

بررسی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی منطقه شهرضا با استفاده از تکنیک‌های Geoinformatics

حجت اله صفری^{۱*}، همایون صفایی^۲، محمود بهرامی^۳

۱) دانشیار تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، پردیس دانشگاه گلستان، گرگان، ایران، h.safari@gu.ac.ir

۲) دانشیار تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، Safaei@sci.ui.ac.ir

۳) کارشناس ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، پردیس دانشگاه گلستان، گرگان، ایران، Bahramitec3@gmail.com

* عهده‌دار مکاتبات: حجت اله صفری

چکیده

منطقه شهرضا در بخش مرکزی زون ساختاری سنندج-سیرجان به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب گردید تا صحت فعال بودن این زون ساختاری از طریق شناسایی ساختارها، اثرات نوزمین‌ساختی عملکرد گسل‌های فعال منطقه و تعیین وضعیت کانون‌های زلزله‌های رخ داده، در این منطقه مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش، از تکنیک‌های زمین‌اطلاعاتی^{۵۷} نظیر سنجش از دور، GIS و بررسی‌های صحرایی استفاده گردید. نتایج حاصل از این تکنیک‌ها نشان می‌دهد که گسل‌های اصلی منطقه که چهار چوب ساختاری منطقه را رقم زده‌اند؛ شامل گسل شهرضا (با مکانیسم امتداد لغز راست‌بر) و گسل نصرآباد (با مکانیسم امتداد لغز چپ‌بر) می‌باشند. اثرات حرکات نوزمین‌ساختی مربوط به فعالیت‌های عهد حاضر این گسل‌ها در قالب: بریده شدن آبرفت‌های عهد حاضر، اثر بر روی رژیم رسوبگذاری رودخانه‌ها، ایجاد گسلش در پادگانه‌های آبرفتی عهد حاضر و ایجاد دگرریختی در رسوبات، قابل مشاهده می‌باشد. همچنین در محل برخورد این دو گسل، تعداد زیادی کانون زلزله به وقوع پیوسته است.

واژه‌های کلیدی: منطقه شهرضا، زون سنندج-سیرجان، نوزمین‌ساخت، تکنیک‌های زمینی

Investigation of Neotectonic activities in Shahreza area, Iran, using of Geoinformatic Techniques

Abstract

Shahreza area in the central part of Sanandaj-Sirjan zone is selected as case study for verifying of this zone activity. In this research, the structures and its kinematics were determined by using of Geoinformatic techniques such as: Remote sensing, GIS and field surveying methods and also, distinguished the Neotectonic evidences of active faults and occurred earthquake foci circumstances.

The result shown that the Shahreza fault (with Dextral strike-slip mechanism) and Nasrabad fault (with Sinistral strike-slip mechanism) are the main faults in this area. The Neotectonic evidences of recent activities of these faults are exhibited as: truncating of recent alluvium, influencing on sedimentation regime of rivers, faulting in recent alluvial terraces and fans and deformation of recent alluvium. Also, in intersection of these main faults, many earthquake foci were taken placed.

Keywords: Shahreza area, Sanandaj-Sirjan zone, Neotectonic, Geoinformatic Techniques

