

ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی منطقه خاوری شهر یزد

مرصیه‌السادات میرجلیلی^۱، فرزین قائمی^۲، بهنام رحیمی^۳، محمدرضا مشرفی‌فر^۴ و مریم غلامزاده^۵

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۵ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵

چکیده

منطقه مورد مطالعه بخشی از بلوک یزد (باختری‌ترین زیرپهنه بخش مرکزی ایران مرکزی) بوده که در خاور شهر یزد واقع شده است. وجود دو سیستم گسلی اصلی انار و خراتق به ترتیب به طول تقریبی ۱۰۰ و ۶۲ کیلومتر و گسل‌های فرعی متعدد، نشان‌دهنده ظهور پدیده‌های مهم زمین‌ساختی در این منطقه است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی وضعیت نوزمین‌ساخت در این حوضه با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی است. برای دستیابی به این هدف از هفت شاخص ریخت‌زمین‌ساختی انتگرال ارتفاع‌سنجی (HI)، عدم تقارن حوضه‌ی آبریز (AF)، شاخص طول-گرادیان (SL)، شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، شاخص خم‌ش کانال رودخانه (S) و شاخص شکل حوضه زهکشی (Bs) بهره گرفته شده است. بر اساس شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی (Active Tectonics indices (Iat)) منطقه مطالعاتی از لحاظ نرخ فعالیت زمین‌ساختی به چهار رده تقسیم می‌شود؛ رده ۱ (فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا، ۷/۴٪ در منطقه)، رده ۲ (بالا، ۷۴٪)، رده ۳ (متوسط، ۱۱٪) و رده ۴ (کم، ۷/۴٪). شاخص‌های فعالیت زمین‌ساختی و شواهد ریخت‌زمین‌ساختی، نرخ فعالیت زمین‌ساختی را در منطقه مطالعاتی عمدتاً متوسط تا بالا نشان می‌دهند. بر اساس همین شاخص، قسمت شمالی گسل خراتق و قسمت جنوب باختری گسل انار میزان فعالیت زمین‌ساختی بالاتری نسبت به سایر قسمت‌ها نشان می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: نوزمین‌ساخت، شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت، یزد

*نویسنده مسئول: فرزین قائمی

E-mail: fghaemi@ferdowsi.um.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

شبکه‌های زهکشی به اشکال مختلف نسبت به وقوع تغییرات در بستر جریان، عکس‌العمل نشان می‌دهند. تشکیل پادگانه‌های رودخانه‌ای، تغییر نیرخ طولی و مقطع عرضی، برش بستر و همچنین جابه‌جایی‌های جانبی در مسیر جریان رودخانه‌ها، از جمله این واکنش‌ها محسوب می‌شوند که عمدتاً ناشی از زمین‌ساخت هستند. با استفاده از شاخص‌های ریخت‌ساختی می‌توان اطلاعات بسیار مهمی درباره فعالیت‌های نوزمین‌ساختی به دست آورد. نتایج حاصل از این شاخص‌ها به خصوص در مواردی که تحلیل‌ها بر روی مسیر جریان رودخانه‌ها متمرکز شده است، ابزار مهمی برای ارزیابی درجه فعالیت‌های زمین‌ساختی و تشخیص مناطق با دگرشکلی زمین‌ساختی به شمار می‌روند. اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه و ارزیابی لندفرم‌ها را تسهیل می‌کنند و با محاسبه الگوها و شاخص‌های ریخت‌ساختی، می‌توان میزان فعالیت زمین‌ساخت یک منطقه را ارزیابی و به تشخیص توصیفی از محدوده اقدام کرد.

ارزشمندی در این رابطه به انجام رسانیدند. از میان دیگر محققان، کرمی و رجایی اصل (۱۳۸۳)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، وحدتی و همکاران (۱۳۸۶)، مفاخریان و پورکرمانی (۱۳۸۶)، مقصودی و کامرانی (۱۳۸۷) و یمانی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از شاخص‌های ریخت‌ساختی به بررسی اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی بر ریخت‌ساختار سامانه رودخانه‌ای پرداختند و این شاخص‌ها را ابزاری مفید در این زمینه ارزیابی کردند.

هدف از این پژوهش مشخص کردن وضعیت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌ساختی در حوضه آبریز مورد مطالعه بین دو گسل بزرگ دهشیر در جنوب و جنوب باختر و گسل پشت بادام در شمال خاور، در بخش خاور استان یزد است.

۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ۳۱° تا ۲۰' ۳۲° عرض شمالی و ۲۰' ۵۴° تا ۳۰' ۵۵° طول خاوری در خاور شهر یزد واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع حوضه ۱۵۳۸ متر، ارتفاع پایین‌ترین نقطه آن در خاور حوضه ۱۰۰۰ متر و ارتفاع بالاترین نقطه آن در شمال حوضه با ۳۱۰۰ متر است. جهت شیب عمومی رو به شمال باختر و ۵۱۵۲ کیلومتر مربع مساحت دارد.

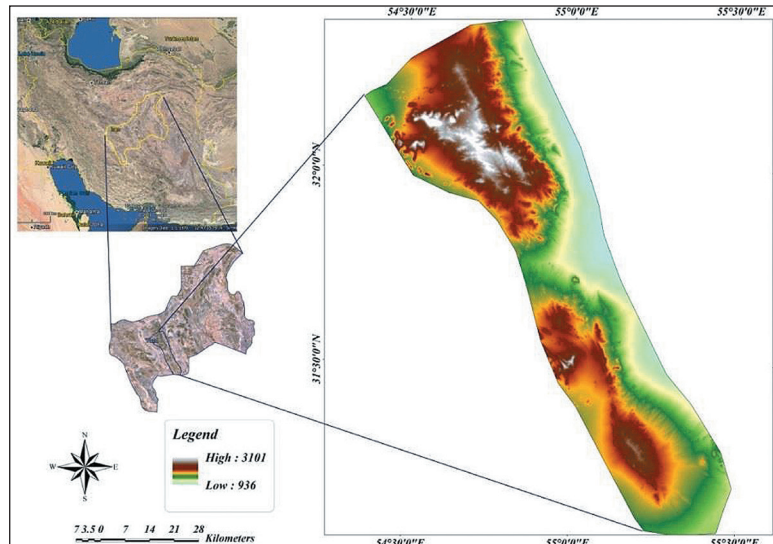
۳- داده‌ها و روش پژوهش

در این پژوهش برای سهولت و امکان انجام محاسبات و مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی، حوضه مطالعاتی به ۲۷ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۲). سپس با استفاده از این شاخص‌ها، اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی بر دره‌ها و مسیر رودخانه‌ها بررسی شده است. برای نیل به این هدف در مرحله نخست، مهم‌ترین شاخص‌های ریخت‌ساختی مانند HI، AF، SL، Smf، Vf، در مرحله S و Bs برای تشخیص زمین‌ساخت فعال منطقه، از روی نقشه‌های توپوگرافی

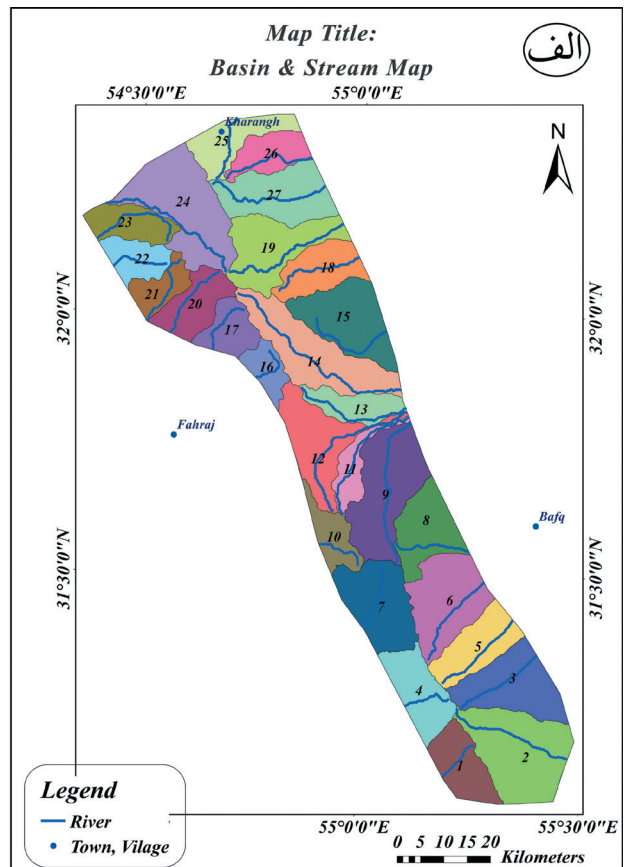
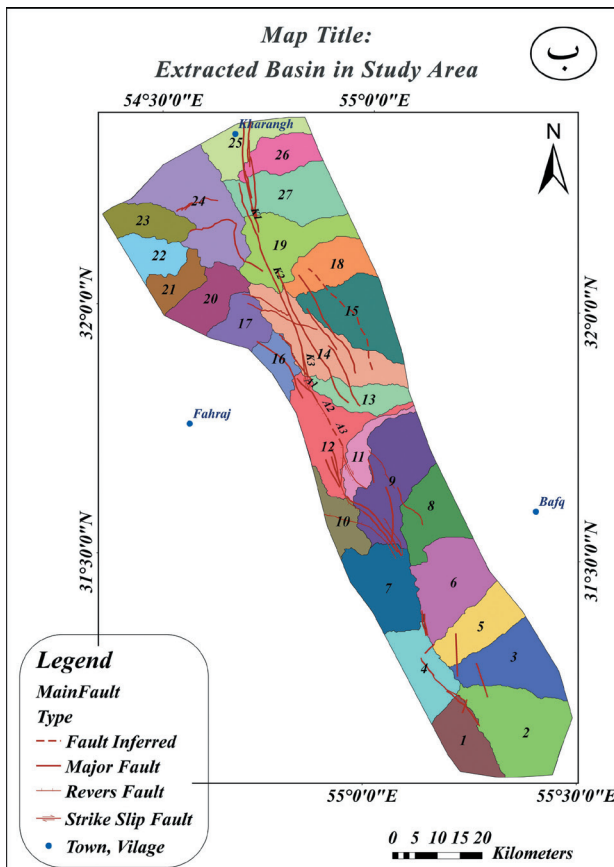
برای تشخیص فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در حوضه‌های آبخیز با استفاده از شاخص‌های ریخت‌ساختی و ریخت‌شناسی تحقیقاتی انجام شده است. در این میان Krzyszkowski et al. (2000) تشکیل پادگانه‌های یخچالی رود نیساکودزکا (Nysa Kodzka) لهستان و Latrubesse and Rancy (2000) رسوب‌گذاری در جنوب باختری رودخانه آمازون را ناشی از فعالیت‌های نوزمین‌ساخت ارزیابی کردند. Rose et al. (2002) با سن‌سنجی رسوبات، تکامل رودخانه نورفولک (Norfolk) انگلستان را در دوره اخیر زمین‌شناسی و در ارتباط با فعالیت‌های نوزمین‌ساخت بررسی کردند. Fortes et al. (2005) تکامل آبراهه‌های فرعی بالادست رودخانه پارانا (Parana) در برزیل را ناشی از زمین‌ساخت فعال دانستند. Petrovszki and Timar (2009) با تجزیه و تحلیل شاخص S، نقش گسلش را در تکامل و شکل‌گیری کانال رودخانه کوروس (Koros) واقع در مرز رومانی و مجارستان مؤثر دانستند. همچنین Sharma and Rajamani (2000)، Latrubesse and Rancy (2000) و Srivastava and Misra (2008) پژوهش‌های

