

شناسایی گسل‌های پنهان لرزه‌زا به کمک شواهد ریخت‌زمین‌ساختی و مغناطیسی در منطقه آراین شهر (شرق ایران)

حسام یزدان پناه^(۱*)، محمد مهدی خطیب^(۲)، سید سعید احمدی‌زاده^(۳)، غلامرضا نوروزی^(۴) و محمد امیر علیمی^(۵)

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند
۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند
۳. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه بیرجند
۴. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه بیرجند
۵. کارشناس ارشد شبکه لرزه نگاری بیرجند، وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۲۱

چکیده

در تاریخ ۱۹ اسفند سال ۱۳۸۶ در منطقه آراین شهر واقع در ۴۵ کیلومتری شمال بیرجند زمین‌لرزه‌ای به بزرگی $M_L=5/1$ به وقوع پیوست. در مدت هشت روز بعد از رخداد لرزه اصلی بیش از ۱۰۰ پس‌لرزه به ثبت رسیده 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 منطبق بر گسل سده نمی‌باشند. محور بزرگ بیضوی گستره پس‌لرزه‌ها (N120) تقریباً عمود بر روند گسل سده واقع شده است. بر اساس شواهد ریخت‌زمین‌ساختی - نوزمین‌ساختی، توزیع پس‌لرزه‌ها و تفسیر داده‌های هومغناطیس بیان گر گسل پنهان به موازات محور بزرگ بیضوی گسترش پس‌لرزه‌ها می‌باشد. این گسل پنهان به نام گسل قیصار معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آراین شهر، زمین لرزه، گسل پنهان، مغناطیس هوایی

مقدمه

و سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد می‌باشد. تصور اولیه بر این بود که سرچشمه لرزه‌ای این زمین‌لرزه‌ها گسل سده است. این در حالی است که توزیع رومرکز پس‌لرزه‌ها فقط در یک منطقه باریک با گسل سده فصل مشترک نشان می‌دهند. بر این اساس این مطالعه برای بررسی رابطه بین توزیع پس‌لرزه‌ها با گسل سده، مطالعه سایر گسل‌ها در منطقه سرچشمه و نقش دگرریختی‌های زیرسطحی در وقوع زمین‌لرزه‌ها صورت گرفته است. پهنه مورد مطالعه در ایالت ساختاری سیستان و بخشی از لوت شمالی واقع شده است. این منطقه به مرکزیت شهر آراین شهر با مختصات جغرافیایی $59^{\circ}14'$ شرقی و $33^{\circ}19'$ شمالی در ۴۵ کیلومتری شمال‌غرب بیرجند واقع گردیده است (شکل ۱).

در منطقه آراین شهر (واقع در ۴۵ کیلومتری شمال بیرجند) زمین‌لرزه اصلی ساعت ۷:۲۱ دقیقه و ۶ ثانیه (به وقت محلی) مورخ ۱۹ اسفند ماه سال ۱۳۸۶ با بزرگی $M_L = 5/1$ رخ داد. پس‌لرزه‌های این زمین‌لرزه در مدت ۸ روز در گستره‌ای مستطیل شکل به وسعت حدود ۲۱۰۰ کیلومتر مربع (با موقعیت 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

* نویسنده مرتبط

گسل سده

این گسل با راستای N۷۶ و طول حدود ۵۴ کیلومتر، از جنوب روستاهای چاهک و موسویه شروع و با عبور از بخش جنوبی آراین شهر تا ارتفاعات شمال شرق روستای مهمویی ادامه دارد (شکل های ۱ و ۳).

شواهد ریخت زمین ساختی حاصل از عملکرد این گسل حاکی از سازوکار امتداد لغز چپ گرد است (شکل ۳-د). دیواره های قائم کال سده، نمودی از این گسل می باشد و رود فصلی سده در آن جریان دارد. این گسل، یک گسل فعال است و فعالیت لرزه ای با زلزله بالای ۴ ریشتر از خود نشان داده است. در نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ قائن، محل و راستای این گسل مشخص شده است.

گسل شاه آباد

بررسی شواهد نوزمین ساختی حاکی از فعال بودن گسل شاه آباد است. این گسل دارای سازوکار امتداد لغز راست گرد با مؤلفه جنبشی معکوس بوده (علیمی و خطیب، ۱۳۸۵) و در راستای N۱۵۴ با طول تقریبی ۳۲ کیلومتر، از شمال روستای مهدی آباد (در جنوب) شروع شده و به نزدیک روستای آرویز (در شمال) منتهی می شود (شکل ۱).

گسل چاهک

یک گسل شمالی - جنوبی به طول ۴۱ کیلومتر است که در قسمت های مرکزی به سمت دق محمد آباد (در غرب گسل) خمیده شده است (شکل های ۱ و ۴). در امتداد گسل، یک پرتگاه گسلی به سن هولوسن (به ویژه در قسمت مرکزی) به همراه بالا آمدگی قائم اجزای شرقی به چشم می خورد. جابجایی قائم به میزان ۵۰ سانتیمتر و به صورت یک پایین افتادگی در غرب گسل توسط مردم محلی گزارش شده است (Ambraseys and Melville, 1982). در انتهای جنوبی، پرتگاه های گسل هولوسن در زون چین خورده موسویه ردیابی می شود. یک زون چین خورده در ۲۰ کیلومتری شمال گسل اثر امتداد لغز را نشان می دهد (Walker et al., 2004). محل و راستای این گسل در نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ قائن مشخص شده است.

گسل آفرین

گسل آفرین با راستای شمالی - جنوبی در عکس های هوایی به صورت یک سری پرتگاه های منقطع که موجب جابجایی راست گرد آبراهه ها شده، قابل رؤیت می باشد که صرفاً فعالیت امتداد لغز گسلش را با انطباق انحنا حاشیه دشت با گسل بیان می کند (شکل های ۱ و ۴). از آنجا که این گسل از هر سه طرف توسط کوه احاطه شده، به سرعت توسط رسوبات آبرفتی پوشیده شده است (Walker et al., 2004).

هدف از انجام این تحقیق شناخت سرچشمه های لرزه زا در منطقه آراین شهر است که در واقع تعیین علت توزیع رومرکز زمین لرزه های به وقوع پیوسته در منطقه آراین شهر با راستای شمال غرب - جنوب شرق می باشد.