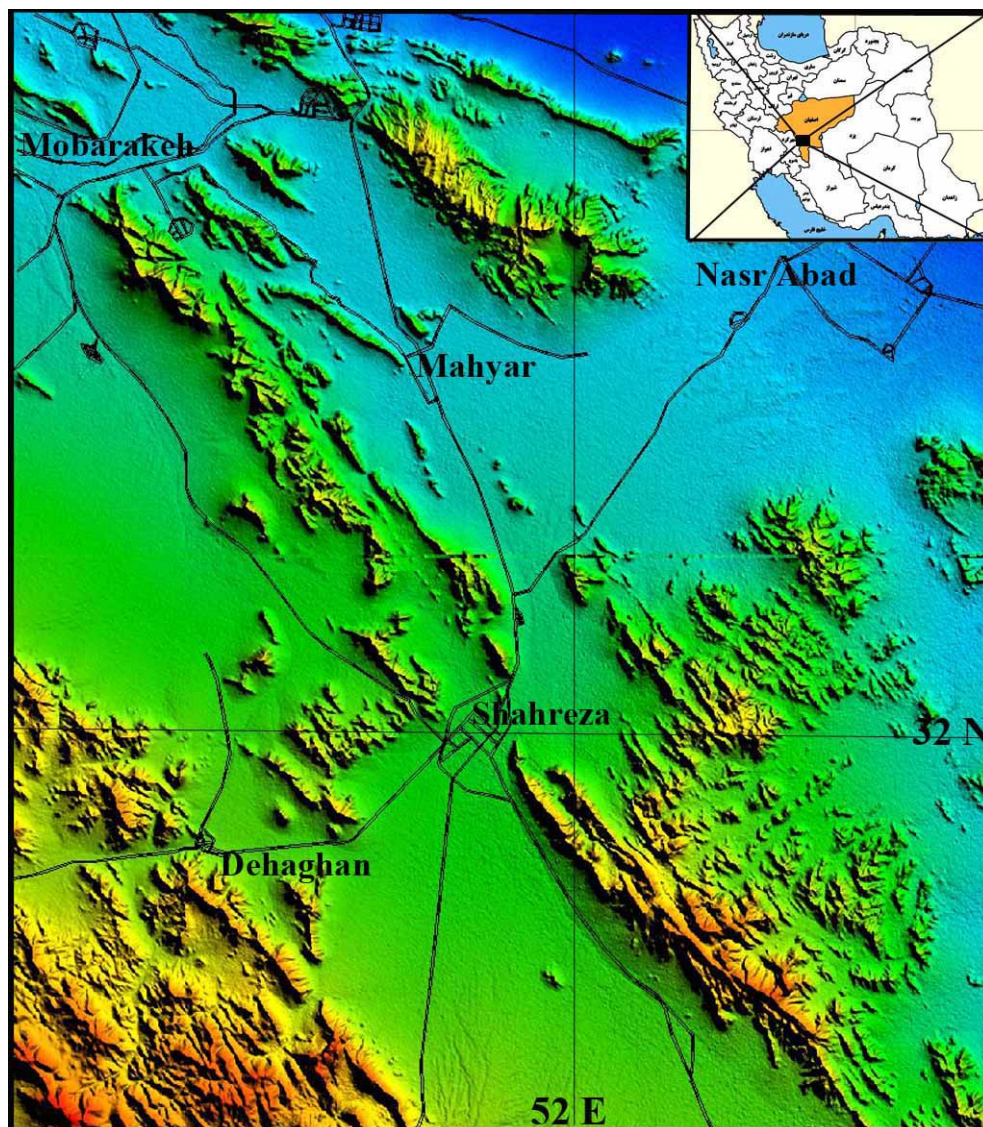
۱- مقدمه

پهنه ساختاری سنندج- سیرجان باریکه‌ای از جنوب باختری ایران میانی است که در حد فاصل ریزقاره ایران مرکزی و کمربند کوهزاد زاگرس قرار گرفته است. بسیاری بر این باورند که زون بخیه بین ریزقاره ایران مرکزی و صفحه عربی در این پهنه ساختاری قرار گرفته است (آقانباتی، ۱۳۸۳، Allen et al., 2011). این پهنه ساختاری دارای درازایی حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و پهنایی بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر بوده و از باختر دریاچه ارومیه آغاز و تا شمال بندرعباس ادامه می‌یابد (آقانباتی، ۱۳۸۳، Stocklin, 1968). راستای مستقیم این پهنه در حد فاصل میان دریاچه ارومیه و اسفندقه به طور محلی نمایانگر سامانه‌ای امتدادلغز است که حکایت از غلبه رژیم زمین‌ساختی برشی (راست‌بر) در محل برخورد دو صفحه زمین‌ساختی عربی- ایرانی می‌باشد (Allen et al., 2011; Azizi & Asahara, 2013; Nadimi & Konon, 2012; Nadimi, 2010). از دیرباز این باور بوده است که پی‌سنگ این منطقه طی فازهای کوهزایی سیمین و لارامید سخت شده و به همین دلیل به عنوان منطقه‌ای غیرلرزه‌زا مطرح شده است (Berberian, 1976). به همین دلیل، براساس زمین‌لرزه‌های اندکی که در زون سنندج- سیرجان رخ داده است، تصور می‌شود که سنندج-سیرجان همانند یک بلوک سخت شده عمل می‌کند (Jackson & McKenzie, 1984) و این در حالی است که در بخش‌هایی از این پهنه ساختاری، گسل‌های مستقیمی مانند آباده، دهشیر، شهرباک و بافت مشخص شده‌اند که بعضی از آنها نشانگر جابجایی امتداد لغز راست‌بر در رسوبات کواترنری می‌باشند (Sheikholeslami et al., 2003; Safaei, 2009).

حرکات گسل‌های فعال را می‌توان بر اساس تکامل پرتگاه‌های گسلی^{۵۸}، الگوهای آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، وضعیت تراس-های رودخانه‌ای، اشکال پیشانی کوهستان (Morisawa & Hack, 1985)، آنالیزهای لرزه‌ای (Berberian, 1981) و سایر پدیده‌های ژئومورفولوژیکی تعیین نمود. همچنین آبراهه‌ها و رودخانه‌ها می‌تواند به عنوان کلیدی برای پی بردن به جابه‌جایی و حرکات عهدحاضر گسل در نظر گرفته شوند (Twidale, 2004). بررسی‌های آبراهه‌ها و رودخانه‌ها می‌تواند به عنوان سرنخی برای فهمیدن ساختارهایی که در زیر قرار گرفته و دارای فعالیت عهد حاضر می‌باشند؛ در نظر گرفت و همچنین به عنوان شاهدهی برای ثبت زمان حرکات نوزمین‌ساختی به کار برد.

در این پژوهش، منطقه شهرضا واقع در بخش مرکزی پهنه سنندج-سیرجان، به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب گردید تا با استفاده از تکنیک‌های زمین‌اطلاعاتی نظیر سنجش از دور، GIS و بررسی‌های صحرائی، سعی در شناسایی ساختارها و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی آن‌ها و همچنین علت بالا بودن فعالیت لرزه‌خیزی در منطقه شهرضا گردد. این منطقه در ۴۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان اصفهان بین عرض‌های شمالی $31^{\circ}45'00''$ تا $32^{\circ}30'00''$ و طول‌های شرقی $51^{\circ}30'00''$ تا $52^{\circ}15'00''$ واقع شده است (تصویر ۱). بخش عمده منطقه شهرضا بر روی دشت آبرفتی مربوط به دوره کواترنری قرار گرفته و گسل‌های بزرگ مقیاسی از درون این منطقه عبور نموده است. بر اساس شواهد صحرائی، این گسل‌ها می‌توانند سبب بریدگی آبرفت‌های جدید و آبراهه‌ها شده و به همین دلیل گسل‌هایی فعال به شمار روند (صفایی، ۱۳۸۳، ندیمی و همکاران، ۱۳۸۹، Nadimi, 2010; Nadimi et al., 2006). به همین دلیل، بررسی‌های نوزمین‌ساختی در پادگانه‌های آبرفتی رودخانه شهرضا، مخروط افکنه‌های بخش شرقی و رسوبات کف دشت (در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی) صورت

پذیرفته است. همچنین در صورت احراز لرزه‌زا بودن منطقه، تائیدی براین مدعا خواهد بود که ساختارهای اصلی این منطقه کاملاً فعال بوده و می‌باید دارای شواهد نوزمین‌ساختی آشکاری نیز باشند.



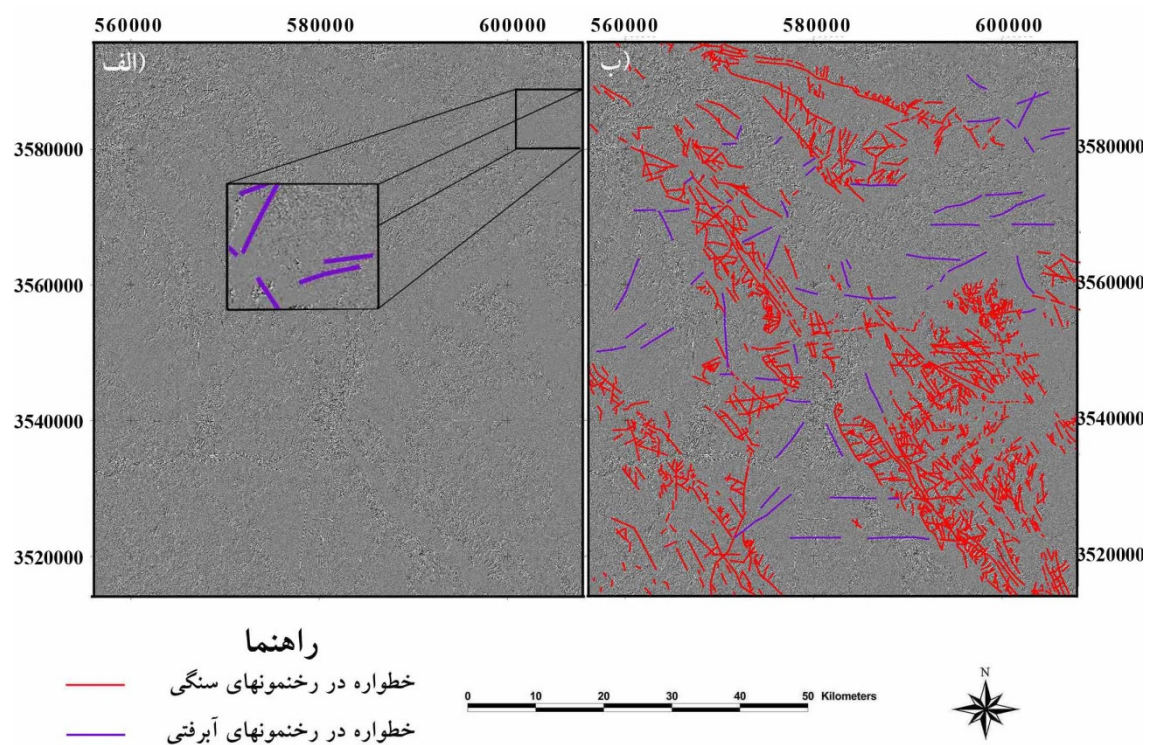
تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی، شکل ناهمواریها و راههای دسترسی منطقه مورد مطالعه