GIS در محیط ArcGIS(9.3) انتقال داده شد و با استفاده از آن لایه‌هایی مانند شبکه زهکشی، شیب، مدل رقومی ارتفاع و TIN استخراج و با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه و تصویر داده‌های Landsat، لایه‌های خطی گسل‌ها و سازندهای تشکیل‌دهنده بستر رودخانه استخراج و به لایه‌های فوق اضافه شد. سپس نتایج حاصل تجزیه و تحلیل شدند و در ادامه، با توجه به مقادیر شاخص‌های زمین‌ساختی به دست آمده، ریخت‌ساختار رودخانه در محدوده مورد مطالعه از نظر میزان فعالیت زمین‌ساخت نسبی ارزیابی و تجزیه و تحلیل شده است.

اندازه‌گیری شده و برای برقراری ارتباط میان حرکات زمین‌ساختی و شبکه زهکشی، داده‌های زمین‌شناسی و ریخت‌ساختاری لازم از طریق تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و به ویژه بازدیدهای میدانی مکرر به دست آمد. در مرحله بعدی این تحقیق، شواهدی از اثرات نوزمین‌ساخت در شبکه زهکشی منطقه آورده و به روش تحلیلی-مقایسه‌ای و با استفاده از تکنیک‌های ریخت‌ساختاری به تجزیه و تحلیل نوزمین‌ساخت در حوضه مورد مطالعه پرداخته شده است. به این منظور، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ به سیستم اطلاعاتی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (شکل سمت راست: نقشه DEM منطقه مورد مطالعه).



شکل ۲- الف) حوضه‌های استخراج شده از منطقه مورد مطالعه؛ ب) گسل‌های منطقه.

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱. تحول ساختمانی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

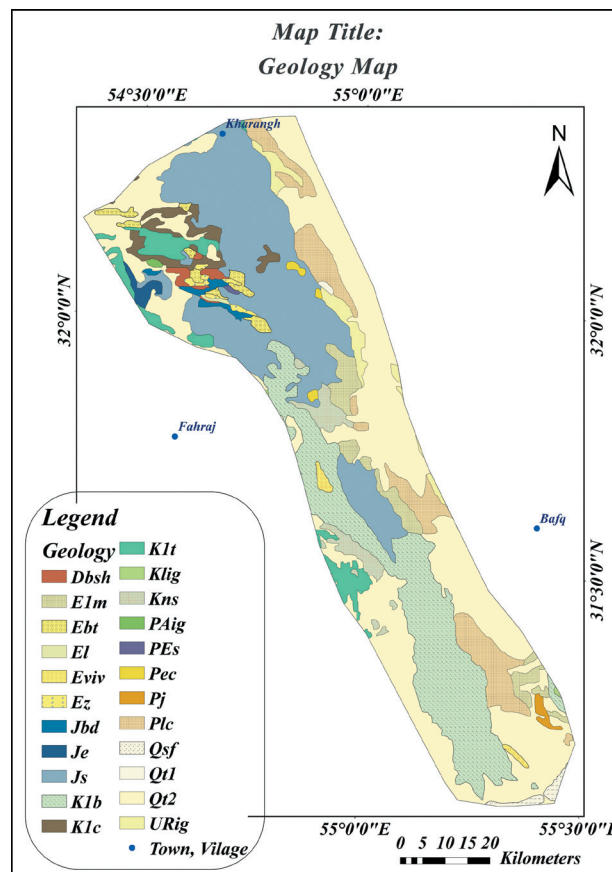
این منطقه از نظر ریخت‌ساختاری جزو زون ساختاری بزرگ ایران مرکزی است. ایران مرکزی به چهار زیرپهنه تقسیم شده است (آقائباتی، ۱۳۸۳). این زیرپهنه‌ها از خاور به باختر شامل بلوک لوت، حوضه طبس، زیرپهنه پشت‌بادام و زیرپهنه یزد هستند و منطقه مورد مطالعه بخشی از زیرپهنه ساختاری بلوک یزد است. بخش شمالی منطقه که در یک ناحیه کوهستانی واقع شده، محدوده‌ای است که با چندین انشعاب گسل انار با فاصله نزدیک برش داده شده است. بخش جنوبی منطقه شامل کوه بافق است. در زون گسلی انار، به دلیل نبود آثار ثبت شده تاریخی و لرزه‌ای، برای بررسی فعالیت گسل از شواهد ریخت‌ساختاری استفاده می‌شود. برای مثال با بررسی خمیدگی‌های ریخت‌ساختاری آبراه‌ها، مخروط افکنه‌ها، گسل و ... می‌توان حرکت راست‌گرد گسل را به خوبی مشاهده کرد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در گستره منطقه مطالعاتی، دربرگیرنده واحدهای سنگی پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک است. این واحدهای سنگی،

چین خورده و سپس به صورت پی‌درپی، و بیشتر از سوی شمال خاور به جنوب باختر، بر روی یکدیگر رانده شده‌اند. چند نبود چینه‌ای در ردیف رسوبی منطقه وجود دارد که نشان‌دهنده وجود پدیده‌های زمین‌ساختی و رخداد‌های زمین‌ساختی است. بیشترین درصد رخنمون‌های سنگی مربوط به زمان مزوزوئیک است، به طوری که بیش از ۷۰ درصد از رخنمون‌های سنگی منطقه را شامل می‌شود، در حالی که سازندهای پالئوزوئیک تنها در بخشی از حوزه قرار دارند (شکل ۳).

دو گسل عمده در منطقه مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۲):

۱) گسل امتدادلغز انار: این گسل امتداد شمال، شمال باختر- جنوب، جنوب خاور و سازوکار شیب‌لغز با مؤلفه راست‌گرد دارد؛ جزو گسل‌های کواترنری ایران محسوب می‌شود و رسوبات کواترنر را در نزدیکی شهر انار بریده است.

۲) گسل خراق: روند این گسل راست‌گرد در ابتدا شمالی- جنوبی بوده است، سپس کمی تغییر روند می‌دهد و شمال باختر- جنوب خاور می‌شود. شیب این گسل 75NE است.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

۴-۲. علائم فعالیت‌های زمین‌ساختی

با توجه به اینکه ممکن است میزان لغزش سالیانه برای گسل‌های خاوری (به‌باباد، کوهبنان و انار) کمتر از ۲ mm/yr باشد (Meyer and Le Dortz, 2007)، این لغزش‌ها نسبت به باختر ناچیز هستند. اما این نشان‌دهنده غیرفعال بودن گسل‌ها نیست. مدارکی از شواهد ریخت‌ساختاری و زمین‌لرزه‌های تاریخی حکایت از فعالیت بیشتر گسل‌ها در هولوسن دارد (Meyer and Le Dortz, 2007). بنابراین از نظر میزان فعالیت زمین‌ساختی این گسل‌ها بر اساس لغزش سالیانه در رده گسل‌های فعال قرار می‌گیرند. با وجود فقدان اطلاعات GPS برای ایران مرکزی (Vernant et al., 2004)

(Masson et al., 2007) و با وجود نبود زمین‌لرزه در مجاورت گسل انار، مدارک ریخت‌ساختاری واضحی وجود دارد که گسل انار فعال است و نرخ لغزش ۰/۵ تا ۰/۷۵ میلی‌متر بر سال، بالا آمدگی‌های پله‌ای را مشخص می‌کند که نشانه پویایی گسل است (Meyer and Le Dortz, 2007).

