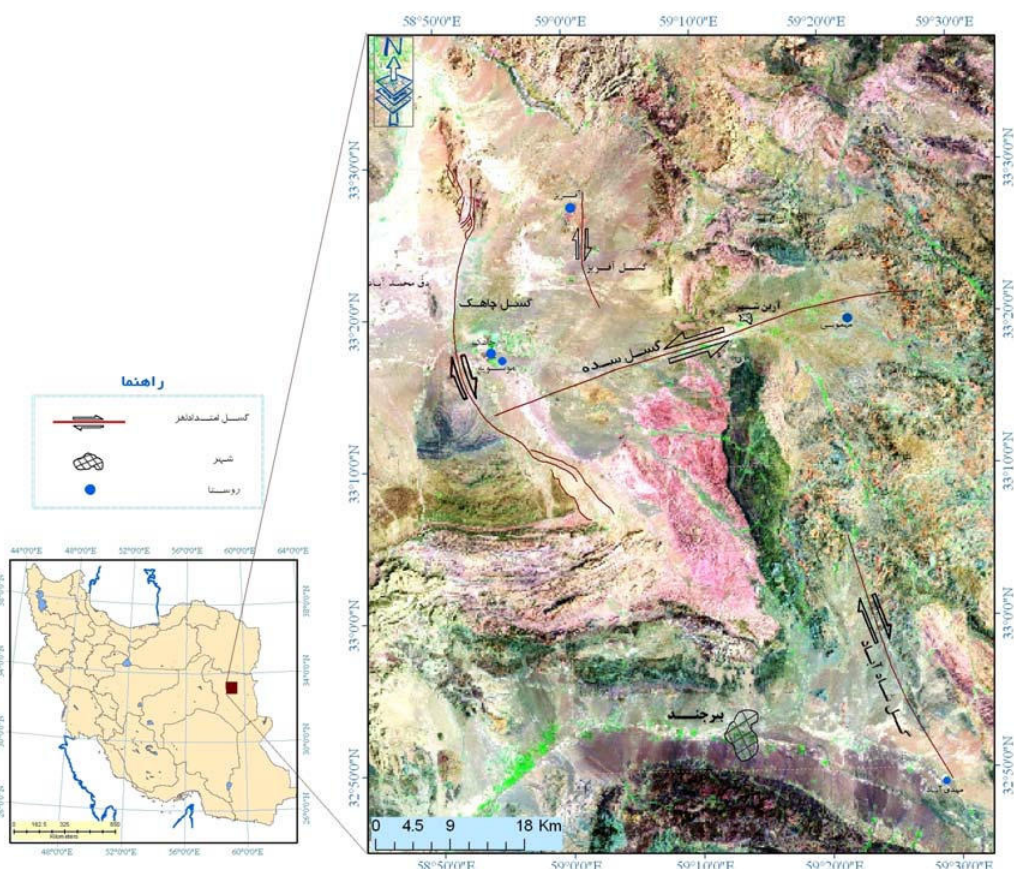
### مقدمه

به خوبی ثبت شده است [۱]. بر اثر وقوع این زمین‌لرزه روستاهای زیادی دچار خسارت شده‌اند. زمان وقوع زمینلرزه نقش مهمی در سلامت اهالی روستاها داشته است. پس‌لرزه‌های زیادی توسط ایستگاه‌های لرزه‌نگاری محلی ثبت و تعیین محل شده‌اند. بررسی‌های اولیه امتداد شمال خاوری- جنوب باختری ۳۹ کیلومتر طول را برای گسلش

در ساعت ۷:۲۱:۶" روز نوزدهم اسفندماه سال ۱۳۸۶ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای  $M_L = 5/1$  جنوب باختری آراین شهر، ۴۶ کیلومتری شمال غرب بیرجند را لرزاند. بر اساس لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در شبکه ملی لرزه‌نگاری، رومرکز این رویداد در مختصات  $33^{\circ}31'$  درجه عرض شمالی و  $59^{\circ}22'$  درجه طول شرقی واقع شده و در ۱۸ ایستگاه لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه

پی‌سنگی با نتایج پردازش اطلاعات لرزه‌نگاری تفسیر نهایی انجام شد. در این تحقیق، سابقه لرزه‌خیزی منطقه و نتیجه پردازش داده‌ها ارائه شده‌اند.