۲- روش‌های انجام پژوهش

۲-۱- استخراج گسل‌ها در رخنمون‌های سنگی

برای استخراج گسل‌ها و تعیین ارتباط آنها، از تکنیک‌های سنجش از دور (با کمک تصاویر ماهواره‌ای) استفاده گردید. جهت تشخیص گسل‌ها، با اعمال فیلترهای جهت‌دار در جهات ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ درجه بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه (با ترکیب باند ۷۴۱) (Lillesand & Keifer, 2000; Aronoff, 1989; Sabins Floyd, 2007) در محیط نرم‌افزار ENVI 4.3، شکستگی‌های موجود در قالب خطواره‌ها (شکستگی‌های پیمایش نشده) شناسایی گردیدند (شکل ۲). جهت شناسایی این

خطواره‌ها در رخنمون‌های سنگی از عوارض و پدیده‌هایی نظیر: قطع شدگی امتداد عوارض ساختمانی، کنار هم قرار گرفتن لیتولوژی‌های متفاوت، خطواره‌های بزرگ مقیاس، الگوی مستقیم دره‌ها، خطی شدن امتداد چشمه‌ها استفاده گردید (Pirasteh et al., 2010; Safari et al., 2011). سپس، از طریق کنترل‌های میدانی و اندازه‌گیری‌های صحرائی در ۲۰ ایستگاه (در سطح منطقه)، گسل‌های اصلی و گسل‌های فرعی شناسایی و از هم تفکیک گردیدند. در ادامه با استفاده از محیط نرم‌افزاری GIS (با استفاده از نرم‌افزار Arcview 3.2) اقدام به رقومی نمودن شکستگی‌های استخراج شده در رخنمون‌های سنگی گردید.



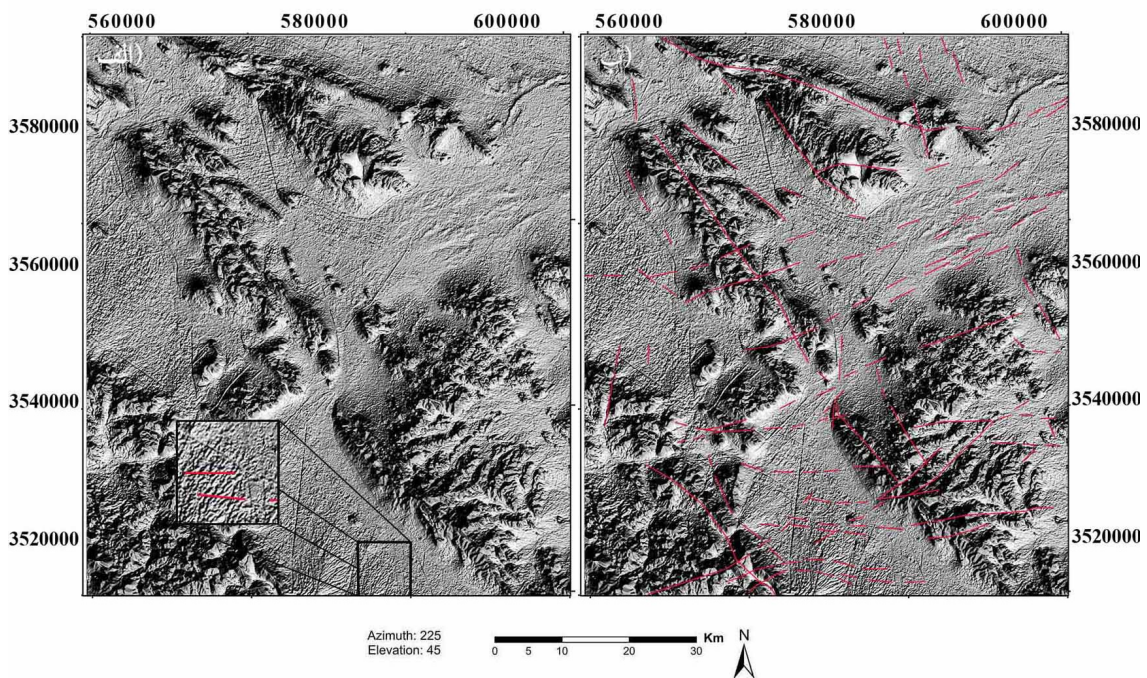
تصویر ۲- استخراج خطواره‌ها در رخنمون‌های سنگی و نهشته‌های سخت‌نشده از طریق اعمال فیلترهای جهت‌دار

۲-۲- استخراج گسل‌ها در نهشته‌های سخت‌نشده کواترنری و عهد حاضر

جهت شناسایی گسل‌های عهد حاضر (در قالب خطواره‌های ساختاری در نهشته‌های سخت‌نشده) و همچنین گسل‌های کواترنری (که به طور واضحی آبرفت‌های کواترنری را قطع نموده بودند) از دو تکنیک از تکنیک‌های سنجش از دور استفاده گردید. در این تکنیک‌ها با استفاده از فیلترهای خاص، خطواره‌ها بر اساس شواهدی نظیر: بریدگی‌های خطی در نهشته‌ها (بخصوص مخروط‌افکنه‌ها)، الگوی مستقیم رودخانه‌ها و آبراهه‌های بزرگ، تغییر ناگهانی شیب در مرز کوه-

دشت و یا کف دشت، به صورت خطی قرار فروافتادگی‌ها، حالت خطی شدن پوشش گیاه، آرایش خطی محل تظاهر چشمه‌ها و تغییر ناگهانی رنگ خاکها (Burbank & Anderson, 2001) مورد شناسایی قرار گرفتند.

الف- روش اول: در روش اول، با استفاده از اعمال فیلترهای تابش جهت‌دار نور خورشید^{۵۹} بر روی تصویر ماهواره‌ای اصلاح شده، سعی در ایجاد تصاویری گردید که در آن‌ها، بیشترین عوارض خطی در نهشته‌های سخت نشده نمایان گردد (بهرامی، ۱۳۹۲). در این روش، نور خورشید به صورت فرضی با امتدادها (آزموت‌ها) و زوایای مختلف (نسبت به افق) بر تصویر ماهواره‌ای تابانیده شد و به روش آزمون و خطا، بهترین تصاویر ساخته و انتخاب گردیدند. به نظر می‌رسد که آزموت‌های مختلف تابش سبب بارزسازی خطواره‌هایی خاص می‌گردیدند که از بین آن‌ها آزموت‌های ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ در منطقه مورد بررسی بهترین بارزسازی را نمایان نمودند. از طرفی، این نتیجه حاصل شد که بهینه‌ترین زاویه تابش (نسبت به افق) زاویه ۴۵ درجه می‌باشد (تصویر ۳). بر این اساس، چهار تصویر با چهار آزموت مختلف ساخته و از آن‌ها خطواره‌های بارزسازی شده در نهشته‌ها استخراج گردید.