با توجه به لرزه خیز بودن شرق ایران، بررسی های لرزه زمین ساختی زیادی در این بخش از فلات ایران صورت گرفته است. علیمی و خطیب (۱۳۸۵) سرچشمه های لرزه زا در گستره بیرجند را بررسی و معرفی نمودند ولی به سرچشمه لرزه ای خطی با راستای شمالی - جنوبی در منطقه آراین شهر اشاره ای نکرده اند.

(Berberian et al., 2000) همراهی گسل های راستالغز شمال - جنوب با گسل های راندگی شمال باختر - جنوب خاور در زمین لرزه ۱۹۹۴ سفیدابه در پهنه سیستان و Walker and Khatib, 2006 نحوه توزیع گسل های فعال در منطقه بیرجند را نتیجه فعالیت گسل های موجود در پوسته این مناطق می دانند. لذا بررسی تأثیر متقابل گسل ها و نقش آن در ایجاد مناطق فشاری اهمیت ویژه ای پیدا می کند.

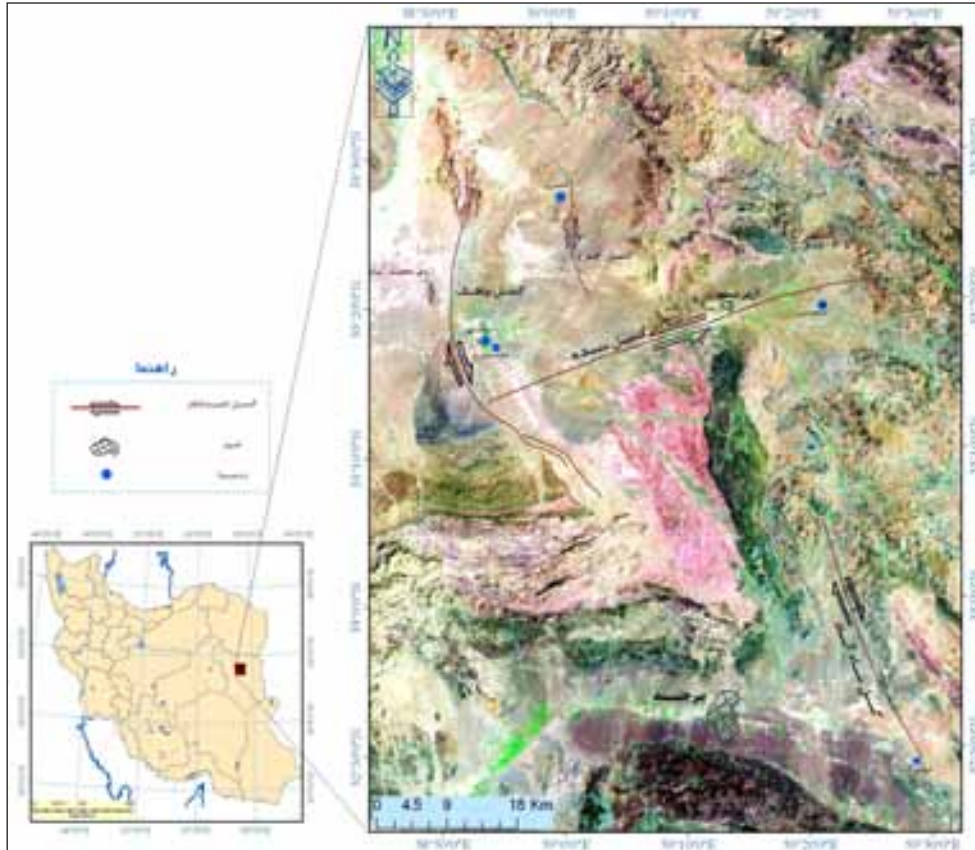
اسماعیل زاده و خطیب (۱۳۸۶) با استفاده از داده های مغناطیس هوایی، گسل های پنهان در دشت زابل را شناسایی و معرفی نمودند. استفاده از لایه های اطلاعاتی رقومی شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی و تعریف نسبت های وزنی مناسب برای هر کدام از لایه ها در تلفیق اطلاعات به منظور دستیابی به نتایج قابل اعتماد جهت بررسی زمین ساخت پویا در یک منطقه مفید می باشد. در این تحقیق، استفاده از قابلیت فیلتر گذاری^۱ نرم افزار ERMMapper بر روی تصاویر ماهواره ای، ریخت زمین ساخت منطقه مطالعاتی بررسی و سپس در محیط GIS رقومی شده است. در مرحله بعد محل رومرکز زمین لرزه ها در محیط GIS پیاده گردیده است. با تلفیق این دو لایه رقومی و بررسی روند آن ها، عدم تطابق بین توزیع رومرکز زمین لرزه ها^۲ با گسل های سطحی منطقه مشاهده شده است و در نتیجه استفاده از داده های مغناطیس هوایی^۳ جهت مطالعه دگر ریختی های زیر سطحی در نظر گرفته شده است. به کمک نرم افزار Geosoft، تصحیحات و پردازش لازم بر روی داده های مغناطیس هوایی اعمال گردیده است. با تلفیق نتایج پردازش های مختلف گسل های پنهان^۴ منطقه مورد شناسایی قرار گرفته اند. تفسیر نهایی از منطقه آراین شهر با هم پوشانی لایه های رقومی گسل های پنهان و رومرکز زمین لرزه ها در محیط GIS، صورت گرفته است.