مسبب زمین‌لرزه نشان می‌دهد. در بررسی‌های صحرایی شواهد ریخت‌زمین‌ساختی در راستا و محل توزیع رومرکز زمین‌لرزه‌ها مشاهده نگردید. با مطالعه داده‌های هواغناطیس شکستگی‌های زیرسطحی مطالعه و سپس با تلفیق نتایج حاصل از مطالعه شکستگی‌های



شکل ۱ - تصویر ماهواره‌ای از موقعیت منطقه آراین‌شهر و گسل‌های مهم و مؤثر بر آن

- بررسی الگوهای شکست زمین‌لرزه‌های تاریخی در فلات ایران [10]
- تکتونیک فعال و توزیع تغییر شکل سنوزوئیک پسین در شرق و مرکز ایران [13]
- گسلش فعال در ناحیه بیرجند [15]
- معرفی سرچشمه‌های لرزه‌زا در گستره بیرجند [۴]

### پیشینه تحقیق در گستره مورد مطالعه

- زمین‌ساخت فعال شرق ایران مسبب انجام مطالعات لرزه‌زمین‌ساختی زیادی در این بخش شده است. مواردی از این مطالعات به شرح ذیل اشاره می‌گردد:
- گسلش ناشی از زمین‌لرزه ۱۹۹۷ زیرکوه قائن [9]
- تراست پنهان و تکتونیک فعال ناحیه سفیدابه [11]

## زمین‌شناسی و زمین‌ساخت فعال

گستره آراین شهر از دیدگاه زمین‌ساختی در ایالت ساختاری سیستان و بخشی از لوت شمالی جای دارد. ایالت ساختاری سیستان متشکل از زنجیره‌ای از گسل‌های امتدادلغز و پلکانی بوده، لذا این منطقه متأثر از فرآیندهای حاکم بر سیستم‌های راستالغز می‌باشد [۳].

گسله‌های مهم منطقه شامل گسل امتدادلغز چپ‌گرد سده و گسل‌های امتدادلغز راستگرد شاه‌آباد، آفریز و چاهک می‌باشند. بخش لرزه‌خیز منطقه آراین شهر بین دو گسل امتدادلغز راستگرد شمالی-جنوبی (شاه‌آباد در جنوب و آفریز در شمال) محدود شده و تقریباً در یک منطقه فشاری حاصل از خمیدگی گسل‌های امتدادلغز قرار گرفته است. این منطقه از نظر لرزه‌زمین‌ساختی بسیار حائز اهمیت بوده و محل تجمع بیشترین تنش و همواره محل وقوع زمینلرزه‌های مهم خواهد بود.

### گسل سده

این گسل با راستای N76 و طول تقریبی ۵۴ کیلومتر، از دشت جنوب روستاهای چاهک و موسویه شروع و با عبور از بخش جنوبی شهر آراین شهر تا ارتفاعات شمال شرق روستای مهمویی ادامه دارد (شکل ۱ و ۲). شواهد ریخت‌زمین‌ساختی حاصل از عملکرد این گسل حاکی از سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد است (شکل ۲). دیواره‌های قائم کال سده، نمودی از این گسل است و رود فصلی سده در آن جریان دارد. این گسل یک گسل فعال است و فعالیت لرزه‌ای با بزرگای بالای ۴ ریشتر به آن نسبت داده می‌شود.