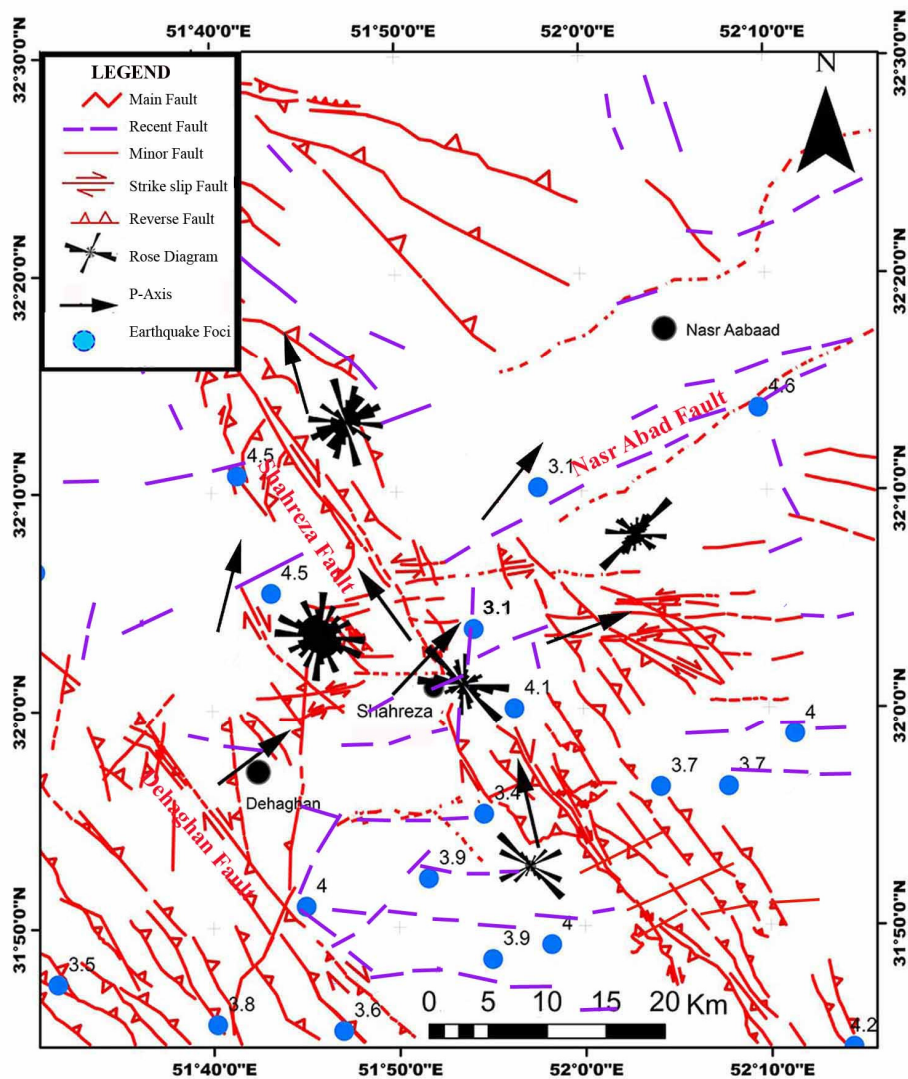


تصویر ۳- استخراج خطواره‌ها در نهشته‌های سخت نشده از طریق اعمال فیلترهای تابش جهت‌دار نور خورشید

⁵⁹ - Sun Shaded Filter

الف- روش دوم: در این روش، مشابه کار بر روی رخنمون‌های سنگی، از فیلترهای جهت‌دار بر روی باندهای R (باندهای ۷ = قرمز) استفاده شد. فیلترهای جهت‌داری با آزمون‌های ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه بر روی تصویر ماهواره‌ای اصلاح شده اعمال گردید. جهت سهولت کار، هنگام اعمال این فیلترها بر روی تصویر ماهواره‌ای اصلاح شده جهت استخراج خطواره‌ها در رخنمون‌های سنگی، از این تصاویر جهت استخراج خطواره‌ها در نهشته‌های سخت نشده نیز استفاده گردید (تصویر ۲). بر این اساس، چهار تصویر با چهار آزمون مختلف ساخته و از آن‌ها خطواره‌های بارزسازی شده در نهشته‌ها استخراج شد.

خطواره‌های استخراج شده در حداقل ۵۰ ایستگاه در سطح منطقه، مورد بازدیدها و پیمایش‌های صحرایی تکمیلی قرار گرفتند. به این ترتیب تنها خطواره‌هایی که در امتداد آن‌ها اثرات حرکات نوزمین‌ساختی مشاهده گردید؛ به عنوان گسل‌های عهد حاضر در نظر گرفته شدند. نتایج این پیمایش‌ها در بخش مطالعات نوزمین‌ساختی آورده شده است. در ادامه با استفاده از محیط نرم‌افزاری GIS (با استفاده از نرم‌افزار Arcview 3.2) شکستگی‌های استخراج شده در نهشته‌های سخت نشده، به عنوان یک لایه برداری خطی رقمی گردید. در نهایت این لایه بر روی نقشه ساختاری منطقه انداخته شد (تصویر ۴).



تصویر ۴- نقشه ساختاری و لرزه زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

۲-۳- تحلیل ساختاری گسل‌ها

به علت گستردگی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های متعددی (شامل ۲۰ ایستگاه اندازه‌گیری در پنج منطقه) جهت کنترل-های صحرائی ساختارهای استخراج شده و اندازه‌گیری آنها، در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از مشخصات اندازه‌گیری شده شکستگی‌ها، بر اساس روش فرکانس-امتداد (Ramsay & Hubber, 1987)، نمودار گل سرخی از شکستگی‌های این بخش‌ها ترسیم شده و نتایج به دست آمده بر روی نقشه ساختاری (تصویر ۴) آورده شد. در ادامه جهت تحلیل محورهای جنبشی (حرکتی) در منطقه از روش تحلیلی مارت و المندینگر (Marrett & Allmendinger, 1990) استفاده گردید. در این روش با استفاده از مشخصات شکستگی‌ها (شامل امتداد، شیب و جهت شیب گسل‌ها، ریک خش‌لغز و جهت حرکت بلوک روبرو) ابتدا صفحه گسل و بردار خش‌لغز (بر روی آن) ترسیم می‌گردد. سپس با استفاده از محل قطب گسل و

خش لغز، صفحه حرکتی رسم می‌شود. در ادامه از محل خش لغز ۴۵ درجه در سمت لغزش حرکت نموده و محل محور فشارش مشخص می‌گردد. این عمل برای تمامی گسل‌های هر ایستگاه محاسبه شده و متوسط‌گیری (با روش دیاگرام کانتوری) می‌شود. در نهایت برای تمامی ایستگاه‌ها این روش انجام می‌گیرد. بردارهای این محورها در ایستگاه‌های مختلف بر روی نقشه ساختاری آورده شده است (تصویر ۴).

۲-۴- بررسی‌های نوزمین ساختی

جهت اینکار با رجوع به خطواره‌های استخراج شده، اقدام به بررسی صحرایی آنها و کنترل عملکرد عهد حاضر گسل‌ها گردید. همچنین در محل برخورد ساختارها با نهشته‌های عهد حاضر نیز اقدام به کنترل اثر این ساختارها بر روی نهشته‌ها گردید. به این ترتیب نهشته‌هایی نظیر کوهرفت‌ها، آبرفت‌ها (بخصوص رسوبات موجود در کانال و جناحین رودخانه‌ها)، رسوبات کف دشت و مخروط‌افکنه‌ها از نظر بریده‌شدن، جابجایی و یا کج‌شدگی‌ها، تغییر رژیم رسوبگذاری و همچنین اثرات ژئومورفولوژیکی نظیر: فرونشست‌ها، ایجاد گودال‌های خطی و تغییرات ناگهانی شیب زمین مورد بررسی قرار گرفتند.