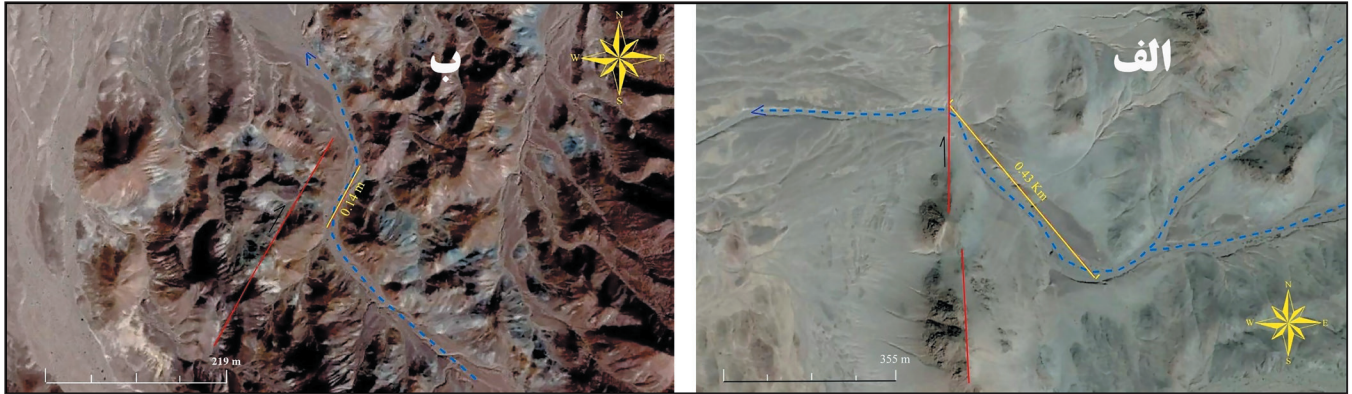
۴-۳. شواهد جنبشهای زمین‌ساختی در منطقه مطالعاتی

از آنجا که سیستم گسلی حاکم بر منطقه، به‌طور عمده دارای سیستم امتدادلغز با مؤلفه راستلغز است، عوارض ریخت‌ساختی مرتبط با گسل‌های امتدادلغز از جمله جابه‌جایی مجرای آبراه‌ها، رودهای بریده شده، دره‌های ۷شکل و غیره به وفور در

می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، آبراهه‌ها در چندین مکان به صورت راست‌بر در راستای گسل جابه‌جا شده‌اند. این وضعیت علاوه بر نشان دادن محل عبور گسل، خود به عنوان یکی از معرف‌های پویایی گسل به شمار می‌آید. در شکل ۴-الف، آبراهه مذکور جابه‌جایی نزدیک به ۴۳۰ متر نشان می‌دهد.

منطقه یافت می‌شود. بر اساس بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، شواهد زیر نشان‌دهنده زمین‌ساخت فعال در منطقه است:

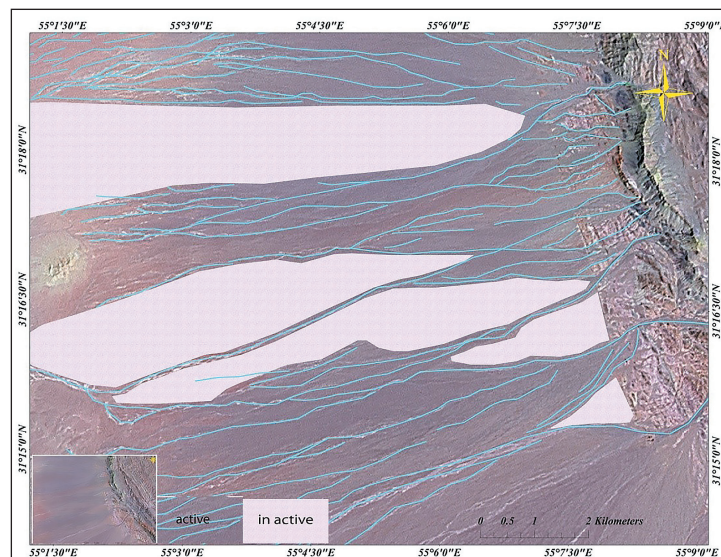
– **آبراهه‌ها:** تغییر شکل مجاری آبراهه‌ها به صورت مختلف مشاهده می‌شود. ولی به طور معمول، اولین اثرات جنبش‌های زمین‌ساختی به طور محلی در کاهش و یا افزایش شیب بستر کانال و یا بریدگی کانال، حفر بستر و یا رسوب‌گذاری نمایان



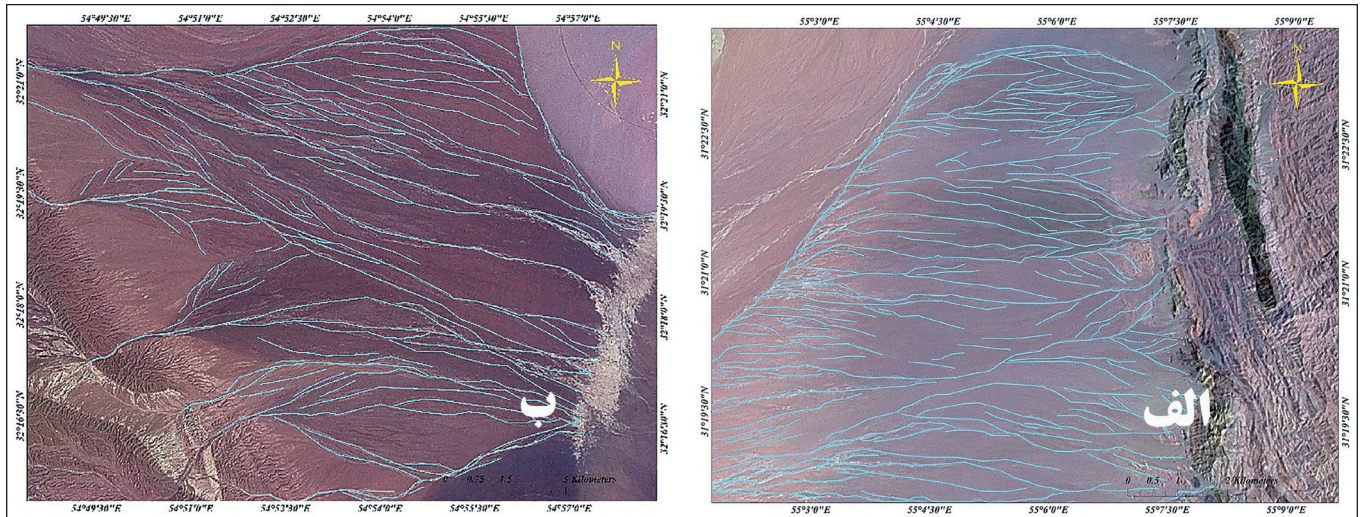
شکل ۴- انحراف آبراهه‌ها در گسل انار. الف) موقعیت: $08^{\circ} 55' - 07^{\circ} 55'$ خاوری و $21^{\circ} 31'$ شمالی؛ ب) موقعیت: $24^{\circ} 55' - 23^{\circ} 55'$ خاوری و $16^{\circ} 31'$ شمالی.

غیرفعال در سطح مخروط‌افکنه می‌شود. به طوری که با فراز شدن مجموعه کوهستان، رودخانه‌ها شروع به حفر بستر خود در روی مخروط‌ها و نهشت رسوبات جدید در محلی دیگر می‌کنند و مناطق قدیمی به صورت غیرفعال در می‌آیند. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده فعالیت‌های زمین‌ساختی باعث ایجاد مناطق فعال و غیرفعال در سطح مخروط‌افکنه‌های مجاور گسل انار در منطقه شده است. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، مخروط‌افکنه‌های مجاور گسل انار از نوع مخروط‌افکنه‌های مناطق فعال هستند. این وضعیت همان‌طور که در شکل ۶-ب نیز نشان داده شده است در مخروط‌های گسل خراتق هم دیده می‌شود (Keller and Pinter, 1996).

– **تشکیل مخروط‌افکنه در مجاورت گسل پیشانی کوه:** تشکیل و گسترش مخروط‌افکنه‌ها در حد کوه و دشت‌های گسلی معمولاً با فعالیت‌های نوزمین‌ساختی گسل در ارتباط است و در مناطقی که میزان بالاآمدگی کوه‌ها نسبت به میزان حفرشدگی به سمت پایین رود زیاد باشد، رسوب‌گذاری در رأس مخروط‌افکنه‌ها صورت می‌گیرد. به طوری که تشکیل و توسعه مخروط‌افکنه‌ها نزدیک گسل حد کوه و دشت است (Keller and Pinter, 1996). مخروط‌افکنه‌ها به انواع فعال و غیرفعال تفکیک می‌شوند. در حال حاضر در سطح انواع غیرفعال مخروط‌افکنه‌ها رسوب‌گذاری صورت نمی‌گیرد. فعالیت‌های زمین‌ساختی یکی از عوامل مهمی است که باعث ایجاد مناطق فعال و



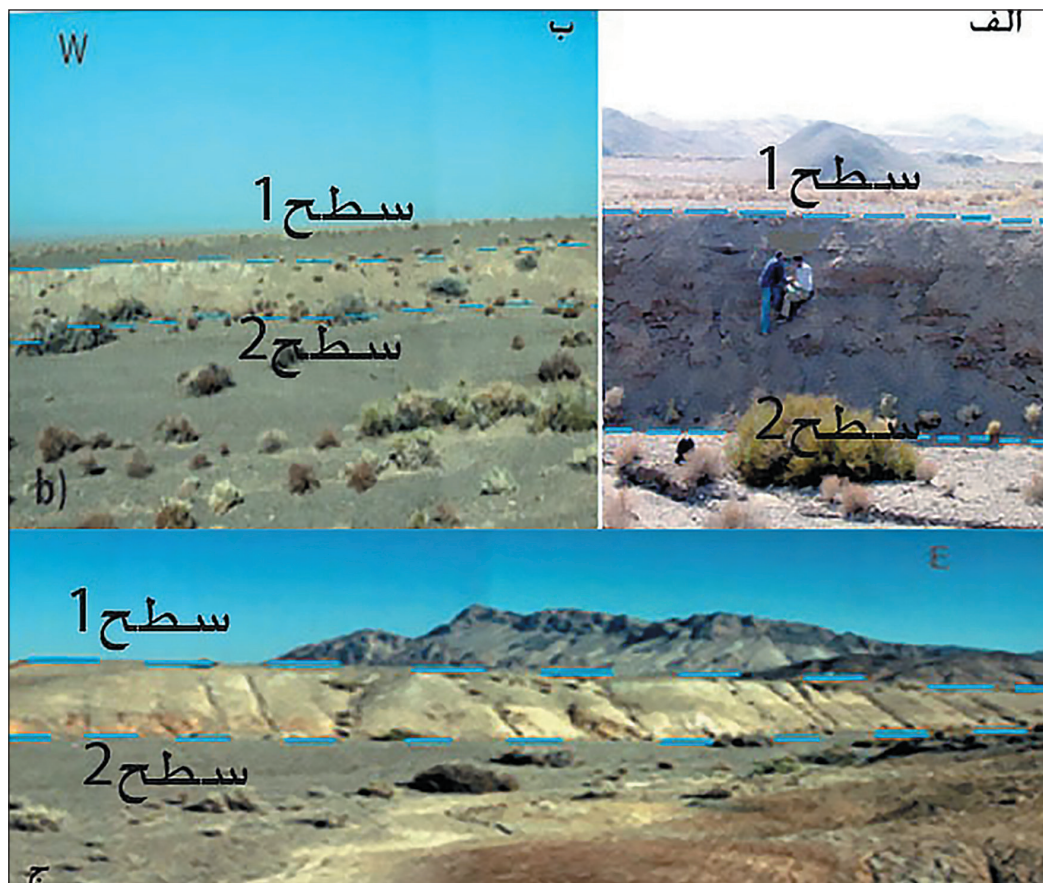
شکل ۵- تصویر ماهواره‌ای از وضعیت مناطق فعال و غیرفعال در سطح مخروط‌افکنه‌ها در مجاورت گسل انار.