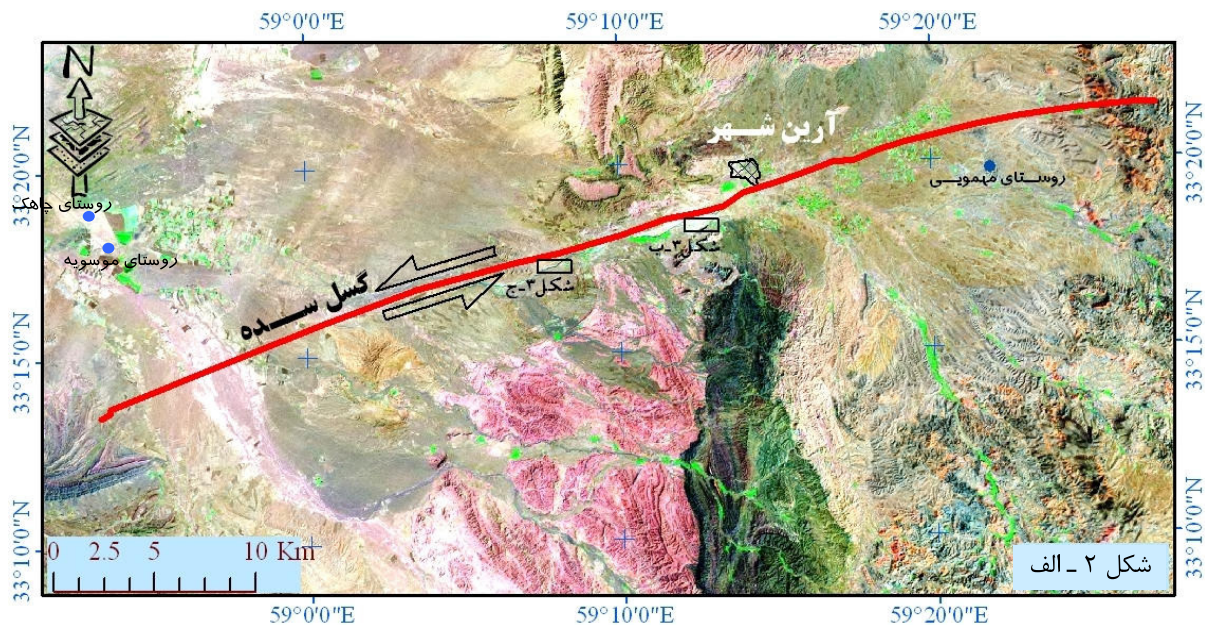
### گسل شاه‌آباد

بررسی شواهد نوزمین‌ساختی حاکی از فعال بودن گسل شاه‌آباد است. این گسل دارای سازوکار امتدادلغز راستگرد با مؤلفه جنبشی معکوس بوده [۴] و با راستای

N154 با طول تقریبی ۳۲ کیلومتر، از شمال روستای مهدی‌آباد (در جنوب) شروع و به نزدیک روستای آرویز (در شمال) منتهی می‌شود (شکل ۱).

### گسل چاهک

یک گسل شمالی-جنوبی به طول ۴۱ کیلومتر است که در قسمت‌های مرکزی به سمت دق محمد‌آباد (در غرب گسل) خمیده شده است (شکل ۱ و ۳). در امتداد گسل یک پرتگاه گسلی به سن هولوسن، به ویژه در قسمت مرکزی، به همراه بالا آمدگی قائم اجزای شرقی وجود دارد. جابجایی قائم ۵۰ سانتیمتر بصورت پایین‌افتادگی در غرب گسل توسط مردم محلی گزارش شده است [۸]. در انتهای جنوبی، پرتگاه‌های گسل هولوسن در زون چین خورده در ۲۰ کیلومتری شمال گسل اثر امتدادلغز این گسل را به خوبی نشان می‌دهد [۱۴].



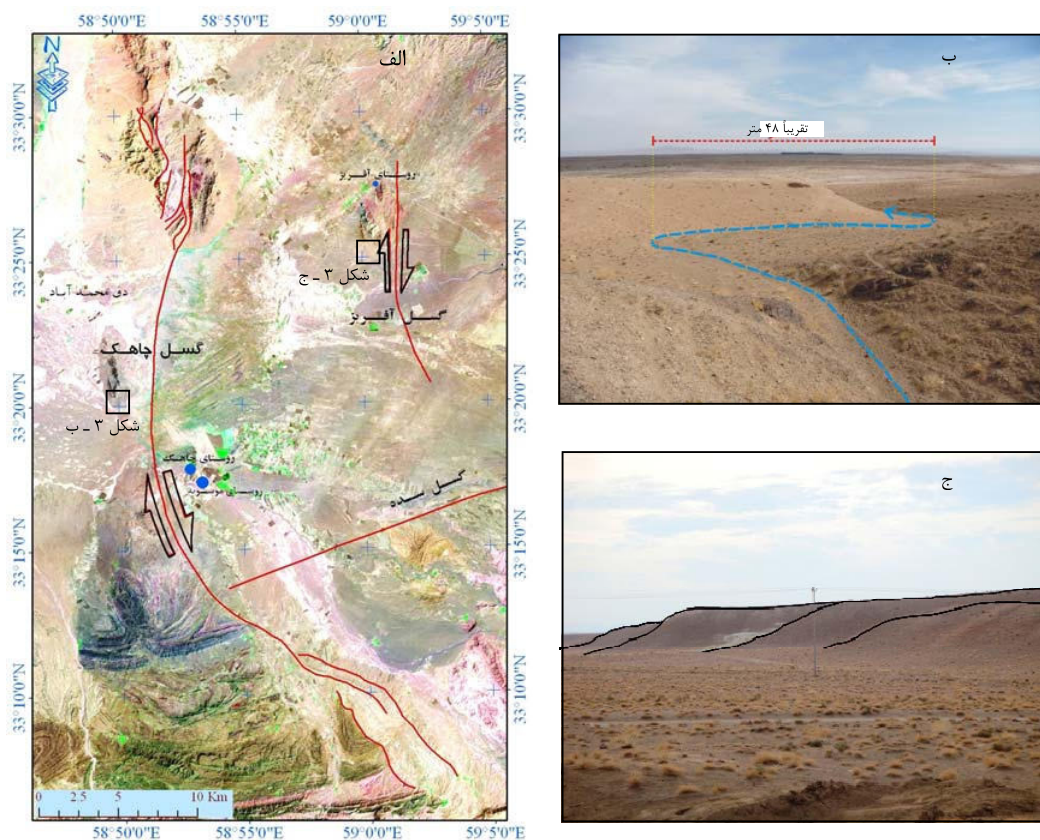
شکل ۲-الف) موقعیت گسل سده، ب) تشخیص گسل سده با تغییر رنگ رسوبات در موقعیت  $59^{\circ} 13'$  شرقی و  $33^{\circ} 18'$  شمالی (جهت عکس: جنوب غرب)، ج - دیواره قائم کال سده در مسیر گسل حاکی از عملکرد گسل است (موقعیت:  $59^{\circ} 08'$  شرقی و  $33^{\circ} 16'$  شمالی، جهت عکس: شمال شرق)، د - جابجایی چپگرد آبراهه در مسیر گسل سده (موقعیت:  $59^{\circ} 05'$  شرقی و  $33^{\circ} 16'$  شمالی، جهت عکس: جنوب).