۲-۵- بررسی کانون‌های زلزله

ابتدا، اقدام به گردآوری مشخصات زلزله‌های رخ داده در منطقه از سایت‌های معتبری نظیر موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (<http://irsc.ut.ac.ir>) و موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (www.iiees.ac.ir) نموده و به صورت فایل *.DBF در محیط نرم‌افزاری Excel ذخیره گردید. در ادامه فایل ذکر شده در محیط نرم‌افزاری Arc view 3.2 بازخوانی شده و به لایه برداری نوع نقطه‌ای تبدیل گردید. جهت بررسی وضعیت کانون‌های زلزله نسبت به ساختارهای اصلی این لایه بر روی نقشه ساختاری انداخته شده و خروجی تهیه گردید (تصویر ۴).

۳- گسل‌های اصلی منطقه

بعد از اعمال فیلترهای جهت‌دار بر روی تصویر ماهواره‌ای و بررسی و بازدید صحرایی از خطواره‌های استخراج شده در رخنمون‌های سنگی و پیمایش ساختاری آن‌ها، سه گسل اصلی شهرضا، نصرآباد و دهاقان در منطقه مورد شناسایی قرار گرفتند. وضعیت این گسل‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

۳-۱- گسل شهرضا

این گسل با درازای بیش از ۱۶۵ کیلومتر و عرض زون گسلش ۱۰ کیلومتر، دارای راستای ۱۵۰-۱۴۰N (بعضاً تا ۱۶۰N نیز دیده می‌شود) می‌باشد. بر اساس شواهد صحرایی سازوکار این گسل امتدادلغز راست‌بر با مقداری مولفه شیب لغز معکوس است (تصویر ۵-الف). این گسل از شمال شرق شهرستان مبارکه شروع و تا جنوب شرق شهرستان شهرضا امتداد یافته است. بخش شمال‌غربی این گسل به صورت بریدگی خطی و دره‌ای کاملاً مستقیم در مرکز پهنه گسلی دیده می‌شود و روند خطی ارتفاعات منطقه را رقم زده است (تصویر ۴).

۳-۲- گسل نصرآباد

این گسل با نزدیک به ۷۰ کیلومتر درازا و عرض زون گسلش ۱۰ کیلومتر، در شمال‌شرقی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. این گسل دارای راستای ۶۰-۵۰N بوده و عمدتاً به صورت خطواره‌هایی بر روی رسوبات آبرفتی دیده می‌شود و در محل برخورد با گسل شهرضا (در بخش مرکزی شهرضا) سبب بریده و جابه‌جا شدن گسل شهرضا شده است (تصویر ۴).

۳-۳- گسل دهاقان

این گسل با درازای بیش از ۱۶۰ کیلومتر و عرض زون گسلش ۶ کیلومتر و راستای ۱۴۰N، در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. این پهنه گسلیده دارای سازوکار امتدادلغز راست‌بر با کمی مولفه معکوس می‌باشد (هم‌روند با گسل شهرضا) (تصویر ۵-ب). در محدوده مورد مطالعه، این گسل آهکهای کرتاسه را در مجاورت آبرفت‌های دشت قرار داده و غالباً در مرز بین کوه و دشت قرار گرفته است (تصویر ۴).



تصویر ۵- نمایی از شواهد صحرایی گسلش در طول: الف-گسل شهرضا و ب-گسل دهاقان

۴- نتایج به دست آمده

۴-۱- نتایج بررسی‌های ساختاری

در منطقه مورد مطالعه، گسل‌های شهرضا و دهاقان (با روند ۱۶۰-۱۴۰ N) و گسل نصرآباد (با روند ۷۰-۵۰ N) مورد شناسایی و بررسی‌های ساختاری قرار گرفتند. تحلیل نمودارهای گل‌سرخ‌ی در پنج منطقه (۲۰ ایستگاه) نشان می‌دهد که شکستگی‌هایی با امتداد ۱۶۰-۱۴۰ N عمده‌ترین روند ساختاری در منطقه است. دومین دسته شکستگی‌های منطقه، دارای روند ساختاری ۷۰-۵۰ N می‌باشند. روندهای دیگر ساختاری نظیر روند ۱۰۰-۹۰ N نیز بیشتر در بخش جنوب‌شرقی منطقه قابل مشاهده می‌باشند (تصویر ۴). شایان توجه است که شکستگی‌هایی با روند تقریباً شمالی-جنوبی (N۱۷۰ تا N۱۰) نیز

در بخش‌های مرکزی، غربی و شمال‌غربی بعضاً دیده می‌شوند. بررسی محورهای سینماتیکی در بخش‌های مختلف منطقه شهرضا نشان می‌دهد که محور فشارش اصلی N۳۴۵ می‌باشد. این محور در بخش‌های مرکزی، شرقی و غربی منطقه دچار چرخش گردیده که حاصل بریده شدن گسله‌های اصلی منطقه (با روند ۱۶۰-۱۴۰N) توسط روند ۷۰-۵۰N می‌باشد.

۴-۲- نتایج بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی

با ترسیم کانون‌های زلزله (با استفاده از کاتالوگ‌های مختلف) مشخص گردید که در سده اخیر تعداد ۲۰ زلزله با بزرگای $M_b > 3$ (از ۶۰۳ زلزله رخ داده) در منطقه شهرضا رخ داده است (تصویر ۴). بزرگترین زلزله، رخ داد مورخ ۱۹۷۷/۱۰/۲۹ با بزرگای $M_b = 4/6$ بوده که در حوالی شمال‌شرق شهرضا بوقوع پیوسته است. زلزله‌های رخ داده دارای عمق کانونی ۲ تا ۵۱ کیلومتر بوده و عمیق‌ترین زلزله، زلزله مورخ ۲۰۰۴/۰۱/۱۸ در بخش جنوب شرقی شهرضا به عمق ۵۱ کیلومتر بوقوع پیوسته است.

۴-۳- نتایج بررسی‌های نوزمین‌ساختی

همانگونه که در بخش روش‌های انجام پژوهش ذکر گردید، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، اقدام به شناسایی اثرات حرکات نوزمین‌ساختی بر روی تصویر ماهواره‌ای گردید (تصاویر ۳ و ۲). مهمترین شواهد نوزمین‌ساختی یافت شده در طول خطواره‌های استخراج شده (از روش‌های سنجش از دور) در منطقه به شرح ذیل می‌باشند:

۴-۳-۱- بریده شدن آبرفت‌های عهد حاضر

مخروط‌افکنه‌های یک منطقه از جدیدترین نهشته‌های یک ناحیه از لحاظ سن نسبی محسوب می‌شوند. بنابراین هرگونه گسلش و دگرشکلی‌های حاصله، می‌تواند بر روی این نهشته‌ها تاثیرگذار باشد (Burbank & Anderson, 2001). رسوبات مخروط‌افکنه‌ای در بخش شمال‌غربی شهرضا توسط گسلی با امتداد N۹۰ بریده شده‌اند (تصویر ۶-الف). این پدیده به صورت بریدگی‌هایی (به صورت خطواره) بر روی رسوبات آبرفتی در بخش شمال شرقی قابل مشاهده است (تصویر ۶-ب). با بررسی اطلاعات لرزه‌ای متوجه می‌شویم که در اطراف این خطواره ساختاری، ۴ کانون لرزه‌ای قرار گرفته است. همچنین این بریدگی‌ها را نیز می‌توان عمود بر مسیر رودخانه‌های منطقه مشاهده نمود (تصویر ۷-الف).

