

ارزیابی تکتونیک فعال نسبی حوضه خرم رود با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و تحلیل الگوی فرکتالی (لرستان، شمال غرب کمربند زاگرس)

سمیه دریکوند* - استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه لرستان.
محمد مهدی فرهپور - استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه لرستان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۰۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶

چکیده

شبکه‌های آبراهه‌ای به تغییرات نامحسوس ناشی از فعالیت تکتونیک گسل‌های سطحی و زیر سطحی بسیار حساس هستند و می‌توانند در مطالعات پهنه بندی مناطق با میزان فعالیت‌های تکتونیک متفاوت، در سطح زمین راهگشا باشند. هدف از این پژوهش بررسی پویایی تکتونیک حوضه رودخانه خرم آباد با تلفیق نتایج حاصل از تحلیل شاخص‌های کمی ژئومورفیک و تحلیل ابعاد فرکتالی خطواره‌های گسلی می‌باشد. حوضه خرم آباد در کمربند چین خورد-رانده زاگرس و در زیر پهنه لرستان واقع شده است. با توجه به اینکه هندسه و تحول جنبشی ساختارها در زیر پهنه لرستان غالباً به وسیله گسل‌های راندگی کور کنترل می‌شوند، بررسی شبکه‌های آبراهه‌ای، تغییرات در رخساره‌های رسوبی و ضخامت لایه‌ها و الگوی چین خوردگی‌ها در سطح زمین می‌تواند در شناسایی مناطق با فعالیت تکتونیک نسبی مفید واقع شوند. به همین منظور، ۷ شاخص کمی ژئومورفیک در ۴۷ زیرحوضه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. شاخص‌های Sf ، Hi ، Bs ، Vf ، Af ، SL و S با استفاده از تکنیک GIS در حوضه خرم آباد محاسبه شده‌اند. با توجه به رده‌بندی شاخص Iat ، نقشه پهنه‌بندی در ۴ رده خیلی فعال، فعال، متوسط و فعالیت کم تهیه گردید. با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، خطواره‌های گسلی با ترکیبی از روش‌های اتوماتیک و دستی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل‌های سایه روشن استخراج شدند. در نهایت با استفاده از تحلیل فرکتالی به روش مربع شمار، ابعاد فرکتالی این خطواره‌ها در ۶ پهنه محاسبه شد. بر این اساس، پهنه‌های $N2$ و $N5$ فعالیت تکتونیک بالا نشان می‌دهند. نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های مورفومتری، مشاهدات میدانی و ابعاد فرکتالی، در نواحی شمال-شمال شرق و جنوب-جنوب غرب حوضه، تکتونیک خیلی فعال و فعال و در برخی زیر حوضه‌ها فعالیت متوسط را تأیید می‌کنند و از نظر لرزه خیزی مناطق پرخطر محسوب می‌شوند.

واژگان کلیدی: تکتونیک فعال، شاخص‌های ژئومورفیک، حوضه خرم آباد، کمربند زاگرس، ابعاد فرکتالی.