### گسل آفریز

انحنای حاشیه دشت با گسل بیان می‌کند (شکل ۳). از آنجا این گسل از هر سه طرف توسط کوه احاطه شده، توسط رسوبات آبرفتی به سرعت پوشیده شده است [14].

گسل آفریز با راستای شمالی - جنوبی در عکس هوایی به صورت یک سری پرتگاه‌های منقطع که موجب جابجایی راستگرد آبراهه‌ها شده، قابل رؤیت است که فقط فعالیت امتدادلغز گسلش را با انطباق





شکل ۳ - الف) تصویر ماهواره‌ای از موقعیت گسل چاهک و آفریز، ب - جابجایی راستگرد در امتداد گسل چاهک، در موقعیت:  $58^{\circ}50'$  شرقی و  $33^{\circ}20'$  شمالی (جهت عکس: شرق)، ج - افراز گسلی در راستای گسل آفریز، در موقعیت:  $59^{\circ}01'$  شرقی و  $33^{\circ}26'$  شمالی (جهت عکس: جنوب غرب).

### بررسی لرزه‌خیزی منطقه

زمین‌لرزه‌های تاریخی ثبت شده در محدوده مطالعاتی، می‌توان به زمین‌لرزه ۱۴۲ هجری شمسی. خراسان، ۴۴۵ هجری شمسی. قهستان، ۷۱۵ هجری شمسی. خواف، ۸۷۲ هجری شمسی. مؤمن آباد، ۹۲۸ هجری شمسی. خاور قائن و ۱۰۵۹ هجری شمسی. خراسان اشاره کرد [8].

بررسی لرزه‌خیزی گستره شعاع ۱۵۰ کیلومتری از شهر آراین شهر در محدوده زمانی ۱۹۰۰-۲۰۰۹ نشان می‌دهد که بیش از ۱۷۹ رویداد با بزرگی بزرگتر از ۳ در مقیاس محلی در منطقه رخ داده است (شکل ۴). این