شکل ۶- تصویر ماهواره‌ای از وضعیت مخروط افکنه‌ها در پیشانی فعال: (الف) گسل انار؛ (ب) گسل خراق.

فعالیت‌های زمین‌ساختی از اواخر پلیستوسن تا عهد حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Keller and Pinter, 1996). نمونه‌هایی از تراس‌های رودخانه‌ای تشکیل شده در منطقه در شکل ۷ دیده می‌شود. این پادگانه‌های آبرفتی بیشتر از نوع پادگانه‌های زمین‌ساختی هستند که چندین سطح دارند و بیانگر فعال بودن زمین‌ساختی ناحیه است.

– **پادگانه‌های آبرفتی:** هنگامی که در منطقه بالاآمدگی صورت گیرد، رودخانه بستر خود را دوباره حفر می‌کند تا به سطح مبنای جدید برسد. تکرار این حوادث (بالاآمدگی و حفر) ممکن است چندین پادگانه در بالای رودخانه ایجاد کند. پادگانه‌های آبرفتی از جمله عوارضی هستند که به‌طور گسترده‌ای برای پی بردن و اندازه‌گیری



شکل ۷- پادگانه‌های آبرفتی در منطقه مطالعاتی.

۴-۴. شاخص‌های ریختزمین‌ساختی

– شاخص انتگرال هیسومتری (Hi): تجزیه و تحلیل سطوح ارتفاعی از طریق محاسبه انتگرال هیسومتری، از ساده‌ترین راه‌ها برای شناخت میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در حوضه‌های زهکشی به شمار می‌آید. انتگرال هیسومتری حوضه به وسیله مساحت زیر منحنی هیسومتری مشخص می‌شود. این شاخص از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Hi = (h - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$$

که در آن، Hi انتگرال هیسومتری، Hmax و Hmin به ترتیب حداکثر و حداقل ارتفاع و h میانگین ارتفاع حوضه است.

مقادیر بالای انتگرال هیسومتری (نزدیک ۰/۵) بیانگر توپوگرافی جوان و پستی و بلندی زیاد نسبت به میانگین حوضه زهکشی است و با برش‌های عمیق، برجستگی‌های ناهموار و سطوح بالا آمده و بریده شده توسط شبکه زهکشی مشخص می‌شود. هر چه این رقم به صفر نزدیک‌تر باشد، گذر از مرحله بلوغ به پیری را نشان می‌دهد که تعادل در فرایندهای ریخت‌ساختاری و برجستگی‌های نسبتاً هموار از ویژگی‌های آن است. ارتباط بین انتگرال هیسومتری و درجه بریدگی باعث شده است تا از این شاخص به عنوان معیاری برای تشخیص چرخه مرحله فرسایشی چشم‌انداز استفاده شود. با توجه به محاسبات صورت گرفته در جدول ۱، قسمت‌های شمال و شمال خاوری منطقه فعال‌ترین بخش از نظر فعالیت‌های زمین‌ساختی هستند. همچنین در بخش‌های شمال باختری گذر از مرحله بلوغ دیده می‌شود و بین فرایندهای ریخت‌ساختاری، تعادل نسبی در مقایسه با سایر مناطق برقرار است. شاخص Hi به‌طور کلی بر جوانی منطقه دلالت دارد (شکل ۸).

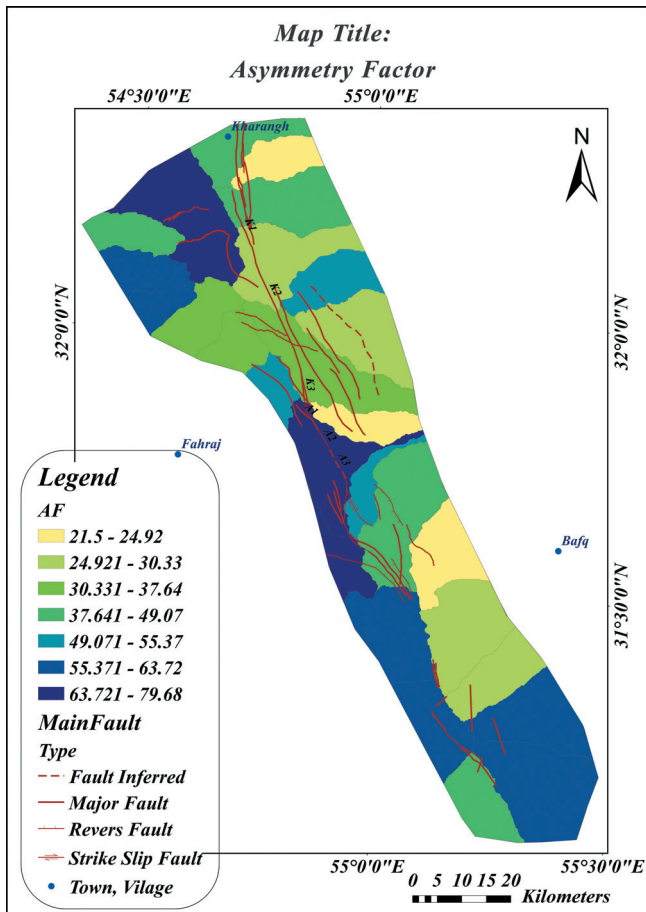
– شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF): در مناطقی که شبکه زهکشی بر اثر تغییر شکل‌های زمین‌ساختی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی اغلب کج‌شدگی نشان می‌دهد و دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی است. شاخص عدم تقارن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$AF = 100(Ar / At)$$

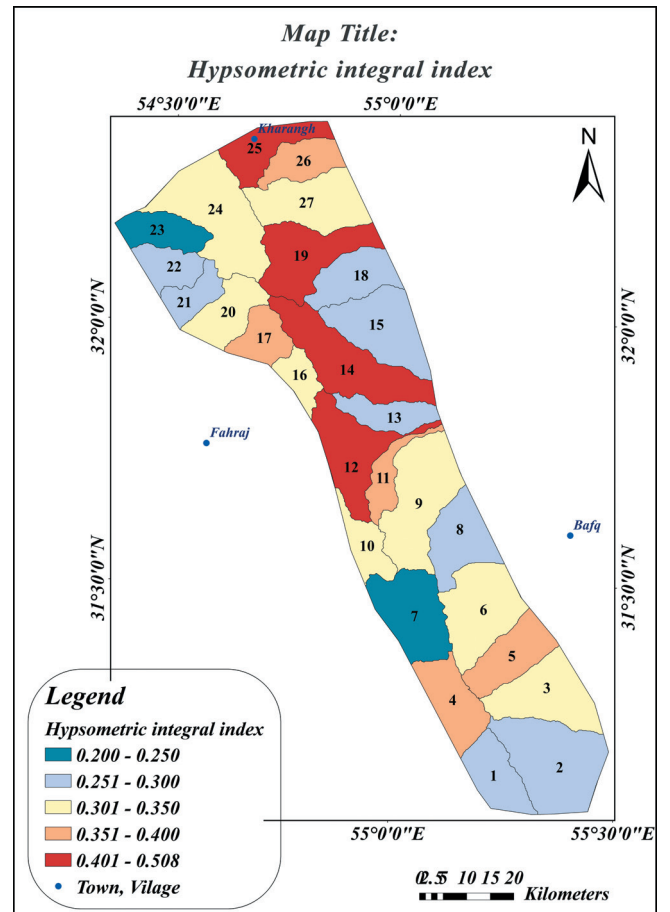
که در آن، Ar مساحت قسمت راست حوضه (در جهت پایین‌رود) نسبت به رود اصلی و At مساحت کل حوضه زهکشی است. برای شبکه‌های زهکشی در حالت پایدار و عدم کج‌شدگی بر اثر بالا آمدگی، AF برابر ۵۰ است. این شاخص به خم‌شدگی عمودی بر امتداد رود اصلی در حوضه زهکشی حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ ممکن است حاکی از کج‌شدگی حوضه زهکشی باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اکثر حوضه‌هایی که در مجاورت گسل قرار گرفته‌اند، کج‌شدگی زیادی دارند. حوضه‌هایی که آبراه آنها تقریباً مایل تا عمود بر امتداد حوضه و به موازات جبهه کوهستان جریان دارند (مانند حوضه‌های ۱۰، ۱۲ و ۲۴) به خوبی کج‌شدگی نشان می‌دهند. در حوضه‌هایی که جریان به موازات امتداد حوضه و تقریباً عمود بر جبهه کوهستان صورت می‌گیرد، کج‌شدگی ناچیز است و حتی حوضه‌های خیلی کوچک ممکن است این عارضه را نشان ندهند. شاخه‌های فرعی در سمت راست آبراه اصلی حوضه بلندتر از شاخه‌های فرعی در سمت چپ آبراه هستند، که در این مدل، بلوک فرادیواره به سمت شمال خاور کج شده است (جدول ۲ و شکل‌های ۹ و ۱۰).

جدول ۱- انتگرال ارتفاع‌سنجی به دست آمده برای حوضه‌ها.