مقدمه

رقابت دائمی بین پدیده های تکتونیک که به شکل گیری توپوگرافی و فرایندهای سطحی منتهی به فرسایش منجر می شود بیان کننده ژئومورفولوژی ساختاری است (باربنک و اندرسون، ۲۰۱۱)^۱. مؤثرترین شاخص های مورفومتریک مربوط به فرسایش و فرایندهای رسوبی مرتبط با سیستم های رودخانه ای هستند (سارپ و دیزگان، ۲۰۱۵)^۲ و رودخانه ها اولین اشکال محیطی اند که به وقوع تغییرات در بستر یا در حواشی آن واکنش نسبتاً سریعی نشان می دهند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸). به همین دلیل می توانند در شناسایی سرزمین های فعال تکتونیک و ارزیابی حوضه های زهکشی راهگشا باشند (اوجی، ۱۹۸۵)^۳؛ شوم، ۱۹۸۶^۴؛ جین و سینها، ۲۰۰۵^۵؛ مالیک و موهانتی، ۲۰۰۷^۶؛ تروسکی و همکاران، ۲۰۰۹^۷. علم مورفوتکتونیک با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و مدل های رقومی به شناسایی شواهد سطحی جابجایی ها و تغییر شکل های حاصل از تکتونیک فعال می پردازد (محمود و گلوگن، ۲۰۱۲)^۸. پارامترهای مورفوتکتونیک، آبرفتی و ساختاری عوامل مهمی در تکامل مورفولوژیکی حوضه زهکشی می باشند. شاخص های ژئومورفیک برای مطالعه واکنش لندفرمها به فرایندهای تکتونیک فعال استفاده می شوند (آندرنی و همکاران، ۲۰۱۴)^۹ و به مقاومت سنگها، تغییرات اقلیمی و فرایندهای تکتونیک حساس هستند (بهات و همکاران، ۲۰۱۳)^{۱۰}. تجزیه و تحلیل مورفومتریک شبکه های رودخانه با استفاده از شاخص های مورفومتری و بررسی زمین آماری داده های توپوگرافی (ترویانی و همکاران، ۲۰۱۲)^{۱۱} ابزار مفیدی برای بررسی تکامل شکل زمین، تحلیل توپوگرافی و بررسی میزان تاثیر فعالیت های نئوتکتونیک در سطح زمین می باشند (متئو و همکاران، ۲۰۱۶)^{۱۲}. شاخص های ژئومورفیک با استفاده از نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای و عکسهای هوایی مناطق فعال تکتونیک را ارزیابی می کنند (رامشت و همکاران، ۱۳۹۱) و بارها توسط محققان مورد استفاده قرار گرفته اند. بسیاری از پژوهشگران به بررسی تکتونیک فعال با استفاده از شاخص های ژئومورفیک پرداخته اند که از برجسته ترین آنها بال و مک فادن (۱۹۷۷)^{۱۳} در شمال و جنوب گسل گارلوک؛ ولز و همکاران (۱۹۸۸)^{۱۴} در سواحل کاستاریکا؛ پرزینا و همکاران (۲۰۱۰)^{۱۵} در سیرا نوادا؛ سارپ و دیزگان (۲۰۱۲)^{۱۶} در آناتولی ترکیه؛ گائو و همکاران (۲۰۱۳)^{۱۷} در شمال شرقی فلات تبت؛ دمولین و همکاران (۲۰۱۵)^{۱۸} در پلپونز یونان؛ لوبری و همکاران (۲۰۱۵)^{۱۹} در کومان هیمالیا؛ توپال و همکاران (۲۰۱۶)^{۲۰} در آق شهر ترکیه؛ چنگ و همکاران (۲۰۱۶)^{۲۱} در پکن؛ متئو و همکاران (۲۰۱۶)^{۲۲} در ساراواک جزیره

1. Burbank and Anderson

2. Sarp and Duzgun

3. Ouchi

4. Schumm

5. Jain and Sinha

6. Malik and Mohanty

7. Turowski et al.

8. Mahmood and Gloaguen

9. Andreani et al.

10. Bhat et al.

11. Troiani et al.

12. Mathew et al.

13. Bull and McFadden

14. Wells et al.

15. Pérez-Peña et al.

16. Sarp and Düzgün

17. Gao et al.

18. Demoulin et al.

19. Luirei et al.

20. Topal et al.

21. Cheng et al.

22. Mathew et al.

بورنتو؛ توپال (۲۰۱۹)^۱ در جنوب غربی آناتولی؛ عبید و آلن (۲۰۱۹)^۲ در کمربند چین خورده- رانده زاگرس و در ایران به خیام و مختاری کشکی (۱۳۸۲) در مخروط افکنه های میشوداغ؛ سیف و خسروی (۱۳۸۹) در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس؛ بهرامی و همکاران (۱۳۹۰) در زاگرس؛ یمانی و همکاران (۱۳۹۲) در حوضه آبخیزنچی؛ منصوری و صفاری (۱۳۹۴) در حوضه فرحزاد؛ غلامی و موسوی (۱۳۹۷) در شمال بیرجند و میرجیلی و همکاران (۱۳۹۸) در شرق یزد می توان اشاره نمود.

فعالیت تکتونیکی خطواره‌های گسلی و فرایندهای زیرسطحی مرتبط، ژئومورفولوژی سطح زمین و توپوگرافی آن را کنترل می‌کنند. لذا بررسی تراکم این خطواره‌ها می‌تواند در ارزیابی فعالیت‌های تئوتکتونیکی رهگشا باشد. امروزه علم دورسنجی در مطالعات زمین شناسی، جهت بررسی شکستگی ها و خطواره ها نقش بسزایی دارد. خطواره های ساختاری پدیده های خطی با الگوی ساده یا پیچیده در سطح زمین هستند که ناشی از تجمع تنش در اطراف شکستگی ها و گسل ها می باشند. با توجه به اینکه مطالعات آماری و هندسی خطواره‌های گسلی در تحلیل مناطق فعال تکتونیکی امری ضروری می باشد، لذا در این پژوهش با استفاده از عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای، مدل های زمین رقومی، ارتفاع رقومی و سایه ارتفاعی خطوارگی ها با دقت بالا شناسایی شدند. با استفاده از تحلیل فرکتالی، الگوی حاکم بر خطواره‌های گسلی و شدت تراکم آنها در ۶ پهنه به روش مربع شمار مورد بررسی قرار گرفت و بعد فرکتالی از طریق نمودارهای log-log تخمین زده شد. در نهایت نتایج حاصل از تحلیل فرکتالی با مناطق فعال تکتونیکی شناسایی شده از طریق شاخص های مورفوتکتونیکی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