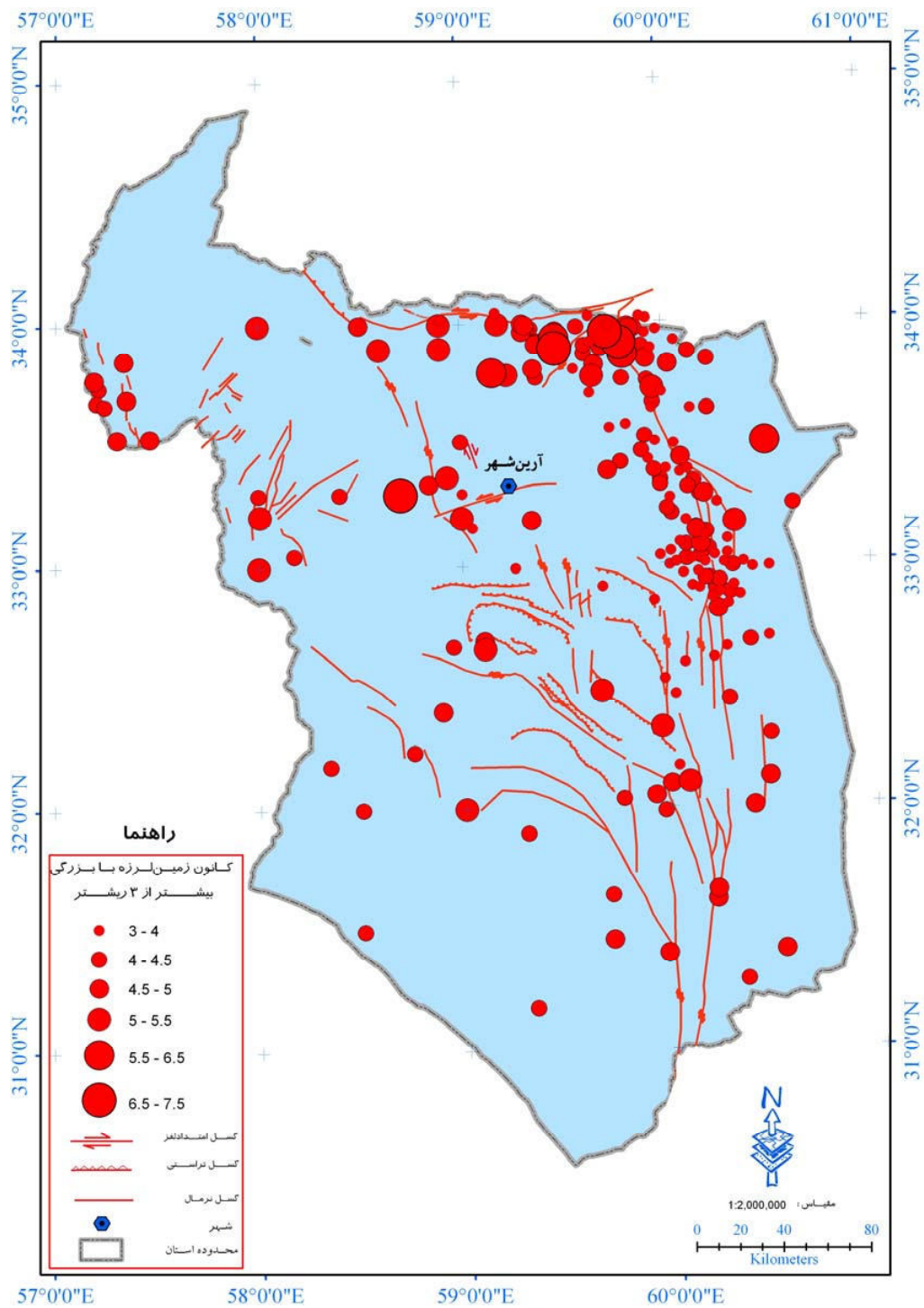
با توجه به اینکه شبکه‌های لرزه‌نگاری در یکصد سال اخیر راه‌اندازی شده. لذا جهت تعیین خطر لرزه‌خیزی یک منطقه، بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی برای هر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. از جهت دیگر بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی از این حیث حائز اهمیت می‌باشد که دوره بازگشت زمینلرزه‌ها در ایران اغلب بیش از چند صد سال و یا هزار سال است. احتمال این‌که گسله‌ای جنبا در یکصد سال اخیر جنبشی نداشته باشد، بسیار زیاد است. از جمله

جغرافیایی ( $58^{\circ}45'$  تا  $59^{\circ}32'$  خاوری و  $33^{\circ}03'$  تا  $33^{\circ}29'$  شمالی) توزیع یافته‌اند. توزیع غالب این پس‌لرزه‌ها در یک محدوده بیضوی با راستای غالب قطر بزرگ شمال‌غرب- جنوب‌شرق می‌باشد. نزدیکترین گسل معرفی شده در نقشه‌های زمین‌شناسی به رومرکز این زمینلرزه‌ها، گسل سده با روند N76 و سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد می‌باشد. تصور اولیه بر این بود که سرچشمه لرزه‌ای این زمینلرزه‌ها گسل سده بوده و این در حالی است که توزیع رومرکز پس‌لرزه‌ها فقط در یک منطقه باریک با گسل سده فصل مشترک نشان می‌دهند.

