



فصلنامه زمین ساخت
زمستان ۱۳۹۷، سال دوم، شماره ۸

ارزیابی خطر زمین لرزه - گسلش در منطقه کرمان - رفسنجان (جنوب خاور ایران)

احمد رشیدی

استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳



چکیده

منطقه مورد بررسی دارای شواهد ریخت زمین ساختی است که به خوبی به همراه رخداد‌های لرزه‌ای، بازگوکننده فعالیت جوان زمین ساختی می‌باشد. در این مطالعه گسل‌های موجود بر پایه شواهد زمین‌شناختی و لرزه‌ای رده‌بندی شده‌اند، که با استناد به آنها، نقش هر دسته یا سامانه گسلی، در لرزه‌خیزی و اهمیت آن در برآورد خطر لرزه‌ای، آشکار گردیده است. مطالعات نوزمین ساختی و ریخت زمین ساختی این مطالعه، وجود گسل‌های بسیار جنبایی را نشان می‌دهد که تاکنون فعالیت حال حاضر تعدادی از آنها گزارش نشده است. گسل‌های زمین‌لرزه‌ای فعال شناسایی شده، رسوبات کواترنر را قطع کرده‌اند و تعدادی از آنها مسبب زمین لرزه دستگامی بوده‌اند.

براساس نقشه بدست آمده از میزان پراکندگی شکستگی‌ها در منطقه، بیشترین میزان شکستگی در بخش‌های جنوبی گسل کوهبنان و شاخه‌های فرعی آن، پایانه شمالی گسل گوک و پایانه جنوبی گسل نایبند، در امتداد گسل جرجاک و بردسیر دیده می‌شود. این میزان شکستگی مرتبط با پهنه‌های گسلی برشی و فشاری موجود در منطقه هستند که با زمین لرزه‌های کوچک و بزرگ زیادی همراه می‌باشند.

کلید واژه‌ها: تکنونیک فعال، ریخت زمین ساخت، نرخ لغزش، شدت شکستگی، جنوب خاور ایران.

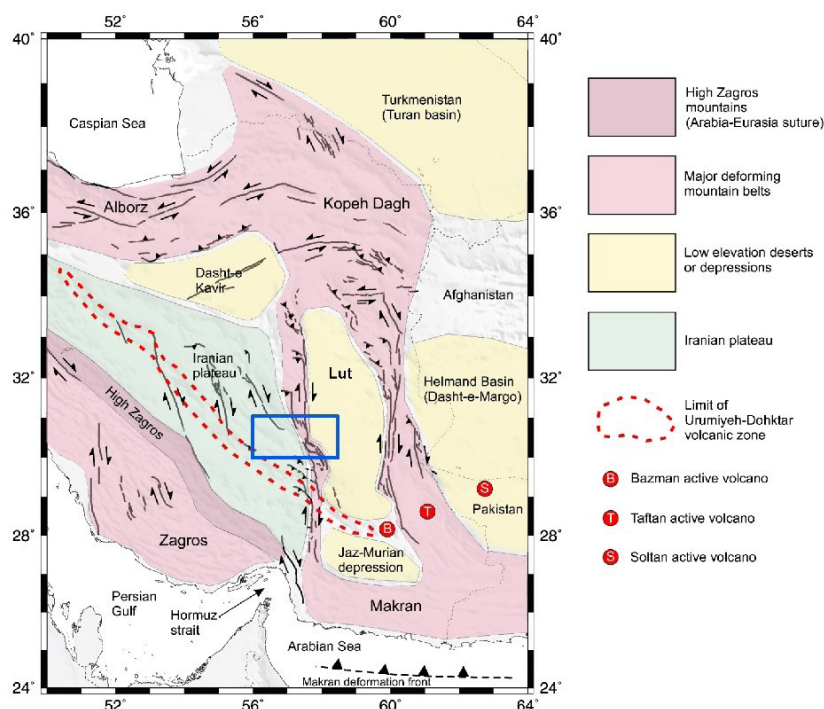
۱- مقدمه

موجود در امتداد شکستگی‌ها، بررسی خطر زمین‌لرزه - گسلش حائز اهمیت است.

بررسی برهمکنش گسل‌ها و توان لرزه‌خیزی منطقه تنها شامل بررسی گسل‌های اصلی نمی‌شود بلکه توزیع دگرشکلی در بلوک‌های پوسته‌ای توسط گسل‌های فرعی نیز کنترل می‌شود که در این مطالعه مورد توجه قرار می‌گیرد.

از آنجا که مطالعه اساسی در ارزیابی خطر زمین‌لرزه - گسلش در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است، هدف از ارائه این مقاله معرفی ویژگی‌های سرچشمه‌های لرزه‌زا، تخمین جابجایی و برخاستگی بر روی آنها و تأثیر برهمکنش گسل‌ها بر یکدیگر است.

گستره مورد بررسی بین عرض جغرافیایی 30° تا 40° درجه شمالی و طول جغرافیایی 56° تا $58^{\circ}30'$ درجه خاوری در محدوده نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ کرمان و رفسنجان واقع شده است (شکل ۱). گسل‌های پی‌سنگی و فعال مهمی در این محدوده قرار دارند که دگرشکلی منطقه تحت تأثیر فعالیت آنها و شاخه‌های فرعی آنها کنترل می‌شود. عمده گسل‌های مهم منطقه روند شمال، شمال باختر - جنوب، جنوب خاور دارند (شکل ۱ و ۲). در اثر فعالیت این گسل‌ها، مناطق شدیداً خرد شده‌ای در بخش‌های مختلف این ناحیه ایجاد شده است. با توجه به شکستگی‌های منطقه و پراکنش جمعیتی



شکل (۱): شکل شماتیک از پهنه‌های ساختاری ایران. کادر آبی رنگ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۱-۱- موقعیت زمین ساختی منطقه مورد مطالعه

عناصر ساختاری مرتبط با فعالیت آنها شده است. مطالعات حاصل از تحلیل ساختاری این منطقه حاکی از ایجاد دگرشکلی پیشرونده در راستای پهنه‌های امتدادلغز راستگرد شمالی - جنوبی و پهنه‌های فشاری - برشی شمال باختری - جنوب خاوری است.

از جمله مطالعات زمین ساختی که در منطقه مورد مطالعه و مناطق پیرامون آن صورت پذیرفته عبارت‌اند از: برآورد نرخ لغزش گسل‌های پیرامون بم و کاربرد آن در ارزیابی خطر زمین‌لرزه (طالیبیان و همکاران، ۱۳۸۸)، الگوی خوشه‌ای

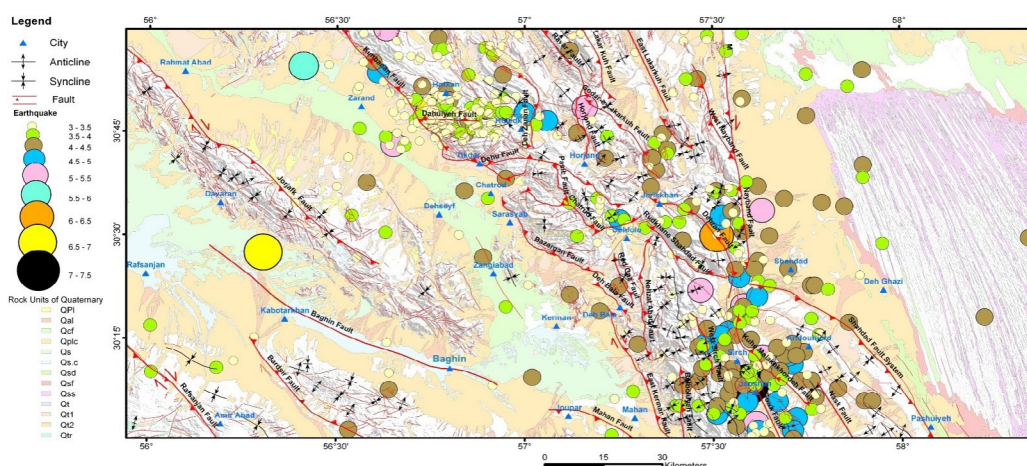
از دیدگاه زمین ساختی، منطقه مورد مطالعه بخشی از خرد قاره ایران مرکزی است که تاکنون متأثر از بسیاری رخداد‌های زمین ساختی بوده است. خرد قاره ایران مرکزی قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت‌بادام، فروافتادگی بیاضه - بردسیر و بلوک یزد است (Stocklin, 1968). محدوده مورد مطالعه بخشی از بلوک لوت و بلوک طبس را شامل می‌شود. عملکرد گسل‌های امتدادلغز در منطقه، باعث شکل‌گیری

لرزه در منطقه است. از اینرو پراکندگی گسلش فعال که باعث استنتاج نقش این گسل‌ها در تکتونیک ناحیه‌ای شده است همچنین اینکه چگونه گسل‌ها در منطقه در تجمع کرنش ناحیه‌ای بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). جهت پی بردن به ساختار و جنبش عصر حاضر گسل‌های منطقه از شواهد ژئومورفولوژی استفاده شد. به کمک مطالعه شواهد ژئومورفولوژی می‌توان به نوع و میزان فعالیت قسمت‌های مختلف پهنه گسلی پی برد. از اینرو عکس‌های هوایی ۱/۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱/۵۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، تصاویر ماهواره‌ای از جمله: Aster, Landsat, Etm, IRS, Google Earth، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی مورد بررسی واقع شدند. در ادامه در بازدیدهای میدانی شواهدی دال بر فعالیت گسل‌های منطقه نیز مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفت.