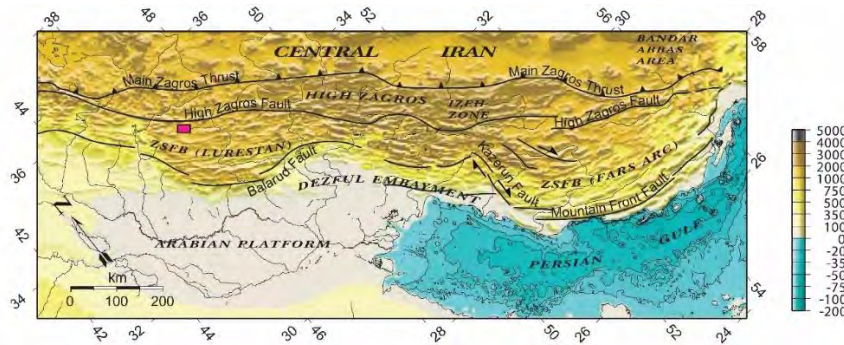
خصوصیات زمین شناسی و تکتونیکی

کمربند کوهزایی زاگرس در اثر برخورد ورقه های ایران و عربستان در ترشیری پسین تشکیل شده است (اشتوکلین، ۱۹۶۸)^۳. بخش چین خورده- رانده زاگرس که در پیشانی کوهزاد زاگرس واقع شده است، با حرکت‌های تکتونیکی در میوسن میانی و سپس در پلیوسن پایانی دچار چین خوردگی شد، بنابراین از نظر سنی، دارای کوه‌های جوانی است (درویش زاده و محمدی، ۱۳۸۶ علایی طالقانی، ۱۳۸۶). از این رو، واحد ساختمانی زاگرس چین خورده- رانده از جمله مناطق فعال تکتونیکی ایران است که می‌توان شواهد بالآمدگی تکتونیکی را در تاقدیس های در حال رشد آن دید (انصاری لاری و همکاران، ۱۳۹۰). براساس وضعیت رسوبگذاری و ضخامت سازندهای مختلف می‌توان زاگرس را به سه زیر پهنه لرستان، فروبار دزفول و ناحیه فارس تقسیم نمود. منطقه مورد مطالعه بین طول های جغرافیایی ۴۸ تا ۴۸٫۸۰ درجه شرقی و عرض های جغرافیایی ۳۳٫۲۵ تا ۳۳٫۷۵ شمالی، در زیر پهنه لرستان و در بخش شمال غربی زاگرس چین خورده- رانده واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوضه آبریز خرم آباد ۲۳۱۲٫۵ کیلومتر مربع می باشد.

1. Topal

2. Obaid and Allen

3. Stocklin



شکل ۱: نقشه عناصر ساختاری کمربند چین خورده- رانده زاگرس، برگرفته از شرکتی و همکاران، ۲۰۰۵ و موقعیت زیرپهنه لرستان. محدوده منطقه مورد مطالعه با مستطیل صورتی رنگ، در شکل نشان داده شده است.

تاق‌دیس خرم آباد با طول تقریبی ۷۰ کیلومتر و پهنای ۱۰ کیلومتر و با روند شمال شرقی - جنوب غربی در ناحیه لرستان و شهرستان خرم آباد قرار گرفته است. گسل رانده خرم آباد قسمتی از گسل زاگرس مرتفع می‌باشد که عامل شکل‌گیری تاق‌دیس مرتبط با گسل خرم آباد است. این گسل که در سطح زمین رخنمون ندارد، از بخش‌های جنوبی این تاق‌دیس عبور می‌کند (شکل ۲ الف). گسل‌های راندگی پنهان دیگری نیز در منطقه وجود دارند که در شکل (۲ الف) بر روی نقشه تصویر شده‌اند (عباسی و یساقی، ۱۳۹۰). قدیمی‌ترین سازند برونزد یافته در منطقه مورد مطالعه سازند گرو می‌باشد که هسته تاق‌دیس خرم آباد را تشکیل می‌دهد. سایر رخنمون‌های سنگی به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای سروک، ایلام، امیران، کشکان و آسماری می‌باشد (شکل ۲ الف).