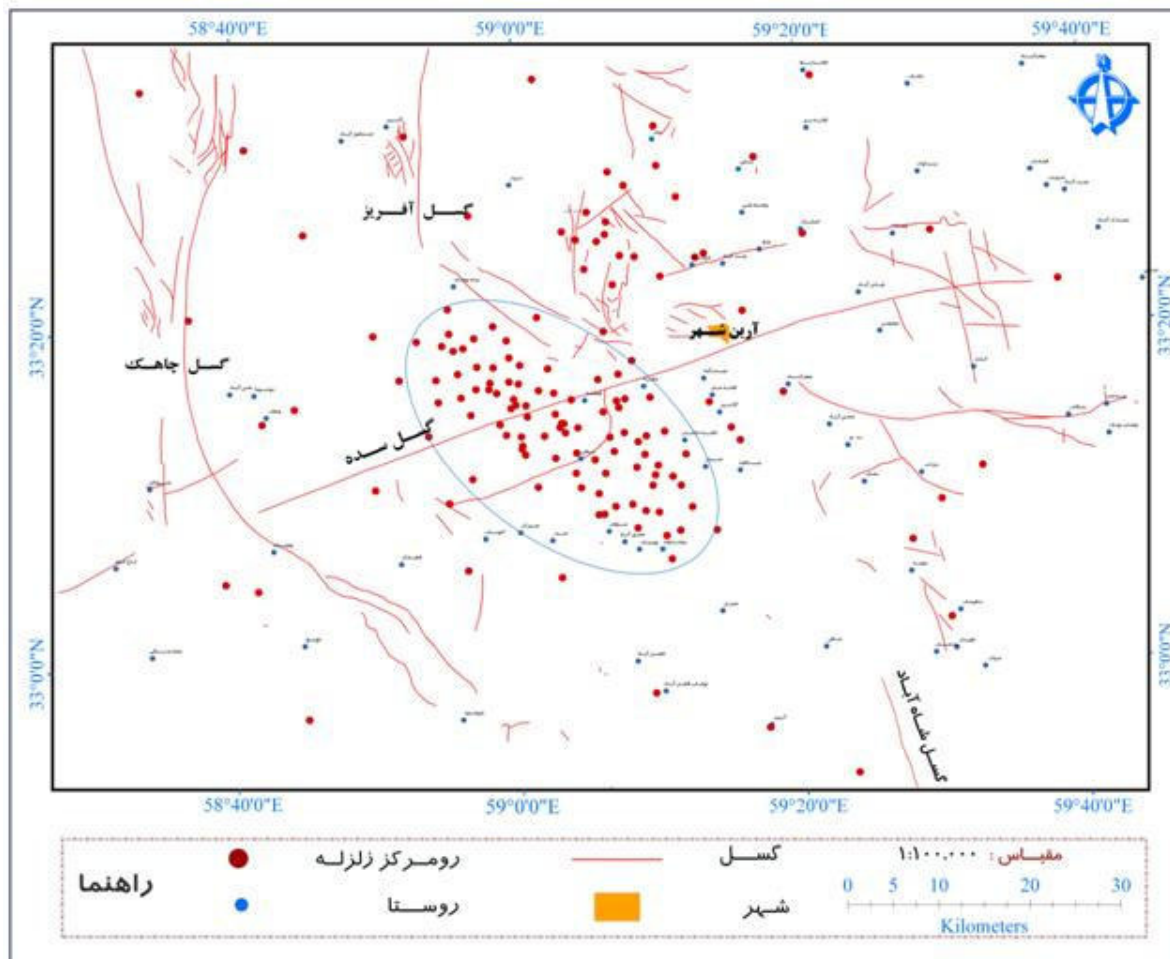
آمار نشان‌دهنده لرزه‌خیزی بالای منطقه می‌باشد. نقشه پراکندگی زلزله‌های دستگاهی گستره مطالعاتی بیانگر توزیع تقریباً منظم کانون سطحی زمین‌لرزه‌ها دارد و آن‌ها در ارتباط مستقیم با گسل‌های فعال منطقه هستند. بزرگترین این زمین‌لرزه‌ها، زمین‌لرزه ۹ شهریور ۱۳۴۷ دشت‌بیاض با بزرگای  $M_s=7/1$  می‌باشد که در طی آن حدود ۸۰ کیلومتر سطح شکست بین طول‌های جغرافیایی  $58^{\circ}35'$  درجه شرقی و  $59^{\circ}25'$  درجه شرقی روی داد و در دشت نیمبلوک تعداد زیادی روستا به طور کامل تخریب شدند [14].

#### زمین‌لرزه اصلی و پس‌لرزه‌های منطقه آرین‌شهر

زمین‌لرزه اصلی آرین‌شهر، پس‌لرزه‌های زیادی را به دنبال داشت که توسط ایستگاه‌های مختلف شبکه لرزه‌نگاری کشوری ثبت گردیده است. گزارشات اولیه از رومرکز زمین‌لرزه که بوسیله شبکه‌های لرزه‌نگاری جهانی منتشر شده، رومرکز زمین‌لرزه را در جنوب غرب شهر آرین‌شهر و در نزدیک روستای قیصار گزارش نموده‌اند. همچنین این شبکه‌ها ژرفای کانونی حدود ۱۱ تا ۱۴ کیلومتر را به زمین‌لرزه نسبت داده‌اند. بررسی‌های صحرائی نشان می‌دهد که با توجه به بزرگی زمین‌لرزه و عدم وجود گسیختگی سطحی همراه با آن، ژرفای زمین‌لرزه احتمالاً به درستی تعیین شده است. نقشه پراکندگی زلزله‌های اخیراً به وقوع پیوسته در منطقه آرین‌شهر در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در آن مشاهده می‌شود در جنوب غرب شهر آرین‌شهر تعداد زیادی زلزله ثبت شده است ولی در نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، گسلی با این روند گزارش نشده است. پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه آرین‌شهر، در مدت ۸ روز در گستره‌ای مستطیل شکل به وسعت حدود ۲۱۰۰ کیلومتر مربع با موقعیت



شکل ۴ - نقشه گسلیش فعال و رومرکز زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۳ ریشتر در سده بیستم در گستره استان خراسان جنوبی و آراین شهر