رخداد زمین‌لرزه‌های پارینه بر روی گسل گلباف (بصیری و همکاران، ۱۳۹۲)، ارتباط موقعیت گسل‌های پهنه لوت با روند سیستم‌های شکستگی (Kronberg, 1983)، شکستگی مجدد بر روی گسل مسبب زمین‌لرزه ۱۹۸۱ و تکتونیک فعال سیستم گسلی گوک (Berberian et al., 2001)، مطالعات لرزه‌شناسی، ریخت زمین‌ساختی راندگی داهوئیه زرنده بعد از زمین‌لرزه ۲۰۰۵ (Talebian et al., 2006)، نرخ لغزش بر روی سامانه گسلی نهندان و گسل نای بند در بازه زمانی کوتاه‌تر (Walker et al., 2009)، برش راستگرد در ایران مرکزی و خاوری و تغییرات جنبشی در زون برخوردی عربی - اوراسیا (Allen et al., 2011)، آهنگ لغزش ۱/۳-۱/۹ میلی متر در سال برای گسل نای بند با انجام مطالعات ریخت زمین‌ساختی و پارینه لرزه شناختی (Foroutan et al., 2014).

۲-۱- روش انجام کار

تعیین گسلش فعال اولین قدم مفید جهت تعیین خطر زمین



شکل ۲: نقشه روکانون سطحی زمین لرزه‌های محدوده مورد بررسی به همراه گسل‌های فعال. موقعیت تصویر را در شکل (۱) ببینید.

۲- بحث

ساختاری) و میزان تراکم شکستگی در بخش‌های مختلف منطقه کرمان - رفسنجان می‌پردازد.

۲-۱- گسل‌های مهم موجود در گستره مورد بررسی

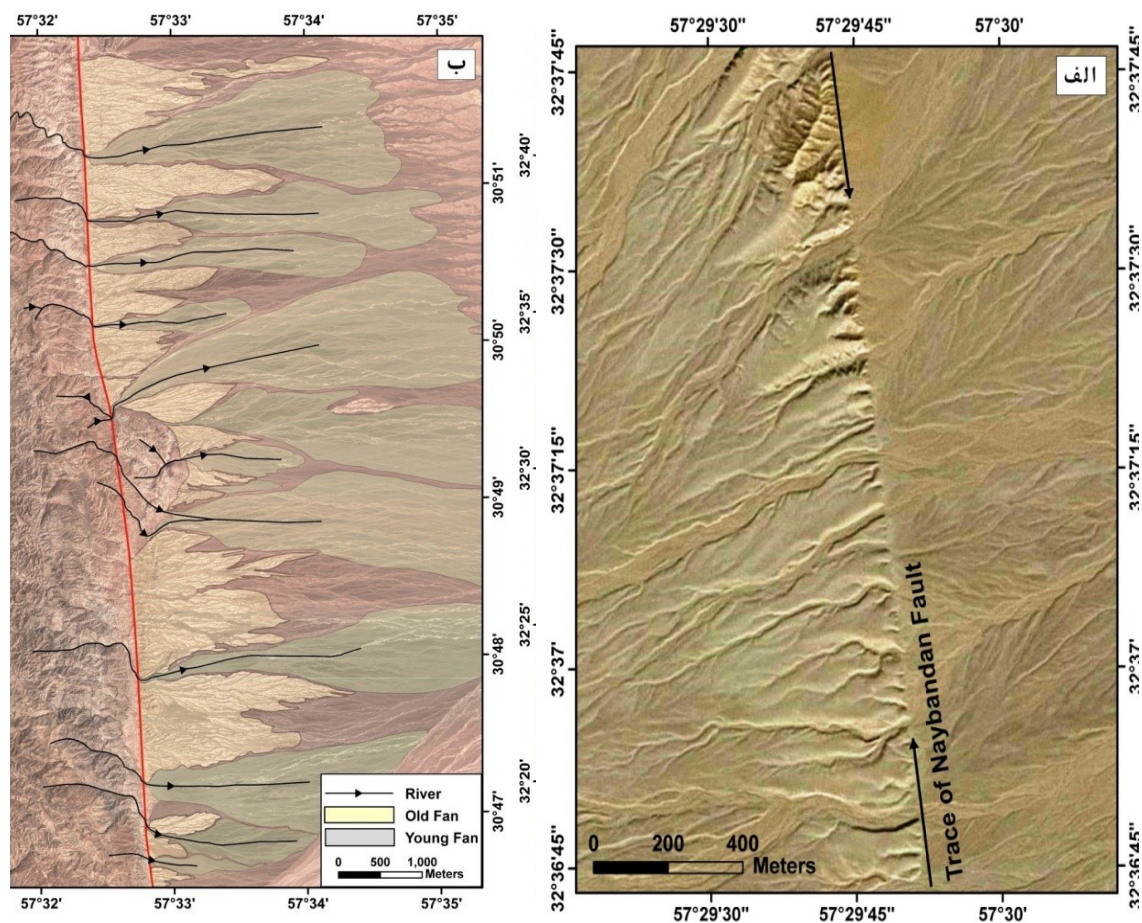
۲-۱-۱- سیستم گسل نایبند

در دهه‌های اخیر، گسل‌های موجود در باختر پهنه لوت فعالیت چشمگیری از خود نشان داده‌اند به طوری که عامل رخداد تعدادی زمین‌لرزه مخرب بوده‌اند (Rashidi et al., 2011; Walker et al., 2010; Fattahi et al., 2019). گسل نایبند با طولی در حدود ۳۵۰ کیلومتر و راستای شمالی -

از آنجا که حرکت زمین در امتداد گسل‌ها در بسیاری موارد با زمین‌لرزه همراه است، مطالعه گسل‌های جنبه پایه‌ای برای بررسی‌های لرزه زمین‌ساختی در محدوده مورد بررسی است. در فلات ایران به دلیل تراکم بالای گسل‌های جنبه‌ای یک طرف و دقت پایین داده‌های لرزه‌ای از طرف دیگر، منشأ برخی از زمین‌لرزه‌ها به بیش از یک گسل ارتباط داده شده است. علاوه بر این، فقدان نقشه گسل‌ها باعث عدم توانایی در تطبیق داده‌های لرزه‌ای با گسلش جنبه شده است. از این رو این مقاله به بررسی گسلش جنبه (در راستای تپه نقشه

است (شکل ۳: الف). در پایانه جنوبی گسل نایبند مخروط افکنه‌های جوانی وجود دارند که مکان مناسبی برای بررسی شواهد نوزمین ساخت از گسل نایبند است. در این محدوده مقدار جابه‌جایی مسیر آبراهه‌ها و برش مخروط افکنه‌ها از ۲۰۰ متر تا ۱۰۰۰ متر اندازه‌گیری شد (شکل ۳: ب). شواهد ژئومورفولوژی در بخش جنوبی گسل نایبند، نشان از فعالیت عصر حاضر این گسل و خطر لرزه‌خیزی آن برای شهرها و روستاهای پیرامون آن است.

جنوبی اصلی‌ترین گسل موجود در باختر لوت است که با شیب نزدیک به قائم، جداکننده پهنه لوت از پهنه طبس می‌باشد. از جمله شواهد فعالیت گسل نایبند می‌توان به وجود افزای‌های گسلی در رسوبات آبرفتی، چشمه‌های آب گرم در راستای گسل، رخنمون دایک‌هایی از مواد آتشفشانی در رسوبات آبرفتی، انحراف مسیر آبراهه‌ها، بریدگی مخروط افکنه‌ها و تراورتنزایی اشاره کرد. در شکل (۳: الف) اثر خطی و برش خوردگی آبرفتها در امتداد گسل نایبند قابل مشاهده



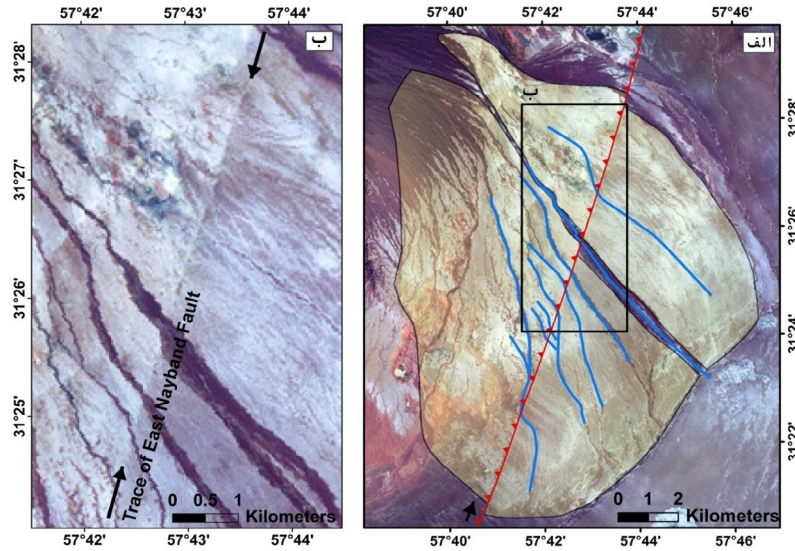
شکل ۳: الف) اثر سطحی گسل نایبند در آبرفت‌ها. ب) جابه‌جایی راستگرد و بریده شدن مخروط افکنه‌ها در پایانه جنوبی گسل نایبند. در حال حاضر مخروط افکنه‌های جدید محل عبور آبراهه‌ها می‌باشند.

از دو قطعه گسلی همپوشان با آرایش پله به راست تشکیل شده است (شکل ۴). گسل خاور نایبند مخروط افکنه موجود در مسیر خود را به مقدار ۵۰۰ متر بریده و جابه‌جا کرده است. آبراهه‌های موجود در آن مخروط افکنه نیز جابه‌جا شده‌اند (شکل ۴). این گسل با وجود قطع رسوبات کواترنری از لحاظ لرزه‌خیزی فعالیت چندانی نداشته و می‌توان آن را جزء گسل‌ها با سابقه لرزه‌خیزی کم به حساب آورد.

گسل نایبند دارای دو شاخه گسلی بنام‌های گسل خاور نایبند و گسل باختر نایبند است. در زیر ویژگی‌های زمین ساختی این دو شاخه گسلی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۱-۲-۱-۱-۲ گسل خاور نایبند

یکی از شاخه‌های هم‌سویا گسل نایبند است. راستای شمال‌خاور - جنوب‌باختر و درازایی بیش از ۸۰ کیلومتر دارد.