۴-۳-۲- تاثیر بر امتداد رودخانه‌ها و آبراهه‌های بزرگ

حرکات عهد حاضر گسل‌ها سبب مستقیم شدن موضعی مسیر کانال رودخانه‌ها و آبراهه‌های بزرگ در نهشته‌های سخت-نشده عهد حاضر (و یا نهشته‌های سخت‌شده کواترنری) می‌شود. این پدیده در رودخانه شهرضا واقع در بخش شرقی شهرستان شهرضا قابل مشاهده (بر روی تصویر ماهواره‌ای) می‌باشد. حالت مستقیم کانال رودخانه با الگوی پلکانی شاهدهی بر وجود یک گسل امتداد لغز (راست بر) است (تصویر ۷-الف).

۴-۳-۳- ایجاد فرونشست خطی در رسوبات آبرفتی

در اثر عملکرد گسل‌های امتدادلغز (با کمی مولفه شیب‌لغز) در رسوبات آبرفتی جوان، شاهد ایجاد برجستگی و فرورفتگی‌های توپوگرافی به صورت خطی هستیم. در بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه، این پدیده به صورت فرورفتگی توپوگرافی خطی در رسوبات دیده می‌شود (تصویر ۷-ب). در اطراف این پدیده، ۳ زمین‌لرزه با بزرگای $3 > Mb$ نیز اتفاق افتاده است. همچنین عملکرد عهد حاضر گسل در این منطقه، سبب تغییر شیب رسوبات از حالت افقی شده است.

۴-۳-۴- ایجاد گسلش در پادگانه‌های آبرفتی عهد حاضر

عملکرد گسلش فعال در پادگانه‌های آبرفتی رودخانه شهرضا، سبب بریده و جابجا شدن رسوبات آبرفتی جناحین این رودخانه در بخش‌های مختلف مسیر آن شده است. به عنوان مثال می‌توان به صفحه گسلش اندازه‌گیری شده اشاره نمود که دارای مشخصات NE-۶۵/۱۱۲ N می‌باشد (تصویر ۸-الف).

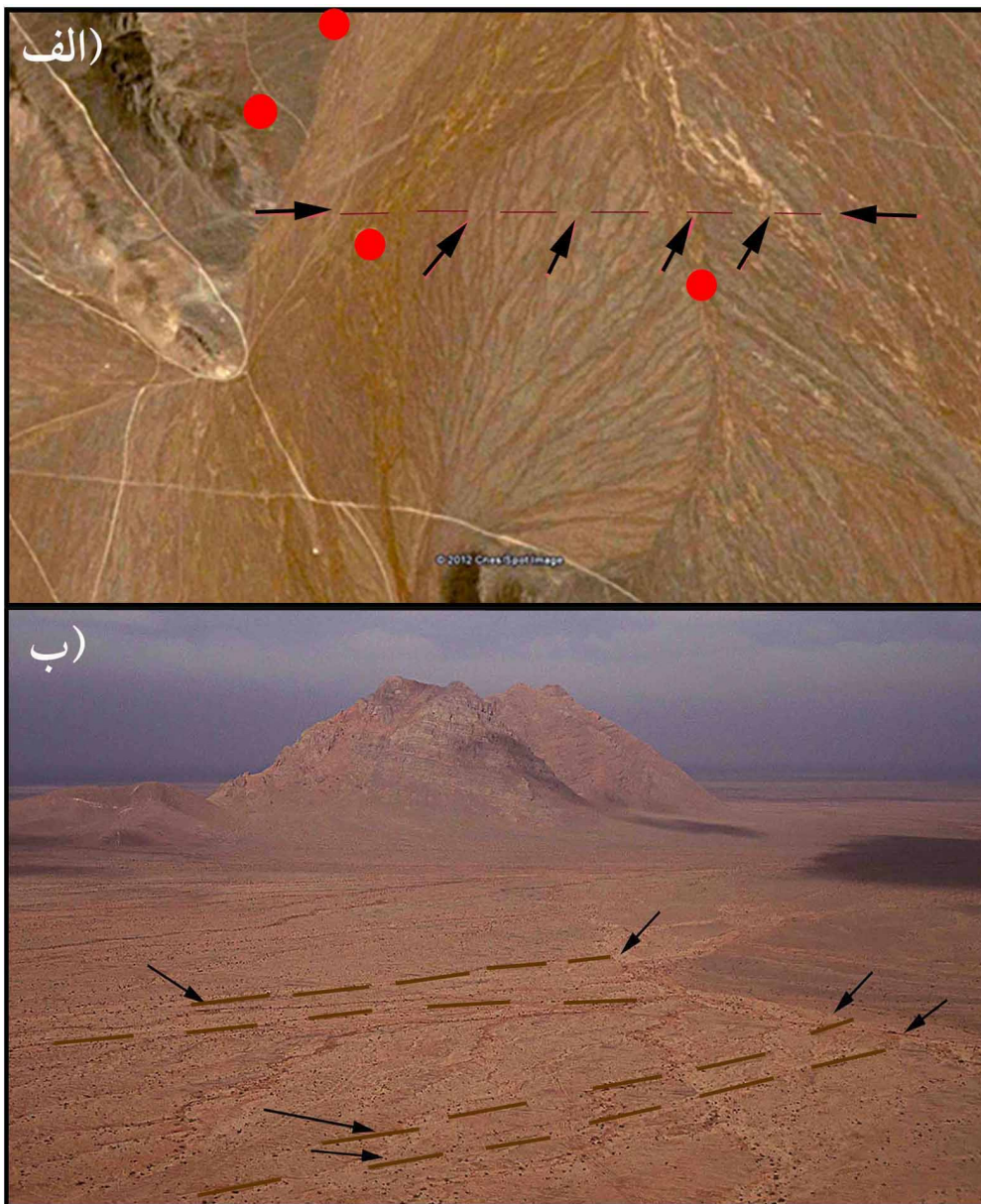
۴-۳-۵- ایجاد دگرریختی در رسوبات

با توجه به این که رسوبات در طبیعت به صورت افقی (یا با شیب اندک) نهشته می‌شوند. اثر عملکرد عهد حاضر گسل‌ها بر روی نهشته‌های سخت نشده، می‌تواند سبب ایجاد دگرریختی‌های ساختاری در قالب خمش‌های ساختاری و یا ایجاد ریزچین‌های موضعی (کوچک مقیاس) گردد. این پدیده در برخی از بخش‌های منطقه مورد بررسی، بخصوص در حوالی شهرستان شهرضا قابل مشاهده می‌باشد. برای نمونه در تصویر (۸-ب) می‌توان خمیدگی لایه‌های رسوبی سخت نشده و ایجاد ناودیسی محلی را مشاهده نمود. همچنین در مجاورت زون‌های گسلی، عملکرد گسل فعال، سبب تغییر شیب نهشتگی رسوبات شده است (تصویر ۸-ج).