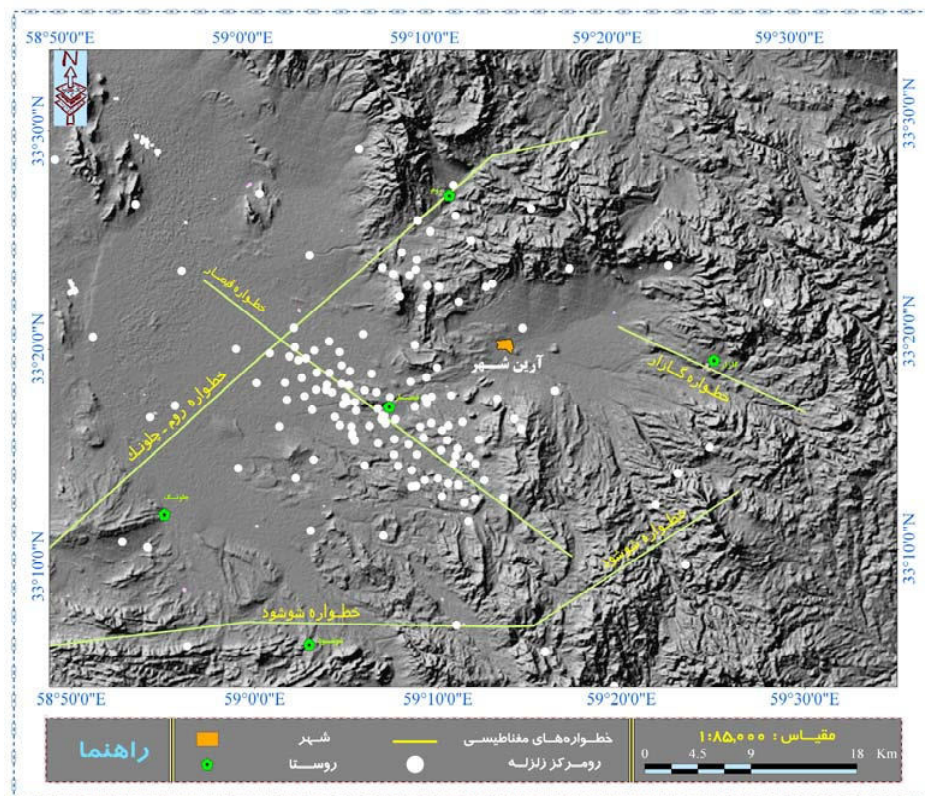


شکل ۵ - نقشه انطباق رومرکز زمینلرزه‌های منطقه آراین شهر با موقعیت گسل‌های سطحی

روی داده‌ها اعمال، سپس با تلفیق نتایج پردازش‌های مختلف، نقشه خطواره‌های مغناطیسی تهیه شد. بر این اساس، چهار خطواره در منطقه شناسایی و معرفی شدند که بررسی آن‌ها تأثیر بسزایی در تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی منطقه آراین شهر داشتند (شکل ۶). گسل پی‌سنگی قیصار با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق بسیاری از مسائل لرزه‌زمین‌ساختی منطقه آراین شهر را حل کرده است. در شکل ۷ به وضوح مشخص است که گسل قیصار در راستای قطر بزرگ بیضوی توزیع پس‌لرزه‌ها می‌باشد.

به خاطر این مغایرت، می‌توان چنین استنباط نمود در این منطقه که از رسوبات آبرفتی پوشیده شده، گسل فعالی در زیر پوشش رسوبی قرار دارد که از خود فعالیت لرزه‌ای نشان می‌دهد. جهت حل این ابهام، استفاده از داده‌های هوامغناطیس به‌عنوان روش مناسب جهت شناسایی دگرریختی‌های زیرسطحی مدنظر قرار گرفته است و به‌کمک داده‌های هوامغناطیس (حاصل از برداشت‌های بارومتريک شرکت Hoston Texas آمریکا در سال‌های ۱۹۷۷ - ۱۹۷۵)، گسل‌های پنهان منطقه آراین شهر مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار ابتدا به کمک نرم‌افزار ژئوسافت تصحیحات مناسب از جمله برگردان به قطب و مشتق‌گیری بر





شکل ۷- نقشه سه بعدی از موقعیت خطواره‌های زیرسطحی معرفی شده در منطقه آراین شهر به همراه رومرکز زمین‌لرزه‌های اخیراً به وقوع پیوسته

### نتیجه‌گیری

زمین دیده نشده است، با توجه به توزیع رومرکز زمین‌لرزه ۱۹ اسفند ۱۳۸۶ منطقه آراین شهر و پس‌لرزه‌های آن و همچنین بررسی داده‌های هومغناطیس، طول آن حدود ۳۹ کیلومتر برآورد شده است. لذا با عنایت به سابقه لرزه‌خیزی، منطقه پتانسیل لازم برای وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب را دارا می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای جدید امکان در مشاهده دقیق شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت گسل‌های فعال را در یک مقیاس ناحیه‌ای تسهیل کرده و مطالعه زمین‌ساخت‌های فعال و تخمین خطرات لرزه‌ای را آسان نموده است. همچنین با انجام این تحقیق اهمیت استفاده از داده‌های مغناطیسی جهت تفسیر زمین‌شناختی و زمین‌ساختی یک منطقه بیش از پیش نمایان می‌گردد.