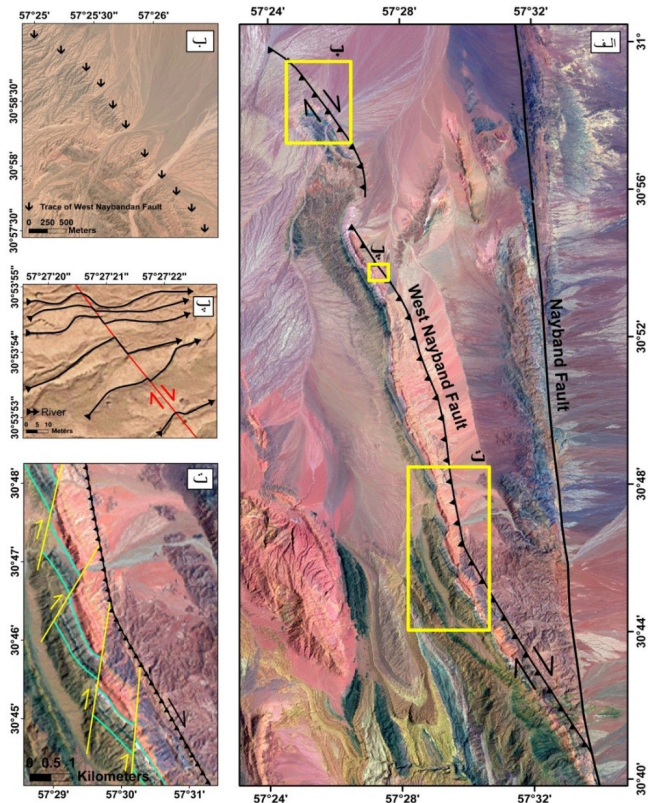


شکل ۴: الف) جابه‌جایی راستگرد ۵۰۰ متری مخروط افکنه و آبراهه‌ها در امتداد گسل خاور نایبند. ب) اثر گسل خاور نایبند و جابه‌جایی آبراهه‌ها از نمای نزدیک‌تر (Rashidi et al., 2018).

۲-۱-۲- گسل باختر نایبند

گسل اثر خطی آن دیده می‌شود (شکل ۵: ب). در اثر حرکت راستگرد، آبراهه‌های موجود دچار جابه‌جایی شده‌اند (شکل ۵: پ). بر روی فرادیواره گسل باختر نایبند چندین شاخه گسلی دیگر دیده می‌شوند که واحدهای سنگی را به میزان ۱ کیلومتر بریده و جابه‌جا کرده‌اند (شکل ۵: ت).

یکی از شاخه‌های هم‌سو با گسل نایبند است. این گسل با راستای شمال باختر - جنوب خاور درازایی حدود ۴۰ کیلومتر دارد (سهندی و رحیم‌زاده، ۱۳۷۰) و از دو قطعه اصلی با آرایش پلکانی پله به راست تشکیل شده است (شکل ۵: الف). در امتداد

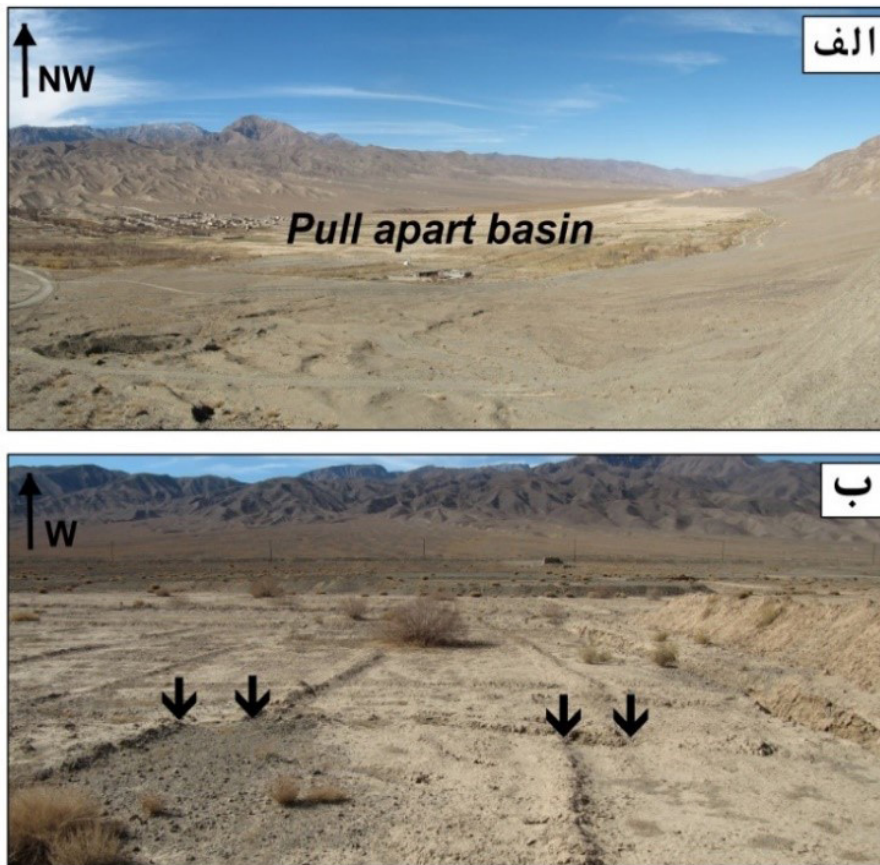


شکل ۵: الف) موقعیت گسل باختر نایبند. ب) اثر سطحی گسل در قطعه شمالی. پ) جابه‌جایی راستگرد ۵ تا ۲۰ متری آبراهه‌ها در قطعه جنوبی. ت) جابه‌جایی راستگرد ۱ کیلومتری واحدهای سنگی بر روی فرادیواره گسل باختر نایبند توسط چندین شاخه گسلی همسو.

۲-۱-۲- گسل گوک (گلباف)

طوری که در دهه‌های اخیر، قطعات شمالی با زمین لرزه‌های بزرگی همراه بوده است. زمین لرزه‌های ۱۹۴۸ گوک، ۱۹۶۹ سیرج، ۱۹۸۱ گلبافت و سیرج، ۱۹۸۹ جنوب گلبافت، ۱۹۹۸ فندقا و چهار فرسخ در نتیجه حرکت در راستای این گسل اتفاق افتاده‌اند. زمین لرزه ۱۹۸۱/۷/۲۸ سیرج با بزرگای ۷/۱، بزرگترین زمین لرزه رخ داده در امتداد گسل گوک و یکی از بزرگترین زمین لرزه‌های ایران به حساب می‌آید. آثار گسیختگی این زمین لرزه هنوز به خوبی در منطقه رخداد زمین لرزه قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۶ب).

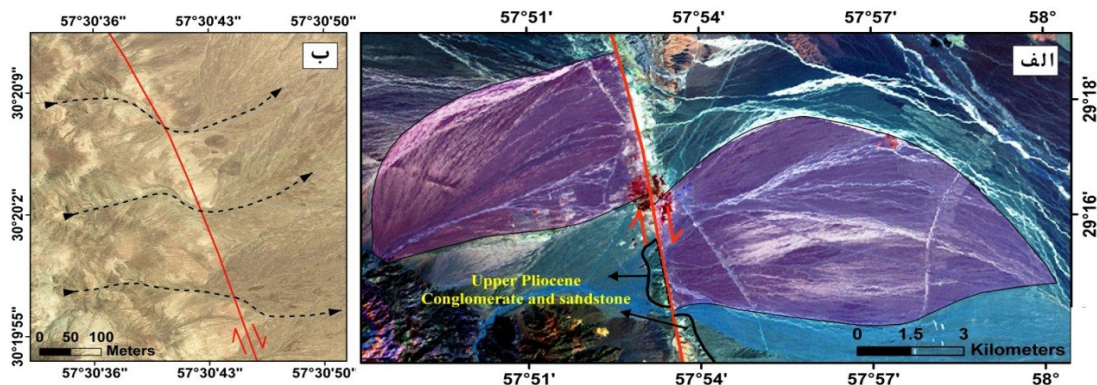
پهنه گسلی گوک با راستای شمالی - جنوبی در باختر بلوک لوت واقع شده و درازای حدود ۱۶۰ کیلومتر دارد. این گسل با زاویه شیب نزدیک به قائم و آرایش پلکانی در تمام مسیر خود واحدهای سنگی را برش داده است و حوضه‌های کشش را ایجاد کرده است (شکل ۵: الف). براساس مطالعات واکر و همکاران (Walker et al, 2010)، نرخ لغزش بر روی گسل گوک حدود $3.8 \pm 0.7 \text{ mm/y}$ اندازه‌گیری شده است. این میزان نرخ لغزش در قطعات شمالی گسل گوک صرف انرژی لرزه‌ای شده است. به



شکل ۶: الف) حوضه کششی گلباف و یا جنوب گلباف در اثر آرایش پلکانی گسل گلباف. ب) آثار گسیختگی زمین لرزه ۱۹۸۱/۷/۲۸ سیرج. جابه‌جایی راستگرد بندهای مزرعه کشاورزی در اثر رویداد زمین لرزه بخوبی قابل دیدن است.

که این گسل با وجود تخلیه انرژی (در قطعات شمالی آن) در طی زمین لرزه‌های چند دهه اخیر، هنوز پتانسیل ایجاد زمین لرزه مخرب در عصر حاضر را دارد.