مطالعه ریخت زمین ساخت سطحی منطقه

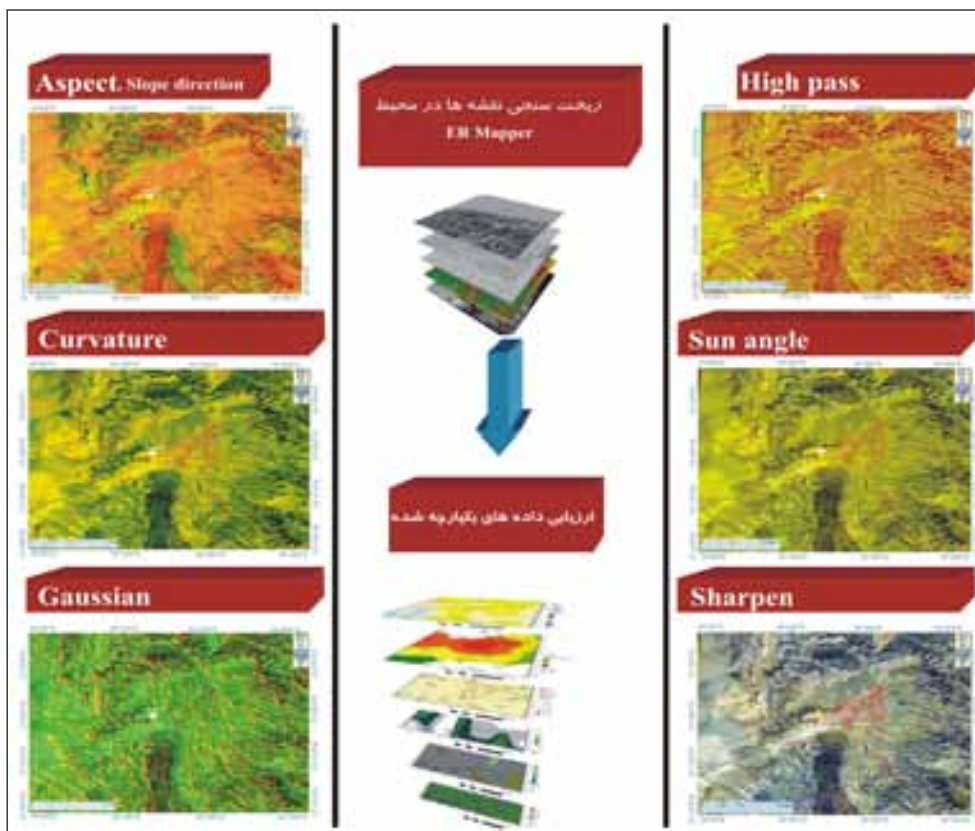
در این مطالعه جهت بررسی ریخت زمین ساخت سطحی از داده های لندست ETM با هفت باند ترکیبی استفاده شده است. داده های ماهواره ای منطقه مطالعاتی به کمک نرم افزار ER Mapper و با اعمال فیلترهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و از این طریق ریخت زمین ساخت سطحی منطقه مطالعه شده است (شکل ۲).

1-Filtering
2- Earthquake epicenter

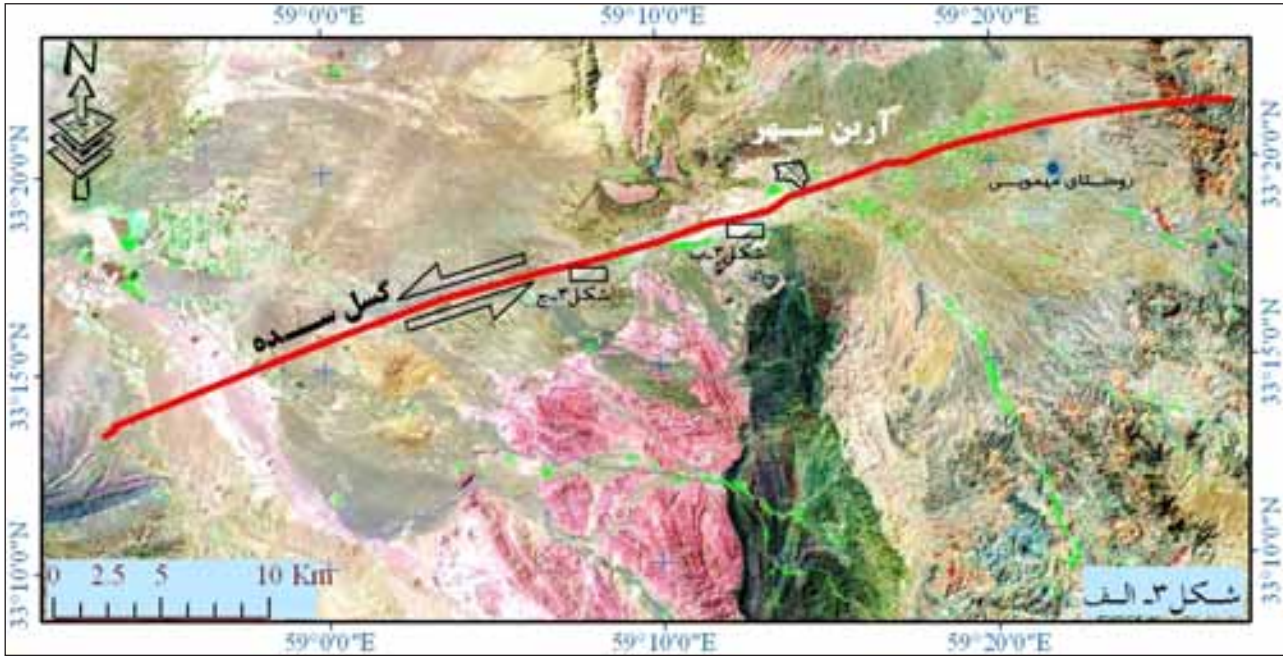
3-Aeromagnetic data
4- Blind fault



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای از موقعیت جغرافیایی و گسل‌های مؤثر در لرزه زمین ساخت منطقه آراین شهر



شکل ۲- اعمال فیلترهای مختلف بر روی تصویر ماهواره‌ای (در محیط ER Mapper) جهت بررسی ریخت‌زمین ساخت منطقه.



شکل ۳- الف- موقعیت گسل سده در منطقه مطالعاتی، ب- تشخیص گسل سده با تغییر رنگ رسوبات، در موقعیت: $13^{\circ} 59'$ شرقی و $18^{\circ} 33'$ شمالی (جهت عکس: جنوب غرب)، ج- دیواره قائم کال سده در مسیر گسل حاکی از عملکرد گسل است (موقعیت: $08^{\circ} 59'$ شرقی و $16^{\circ} 33'$ شمالی، جهت عکس: شمال شرق)، د- جابجایی چپ گرد آبراهه در مسیر گسل سده (موقعیت: $05^{\circ} 59'$ شرقی و $16^{\circ} 33'$ شمالی، جهت عکس: جنوب).