بر اساس نتایج این تحقیق منطقه آراین شهر دارای پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی است و هر از چند گاهی بخشی از این منطقه جنبه شده و زمین‌لرزه‌ای را به وجود می‌آورد. گسل پنهان قیصار، به‌عنوان یکی از گسله‌های اصلی مؤثر در وقوع زمین‌لرزه‌های بیان شده، می‌تواند زمین‌لرزه‌های دیگری را در آینده نیز موجب شود. با توجه به تحلیل پس‌لرزه‌ها می‌توان گفت که زمین‌لرزه‌ی نوزدهم اسفند ۱۳۸۶ منطقه آراین شهر نتیجه تأثیر سیستم امتدادلغز راستگرد شمالی- جنوبی حاکم بر منطقه است که تنش فشاری حاصل از این حرکت باعث وقوع زمین‌لرزه‌های منطقه شده است. در این منطقه فشاری، گسل پنهان قیصار وجود دارد که تاکنون گسیختگی این گسله در سطح

منابع

- December 1977, Earth and Planetary, Science Letters, 42, 456-462 p.
- 10- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Khatib, M.M., Priestley, K., Talebian, M., and Ghafuri-Ashtiani, M., (1999), The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'emat) earthquakes (Mw=7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 136, 671-694 p.
- 11- Berbarian, M., Jackson, J. A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. M., Priestley, K., (2000), The 1994 Sefidabeh in eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone. *Geophysical Journal International*, 142, 283-299 p.
- 12- Heydari. M., Zare. H., (1995), A Preliminary study of Seismicity, Seismotectonic and Earthquake Fault Hazard in the Khorasan Province, *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)*, p 9-17.
- 13- Walker, R.T., Jackson, J., Baker, C., (2003), surface expression of thrust faulting in eastern Iran: souece parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences. *Geophysical Journal International*. 152, p 749-765.
- 14- Walker, R.T., Jackson, J., Baker, C., (2004), active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 157, 265-282 p.
- 15- Walker. R. T., Khatib, M. M., (2006), Active faulting in the Birjand region of eastern Iran. *Tectonics*, V. 25, TC4016, p 1-17.
- ۱- اسلامی، آ، اشعری، ع.، مبین، پ.، (۱۳۸۷)، گزارش اولیه زمینلرزه ۱۳۸۶/۱۲/۱۹ شمال بیرجند (خراسان جنوبی)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶ ص.
- ۲- اسماعیل زاده، ا.، (۱۳۸۶)، تعیین خطواره‌های تکتونیکی دشت زابل با استفاده از داده‌های مغناطیسی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۵۷ ص.
- ۳- خطیب، م.م.، (۱۳۷۷)، هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز (با نگاهی ویژه بر گسل‌های شرق ایران)، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۷ ص.
- ۴- علیمی، م.ا.، (۱۳۸۵)، تحلیل خطر زمینلرزه، گسلش فعال، مهاجرت صفحات گسلی با استفاده از GIS در منطقه شمال بیرجند. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، ۱۹۲ ص.
- ۵- یزدان‌پناه، ح.، (۱۳۸۸)، نقش گسل‌های پنهان در تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی منطقه آراین‌شهر در محیط GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، ۱۶۵ ص.
- ۶- یزدان‌پناه، ح.، خطیب، م. م.، (۱۳۸۷)، نقش گسل‌های هم‌درد در تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی منطقه آراین‌شهر، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز، ۵ ص.
- ۷- یزدان‌پناه، ح.، خطیب، م. م.، احمدی‌زاده، س. س.، نوروزی، غ.، علیمی، م. ا.، (۱۳۸۸)، شناسایی گسل‌های پنهان لرزه‌زا به کمک شواهد ریخت‌زمین‌ساختی و هوا مغناطیس در منطقه آراین‌شهر (شرق ایران). فصلنامه زمین‌شناسی ایران - در دست چاپ - پژوهشکده علوم کاربردی جهاد دانشگاهی، ۱۵ ص.
- 8- Ambraseys N., and Melville, C., P., (1982), *A History of Persian earthquakes*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 219 p.
- 9- Berberian, M., et al., (1979), Surface Rupture and mechanism of the Bob. Tangol (southeastern Iran) earthquake of 19th,