شواهد ریخت زمین‌ساختی جابه‌جایی‌های مختلفی را در امتداد گسل گوک نشان می‌دهد (شکل ۷). این جابه‌جایی‌ها تمام پدیده‌های ژئومورفیک را تحت تأثیر خود قرار داده است. شواهد موجود در امتداد گسل گوک نشان از این است

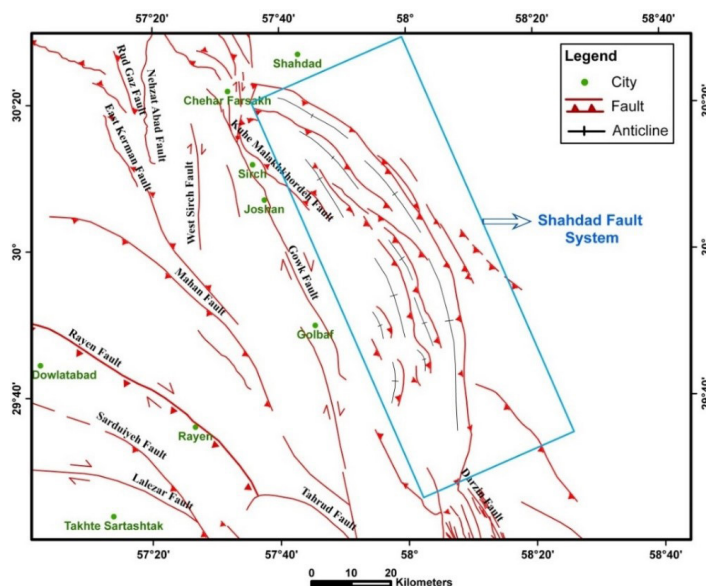


شکل ۷: (الف) جابه جایی ۳ کیلومتری واحد سنگی پلیوسن بالایی و مخروط افکنه (ب) جابه جایی ۱۰۰ متری آبراهه‌ها در امتداد گسل گوک.

۲-۳- سیستم گسلی شهداد

گسل، گسل‌های دیگری نیز در نهشته‌های مذکور و در محدوده میان این گسل و گسل گوک قابل ردیابی است. به این مجموعه گسل‌ها سیستم گسلی شهداد گفته می‌شود (شکل ۸). زمین‌لرزه ۲۹ آوریل سال ۱۹۱۱ میلادی با بزرگای $Ms = 6.6$ در خاور چهار فرسخ و باختر گسل شهداد مکانیابی گردیده است (Berberian et al., 2001).

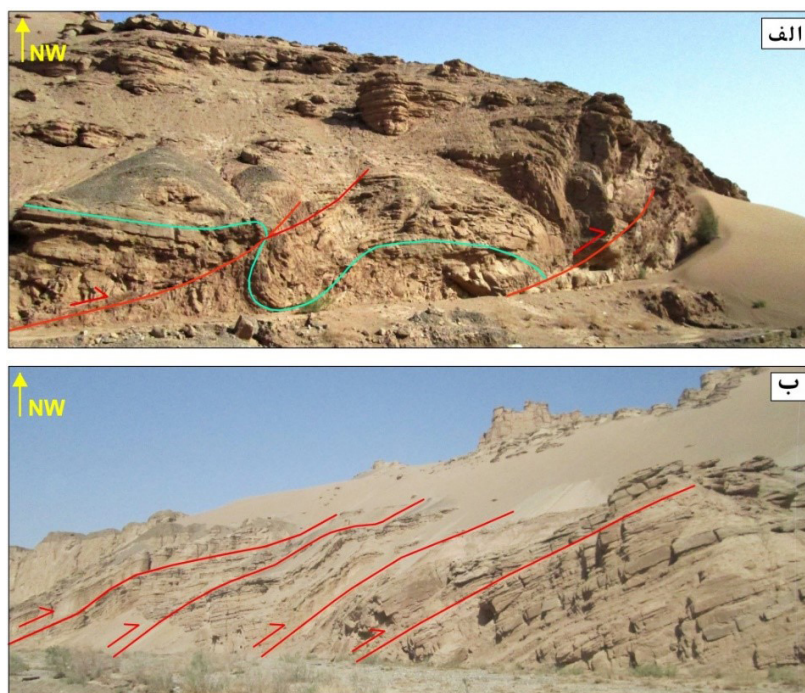
در گستره خاور منطقه فعال و لرزه خیز گلباف - سیرچ، نهشته‌های جوان چین خورده‌ای (تاق‌دیس‌های مرتبط با گسل) تا حاشیه کویر لوت دیده می‌شوند. حد خاوری این چین خوردگی‌ها را گسل شهداد محدود کرده است. گسل شهداد دارای تحدبی به سمت خاور می‌باشد. علاوه بر این



شکل ۸: سیستم گسل شهداد به همراه گسل‌های پیرامون آن.

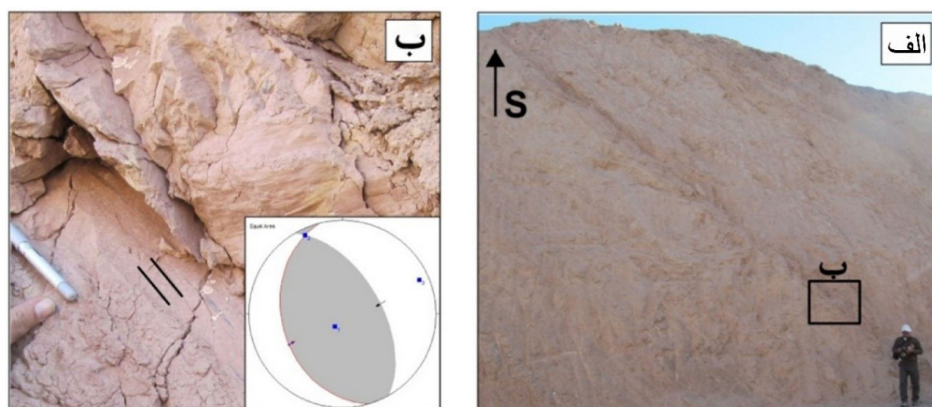
شدگی شده‌اند بطوری که در قسمت‌های مختلف منطقه چین‌های مرتبط با گسل در مقیاس‌های ناحیه‌ای و محلی بوجود آمده‌اند (شکل ۹: الف). ساختارهای فلس مانند نیز از جمله ساختارهایی هستند که در قسمت‌های مختلف منطقه درون سیستم گسلی شهداد ایجاد شده‌اند. شکل‌گیری این ساختارها باعث تکرار واحدهای سنگی بر روی یکدیگر، در قسمت‌های مختلف منطقه شده است (شکل ۹: ب).

رسوبات دشت شهداد، نهشته‌های مولاس گونه نوژن هستند که دست کم ۳۵۰۰ متر ضخامت دارند و شامل لایه‌های مشخصی از مارن ژیبس دار، ماسه سنگ و کنگلومرا هستند. این رسوبات می‌توانند افق‌های جدایش شکل‌پذیری در عمق‌های کم به وجود آورند (Mohajjel, 2009). در اثر فعالیت سیستم گسلی شهداد رسوبات بر روی سطوح دچمتمت موجود در منطقه دچار کوتاه-



شکل ۹: الف) چین‌های مرتبط با گسل (یا چین‌های خم گسلی) درون سیستم گسلی شهداد. موقعیت گسل‌ها N35W, 25SW است. ب) ساختارهای فلس مانند درون سیستم راندگی شهداد.

گسل شهداد در تمامی مسیر خود رسوبات کواترنر و مخروط افکنه‌ها را بریده و باعث کج‌شدگی و برخاستگی آنها شده است. با توجه به موقعیت صفحه گسل (N15W, 35SW) و خط خش (R: 55SW) اندازه‌گیری شده بر روی آن گسل شهداد از نوع راندگی با کمی مؤلفه امتدادلغز راستگرد است (شکل ۱۰).

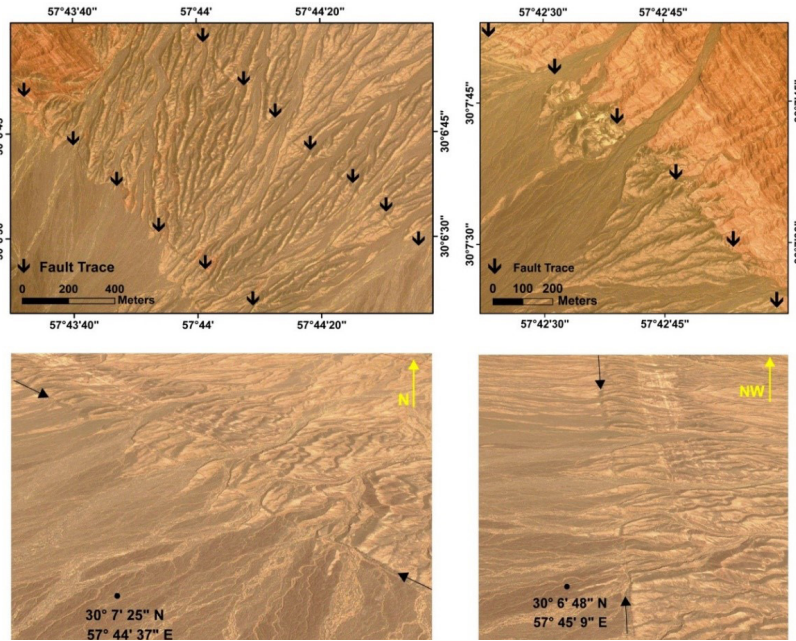


شکل ۱۰: موقعیت گسل شهداد N15W, 35SW و ریک خط خش R: 55SW اندازه‌گیری شده بر روی آن.

۲-۱-۴- پهنه گسل کوه ملخ خورده

مسیر خود بریده است. مخروط افکنه‌های موجود در قسمت جنوبی این گسل در اثر عملکرد راندگی، دچار برخاستگی شده‌اند. برخاستگی و راندگی این مخروط افکنه‌ها بوضوح در امتداد این پهنه گسلی دیده می‌شود (شکل ۱۱). با وجود فعالیت لرزه‌ای بالایی که در گستره شهداد - سیرچ روی می‌دهد، زمین لرزه‌ای به این گسل نسبت داده نشده است.