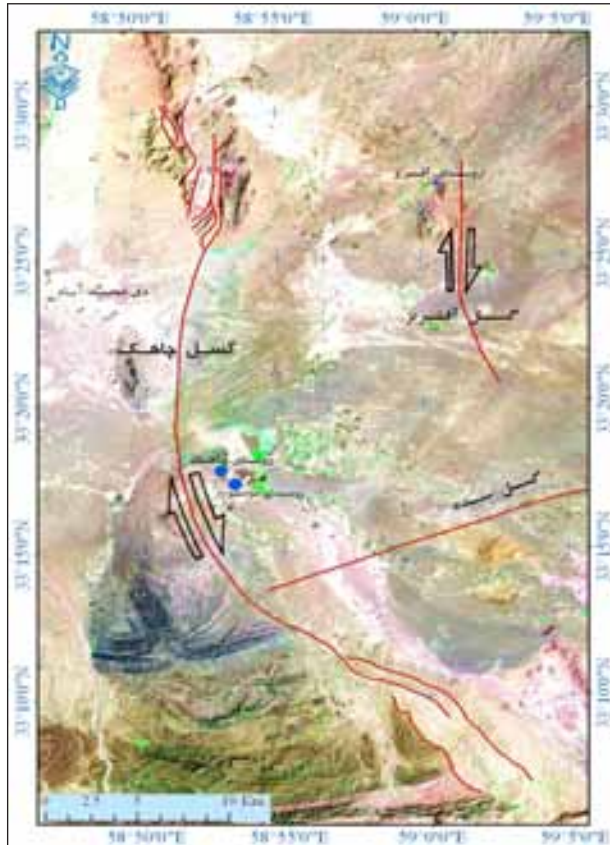
جنوب و آفریز در شمال قرار گرفته‌اند. پس لرزه‌ها در بخشی از منطقه از تمرکز بیشتری برخوردار بوده و در طول ۱۲ ماه پس از وقوع زمین لرزه اصلی در راستای تقریباً شمال غرب- جنوب شرق گسترش یافته‌اند. بدین ترتیب، روند توزیع پس لرزه‌ها در حد فاصل پهنه‌های گسله رخنمون یافته مرزی (با روند شمالی - جنوبی) نشان گر الگوی برشی حاکم بر منطقه است. همچنین سازوکار برخی از پس لرزه‌ها که فشاری می‌باشند، تأییدی بر الگوی برشی- فشاری (ترافشاری) است که موقعیت ساختاری منطقه آراین شهر تأییدی بر آن است (شکل ۵).

مغناطیس‌سنجی، تصحیحات و پردازش اعمال شده بر داده‌های مغناطیسی

بررسی کلی نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که منطقه آراین شهر اکثراً از رسوبات آبرفتی کواترنر پوشیده شده و امکان مطالعه پی‌سنگ آن از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های ماهواره‌ای وجود ندارد. همچنین عدم

بررسی رومرکز زمین لرزه اصلی و پس لرزه‌ها

پس لرزه‌ها که آزاد شدن لرزه‌ای تنش انباشته شده بعد از لرزه اصلی می‌باشند، نشان دهنده دگرشکلی‌های پی‌آمد لرزه‌ی اصلی بوده و می‌تواند روشن‌گر طرح هندسی گسله‌ها و سازوکار آنها در ژرفا باشند. لذا تعیین محل دقیق رومرکز و ژرفی زمین لرزه‌های محلی و پس لرزه‌ها به طور متوالی می‌تواند دانش زیادی از چگونگی حرکت آنی گسله‌ها و زمین ساخت جوان ارائه نماید (بربریان، ۱۳۵۵). در صورتی که منطقه سرچشمه زمین لرزه پوشیده و فاقد رخنمون سطحی باشد، در این صورت برای آگاهی از الگوی ساختاری کنترل کننده آن باید به جمع‌آوری اطلاعات غیرمستقیمی همچون پس لرزه‌ها و سازوکار آنها پرداخت. این تئوری پس از وقوع زمین لرزه منطقه آراین شهر به باور مبدل گشت، زیرا با توجه به نبود رخنمون سطحی ساخت گسله، احتمال پیش‌بینی گسل بالقوه فعال را برای وقوع زمین لرزه در منطقه مبهم می‌نماید. غالب پس لرزه‌های زمین لرزه ۱۹ اسفند سال ۱۳۸۶ منطقه آراین شهر در حد فاصل پهنه گسله شاه‌آباد در



شکل ۴- الف- موقعیت گسل چاهک و آفریز در منطقه مطالعاتی، ب- جابجایی راست گرد در امتداد گسل چاهک، در موقعیت: $58^{\circ} 50'$ شرقی و $20'$ شمالی (جهت عکس: شرق)، ج- افزاز گسلی در راستای گسل آفریز، در موقعیت: $59^{\circ} 01'$ شرقی و $33^{\circ} 26'$ شمالی (جهت عکس: جنوب غرب).

است (شکل ۶). این نقشه، مبنای تمامی مراحل اعمال فیلتر و تفسیر نهایی است.

با اعمال فیلتر برگردان به قطب بر روی داده‌های مغناطیسی منطقه، آنومالی‌های شدت کل میدان بر روی توده منشأ خود قرار می‌گیرند و موجب تشخیص مناسب‌تر توده‌ها می‌گردند (شکل ۷). با مقایسه نقشه حاصل از اعمال این فیلتر با نقشه آنومالی مغناطیس کل منطقه (شکل ۶)، یک جابجایی افقی به سمت شمال در آنومالی‌ها مشاهده می‌شود. با اعمال این فیلتر، روند شمالی - جنوبی را در ساختار کلی منطقه بهتر می‌توان بررسی کرد. در راستای محدوده‌های A, B, C, D و E تغییر زیادی در میزان آنومالی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده مناطق احتمالی برای وجود خطواره مغناطیسی است. تأیید نهایی خطواره در این روندها به نتایج حاصل از فیلترهای دیگر بستگی دارد.

فیلتر مشتق قائم اول موجب مشاهده بهتر منشأهای سطحی و کم عمق منطقه می‌شود و در نتیجه با اعمال آن، آنومالی‌های بزرگ به آنومالی‌های کوچک تجزیه می‌شود (شکل ۸). همچنین با اعمال این فیلتر، آنومالی‌های با روند خطی نیز خود را نشان

تطابق بین رومرکز زمین لرزه‌های منطقه آراین شهر با گسل‌های شناخته شده آن، تلاش برای شناسایی یک گسل احتمالی را توجیه می‌نماید. بنابراین استفاده از خاصیت مغناطیس مواد و اجزاء زمین جهت شناسایی گسل‌های پنهان منطقه به عنوان یک روش کارآمد در نظر گرفته شده است.