شماره حوضه	ارتفاع حداقل (متر)	ارتفاع حداکثر (متر)	ارتفاع میانگین (متر)	انتگرال ارتفاع‌سنجی
1	1318.005127	2127.820068	1550.169196	0.2867
2	1237.014893	2128.681885	1471.796897	0.2633
3	1173.412354	2214.599121	1520.813999	0.3337
4	1498.270142	2216.563965	1770.984104	0.3797
5	1082.844604	2221.474854	1532.712846	0.3951
6	1019.015137	2116.54541	1381.358317	0.3301
7	1521.093506	2465.400879	1733.552108	0.225
8	1024.469238	2047.954834	1323.845858	0.2925
9	957.27948	2261.928223	1378.855531	0.3231
10	1474.606445	2450.961182	1814.013699	0.3476
11	953.8297119	2060.674316	1392.994639	0.3968
12	955.4634399	2066.496338	1424.206146	0.4219
13	955.3650513	1990.41748	1224.488727	0.26
14	967.0015869	2766.969238	1707.710361	0.4115
15	936.4788208	2502.154785	1342.216142	0.2591
16	1545.99646	2351.604736	1798.717192	0.3137
17	1467.861328	2635.354004	1921.392775	0.3885
18	937.1333008	2619.614258	1392.429513	0.2706
19	976.7939453	2774.361084	1787.626519	0.4511
20	1430.041016	2771.089355	1889.25513	0.3424
21	1426.844482	3101.918701	1876.29799	0.2683
22	1288.028931	3004.919922	1781.263049	0.2873
23	1290.026611	2793.933594	1591.019639	0.2001
24	1394.377441	3089.557861	1968.512457	0.3387
25	1145.577637	2309.677734	1736.89001	0.508
26	1056.026123	2154.503418	1464.314387	0.3717
27	1002.69873	2349.561035	1473.057808	0.3492



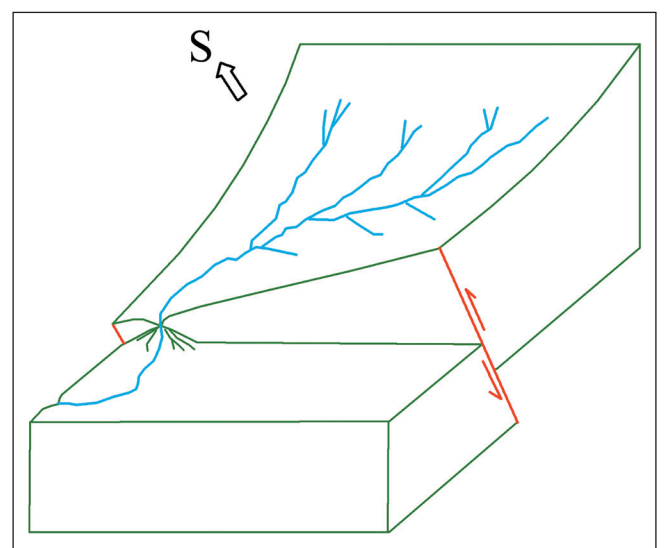
شکل ۹- نقشه تهیه شده از شاخص عدم تقارن حوضه آبریز.



شکل ۸- نقشه تهیه شده از شاخص انتگرال ارتفاع سنجی.

جدول ۲- محاسبه فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی در منطقه.

حوضه	مساحت سمت راست حوضه (متر مربع)	مساحت کل حوضه (متر مربع)	عدم تقارن
1	65021233.13	152171000	42.73
2	219096399.7	349121000	62.76
3	144866506.7	247084000	58.63
4	105188624.9	173301000	60.7
5	53097446.78	175050000	30.33
6	74661895.07	270506000	27.6
7	144087485.8	238619000	60.38
8	47092437.43	188975000	24.92
9	136101006.6	320474000	42.47
10	71735429.88	100888000	71.1
11	48136446.58	86932763.91	55.37
12	178791398.1	238070000	75.1
13	24694101.97	114855000	21.5
14	118692430	315353000	37.64
15	75888556.75	252294000	30.08
16	41447546.05	76639350.91	54.08
17	38617029.06	110172000	35.05
18	81667095.54	161167000	50.67



شکل ۱۰- جهت کج شدگی حوضه‌ها به سمت شمال خاور در راستای گسل انار.

ادامه جدول ۲

حوضه	مساحت سمت راست حوضه (متر مربع)	مساحت کل حوضه (متر مربع)	عدم تقارن
19	74413433.99	247569000	30.06
20	51847852.25	148786000	34.85
21	58136457.23	91241308.28	63.72
22	62638782.13	103908000	60.28
23	58395414.59	124500000	46.9
24	282960109.6	355113000	79.68
25	71853159.57	146443000	49.07
26	28520251.47	120516000	23.67
27	119870141	244614000	49

است. این حساسیت، شرایط لازم برای ارزیابی مقدار ارتباط فعالیت زمین‌ساختی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را فراهم می‌کند. نیروی قابل دسترس رود در یک محدوده مشخص کانال، متغیر هیدرولوژیکی مهمی است. زیرا به توانایی یک رود در فرسایش کف بستر آن و همچنین، حمل مواد حاصل از فرسایش ارتباط دارد. این نیرو متناسب با شیب سطح آب و دبی است که ارتباط زیادی با شیب کانال دارد. با استفاده از این شاخص، منطقه به ۵ ناحیه رده‌بندی شد. مقادیر زیاد این شاخص نشان‌دهنده مناطقی با فعالیت زمین‌ساختی بیشتر هستند. مقدار این شاخص در منطقه مورد مطالعه از ۱۵۸۹/۰۸۸ در مناطق بسیار فعال (در محدوده شمالی منطقه) تا ۲۹۱/۳ در مناطق با فعالیت کم (در بخش جنوب به‌صورت پراکنده و محدود) متغیر است (جدول ۳).

– شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL): این شاخص که نشان‌دهنده تغییر ارتفاع و معرف طول کانال است، برای مسیر مشخص شبکه زهکشی بر اساس رابطه زیر محاسبه و مشخص می‌شود:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \cdot L$$

که در آن، SL شاخص گرادیان طولی رود، ΔH اختلاف ارتفاع و ΔL فاصله افقی بین دو نقطه اندازه‌گیری شده و L طول رودخانه از نقطه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است. مقدار بالای این شاخص، مناطق با فعالیت زمین‌ساختی بالا و قدرت فرسایشی شدید آبراهه‌ها و مقدار پایین آن مناطق با فعالیت کم را نشان می‌دهند. این شاخص با قدرت رود ارتباط دارد و به تغییرات شیب رودخانه نیز بسیار حساس

جدول ۳- مقدار شاخص SL برای نقاط اندازه‌گیری شده.

شماره حوضه	تعداد	SL	شماره حوضه	تعداد	SL	شماره حوضه	تعداد	SL
1	3	291.3	10	3	354.76	19	9	1589.98
2	8	814.91	11	8	1000.17	20	5	983.77
3	6	810.63	12	10	860.49	21	1	953.34
4	3	516	13	7	835.82	22	4	573.72
5	6	975.38	14	13	1523.32	23	6	948.058
6	6	916.38	15	6	1105.76	24	10	1524.77
7	5	245.09	16	3	482.33	25	5	560.92
8	5	869.58	17	4	858.32	26	6	1041.08
9	10	868.24	18	6	1244.09	27	8	1209.67

بیشتری دارند مقدار این شاخص نیز روند افزایشی دارد. نتایج حاصل شده، SL را به‌عنوان یک شاخص کارآمد برای تفکیک مناطق زمین‌ساختی معرفی می‌کند (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۶).

– شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf): این شاخص تعادل بین نیروهای فرسایش دهنده و زمین‌ساختی را منعکس می‌کند. سینوسیته پایین در یک جبهه کوهستانی مستقیم و صاف با یک گسل مرزی فعال دیده می‌شود. اگر بالاآمدگی نرخ کمی داشته باشد یا متوقف شود، فرایندهای فرسایشی، جبهه کوهستان را با بی‌نظمی بیشتری تخریب خواهند کرد و مقدار شاخص افزایش می‌یابد. مقدار یک برای این

با توجه به شکل ۱۱، گرادیان رودخانه در قسمت‌هایی از منطقه به‌طور ناگهانی افزایش یافته است. که این آنومالی می‌تواند متأثر از نوع واحدهای سنگی موجود در منطقه و یا در اثر فعالیت گسل در منطقه باشد. به‌طور کلی مقدار این اندیس در سنگ‌های سخت و مقاوم، افزایش و در سنگ‌های نرم، کاهش می‌یابد. بررسی نقشه زمین‌شناسی نمایانگر مقاومت تقریباً کم بسیاری از سنگ‌های منطقه است؛ لذا مقادیر بالای SL، نشان از زمین‌ساخت فعال منطقه دارد. در راستای گسل‌های منطقه و در محل اتصال آبراهه‌ها به گسل، گرادیان رود افزایش یافته است که پویایی گسل‌ها را نشان می‌دهد. در مناطقی که گسل‌ها تراکم

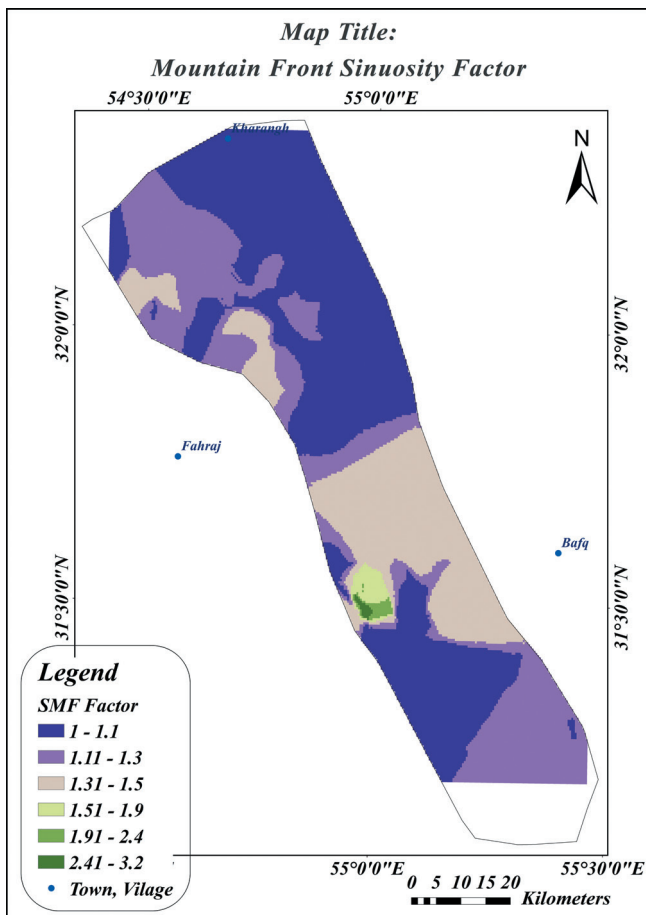
شاخص Smf حوضه مورد مطالعه جزو مناطق با فعالیت زیاد زمین ساختی محسوب می شود. جدول ۴ مقدار شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

شکل ۱۲ این شاخص را در منطقه نشان می دهد. بخش های شمال خاوری دارای کمترین مقدار Smf هستند که نشان از مناطق فعال زمین ساختی دارد. در این مناطق نیروهای زمین ساختی می توانند نتیجه فعالیت گسل امتدادی راست لغز باشند که اجازه فرسایش پیشانی کوه و تشکیل یک پیشانی پر پیچ و خم را نداده و موجب تشکیل پیشانی تقریباً مستقیم در این نواحی شده است.