این پهنه گسلی با طولی حدود ۳۵ کیلومتر در باختر کوه ملخ خورده قرار گرفته است. قسمت شمالی آن روند شمالی - جنوبی و مکانیزم غالب امتدادلغز راستگرد و قسمت‌های جنوبی‌تر آن روند شمال باختر - جنوب خاور و مکانیزم غالب راندگی دارد (شکل ۸). این پهنه گسلی، مخروط افکنه‌ها و رسوبات آبرفتی را در سراسر

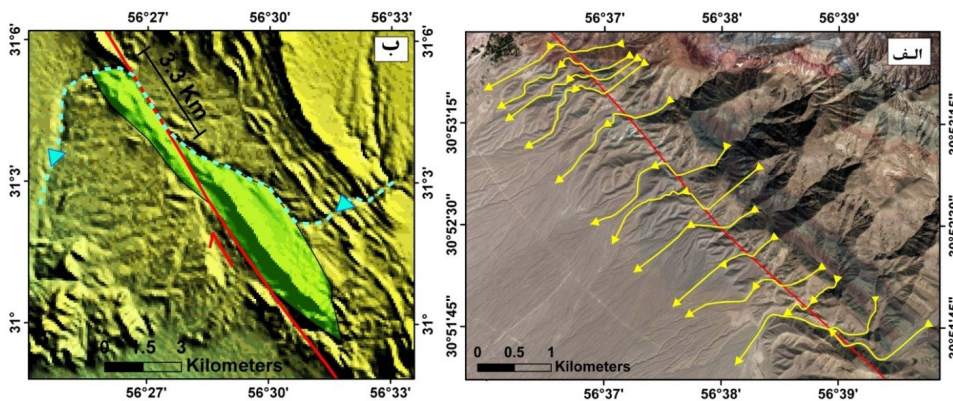


شکل ۱۱: آثار گسلش و برخاستگی در امتداد پهنه گسلی کوه ملخ خورده.

۲-۱-۵- سیستم گسلی کوهبنان

این سیستم گسلی، جنوبی‌ترین بخش زیر بلوک راور- مزینو از بلوک طبس در ایران مرکزی است که به‌عنوان یک یا لرزه‌خیزترین روندهای ساختاری در گستره استان کرمان مطرح است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۱). سیستم گسلی کوهبنان از چند قطعه گسلی کوتاه و بلند تشکیل شده است که این قطعات در انتهای خود به صورت همپوشان نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. در منطقه شمال خاور شهر زرنند، آبراهه‌هایی که به سوی دشت سرازیر شده‌اند، در محل گذر از گسل کوهبنان به سوی شمال باختر منحرف (شکل ۱۲: الف) و متحمل جابه‌جایی راستگرد ۱۰۰ متر تا ۱/۵ کیلومتر شده‌اند. در مقیاس کمی

بزرگتر، رودخانه‌هایی که از میان کوهستان به سمت دشت جریان می‌یابند جابه‌جایی بیشتر و آشکارتری را نشان می‌دهند، به گونه‌ای که در برخی موارد مسیر رودخانه در کوهستان همراه با واحدهای سنگی و مخروط افکنه‌ها دچار جابه‌جایی شده‌اند. به عنوان مثال در شکل (۱۲: ب) رودخانه و واحدهای سنگی متحمل حدود ۳/۳ کیلومتر جابه‌جایی راستگرد شده‌اند. شواهد ژئومورفیک، نشانگر آن است که گسل کوهبنان کنترل‌کننده وضعیت زمین‌ساختی این قسمت از منطقه است. لذا فعالیت آن نقش مهمی در شکل‌گیری وضعیت ریخت زمین‌ساختی و توپوگرافی محدوده مورد مطالعه داشته است. این سیستم گسلی فعال بوسیله زمین‌لرزه‌های بزرگ به همراه گسل‌های فرعی با روند و سازوکار مختلف مشخص می‌باشد.



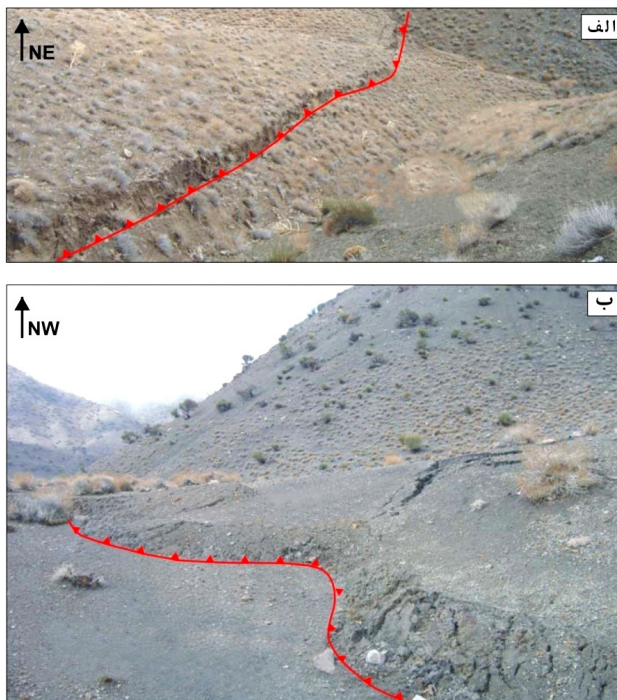
شکل ۱۲: الف) جابه‌جایی راستگرد ۱۰۰ متر تا ۱/۵ کیلومتری آبراهه‌ها. ب) جابه‌جایی ۳/۳ کیلومتری واحدهای سنگی و آبراهه.



۱-۵-۱-۲- گسل داهوئیه

باختری کمی خمیدگی داشته و راستای آن از E-W به NW-SE تغییر می‌یابد. این قطعه گسلی مسبب زمین‌لرزه ۱۳۸۳ داهوئیه زرنده بوده است. از ویژگی‌های گسل معکوس داهوئیه این است که گسیختگی آن به‌طور واضح، در سطح قابل مشاهده است (شکل ۱۳). پیش از این زمین‌لرزه، بر روی گسل داهوئیه زمین‌لرزه بزرگی ثبت نشده است.

گسل داهوئیه یکی از شاخه‌های فرعی گسل کوه‌بنان با طولی بیش از ۱۵ کیلومتر است. جهت شیب گسل به سمت شمال و مقدار آن در طول مسیر متفاوت است. هندسه آن از یک گسل معکوس بزرگ زاویه با کمی مؤلفه راستالغز پیروی می‌کند. انتهای آن در بخش



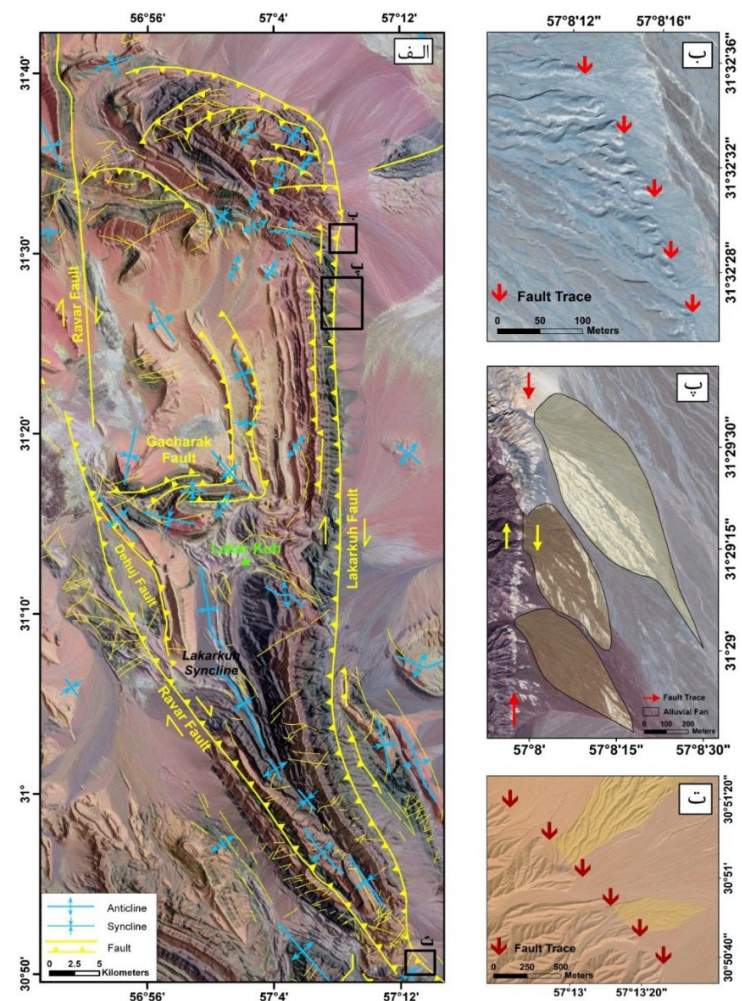
شکل ۱۳: گسیختگی حاصل از زمین‌لرزه ۱۳۸۳ داهوئیه زرنده. الف) بخش خاوری گسل داهوئیه. ب) بخش باختری گسل داهوئیه (عکس‌ها برگرفته از گروه لرزه زمین‌ساخت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور است).

۱-۶-۱-۲- گسل لکرکوه

در بخش شمالی گسل لکرکوه (در اثر عملکرد مؤلفه راستگرد) ساختارهای فشاری مانند چین‌ها و گسل‌های معکوس که می‌توان آنها را به‌عنوان ساختارهای دم‌اسبی پایانه گسل لکرکوه در نظر گرفت، دیده می‌شوند. راستای این گسل‌ها از محل اتصال به گسل لکرکوه به سمت باختر تغییر پیدا می‌کند به طوری که محور چین‌ها نیز هم‌جهت با آنها تغییر مسیر می‌دهد. در امتداد گسل لکرکوه چهره‌های ساختاری همچون برش و جابه‌جایی آبراهه‌ها، وجود سطوح فرسایش قدیمی (شکل ۱۴: الف)، برش و کج‌شدگی مخروط افکنه‌ها، برخاستگی نهشته‌های کواترنری (شکل ۱۴: ب) و گسلش کواترنری (شکل ۱۴: ت) قابل شناسایی هستند.