جهت پردازش و تفسیر مناسب داده‌های مغناطیس هوایی از نرم افزار Geosoft استفاده شده و فیلترهای متداول توسط آن اعمال گردیده است. با اعمال این فیلترها، اطلاعات لازم برای تفسیر کیفی منطقه مطالعاتی استخراج شده است. فیلترهای اعمال شده جهت پردازش داده‌ها در این تحقیق به شرح ذیل است:

کاهش به قطب^۱، ادامه فراسو^۲ و ادامه فرسو^۳، مشتق افقی^۴، مشتق قائم اول^۵ و مشتق قائم دوم^۶ به علت نبود هیچ گونه داده پالئومغناطیس در این مطالعه، فرض شده است که تمام مغناطیدگی موجود در سنگ‌های ناحیه از نوع القایی و در جهت میدان مغناطیسی زمین می‌باشد. لذا جهت شناسایی گسل پنهان در منطقه آراین شهر، نقشه شدت کل میدان مغناطیس^۷ منطقه مطالعاتی مبنای تفسیر قرار گرفته

1- Reduction to the pole
2- Upward continuation
3- Downward continuation

4- Horizontal derivative
5- First vertical derivative
6- Second vertical derivative
7- Total magnetic anomaly (TMA)

نتیجه حاصل از اعمال فیلتر ادامه فروسو مشابه عملکرد فیلتر مشتق قائم بوده و موجب مشاهده بهتر منشأهای سطحی و کم عمق در منطقه می شود (شکل ۱۲). تغییر آنومالی در محدوده های A، B، C، D و E بیان گر وجود خطواره مغناطیسی در این روندها است. تلفیق نتایج حاصل از اعمال فیلترهای فوق، منجر به شناسایی و معرفی خطواره های مغناطیسی منطقه آراین شهر شده است (شکل ۱۳).

خطواره های مغناطیسی منطقه آراین شهر

بر اساس نتایج حاصل از تفسیر نقشه مغناطیسی در منطقه آراین شهر، ۴ خطواره مغناطیسی شناسایی و مورد بررسی واقع شده است. همچنین بر اساس شواهد ریخت زمین ساختی و لرزه زمین ساختی، عملکرد سطحی و لرزه ای خطواره ها مورد بررسی قرار گرفته است.

خطواره مغناطیسی قیصار (F_۱)

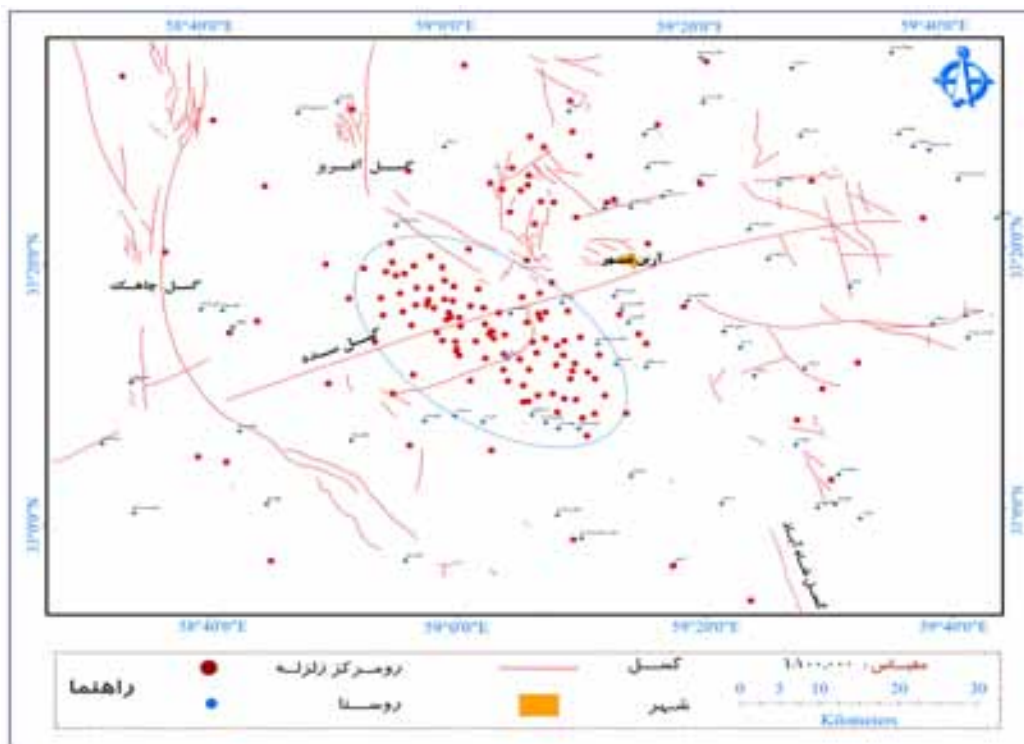
این خطواره دارای روند N126 بوده و در نزدیک روستای قیصار و تقریباً در بخش مرکزی منطقه مطالعاتی قرار دارد. طول این خطواره حدود ۳۹ کیلومتر و در فاصله حدود ۱۳ کیلومتری شهر آراین شهر واقع شده است. تجمع رومرکز زمین لرزه های به وقوع پیوسته در راستای این خطواره، موجب اهمیت بالای شناسایی این خطواره شده است (شکل ۱۳). در راستای این خطواره و در سطح زمین برخاستگی های موضعی مشاهده شده است.

می دهند که بیانگر راستای خطواره زیرسطحی هستند. اعمال این فیلتر موجب مشاهده مناسب تغییر آنومالی در محدوده های A، B، C و D شده که احتمال وجود خطواره مغناطیسی را قوت بخشیده است.

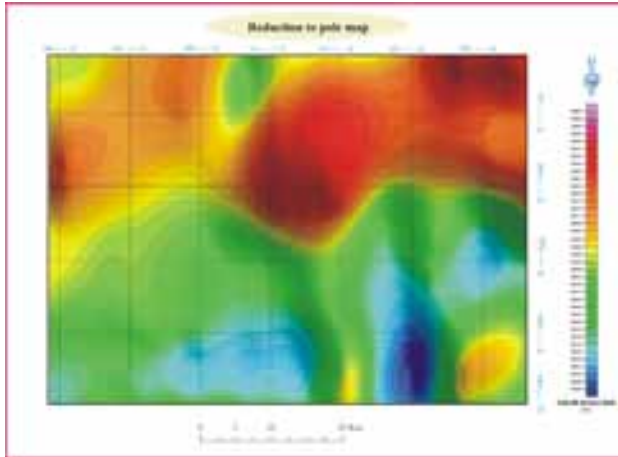
اعمال فیلتر مشتق قائم دوم بر داده ها موجب ظاهر شدن آنومالی های کم عمق با نسبت بیشتری در مقایسه با اعمال فیلتر مشتق قائم اول می شود. اشکال استفاده از این فیلتر، تأثیر شدید نופه ها بر خروجی فیلتر می باشد که همین امر موجب کم اهمیت شدن استفاده از این فیلتر می گردد (شکل ۹). با این وجود، به کمک نتایج برگردان به قطب در محدوده های A، C و D می توان به وجود یک سری تغییرات هم روند اشاره داشت که تأییدی دیگر بر وجود خطواره مغناطیسی در این روندها می باشد.