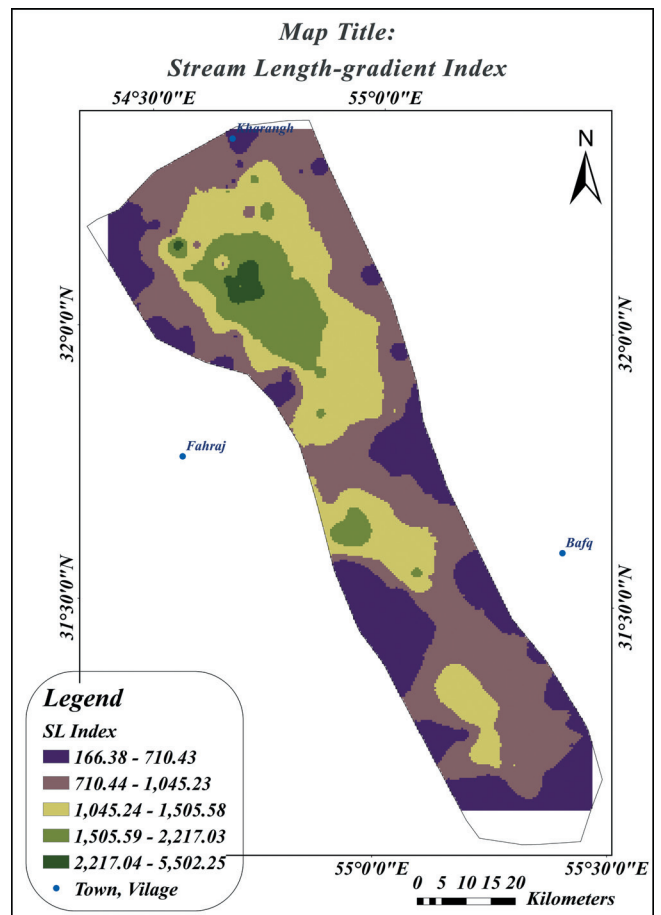
پارامتر بیانگر زون فعال زمین ساختی بوده و افزایش مقدار آن، بیانگر کاهش فعالیت زمین ساختی منطقه است. شاخص سینوسی جبهه کوهستان از رابطه زیر به دست می آید:

$$Smf = Lmf / Ls$$

در این رابطه، Smf شاخص سینوسی پیشانی کوهستان، Lmf طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست شیب و Ls طول خط مستقیم جبهه کوهستان است. با استفاده از این شاخص، محدوده هایی از منطقه که مقدار پیچ و خم پیشانی کوهستان کمتر می شود، مناطق فعال زمین ساختی هستند. با توجه به مقادیر میانگین



شکل ۱۲- نقشه تهیه شده از شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان در منطقه مطالعاتی.



شکل ۱۱- نقشه تهیه شده از شاخص طول-گرادیان رود در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۴- شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان به دست آمده برای حوضه ها.

SMF	تعداد	شماره حوضه	SMF	تعداد	شماره حوضه	SMF	تعداد	شماره حوضه
1.084	1	21	1.024	1	12	1.166	1	1
1.273	3	22	1.0787	3	14	1.1898	4	3
1.164	1	23	1.1115	2	15	1.0395	2	4
1.151	4	24	1.2557	3	17	1.195	3	6
1.021	1	25	1.09	2	18	1.5488	5	7
1.051	1	26	1.102	5	19	1.163	2	8
1.019	2	27	1.105	4	20	1.2093	3	10
						1.38	1	11

این قسمت باشد. زیرا با بررسی‌های زمین‌شناسی صورت گرفته، این قسمت از سنگ‌هایی با مقاومت کم پوشیده شده است.

– **شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی (S):** ضریب سینوسیته شاخص دیگری است که برای بررسی تغییرات بستر رودخانه و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی استفاده می‌شود. تغییرات سینوسیته در یک سامانه رودخانه‌ای به‌طور معمول ناشی از افزایش فرونشست‌هایی است که در بستر رودخانه روی می‌دهد. حتی مقادیر اندک دگرشکلی می‌تواند سینوسیته یک رودخانه را تغییر دهد (Zamolyi et al., 2009). هر دگرشکلی زمین‌ساختی که شیب دره رودخانه را تغییر دهد، باعث می‌شود که برای حفظ تعادل، سینوسیته رود هم‌تراز آن نیز تغییر کند. متناسب با تغییرات زمین‌ساختی که به تغییر شیب دره رودخانه منجر می‌شود، برای حفظ تعادل شیب رودخانه، پیچ و خم رودخانه نیز جابه‌جا می‌شود. این شاخص از نسبت طول کانال به فاصله مستقیم همان مسیر به دست می‌آید:

$$S = V / C$$

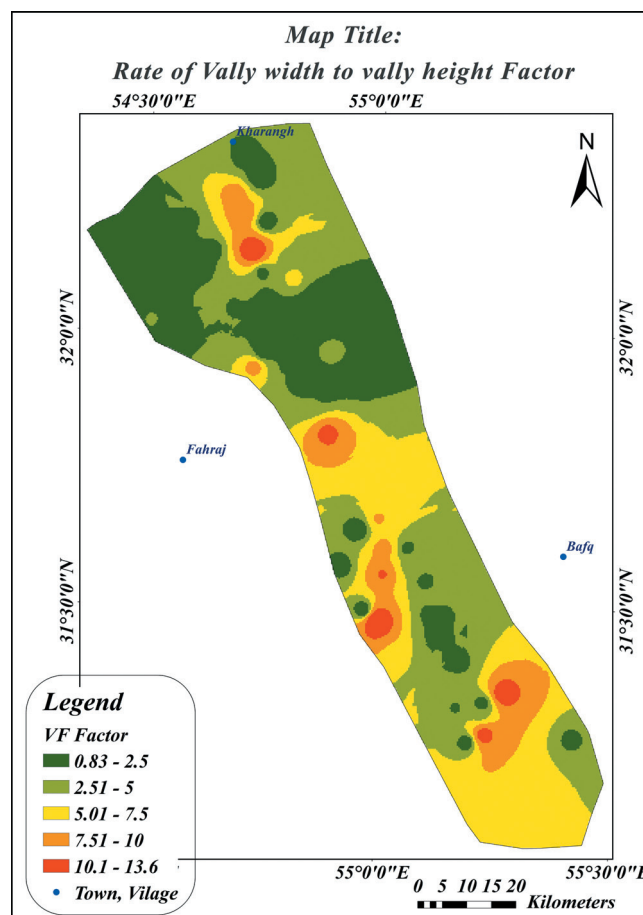
در این رابطه، S ضریب سینوسیته، V طول رودخانه و C طول مستقیم دره است. هر گاه مقدار این پارامتر به یک نزدیک شود، بیانگر زون فعال زمین‌ساختی است. افزایش در مقدار آن ($S > 1$) نیز بیانگر کاهش فعالیت زمین‌ساختی منطقه و نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادلی است. همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود متوسط پیچ و خم محاسبه شده بر روی کانال‌ها تقریباً $1/23$ و میزان پیچ و خم کانال‌ها بر روی مخروط‌افکنه‌های جبهه کوهستان بسیار ناچیز است که فعالیت بالای زمین‌ساختی را در راستای گسل در منطقه نشان می‌دهد.

– **شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf):** از دیگر شاخص‌های ریخت‌ساختاری مورد استفاده برای مطالعه و تشخیص فعالیت‌های نوزمین‌ساخت، نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (Vf) است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$VF = 2VFW / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

در این رابطه، Vf نسبت عرض به ارتفاع دره، Vf_w پهنای کف دره، Erd و Eld ارتفاع خط تقسیم آب (دیواره‌ها) در قسمت راست و چپ دره و ESC ارتفاع کف دره است (شکل ۱۳). این پارامتر در فواصل مختلف از جبهه کوهستان برای هر دره بررسی می‌شود و دره‌های پهن (مقادیر زیاد VF) را از دره‌های V شکل (مقادیر کم VF) تفکیک می‌کند. در این حالت، آبراهه‌ها بر اثر فرسایش، پهنای دره را افزایش می‌دهند. مقادیر کم شاخص، بیانگر دره‌های عمیق و V شکل و رودهایی است که به‌طور عمیق کف بستر خود را حفر می‌کنند و معمولاً با بالاآمدگی همراه هستند. مقدار این شاخص، در دره‌های اصلی محدوده مورد مطالعه و مقاطعی که شاخص SL به دست آمده بود، از ۱ در مناطق فعال زمین‌ساختی (شمال حوضه) تا ۶/۵ در مناطق نسبتاً غیر فعال (خروجی حوضه) متغیر است که دامنه تغییرپذیری کمی را نشان می‌دهد. نتایج در جدول ۵ نشان داده شده است.