زمین‌لرزه‌های ۱۰، ۲۱ و ۲۲ آذرماه ۱۳۹۶ به ترتیب به بزرگای ۶/۱، ۶/۲ و ۶/۱ در مقیاس MN (در عمق حدود ۱۰ کیلومتری زمین) در اثر فعالیت بخش جنوبی این گسل روی داده است.

این گسل با درازایی حدود ۱۰۰ کیلومتر در خاور گسل راور قرار گرفته است. با توجه به شواهد ساختاری و مورفوتکتونیک، گسل لکرکوه از نوع امتداد لغز راستگرد همراه با مؤلفه معکوس است. اما افشانه‌های شمالی آن با موقعیت کلی EW, 55S مکانیزم معکوس همراه با مؤلفه امتداد لغز راستگرد دارند (شکل ۱۴). در اثر عملکرد مؤلفه معکوس، می‌توان لکرکوه را به عنوان یک فزازمین فشاری در نظر گرفت به طوری که سنگ‌های پرکامبرین پسین، پالئوزوئیک و مزوزوئیک (از سمت جنوب باختری) بر روی واحدهای جوان‌تر (پلیوسن و کواترنری) رانده شده‌اند. کانون زمین‌لرزه ۱۹ آوریل ۱۹۱۱ (Ms 2/6) که با کشته شدن ۷۰۰ نفر همراه بوده به فعالیت این گسل نسبت داده شده است (Berberian et al., 1984; Ambra-). در اثر این زمین‌لرزه، شهر راور و تعدادی از دهستان‌های خاور آن ویران شدند.



شکل ۱۴: الف) سیستم گسل لکرکوه به همراه چین خوردگی‌ها. ب) جابه‌جایی، برش آبراهه‌ها و وجود سطوح فرسایش قدیمی در امتداد گسل. پ) برش و کج شدگی مخروط افکنه‌ها در اثر حرکت راستگرد گسلت) برش رسوبات کواترنری در امتداد قسمت جنوبی گسل لکرکوه.

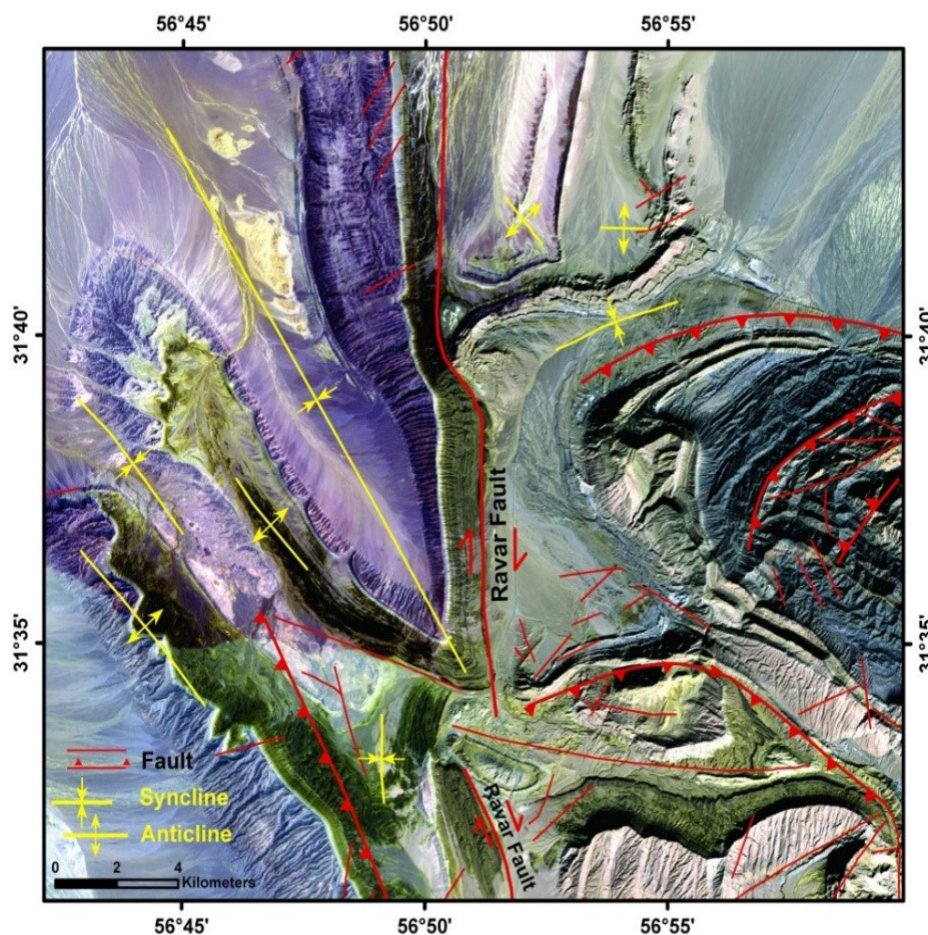


شکل ۱۵: پهنه گسل لکرکوه در پابانه شمالی. موقعیت صفحه اصلی EW,55S و ریک خش نژ آن SE 55 R است.

۲-۱-۲- سیستم گسل راور

در سراسر گسل راور چین‌ها با هندسه مختلف و اثر محوری متفاوت دیده می‌شوند. این چین‌ها بیانگر به هم‌ریختگی شدید زمین ساختی در اثر فعالیت پهنه‌های گسلی موجود در منطقه می‌باشند (شکل ۱۶). زمین‌لرزه ۲۰۱۲/۰۲/۲۷ راور ($M_N=5.4$) در ۸ کیلومتری باختر گسل راور روی داده است. رومکز این زمین‌لرزه و پس‌لرزه‌های آن و همچنین رو کانون زمین‌لرزه‌های ۱۵ ژانویه ۱۹۵۳ ($M_s=5.5$) (Ambraseys and Melville, 1982) و ۱۰ نوامبر ۱۹۷۷ ($m_b=4.8$) بر روی این گسل قرار دارد.

سیستم گسلی راور از جنوب خاور کویر آبدوخی آغاز و با طولی در حدود ۱۷۰ کیلومتر تا جنوب خاور شهر راور ادامه دارد. این سیستم گسلی به موازات سیستم گسلی لکرکوه می‌باشد، اما در بخش‌های جنوبی در منطقه مورد مطالعه با سامانه گسلی لکرکوه و کوهبنان به صورت همگرا در می‌آید (شکل ۲ و ۱۴). بالاراندگی بلوک فرادیواره پهنه گسلی راور و لکرکوه الگوی ساختاری گلواره مثبت را در این ناحیه ایجاد کرده است.

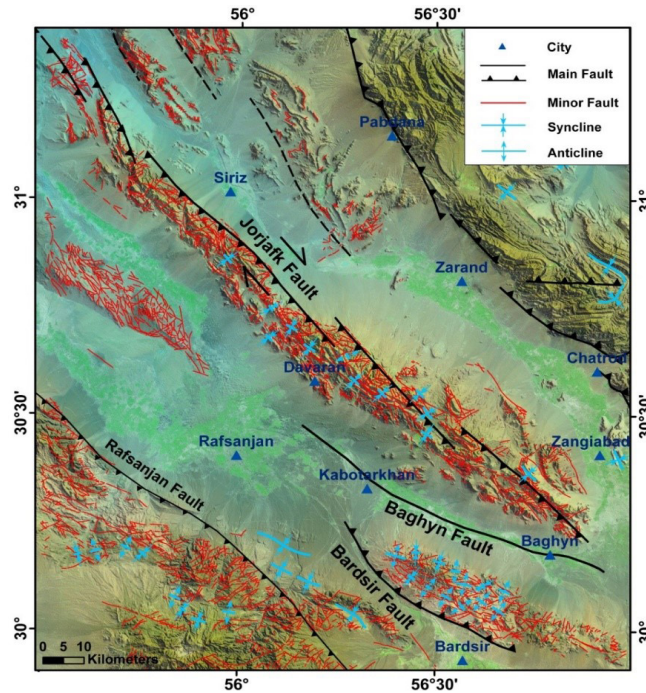


شکل ۱۶: چین‌ها با هندسه و اثر محوری متفاوت در امتداد گسل راور.

۲-۱-۳- گسل جرجافک

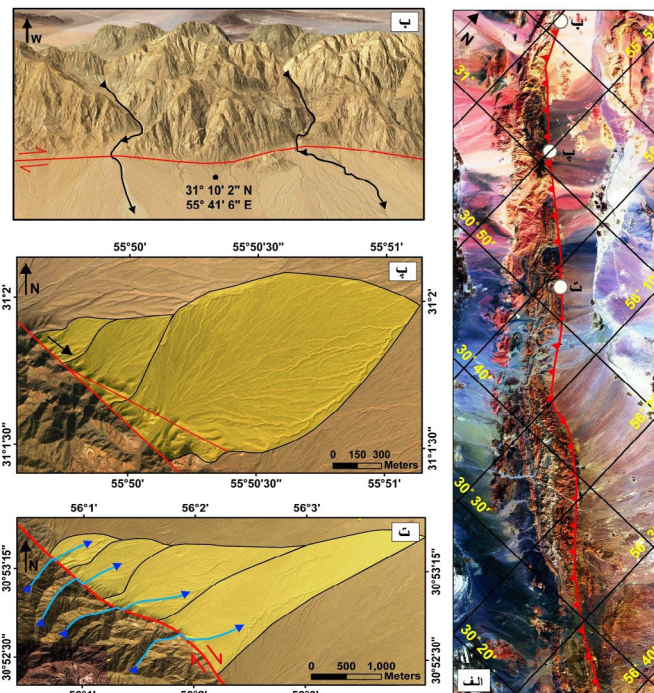
(از سوی جنوب باختر) بر روی رسوبات آبرفتی کوتاه‌تر (در شمال خاور) و در بخش‌های مرکزی و جنوب خاوری سبب راندگی سنگ‌های پرکامبرین پسین کوه داوران (از سمت جنوب باختری) بر روی رسوبات کنگلومرای پلیوسن و آبرفت‌های کوتاه‌تر شده است.