اعمال فیلتر مشتق افقی موجب جابجا شدن محل توده ها از محل واقعی خود می شوند. این فیلتر در شناسایی خطواره های مغناطیسی منطقه نقش به سزایی داشته است (شکل ۱۰). روندهای خطی دیده شده در نقشه مشتق افقی، مربوط به عملکرد گسل می باشد.

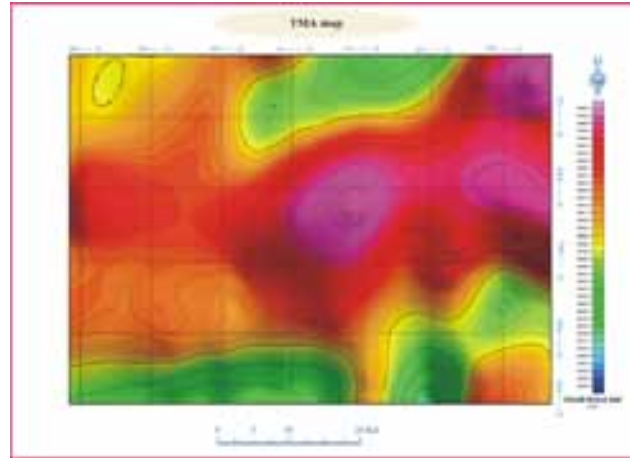
نقشه حاصل از اعمال فیلتر فراسو در درجات مختلف بیان گر این مطلب است که منشأ آنومالی در منطقه آراین شهر عمیق و یا شدید می باشد. مرز تند با گرادیان تیز در نقشه های ادامه فراسو در ترازهای بالا نیز مشاهده می شود که حکایت از عمقی بودن و پی سنگی بودن گسل های شناسایی شده در منطقه دارد (شکل ۱۱). در این نقشه نیز تغییر آنومالی در محدوده های A، B، C، D و E مشاهده می شود که بیان گر وجود خطواره مغناطیسی در این روندها است.



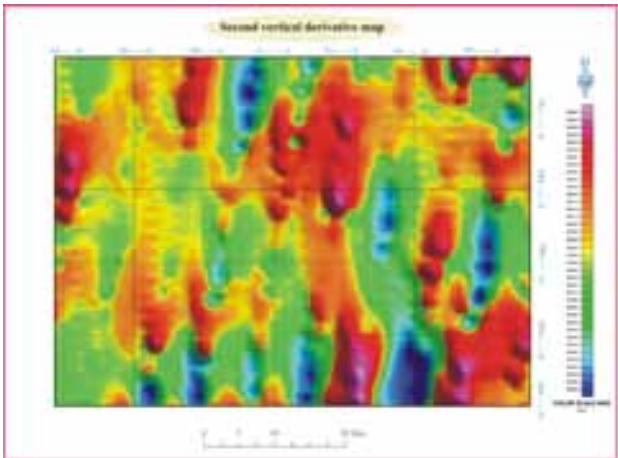
شکل ۵- همپوشانی گسل ها و قانون سطحی زمین لرزه های منطقه آراین شهر جهت تعیین ارتباط بین آن ها



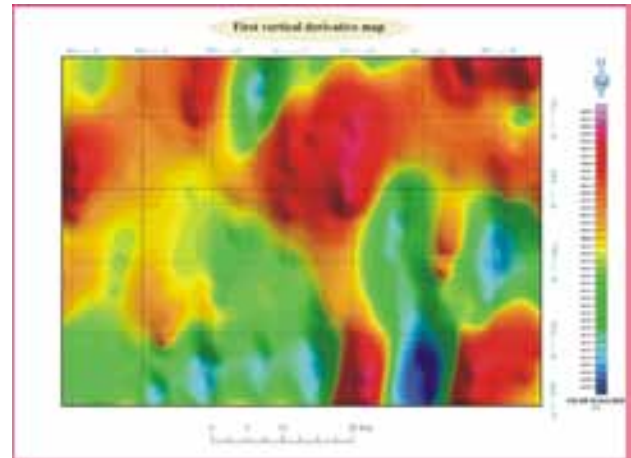
شکل ۷- نقشه برگردان به قطب. بر اساس این تصویر در ۵ محدوده (E, D, C, B, A)، تغییرات آنومالی را می توان به خوبی مشاهده نمود. جهت تأیید نهایی خطواره مغناطیسی در این روندها بایستی به نتایج حاصل از فیلترهای دیگر نیز توجه داشت.



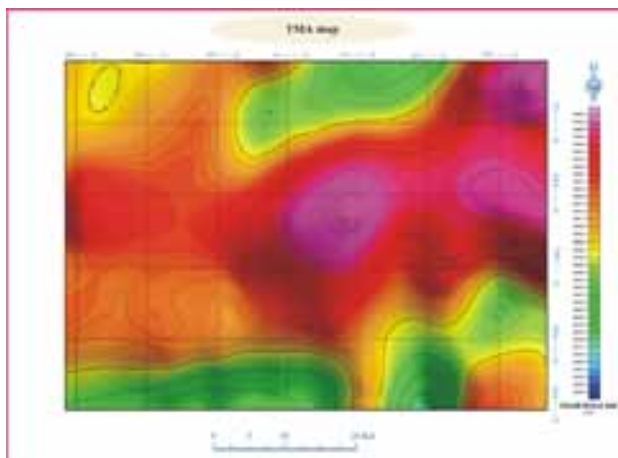
شکل ۶- نقشه کانتوری شدت میدان مغناطیس کل منطقه آرین شهر. در این نقشه روندهای خطی مختلف به خصوص روند شرقی - غربی مشاهده می شود. جهت بررسی دقیق این روندها بایستی فیلترهای مناسب به خصوص فیلتر برگردان به قطب، اعمال شود.