با مقایسه نسبت Vf در این دره‌ها در یک فاصله تقریباً یکسان از جبهه کوهستان، می‌توان دریافت که این نسبت برای دره‌های مختلف متغیر است و این تغییرات نظم خاصی را نشان نمی‌دهد که یکی از دلایل آن می‌تواند تغییرات سنگ‌شناسی باشد. با توجه به نقشه شکل ۱۳، قسمت شمالی میزان VF کمتری نشان می‌دهد که می‌تواند نشان‌دهنده فعال بودن این مناطق و یا نشان‌دهنده فرسایش‌پذیرتر بودن سنگ‌های



شکل ۱۳- نقشه تهیه شده از شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۵- مقادیر میانگین شاخص VF در منطقه مورد مطالعه.

شماره حوضه	تعداد	VF	شماره حوضه	تعداد	VF	شماره حوضه	تعداد	VF
2	3	5.33	10	1	2	20	2	3.5
3	2	6.5	11	2	4	21	2	2
4	1	2	12	1	9	22	1	2
5	4	4.75	14	6	2.16	23	2	2
6	3	2.66	15	2	2.5	24	3	2.33
7	3	6.33	17	2	4	25	2	2.5
8	3	2.33	18	2	2	26	1	1
9	4	4.75	19	6	4.66	27	4	5

جدول ۶- جدول محاسبه پیچ و خم کانال آبراهه‌های انتخابی در منطقه مطالعاتی.

شماره حوضه	مقدار S	شماره حوضه	مقدار S	شماره حوضه	مقدار S
1	1.08	10	1.26	19	1.21
2	1.15	11	1.26	20	1.12
3	1.07	12	1.44	21	1.2
4	1.19	13	1.23	22	1.13
5	1.08	14	1.2	23	1.58
6	1.13	15	1.48	24	1.24
7	1.24	16	1.6	25	1.18
8	1.16	17	1.3	26	1.19
9	1.23	18	1.2	27	1.25

شاخص زهکشی حوضه می‌تواند منعکس کننده میزان فعالیت زمین‌ساختی در منطقه باشد. (EL Hamdouni et al. (2008). این شاخص را به سه رده تقسیم کرده است: رده 1 ($BS \geq 4$)، رده 2 ($3 \leq BS < 4$) و رده 3 ($BS < 3$). داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهند که حوضه‌ها اکثراً از نظر شکلی، در رده ۳ و ۲ قرار می‌گیرند. یکی از دلایل این امر علاوه بر فعالیت زمین‌ساختی، تأثیر وجود واحدهای سنگی مختلف در منطقه است که بر شکل حوضه تأثیر می‌گذارند؛ در مناطق فعال‌تر و یا واحدهای سنگی مقاوم‌تر حوضه‌ها کشیده‌تر هستند و در مناطق با فعالیت زمین‌ساختی کم و یا واحدهای سنگی کم‌مقاومت، فرسایش بیشتر و کشیدگی حوضه کمتر می‌شود و حوضه در همه جهات شروع به گسترش می‌کند.

– شاخص شکل حوضه زهکشی (Bs): طرح افقی یک حوضه را می‌توان توسط شاخص شکل حوضه زهکشی (BS) توصیف کرد که معرف نسبت کشیدگی حوضه زهکشی است (Cannon, 1976, Ramirez-Herrera, 1998). این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود

$$Bs = Bl / Bw$$

در این رابطه، BS شاخص شکل حوضه زهکشی، Bl طول حوضه از بالاترین نقطه تا خروجی حوضه و Bw عرض حوضه در پهن‌ترین نقطه آن است. حوضه‌های زهکشی جوان در مناطق زمین‌ساختی فعال دارای شکل کشیده و عمود بر شیب توپوگرافی کوهستان هستند (Bull and Mcfadden, 1977; Ramirez-Herrera, 1998). بنابراین

جدول ۷- محاسبه نسبت Bs حوضه‌ها در منطقه مطالعاتی.

شماره حوضه	Bs	رده	شماره حوضه	Bs	رده	شماره حوضه	Bs	رده
1	1.94	3	10	3.06	2	19	2.6	3
2	1.11	3	11	4.69	1	20	2.1	3
3	1.55	3	12	2.24	3	21	2.68	3
4	2.23	3	13	3.69	2	22	1.42	3
5	2.86	3	14	3.79	2	23	2.69	3
6	1.44	3	15	1.43	3	24	2.74	3
7	1.64	3	16	1.53	3	25	4.8	1
8	1.13	3	17	1.03	3	26	1.94	3
9	3.2	2	18	2	3	27	2.14	3

میانگین‌گیری رده‌های مختلف شاخص‌های ریخت‌ساختاری، فعالیت نسبی زمین‌ساختی (Active tectonics indices (Iat)) به دست می‌آید که برای ارزیابی توزیع فعالیت نسبی در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. Iat را می‌توان به چهار رده تقسیم کرد که در این امر از روش El Hamdouni et al. (2008) استفاده شده است:

- رده ۱: زمین‌ساخت خیلی فعال است با $1 < Iat \leq 1.5$
- رده ۲: زمین‌ساخت فعال است با $1.5 < Iat \leq 2$
- رده ۳: فعالیت متوسط زمین‌ساختی دارد با $2 < Iat \leq 2.5$
- رده ۴: فعالیت زمین‌ساختی کم است با $Iat < 2.5$

مرزبندی بین رده‌های یادشده در بالا اختیاری است و تنها به تفاوت نسبی اشاره می‌کند. پس نمی‌توان مرز مشخصی را برای مقدار مشخصی از شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی قرار داد. زیرا این شاخص‌ها علاوه بر نرخ فعالیت زمین‌ساختی تا حدودی شرایط محلی، نوع سنگ، ساختار و آب‌وهوا را منعکس می‌کنند. در منطقه مطالعاتی با میانگین‌گیری از رده‌های به دست آمده از ۵ شاخص ریخت‌ساختی، شاخص نسبی فعالیت زمین‌ساختی (Iat) هر حوضه محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۸ و شکل ۱۴ نشان داده شده است.

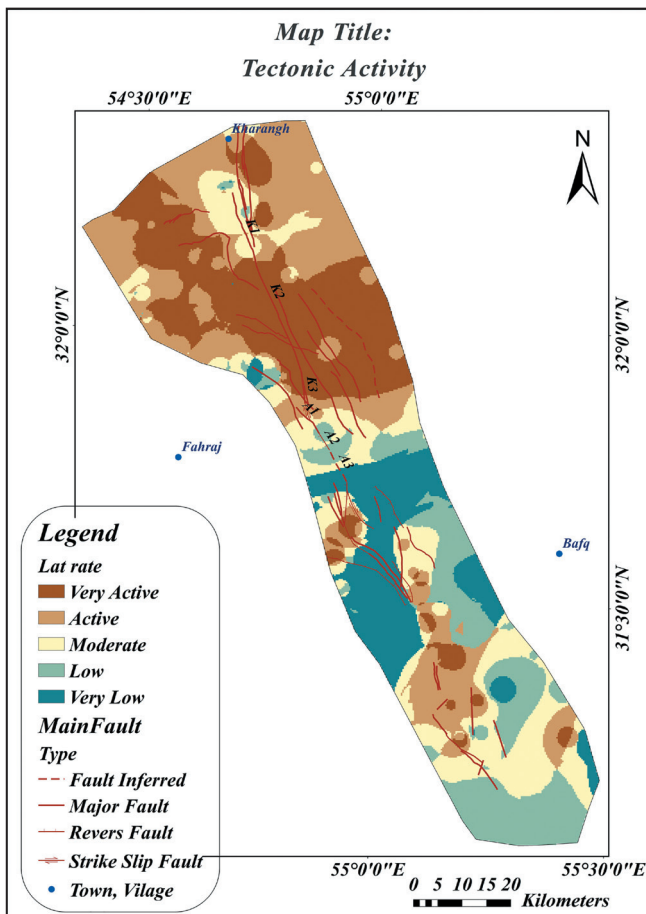
با توجه به واحدهای سنگی کم‌مقاومت منطقه، اکثر حوضه‌ها به شکل پهن در آمده‌اند و حوضه‌های کمی به صورت کشیده مشاهده می‌شوند (شکل ۲).

بر اساس نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ریخت‌ساختی و با تلفیق آنها می‌توان یک کلاس‌بندی نسبی از فعالیت زمین‌ساختی در منطقه ایجاد کرد. در مطالعات متعددی مانند Bull and Mcfadden (1977) و Silva et al. (2003) از ترکیب دو شاخص V_f و S_{mf} به منظور به دست آوردن اطلاعات نسبی از درجه فعالیت زمین‌ساختی جبهه کوهستان‌ها استفاده شده است. همچنین Rockwell et al. (1984) علاوه بر دو شاخص V_f و S_{mf} ، از میزان سرعت بالاآمدگی در این کلاس‌بندی استفاده کرده‌اند. این مطالعات روی ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی در طول جبهه کوهستان تمرکز داشته و در ابعاد ناحیه‌ای بزرگ‌تر، ارزیابی صورت نگرفته است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شده است تا در ابعاد ناحیه‌ای بزرگ‌تر، با استفاده از پارامترهای ریخت‌ساختی، فعالیت نسبی در یک منطقه گسترده مورد ارزیابی قرار گیرد. از

جدول ۸- بررسی شاخص نسبی فعالیت زمین‌ساختی (Lat) در زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی.



شکل ۱۴- نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساختی منطقه با استفاده از پنج شاخص زمین‌ریختی، SL، Af، Bs، و Smf.