گسل جرجافک با موقعیت $N50W, 45SW$ و درازای بیش از ۲۰۰ کیلومتر در جبهه شمال‌خاوری کوهستان داوران قرار دارد. این گسل از ۵ قطعه اصلی با آرایش پلکانی پله به چپ تشکیل شده است (شکل ۱۷). گسل جرجافک در بخش شمال باختری سبب رانده شدن سنگ‌های کرتاسه



شکل ۱۷: گسل‌های جرفاک، باغین، بردسیر به همراه گسل‌های پیرامون آنها.

ویژگی‌های مورفوتکتونیک گسل جرفاک که به روشنی رسوبات آبرفتی کوتاه‌تر را بریده است، بیانگر لرزه‌خیز بودن آن است. شواهد مورفولوژیکی گسل جرفاک در مرز کوه با دشت (دشت زرنده)، با جابه‌جایی راستگرد آبراه‌ها به میزان حدود ۱۵۰ متر (به‌خصوص در جبهه شمالی این کوهستان)، بُرش در مخروط افکنه‌ها، کج‌شدگی مخروط افکنه‌ها، تغییر در مسیر آبراه‌ها همراه است (شکل ۱۸).

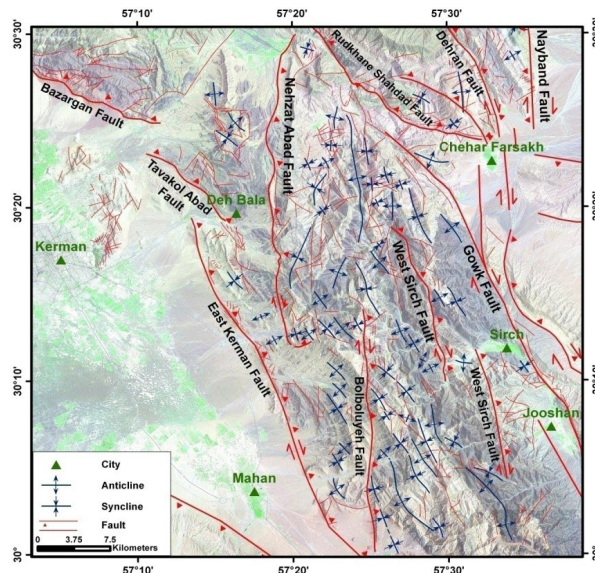


شکل ۱۸: الف) موقعیت گسل جرفاک در شمال خاور رشته کوه داوران. ب) جابه‌جایی ۱۵۰ متری راستگرد آبراه‌ها در قسمت شمال باختر گسل. ب) بُرش در مخروط افکنه‌ها (پ) کج‌شدگی مخروط افکنه‌ها. ت) جابه‌جایی آبراه‌ها در امتداد گسل.

۹-۱-۲- گسل خاور کرمان

جوان زمین ساختی می باشد. این گستره دارای گسلهای مهمی همچون گسل خاور کرمان و بلبلوئیه است. چینخوردگیهای فراوان با اثر محوری NNW,SSE به وفور در منطقه دیده می شوند. محور این چین خوردگی - هازاویه کمی با گسل های اصلی منطقه می سازند (شکل ۱۹).

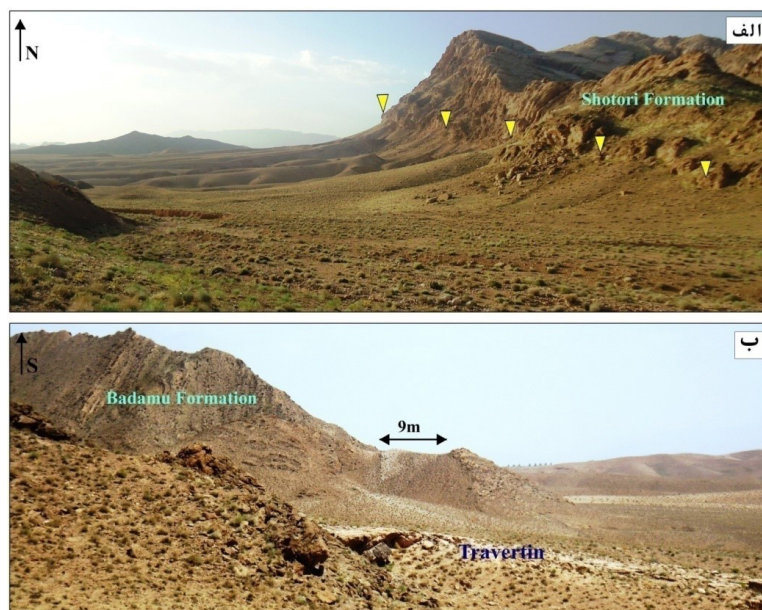
گستره ساختاری کرمان - سیرچ گستره های لرزه خیز و دارای چهره های ریخت زمین ساختی آشکاری است (شکل ۱۹). رخدادهای لرزه ای روی داده در این منطقه، نشان دهنده فعالیت



شکل ۱۹: نقشه ساختاری از گستره کرمان - سیرچ و مناطق پیرامون آن.

خاور کرمان (در قسمت جنوبی) ۹ متر است و در امتداد آن تراورتن زائی انجام شده است (شکل ۲۰). بررسی زمین لرزه های دستگاهی این بخش از منطقه، نشان از فعالیت لرزه ای نه چندان زیاد این گسل است.

گسل خاور کرمان با موقعیت N25W,65NE درازای حدود ۶۰ کیلومتر دارد. در نتیجه کارکرد آن، سنگهای تریاس (مانند سازند شتری) و ژوراسیک (مانند آهک بادامو) بر روی سنگ های جوان تر کواترنر رانده شده اند. عرض پهنه گسل

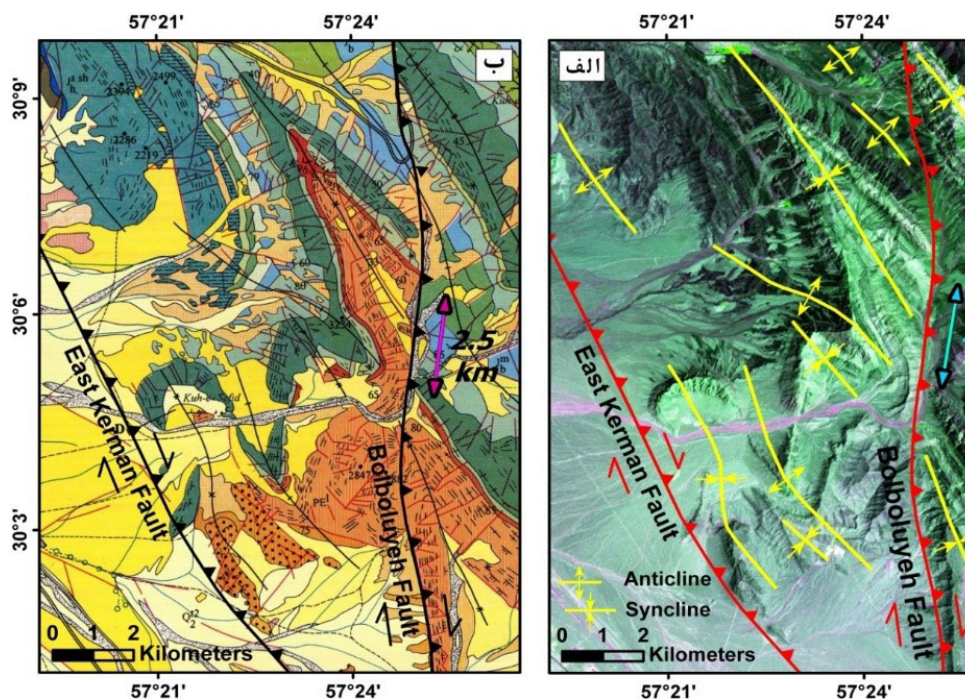


شکل ۲۰: الف) راندگی دولومیت های سازند شتری بر روی نهشته های آبرفتی کواترنر در امتداد گسل خاور کرمان. ب) پهنه گسلی خاور کرمان در قسمت جنوبی. در امتداد گسل سنگ های تراورتن دیده می شود.

۱-۱-۲- گسل بلبوئیه

ناودیس در اثر عملکرد گسل متحل ۲/۵ کیلومتر جابه‌جایی راستگرد شده است. گسل بلبوئیه و گسل خاور کرمان در پایانه جنوبی خود همگرا می‌باشند به طوری که تشکیل گوه ساختاری فعال داده‌اند. در اثر فعالیت آنها چین‌های متعددی مابین این دو گسل ایجاد شده‌اند (شکل ۲۱).

گسلی با راستای شمالی جنوبی و در ازای حدود ۳۰ کیلومتر است. این گسل افزون بر جابه‌جایی‌های راستالغز راستگرد سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه، باعث فرازگیری آنها نیز شده است. در شکل (۲۱) جابه‌جایی راستگرد گسل بلبوئیه نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود یال خاوری



شکل ۲۱: الف) تصویر آستر از جابه‌جایی ۲/۵ کیلومتری یال خاوری ناودیس به همراه چین خوردگیهای موجود داخل گوه ساختاری گسل بلبوئیه و گسل خاور کرمان. ب) نقشه زمین‌شناسی تصویر الف (بر گرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰ کرمان - عزیزان و همکاران (۱۳۷۸)).