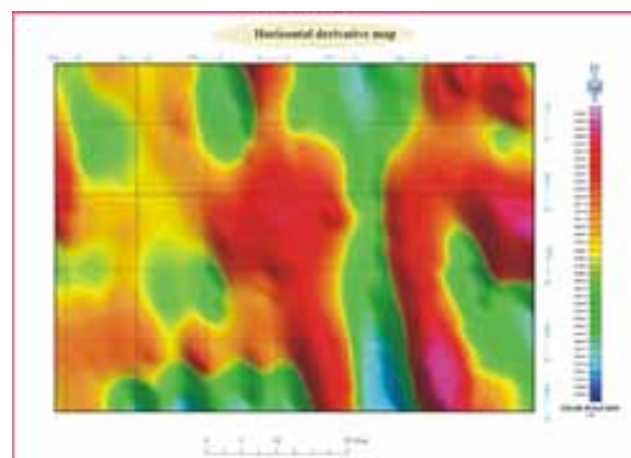
شکل ۹- نقشه مشتق قائم مرتبه دوم. علیرغم تأثیر نوفه ها، در محدوده های A و C می توان به وجود یک سری تغییرات هم روند اشاره داشت.



شکل ۸- نقشه مشتق قائم مرتبه اول. بر اساس این تصویر در راستای بیضوی های D, C, B, A احتمال وجود خطواره مغناطیسی وجود دارد.



شکل ۱۱- نقشه ادامه فراسو. بر اساس این تصویر، در راستای بیضوی های E, D, C, B, A، احتمال وجود خطواره مغناطیسی زیاد می باشد.



شکل ۱۰- نقشه مشتق افقی. این نقشه بیشتر نمایان گر وجود روند غالب شمالی - جنوبی در این منطقه است. همچنین وجود روند خطی در محدوده های A، B، C و D مؤید وجود خطواره مغناطیسی در این روندها است.

مغناطیسی شوشود از شهر آرین شهر حدود ۲۱ کیلومتر می باشد. در امتداد این خطواره، رومرکز چند زمین لرزه وجود دارد (شکل ۱۳).

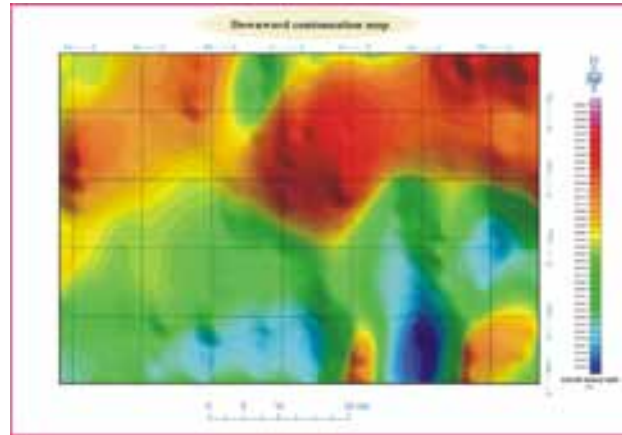
خطواره مغناطیسی گازار (F₄)

این خطواره با طول حدود ۱۹ کیلومتر از محل روستای گازار و مهمویی می گذرد و در بخش غربی منطقه مطالعاتی قرار دارد. خطواره فوق دارای روند N115 می باشد. نزدیک ترین فاصله این خطواره از شهر آرین شهر حدود ۹/۵ کیلومتر است (شکل ۱۳).

بررسی ارتباط بین گسل های پنهان با رومرکز زمین لرزه ها

مطالعه پس لرزه ها می توانند روشن گر طرح هندسی گسله ها و سازوکار آن ها در ژرفا باشد. با تعیین محل دقیق رومرکز، ژرفی زمین لرزه های محلی و پس لرزه ها به طور متوالی، می توان دانش زیادی از چگونگی حرکت آنی گسله ها و زمین ساخت جوان کسب نمود. هم پوشانی رومرکز زمین لرزه های منطقه آرین شهر با گسل های پنهان شناسایی شده، نمایان گر ارتباط اکثر این زمین لرزه ها با گسل پنهان قیصار (F₁) می باشد (شکل ۱۳). بر این اساس، نقش دگر ریختی های زیر سطحی در وقوع زمین لرزه ها در منطقه به وضوح قابل استنباط است.

ارتباط بین این گسل های امتداد لغز راست گرد شمالی - جنوبی و گسل پنهان قیصار در منطقه آرین شهر را می توان با مدل ارائه شده توسط مک کلی (McClay and Bonora, 2001) برای مناطق فشاری در اثر خمیدگی گسل های امتداد لغز به شرح شکل ۱۴ توجیه نمود. لذا تشکیل گسل پنهان قیصار را می توان در ارتباط با گسل های امتداد لغز راست گرد شمالی - جنوبی شاه آباد و آفریز دانست.



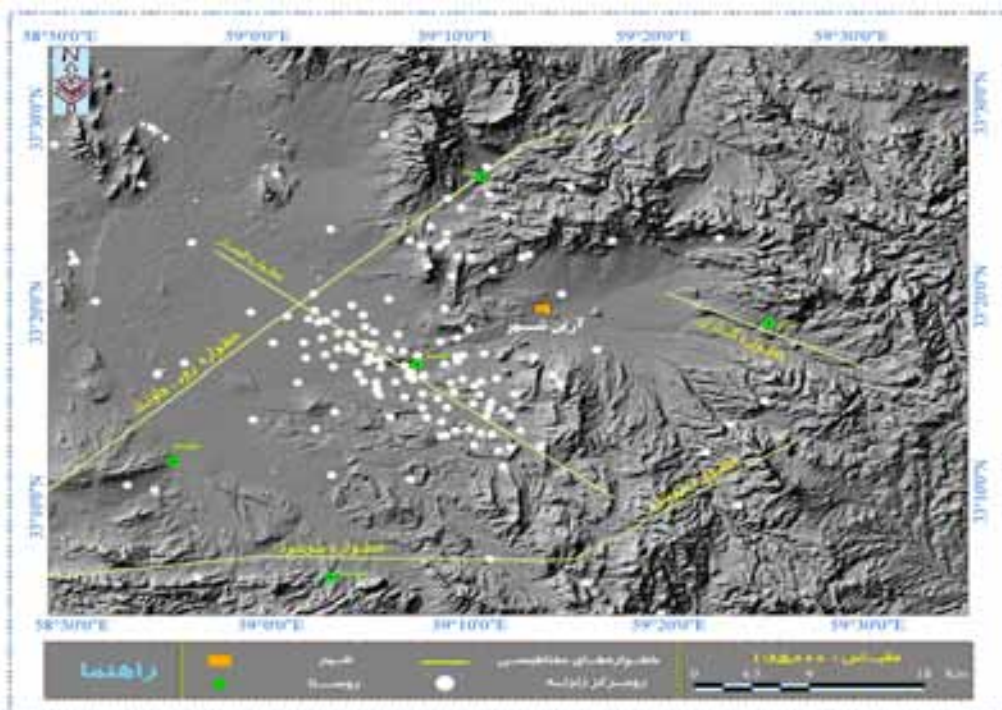
شکل ۱۲- نقشه ادامه فرسو. این تصویر حاکی از وجود خطواره های مغناطیسی در محدوده های D,C,B,A و E است.