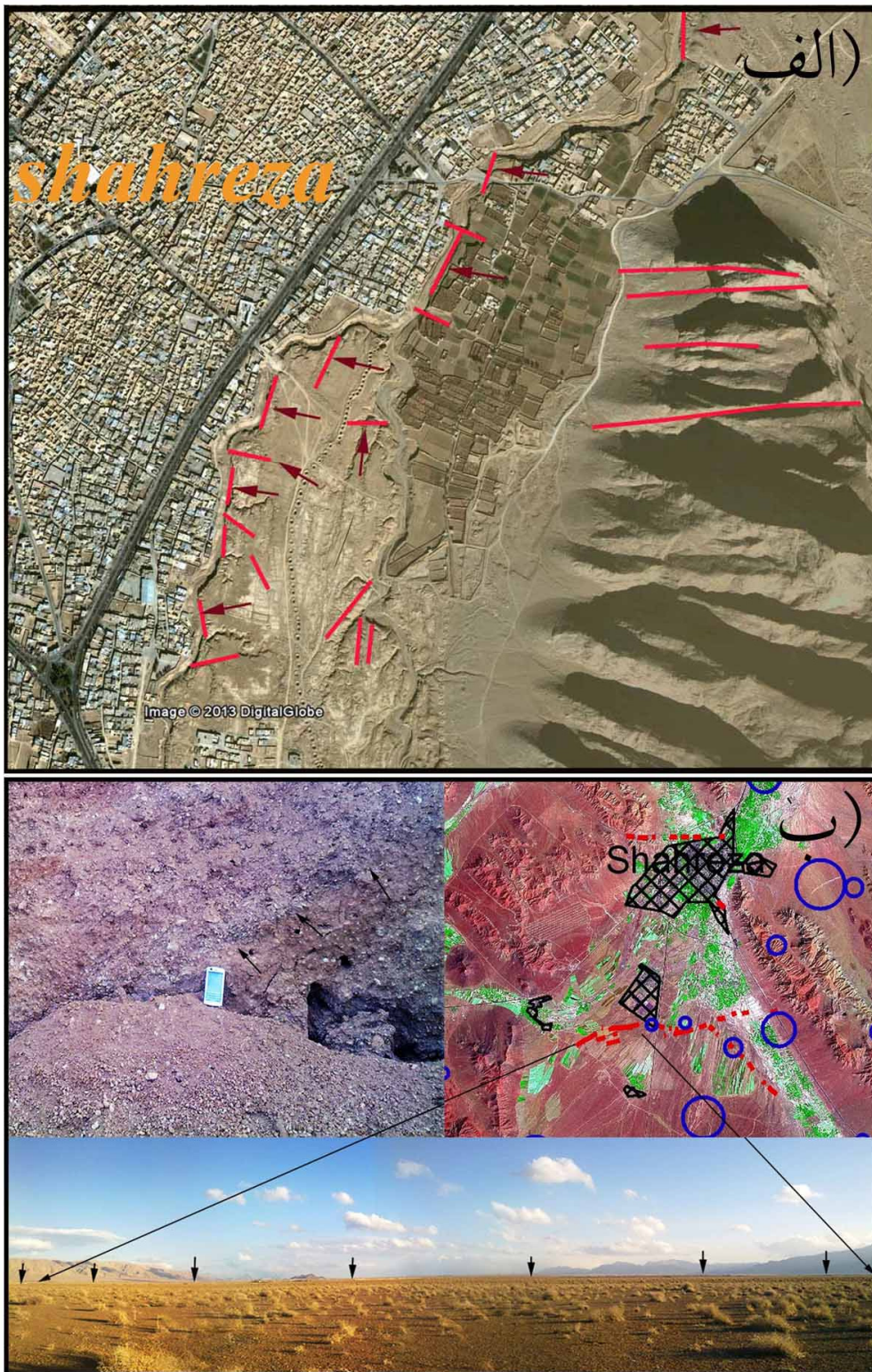
۴-۳-۶- اثر بر روی رژیم رسوبگذاری رودخانه‌ها

شرایط رسوبگذاری در رودخانه‌ها می‌تواند علاوه بر تاثیرپذیری از تغییر شرایط هیدروژئولوژیکی (در قالب خشکسالی و ترسالی)، تابعی از عملکرد گسل‌های فعالی باشد که مسیر رودخانه را قطع نموده‌اند. این پدیده از طریق تغییرات شیب

ناگهانی بستر رودخانه، ناشی از بالا آمدگی یا پایین افتادگی بخشی از مسیر رودخانه اتفاق می افتد. با بررسی کانال رودخانه-ها، می توان اثرات عملکرد گسل های فعال را به صورت گوه شدگی ناگهانی و مکرر رسوبات رودخانه ای (در منطقه شهری شهرضا) مشاهده نمود. این پدیده نشان از آشفتگی رژیم رودخانه ناشی از حرکات قائم زمین ساختی عهد حاضر در طول و یا عمود بر مسیر کانال رودخانه دارد (تصویر ۸-د).



تصویر ۶- بریده شدن آبرفت های عهد حاضر، الف-مشاهده در تصویر ماهواره ای، ب- ایجاد بریدگی های خطی نسبتاً موازی در آبرفت ها (با خطوط قهوه ای نشان داده شده است)



تصویر ۷-الف- تاثیر گسلش فعال بر امتداد رودخانه شهرضا و الگوی پلکانی آن،

ب- ایجاد فرونشست خطی در کف دشت در جنوب شهرستان شهرضا در اثر عملکرد گسل های فعال



تصویر ۸- الف- ایجاد گسلش عهد حاضر در نهشته های سخت نشده ، ب- ایجاد دگرریختی به شکل ناودیس در نهشته های سخت نشده ، ج- کج شدگی رسوبات و خارج شدن از شیب نهستگی، د- تغییرات سریع رژیم رسوب گذاری رودخانه در اثر عملکرد گسلش فعال

۵- بحث و بررسی

نتایج حاصل از مطالعات ساختاری، لرزه زمین ساختی و نوزمین ساختی حاکی از آن است که در منطقه شهرضا سه گسل اصلی شهرضا، نصرآباد و دهاقان قرار گرفته اند و عملکرد آنها وضعیت ساختاری و سیمای ریخت زمین ساختی منطقه را رقم زده است. گسل های شهرضا و دهاقان دارای راستای ۱۵۰-۱۴۰N (بعضاً تا ۱۶۰N نیز دیده می شود) بوده و سازوکار آنها بر طبق شواهد صحرایی (تصاویر ۵ الف و ب) امتداد لغز راست بر با مقداری مولفه شیب لغز معکوس است. گسل نصرآباد دارای راستای ۶۰-۵۰N بوده و عمدتاً به صورت خطواره هایی بر روی رسوبات آبرفتی دیده می شود و در محل برخورد با گسل شهرضا (در بخش مرکزی شهرضا) سبب بریده و جابه جا شدن گسل شهرضا شده است (تصاویر ۴ و ۶ الف).

نتایج حاصل از بررسی های ساختاری نشان می دهد که شکستگی هایی با امتداد ۱۶۰-۱۴۰N عمده ترین روند ساختاری در منطقه است. دومین دسته شکستگی های عمده منطقه، دارای روند ساختاری ۷۰-۵۰N می باشند. روندهای دیگر ساختاری نظیر روند ۱۰۰-۹۰N نیز به خصوص در بخش جنوب شرقی منطقه قابل مشاهده می باشد. بر طبق نتایج بدست آمده از تحلیل های سینماتیکی انجام گرفته (به محورهای فشارش موجود در نقشه ساختاری در تصویر ۴ مراجعه گردد)، مهمترین محور فشارش در دو بخش شمال غربی و جنوب شرقی دارای روند ۳۴۵N می باشد. به نظر می رسد که این روند محور

فشارش در بخش‌های مرکزی، شرقی و غربی دچار چرخش گردیده است که می‌تواند حاصل بریده شدن گسل شهرضا (روند ۱۶۰-۱۱۴۰) توسط گسل نصرآباد (روند ۷۰-۱۵۰) باشد (تصویر ۴).