ردده	مقدار	ردده	ردده	ردده	ردده	ردده	شماره
lat	lat	AF	BS	SMF	VF	SL	حوضه
3	2.25	2	3	2	—	3	1
2	2	2	3	2	3	1	2
2	2	2	3	1	3	1	3
2	1.8	2	3	2	2	1	4
2	2	1	3	—	3	1	5
2	1.8	1	3	3	3	1	6
4	2.8	2	3	2	3	3	7
2	1.8	1	3	2	3	1	8
2	1.8	2	2	2	3	1	9
2	1.6	1	2	1	2	2	10
2	1.6	2	1	1	3	1	11
2	1.8	1	3	2	3	1	12
1	1.3	1	2	—	—	1	13
2	1.8	2	2	2	3	1	14
2	1.8	1	3	1	3	1	15
4	2.6	3	3	—	—	2	16
2	2	2	3	2	3	1	17
2	2	3	3	2	2	1	18
2	1.8	1	3	1	3	1	19
2	1.8	1	3	2	3	1	20
2	1.8	2	3	2	2	1	21
2	1.8	2	3	2	2	1	22
3	2.25	3	3	—	2	1	23
2	1.8	1	3	1	3	1	24
2	1.8	3	1	1	3	1	25
1	1.5	1	3	—	1	1	26

از روی هم‌اندازی لایه‌های شاخص ریخت‌ساختاری برای تعیین مناطق زمین‌ساختی استفاده و نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۱۴). منطقه مورد مطالعه از نظر کمی به ۵ ناحیه زمین‌ساختی خیلی فعال، فعال، نسبتاً فعال، متوسط و بافعالیت کم رده‌بندی شده است. برای هر ناحیه مقادیر شاخص‌های ریخت‌ساختاری مشخص و شدت فعالیت زمین‌ساختی آن نیز تعیین شده است. هر چه منطقه از لحاظ زمین‌ساختی فعال‌تر باشد، شاخص‌های Vf و Smf کمتر و SL بیشتر خواهد بود (جدول ۸). بر اساس نقشه پهنه‌بندی فعالیت زمین‌ساختی منطقه (شکل ۱۴)، نرخ فعالیت زمین‌ساختی در قسمت شمالی خیلی فعال تا فعال و در قسمت جنوبی نسبتاً فعال تا متوسط است و منطقه محدودی در مرکز نقشه دارای فعالیت کم است.

سپاسگزاری

این مقاله بر مبنای طرح شماره ۲۸۹۷۶ دانشگاه فردوسی مشهد بر اساس مصوبه مورخ ۹۲/۶/۳۱ تهیه شده است که بدین وسیله از ایشان تشکر می‌شود.

بر اساس شاخص‌های ریخت‌ساختی، منطقه مطالعاتی از نظر نرخ فعالیت زمین‌ساختی، به چهار رده تقسیم شده است: رده ۱ (فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا، ۷/۴٪ در منطقه)، رده ۲ (فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۷۴٪)، رده ۳ (فعالیت زمین‌ساختی متوسط، ۱۱٪) و رده ۴ (فعالیت زمین‌ساختی کم، ۷/۴٪). نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که نرخ فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه بیشتر متوسط تا بالاست. بر اساس شکل ۱۴، میزان فعالیت زمین‌ساختی گسل انار و خرائق در منطقه بالاست. مخصوصاً حوضه‌هایی که در قسمت شمالی منطقه در مجاورت گسل خرائق قرار دارند، نرخ فعالیت‌های زمین‌ساختی بالایی به دلیل فعالیت زیاد این قسمت از گسل نسبت به قطعات گسلی جنوبی نشان می‌دهند. قسمت‌های میانی گسل انار از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی عمدتاً در حد متوسط هستند و بیشترین فعالیت زمین‌ساختی در قسمت انتهایی شمالی گسل دیده می‌شود. شواهد زمین‌لرزه‌ای هم این امر را تأیید می‌کند. به گونه‌ای که بیشتر زمین‌لرزه‌ها در این قسمت از گسل خرائق رخ می‌دهند. با توجه به یکسان بودن تأثیر شاخص‌های محاسبه شده در بررسی‌های زمین‌ساختی،

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، نشر سازمان زمین‌شناسی ایران، ۵۹۰ ص.
- رنگزن، ک.، زرگرزاده، م.، چرچی، ع. و آبشیرینی، ا.، ۱۳۸۶- کاربرد علوم سنجش از دور و GIS در پهنه‌بندی نئوتکتونیک کوه‌های زاگرس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، یازدهمین انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کریمی، ف. و رجایی‌اصل، ع.، ۱۳۸۳- نقش زمین‌ساخت در تحول زمین‌ریخت‌شناسی پایکوه‌های شمالی کوه بزقوش، علوم زمین، شماره ۵۲-۵۱، صص. ۶۸ تا ۷۷.
- گورابی، ا. و نوحه‌گر، ا.، ۱۳۸۶- شواهد ژئومورفولوژی حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص. ۱۷۷ تا ۱۹۶.
- مفاخریان، س. ع. و پورکرمانی، م.، ۱۳۸۶- اثرات زمین‌ساختی پویا در منطقه خرم‌آباد، علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۶۵، صص. ۸۱ تا ۹۰.
- مقصودی، م. و کامرانی، ح.، ۱۳۸۷- ارزیابی نقش زمین‌ساخت فعال در تنظیم کانال رودخانه تجن، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص. ۳۷ تا ۵۵.
- وحدتی دانشمند، ب.، قاسمی، م.، قریشی، م. و حقی‌پور، ن.، ۱۳۸۶- نوزمین‌ساخت سپید رود و دشت گیلان، علوم زمین، شماره ۶۵، صص. ۱۲ تا ۲۵.
- یمانی، م.، مقیمی، ا. و تقیان، ع.، ۱۳۸۷- ارزیابی تأثیرات نوزمین‌ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، تحقیقات جغرافیایی، پیاپی ۸۸، صص. ۱۱۷ تا ۱۳۶.

References

- Bull, W. B. and McFadden, L. D., 1977- Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, In: Doehring, D.O (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, pp. 115- 138.
- Cannon, P. J., 1976- Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Geology Notes*, V. 36 (1), pp. 3- 16.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. and Keller, E. A., 2008- Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, V. 96, pp. 150- 173.
- Fortes, E., Stevaux, J. C. and Volkmer, S., 2005- Neotectonics and Channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right bank tributary of the upper parana River, Brazil, *Geomorphology*, V. 70, No. 3- 4, pp 325- 338.
- Keller, A. and Pinter, N., 1996- *Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape*, Prentice-Hall.
- Krzyszowski, D., Przybylski, B. and Badura, J., 2000- The role of geotectonic and glaciations on terrace formation along the Nysa kodzka River in the Sudeten Mountains (southwestern Poland) , *Geomorphology*, V. 23, No. 3- 4, pp149- 166.
- Latrubesse, E. M. and Rancy, A., 2000- Neotectonic influence on tropical rivers of south western Amazon during the late quaternary: the Moa and Ipixuna river basins, Brazil, *Quaternary International*, V. 72, No. 1, pp67- 72.
- Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daignieres, M., Nankali, H. and Van Gorp, S., 2007- Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophysical Journal International* 170, 436- 440
- Meyer, B. and Le Dortz, K., 2007- Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: estimating fault slip-rates averaged over the Holocene. *Tectonics*, 26 ,TC5009, doi:10.1029/2006TC002073.

- Ramirez-Herrera, M. T., 1998- Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt, Earth surface process and land forms. V. 23, pp. 317- 322.
- Rockwell, T. K., Keller, E. A., Clark, M. N. and Johnson, D. L., 1984- Chronology and rates of faulting of Ventura River terraces, California, Geological Society of America Bulletin, V. 95, pp. 1466- 1474.
- Rose, J., Candy, I., Moorlock, B. S. P., Wilkins, H., Lee, J. A., Hamblin, R. J. O., Lee, J. R., Riding, J. B. and Morigi, A. N., 2002- Early and early middle Pleistocene river, Coastal and neotectonic processes southeast Norfolk, England, Proceedings of the Geologists, Association V. 113, No. 1, pp. 47- 68.
- Sharma, A. and Rajamani, V., 2000- Weathering of gneissic rocks in the upper reaches of Cauvery river, South India: implication to neotectonics of the region, Chemical Geology, V. 166, No. 3-4, pp. 203- 223.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C. and Bardajm, T., 2003- Fault generated mountain fronts in Southeast Spain, geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity, Geomorphology, V. 250, pp. 203- 226.
- Srivastava, P. and Misva, D. K., 2008- Morpho-sedimentary records of active tectonics at the Kameng river exit ,NE Himalaya. Geomorphology, V. 96, No. 1- 2, pp. 187- 198.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophysical Journal International 157, 381-398.
- Zamolyi, A., Szekely, B., Draganits, E. and Timar, G., 2009- Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain, Geomorphology, V. 122 , No.3- 4, pp. 231- 243.

Evaluation of neotectonic activities in East-Yazd

M. Mirjalili¹, F. Ghaemi^{2*}, B. Rahimi³, M. Moshrefifar⁴ and M. Gholamzadeh⁵

¹M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

⁵M.Sc., Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2016 December 19

Accepted: 2018 February 24

Abstract

The study area is located in the east of Yazd and is part of Yazd block (western block of central Iran). There are two major fault systems, Anar and Kharanagh with lengths of 100 and 62 km and numerous minor faults represents an important tectonic phenomenon in the region. The aim of this study is to investigate neotectonics in this area by using geomorphic indicators. To achieve this goal, have been used of seven geomorphic indicators: Hypsometric integral (HI), Drainage basin asymmetry factor (AF), Stream length- gradient index (SL), Mountain Front sinuosity (Smf) and the ratio of valley floor width to depth Valley (Vf), River sinuosity index (S), Basin shape factor (Bs). Based on Active tectonics indices (Iat), the study area is divided in Four terms of tectonic activity rates, category 1 (very high tectonic activity, 7.4% of the region), category 2 (up 74%), category 3 (average 11%) and category 4 (less 7.4%). Morphotectonical and morphological evidences indicate that the rate of tectonic activity in this region is moderate to high. According these evidences, the northern part of Kharanagh fault and southwestern part of Anar fault are more active than other parts.

Keywords: Neotectonic, Geomorphic indices, Yazd

For Persian Version see pages 257 to 270

*Corresponding author: F. Ghaemi; E-mail: fghaemi@ferdowsi.um.ac.ir