خطواره مغناطیسی روم - چلونک (F₂)

این خطواره دارای روند عمومی N48 می باشد ولی در بخش بالایی دارای روند N80 می شود. این خطواره از محل روستاهای چلونک در غرب و روم در شمال غرب آرین شهر عبور می کند. طول این خطواره حدود ۶۰ کیلومتر می باشد. نزدیک ترین فاصله خطواره از شهر آرین شهر حدود ۱۴ کیلومتر است (شکل ۱۳).

خطواره مغناطیسی شوشود (F₃)

این خطواره دارای روند عمومی تقریباً شرقی - غربی می باشد، ولی در بخش شرقی از روند N55 تبعیت می کند. این خطواره از نزدیکی روستای شوشود عبور می کند و با طول حدود ۶۱ کیلومتر، یکی از طویل ترین خطواره های شناسایی شده است. کمترین فاصله خطواره



شکل ۱۳- نقشه موقعیت خطواره های زیر سطحی شناسایی و معرفی شده در منطقه آرین شهر به همراه رومرکز زمین لرزه ها.



شکل ۱۴- الف) ایجاد مناطق فشاری در اثر خمیدگی گسل‌های امتدادلغز. مدل پیشنهادی مک کلی (McClay and Bonora, 2001). ترسیم مجدد. ب) تطابق محل گسل پنهان قیصار با منطقه فشاری حاصل از گسل‌های امتدادلغز راستگرد شاه‌آباد و آفریز.

بهشتی.
 - علمبی، م. ا. و خطیب، م. م.، ۱۳۸۵. تحلیل خطر زمین لرزه، گسلش فعال و مهاجرت صفحات گسلی با استفاده از GIS در منطقه شمال خاور بیرجند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند.
 - شهیدی، ع.، ۱۳۷۹. نقشه زمین شناسی چهارگوش روم، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور.
 - یزدان‌پناه، ح.، ۱۳۸۸، نقش گسل‌های پنهان در تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی منطقه آراین‌شهر در محیط GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند.
 - یزدان‌پناه، ح.، خطیب، م. م.، ۱۳۸۷، نقش گسل‌های هم‌مردد در تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی منطقه آراین‌شهر، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.

- یوسفی، ا.، نقشه شدت کل مغناطیسی، برگه شماره ۳، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰، وزارت معادن و فلزات، سازمان زمین‌شناسی کشور.
 - Ambraseys, N.N., and Melville, C.P., 1982, A history of Persian earthquakes. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Arkani, H., 1988, Differential reduction-to-the-pole of original magnetic anomalies, Geophysics 53, 1592-600.

- Baldwin, R.T., and Lange, R., 1993, Tables and maps of the DGRF 1985 and IGRF 1990. International Union of Geodesy and Geophysics Association of Geomagnetism and Agronomy, IAGA Bull., 54, 158.

نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه اشاره گردید، نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.
 در گستره آراین‌شهر، کانون زمین‌لرزه اصلی مورخه ۱۳۸۶/۱۲/۱۹ و پس‌لرزه‌های آن بر گسل شناخته شده سده و یا سایر گسل‌های معرفی شده انطباق ندارد. لذا نمی‌توان آن‌ها را به عنوان سرچشمه لرزه‌ای زمین‌لرزه فوق در نظر داشت.
 گسل پنهان قیصار با راستای شمال‌غرب - جنوب‌شرق عامل اصلی وقوع بسیاری از زمین‌لرزه‌های منطقه آراین‌شهر است. با انجام این تحقیق اهمیت استفاده از داده‌های مغناطیسی جهت تفسیر زمین‌شناختی و زمین‌ساختی یک منطقه بیش از پیش نمایان شده است.

منابع

- اسماعیل زاده، ا.، ۱۳۸۶. تعیین خطواره‌های تکتونیکی دشت زابل با استفاده از داده‌های مغناطیسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
 - بربریان، م.، ۱۳۵۵. پژوهش و بررسی لرزه‌زمین‌ساخت (سایزموکتونیک) ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۳۹.
 - خطیب، م. م.، ۱۳۷۷. هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز (با نگاهی ویژه بر گسل‌های شرق ایران)، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید

- Baraboo, V., and Needy, H., 1964, Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole, *Geophysics*, 29, 67-79.

- Bali, F., and Antes, A., 2003, Analytic signal inferred from reduced to the pole data, *Journal of the Balkan Geophysical society*, 6, 2.

- Berbarian, M., 1976. Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II), Report 39, Geological Survey of Iran.

- Berbarian, M., et al., 2000, The 1994 Sefidabeh eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone, *Geophysics* 142, 283-299.

- Bihong F., and Xinglin L., 2007, A new fault rupture scenario for the 2003 Mw = 6.6 Bam earthquake, SE Iran: Insights from the high-resolution QuickBird imagery and field observations, *Journal. of Geodynamics*, 44, 160-172.

- Gunn, P. J., 1997, Application of aeromagnetic surveys to sedimentary basinet studies, *AGSO*, 17, 2, 133-142.

- Hansen, R. O., and Pelosi, R. S., 1989, Reduction to the

pole at low latitudes by Winner filtering, *Geophysics*, 54, 1607-1613.

- Heists, S. P., and Parker, R. L., 1979, Upward and downward continuation as inverse problems, *Geophysics Journal of the Royal Astronomical Society*, 57, 171-188.

- McClay, K.R., and Bonora, M., 2001, Analogue models of restraining stepovers in strike-slip fault systems. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 85.

- Meloni A. ,Melee G., and Palanquin, P., 1995, Tecton-omagnetic field observations in central Italy 1989-1995, *Physics of earth and Planetary Interiors*, 105,145-152.

- Roast, W. R., Washoe, J., and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal: *Geophysics*, 57, 116-125.

- Walker, R., and Khatib, M. M., 2006, Active faulting in the Brigand region of eastern Iran. *Tectonics*, 25.

- Walker, R., Jackson, J., and Baker, C., 2004, Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran,: *Geophysics Journal Int.* 157 , 265-282.