در سده اخیر تعداد ۲۰ زلزله با بزرگای بیش از ۳ ریشتر در منطقه شهرضا رخ داده است. با کنترل موقعیت جغرافیایی کانون‌های زلزله متوجه می‌شویم که اکثر زلزله‌های بزرگ در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی در حوالی دو روند ساختاری ۱۶۰-۱۱۴۰ و ۷۰-۱۵۰ رخ داده و به نوعی کانون زلزله‌ها در یک امتداد با این گسل‌ها قرار گرفته و بیشترین تمرکز کانون زلزله‌ها مربوط به محل برخورد گسل شهرضا با گسل نصرآباد در این بخش‌ها می‌باشد. مهمترین شواهد نوزمین‌ساختی حاصل از عملکرد عهد حاضر گسل‌های اصلی منطقه عبارتند از: بریده شدن آبرفت‌های عهد حاضر، ایجاد گسلش و دگرریختی در یادگانه‌های آبرفتی عهد حاضر و همچنین اثر بر روی رژیم رسوبگذاری رودخانه‌ها می‌باشد. به این ترتیب مشخص گردید که منطقه شهرضا (به عنوان مورد مطالعاتی) دارای پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی بوده و باید حتی‌الامکان سازه‌های حیاتی این منطقه به دور از سرچشمه‌های لرزه‌زایی، نظیر گسل‌های شهرضا و نصرت‌آباد واقع در بخش‌های مرکزی و جنوب‌شرقی، ساخته شوند. در صورت اجبار مهندسی در مکان‌یابی سازه‌ها در این بخش‌ها، باید ضریب اطمینان مناسب با شرایط لرزه‌ای این بخش‌ها در طراحی سازه‌ها اعمال گردد.

۶- نتیجه‌گیری

با استفاده از تکنیک‌های زمین‌اطلاعاتی، به خصوص تکنیک‌های سنجش از دور و کنترل‌های صحرائی، ساختارهای اصلی موجود در رخنمون‌های سنگی و نهشته‌های سخت‌نشده استخراج و مورد بررسی قرار گرفتند. سپس با استفاده از قابلیت‌های محیط GIS، اقدام به رقوم‌سازی این ساختارها و تهیه نقشه ساختاری گردید. بررسی این ساختارها نشان می‌دهد که روند ساختاری ۱۶۰-۱۱۴۰ مربوط به گسل شهرضا (و گسل دهاقان در جنوب غرب منطقه) با سازوکار امتدادلغز راست‌بر با مقدار قابل توجهی مولفه معکوس، عمده‌ترین روند ساختاری در منطقه بوده و حتی ارتفاعات منطقه را نیز رقم زده است. این پهنه گسلیده توسط روند ساختاری بسیار جوان ۷۰-۱۵۰ (گسل نصرآباد) با سازوکار امتدادلغز چپ‌بر با کمی مولفه کششی، بریده و بعضاً جابجا گردیده است. در محل برخورد این دو گسل اصلی، تعداد زیادی کانون زلزله (بیش از ۲۰ کانون زلزله $M_b > 3$) واقع شده است. علاوه بر تعداد زیاد زلزله‌ها در منطقه شهرضا، اثرات حرکات نوزمین‌ساختی مربوط به فعالیت‌های عهد حاضر این گسل‌ها نیز قابل مشاهده و پیگیری‌های صحرائی می‌باشد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که این منطقه از زون ساختاری سندج-سیرجان کاملاً فعال و لرزه‌خیز است.

۷- مراجع

- آقا نباتی، س، ع، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.
- بهرامی، م، ۱۳۹۲. مطالعات لرزه‌زمین‌ساخت ناحیه شهرضا، رساله کارشناسی ارشد، گرایش تکتونیک، دانشگاه گلستان، ۱۳۱ ص.
- صفایی، ه، ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح پژوهشی شناسایی و بررسی توان لرزه‌ای گسل‌های اطراف اصفهان، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان، ۱۱۲ ص.
- ندیمی، ع، احمدی، س، ظهوری، ف، گلباغ، م، ۱۳۸۹. ساختار گل مانند معکوس در منطقه رامشه (شمال شرق کوهزاد زاگرس)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۳: ۲۲۴-۲۱۷.

پایگاه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، اطلاعات زلزله‌های منطقه مورد بررسی <http://irsc.ut.ac.ir> -
پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، اطلاعات زلزله‌های منطقه مورد بررسی (IIIES) www.iiies.ac.ir

- Allen, M.B., Kheirkhah, M., Emami, M.H., Jones, S.J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone, *Geophysical Journal International*, 184, 555-574
- Aronoff, S., 1989. *Geographic Information System: A Management Perspective*, WDL publication: Ottawa, Canada, 200 pp.
- *Azizi, H., Asahara, Y., 2013. Juvenile granite in the Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran: Late Jurassic-Early Cretaceous arc-continent collision, International Geology Review, Volume 55, 12, 1523-1540*
- Berberian, M., 1976. Contribution to the seismo-tectonic of Iran, *Geo. Sur. Iran*, Rep No: 39, 518 pp.
- Berberian, M., 1981. Active faulting and tectonics of Iran, in Gupta, H.K., and Delany, F.M., eds., *Zagros-Hindu Kush-Himalaya Geodynamic Evolution*", *Geophysical Union Geodynamics Monograph*, 3, 33-69
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001. *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Publication, 274 p.
- Jackson, J., McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between Western Turkey and Pakistan, *Geophysics J. Astr. Soci.*, 77, 185-294
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W., 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th ed.; John Wiley and Sons: New York, NY, USA; pp. 20-180.
- Marrett, R., Allmendinger, R. W., 1990. Kinematic analysis of fault-slip data, *J. of structural Geology*, 12, 8, 973-986
- Morisawa, M., and Hack, J.T., 1985. *Tectonic Geomorphology*, Boston, Allen and Unwin, 390 pp.
- Nadimi, A., Nadimi, H., 2006. Active Tectonics of the South Shahreza, North Zagros Mountains, Iran, 6th International Conference on the Geology of the Middle East, Al Ain, United Arab Emirates University Publication, Abstract: 272 p.
- Nadimi, A., 2010. Active strike slip faults in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone of Zagros Orogen (Iran), PhD thesis, Faculty of Geology, University of Warsaw, Poland, 121 pp.
- Nadimi, A., Konon, A., 2012. Gaw Khuni Basin: an active step over structure in the Sanandaj-Sirjan Zone, Iran, *Geological Society of America Bulletin*, 124, 484-498.
- Ramsay, J.G., Hubber, M., 1987. *The techniques of modern structural geology: Folds and fractures*, Vol: II, Academic Press: London, UK; 700 pp.
- Sabins Floyd F., 2007. *Remote sensing: principle and interpretation*, In W.H. Freeman and company, - New York, Third ed., 490 p.
- Pirasteh, S., Pradhan, B., Safari, H., Ramli, M.F., 2011. Coupling of DEM and remote-sensing-based approaches for semi-automated detection of regional geo-structural features in Zagros Mountain, Iran, *Arabian J. Geosciences*, DOI. 10.1007/s12517-011-0361-0.
- Safaei, H., 2009. The continuation of the Kazerun fault system across the Sanandaj-Sirjan zone (Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, 35, 391-400
- Safari, H., Pirasteh, S., Shattri, B.M., 2011. Role of Kazerun Fault for Localizing Oil Seepage in the Zagros Mountains, Iran: an Application of GiT, *International Journal of remote sensing*, 32, 1, 1-16