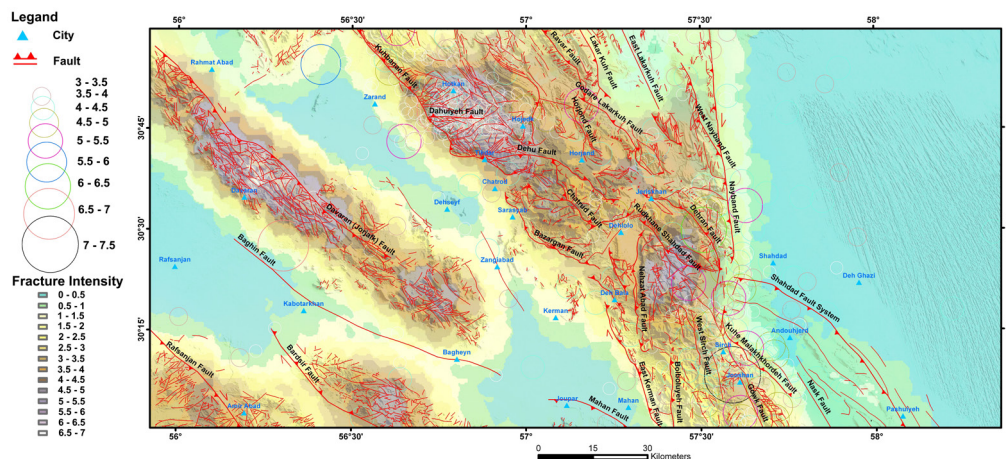
جغرافیایی (GIS) به‌عنوان ابزاری مفید برای پهنه‌بندی میزان تراکم شکستگی با استفاده از اطلاعات لرزه‌زمین‌ساختی می‌باشد. در این مطالعه از روش کریجینگ ساده در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی استفاده شد.

برای ترسیم نقشه هم‌شدت شکستگی، منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار ArcGIS به شبکه‌های ۲۰ در ۲۰ تقسیم شد و سپس بعد از نرمال کردن شکستگی‌های کوتاه‌تر و ماقبل کوتاه‌تر، نقشه هم‌شدت شکستگی‌ها برای این گستره تهیه گردید (شکل ۲۳). همان‌طور که در شکل ۲۳، ملاحظه می‌شود، بیشترین شدت شکستگی در بخش‌های جنوبی گسل کوهبنان و شاخه‌های فرعی آن (گسل‌های داهوئیه، دهو)، پایانه شمالی گسل گوک و پایانه جنوبی گسل نایبند، در امتداد گسل جرجاک و بردسیر مشاهده می‌شود.

با وجود مراکز جمعیتی روستایی و شهری فراوان در منطقه مورد مطالعه، وقوع زمین‌لرزه شدید، خسارات جانی و مالی فراوانی را برای مردم این مناطق در بر خواهد داشت. همان‌طور که در سال ۱۳۸۳ زلزله داهوئیه زرنده خسارت زیادی را به وجود آورد، سایر گسل‌های فعال شناخته شده در این محدوده نیز می‌تواند خسارت‌هایی را به بار آورد. لذا در راستای تحلیل خطر زمین‌لرزه - گسلش در منطقه، بررسی ارتباط داده‌های لرزه‌زمین‌ساختی و میزان تراکم شکستگی ضروری است. از این رو نقشه پهنه‌بندی میزان تراکم شکستگی در منطقه تهیه و مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نقشه تراکم شکستگی منطقه مورد مطالعه

یکی از مبانی پژوهشی در علم لرزه‌زمین‌ساخت، برآورد میزان تراکم شکستگی در منطقه می‌باشد. سیستم اطلاعات



شکل ۲۳: نقشه تراکم شکستگی‌های منطقه مورد پژوهش.

۴- نتیجه گیری

زمین‌شناختی و لرزه‌ای رده‌بندی شده است، که با استناد به آنها، نقش هر دسته یا سامانه گسلی، در لرزه‌خیزی و اهمیت آن در برآورد خطر لرزه‌ای، آشکار گردیده است. براساس نقشه تراکم شکستگی به دست آمده بیشترین میزان تراکم شکستگی در بخش‌های جنوبی گسل کوهینان و شاخه‌های فرعی آن، پایانه شمالی گسل گوک و پایانه جنوبی گسل نایبند، در امتداد گسل جرجاک و بردسیر دیده می‌شود. این میزان شکستگی مرتبط با پهنه‌های برشی - فشاری و فشاری - برشی موجود در منطقه هستند که با زمین‌لرزه‌های کوچک و بزرگ زیادی همراه می‌باشند.

مطالعات نوزمین ساختی و ریخت زمین ساختی این مطالعه، وجود گسل‌های بسیار جنبایی را نشان می‌دهد که تاکنون فعالیت حال حاضر تعدادی از آنها گزارش نشده است. گسل‌های زمین‌لرزه‌ای فعال شناسایی شده در منطقه، رسوبات کوتاه‌تر را قطع کرده‌اند و تعدادی از آنها مسبب زمین‌لرزه بوده‌اند.

بررسی‌های زمین‌ساختی این منطقه حاکی از ایجاد دگرشکلی پیش‌رونده در راستای پهنه‌های برشی - فشاری شمالی - جنوبی و پهنه‌های فشاری - برشی شمال باختر - جنوب خاور است. در این مطالعه گسل‌های موجود در منطقه بر پایه شواهد



منابع

- زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- بربریان، م. و قریشی، م. و ارژنگ‌روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۷۱. پژوهش و بررسی نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره ی تهران و پیرامون، چاپ دوم. گزارش شماره ۵۶، ۳۱۵، رویه، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- بصیری، م. و نظری، ح. و فروتن، م. و سلیمانی آزاد، ش. و شکری، م.ع. و طالبیان، م. و قرشی، م. و اویسی، ب. و بلورچی، م.ج. و رشیدی، ع.، ۱۳۹۲. شناسایی الگوی خوشه ای رخداد زمینلرزه های پارینه روی گسل گلباف، جنوب خاوری کرمان. فصلنامه علوم زمین، ۸۷، ۱۸۰-۱۷۱.
- زارع، م.، ۱۳۹۷. نقشه لرزه خیزی ایران. پژوهشگاه بین‌المللی
- Allen, M., Kheirkhah, M., Emami, M. H. & Jones, S. J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone. *Journal of Geophys*, 1- 20.
- Ambraseys, N.N & Melville, C, p., 1982. *A History of Persian Earthquakes*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., & Kadjar, M.H., 1984. Field and teleseismic observations of the 1981 Golbaf-Sirch earthquakes in SE Iran. *Geophys. J.R. astr. Soc*, 77, 809-838.
- Berberian, M., Jackson, J. A., Fielding, E., Parsons, B.E., Priestley, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J., & Baker, C., 2001. The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Journal of Geophysical*, 146, 371-398.
- Fattahi, M., Walker, R., Talebian, M., Sloan, R., & Rasheedi, A., 2011. The structure and late Quaternary slip rate of the Rafsanjan strike-slip fault, SE Iran. *Geosphere* 7, 1174-1159.
- Foroutan, M., Meyer, B., Sébrier, M., Nazari, H., Murray, A.S., Le Dortz, K., Shokri, M.A., Arnold, M., Aumaître, G., Bourlès, D., Keddadouche, K., Solaymani Azad, S., & M.J. Bolourchi., 2014. Late Pleistocene-Holocene right slip rate and paleoseismology of the Nayband fault, western margin of the Lut block, Iran. *Journal of Geophys*, 119(4), 3517-3560.
- Mohajjel, M., 2009. Thin-skinned deformation near shahdad, southeast Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 36, 146-155.
- Rashidi Boshrabadi, A., Khatib, M.M., Raeesi, M., Mousavi, S.M., & Djamour, Y., 2018. Geometric-kinematic characteristics of the main faults in the W-SW of the Lut Block (SE Iran). *Journal of African Earth Sciences*, 139, 440-462.
- Rashidi, A., Khatib, M.M., Nilfouroushan, F., Dera-khshani, R., Mousavi, S.M., Kiyani, H., & Jamour, Y., 2019. Strain rate and stress fields in the West and South Lut block, Iran: Insights from the inversion of focal mechanism and geodetic data. *Tectonophysics*. 766, 94-114.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull* 1229-1258, 52 ..
- Walker, R., Gans, P., Allen, M.B., Jackson, J., Khatib, M.M., Marsh, N., & Zarrinkoub, M., 2009. Late Cenozoic volcanism and rates of active faulting in eastern Iran. *Journal of Geophysical*, 177, 783-805.
- Walker, R.T., Talebian, M., Saiffiori, S., Sloan, R.A., MacBean, N., & Ghassemi, A., 2010. Active faulting, earthquakes, and restraining bend development near Kerman city in southeastern Iran. *Journal of Structural Geology*. 32, 1046-1060.
- Walker, R. T., Talebian, M., Sloan, R. A., Rashidi, A., Fattahi, M., & Bryant, C., 2010. Holocene slip-rate on the Gowk strike-slip fault and implications for the distribution of tectonic strain in eastern Iran, *Journal of Geophys*, 181, 221-228.

References

**Seismic hazard assessment-faulting in the Kerman-Rafsanjan region
(southeast of Iran)**

Ahmad Rashidi

Assistant Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran



Abstract:

The morphotectonic features and seismic assurances are some indicators for the study region as a neotectonic place. In this study, faults have been classified based on the seismic and tectonic evidences in which the role of each fault system and their importance in the seismic assessment that have been revealed. The analysis of morphotectonic in this region indicate the progressive deformation along the right lateral strike-slip zones with N-S striking and the pressure-shearing zones with NW-SE one.

The Neotectonic and Morphotectonic studies reveal so active faults which there are no report about their activities. These seismic active faults have cut the Quaternary sediments and also cause some earthquakes.

According to the fracture intensity map, the most fracturing (6.5-7) are observed in the south parts of Kuhbanan fault and its segments, the north Gowk segment, the south part of Nayband fault, and along the Jorjafk and Bardsir faults. These fracturing intensity are related to pressure-shear fault zones in this region where occurred many small to large earthquakes.

Keywords: Active Tectonics, Geomorphology, Slip Rate, Fracture Intensity, Southeast Iran.