مواد و روشها

در مطالعات مورفوتکتونیک و فرکتالی حوضه خرم آباد از دقیق‌ترین داده‌های مدل رقومی سرزمینی (DTM) سازمان نقشه برداری ایران بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و داده‌های ارتفاعی رادار (SRTM) با دقت ارتفاعی ۳۰ متر، تصاویر هوایی، تصاویر ماهواره‌ای لندست و نقشه‌های زمین‌شناسی استفاده شده است. همچنین جهت آماده‌سازی این داده‌های رقومی، از نرم‌افزارهای کاربردی Arc Gis، Google earth، Global mapper، PCI، Geomatica و ENVI استفاده شده است. بر این اساس، در این پژوهش به بررسی کمی شاخص‌های مورفوتکتونیک معرفی شده پرداخته شده است. در ارزیابی وضعیت تکتونیک فعال در هر منطقه‌ای به برخی از شاخص‌های مورفوتکتونیک متوسل می‌شوند. شاخص‌های مورفوتکتونیک که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارت‌اند از: گرادیان طول رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره (Vf)، انتگرال هیپسومتر (Hi)، نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)، پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf) و شاخص پیچ و خم رودخانه (S). پس از محاسبه شاخص‌ها با توجه به جدول ۱، وضعیت تکتونیک منطقه مورد سنجش قرار گرفت. در پایان برای تعیین شاخص تکتونیک فعال نسبی (Iat) برای کل حوضه، ارقام برآورد شده برای هر شاخص، از لحاظ وضعیت تکتونیک در سه کلاس فعالیت زیاد (۱)، متوسط (۲) و کم (۳) طبقه‌بندی می‌شود (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)^۱. اساس این تقسیم‌بندی، بر میانگین‌گیری از چنین کلاس‌هایی است که با توجه به مقدار برآورد شده هر کدام از شاخص‌ها مشخص می‌شود. با استفاده از میانگین کلاس شاخص‌های مختلف در حوضه وضعیت تکتونیک حوضه ارزیابی می‌شود. بر اساس شاخص Iat مناطق مختلف از نظر تکتونیک در چهار کلاس خیلی فعال، فعالیت زیاد، متوسط و کم قرار می‌گیرند. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی و

پهنه بندی مناطق فعال تکتونیکی با استفاده از شاخص های مورفومتری و تحلیل الگوی فرکتالی حاکم بر خطواره‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه می باشد. در نهایت نتایج حاصل از این مطالعات با یکدیگر مورد مقایسه خواهند گرفت.

یافته های تحقیق

شاخص های کمی ژئومورفیک شاخص گرادیان طول رودخانه (SL)

این شاخص توسط هک (۱۹۷۳)^۱ برای تشریح اثرات تغییرات محیطی بر روی نیمرخ طولی جریان تعریف شده است و به صورت رابطه (۱) تعریف شده است: (محمود و همکاران، ۲۰۱۲)^۲

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L_t \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، ΔH اختلاف ارتفاع دونقطه از رودخانه، ΔL فاصله آن دونقطه و L_t فاصله وسط آن قطعه تا خط تقسیم آب است. شاخص SL به قدرت جریان وابسته است و نسبت به تغییرات شیب، مقاومت سنگ، توپوگرافی و طول آبراهه حساس می باشد (زویلی و همکاران، ۲۰۰۴)^۳. این شاخص در مناطقی که بستر رودخانه در سنگهای سخت قرار دارد افزایش می یابد. (یمانی ۱۳۸۹، به نقل از کلر و پینتر، ۱۹۹۶)^۴. این شاخص هر گونه بی نظمی را در نیمرخ طولی رودخانه نشان می دهد و از آنجایی که به تغییرات شیب آبراهه بسیار حساس است، بنابراین امکان ارزیابی ارتباط بین فعالیت های تکتونیکی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را مهیا می سازد. اگر از آخرین عملکرد گسل زمان زیادی گذشته باشد ممکن است میزان SL دارای تغییرات محسوسی نباشد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲b). مقادیر شاخص SL برای حوضه خرم آباد با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی تعیین گردیده است. با توجه به آبراهه های اصلی در حوضه، میزان SL در ۴۷ زیر حوضه محاسبه گردید. بر اساس مقادیر محاسبه شده، این شاخص از ۹,۲۵ تا ۵۷۴ متغیر می باشد. مقدار شاخص SL در زیر حوضه های ۴، ۲ و ۴۵ بیش از ۵۰۰ محاسبه شده و بیانگر فعالیت تکتونیکی بالا می باشد. در ۲۳ زیر حوضه تغییراتی در محدوده ۳۰۰ تا ۵۰۰ و فعالیت متوسط نشان می دهند. افزایش ناگهانی میزان شاخص، نشان دهنده تلاقی با یک زون گسلی فعال می باشد و دلیلی بر جوان بودن و یا فعالیت بیشتر آن نسبت بخش های کناری در حوضه می باشد. این زیر حوضه های با فعالیت زیاد تا متوسط در حوالی راندگی های اصلی واقع شده اند که نشانگر تاثیر فراخاست و کج شدگی ناشی از فعالیت این راندگی ها بر مقادیر SL بدست آمده می باشد. نقشه پهنه بندی شاخص گرادیان طول رودخانه بر اساس فعالیت های زیاد (۱)، متوسط (۲) و کم (۳) تهیه شده است (شکل ۲ ب).

شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)

تجزیه و تحلیل هیپسومتری به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تفکیک مناطق نواحی فعال و غیرفعال تکتونیکی می باشد. انتگرال هیپسومتری بیانگر مساحت زیر منحنی هیپسومتری است که از رابطه (۲) محاسبه می شود (رودیگر و همکاران، ۲۰۰۹)^۵

¹. Hack

². Mahmood and Gloaguen

³. Zovoili et al.

⁴. Keller and Pinter

⁵. Rüdiger et al.

$$Hi = \frac{\bar{H} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در معادله ی فوق Hi انتگرال هیپسومتري، H_{min} حداقل ارتفاع، \bar{H} ارتفاع متوسط حوضه و H_{max} حداکثر ارتفاع حوضه را نشان می دهند. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتري، بالآمدگیها و شکل گیری توپوگرافی جدید، مقادیر متوسط وضعیت تکتونیکي نسبتاً فعال و مقادیر پایین، حوضه های پست با فعالیت تکتونیکي کم را بیان می کنند (ده بزرگی، ۳۳۳:۲۰۱۰).^۱ بر اساس پارامترهای اندازه گیری شده، شاخص Hi در ۴۷ زیر حوضه محاسبه شده است که بین ۰,۲۳ تا ۰,۸ متغیر می باشد. مقادیر شاخص Hi در ۱۷ زیر حوضه تغییرات بین ۱ تا ۰,۵ (فعالیت بالای تکتونیکي) و در ۲۲ زیرحوضه تغییراتی در محدوده ۰,۵ تا ۰,۴۵ (فعالیت متوسط) را نشان می دهند. با توجه به هم پوشانی این زیر حوضه ها با موقعیت راندگی های F_1 ، F_2 و F_3 ، حضور سامانه های گسلی فعال را می توان عامل اصلی ایجاد توپوگرافی های جوان و بالغ در این نواحی عنوان نمود. نقشه پهنه بندی شاخص هیپسومتري بر اساس فعالیت های زیاد (۱)، متوسط (۲) و کم (۳) تهیه شده است (شکل ۲ ج).

شاخص نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره (Vf):

این شاخص در دره های اصلی که جبهه کوهستان را قطع می کنند مورد بررسی قرار می گیرد (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳).^۲ شاخص Vf دره های پهن (مقادیر زیاد Vf)، دره های U شکل، و دره های V شکل (مقادیر کم Vf) را از هم تفکیک می کند. این شاخص از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$Vf = 2Vfw / (E_{Id} - E_{Sc}) + (E_{Rd} - E_{Sc}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق Vfw عرض کف دره، E_{Id} و E_{Rd} ارتفاع دیواره های سمت راست و چپ دره و E_{Sc} ارتفاع کف دره می باشد. این شاخص در ۴۷ زیر حوضه مورد محاسبه قرار گرفته است. برای هر زیرحوضه مقدار شاخص، با استفاده از مدل ارتفاع رقومی به صورت برش های عرضی بر روی آبراهه های اصلی در ارتفاعات مختلف که دره ها را قطع نموده اند، محاسبه شده است. مقادیر Vf بدست آمده از ۰,۱۴ تا ۴۷,۹۷ تغییر می کنند. این نقاط بیشتر در مسیرهایی هستند که تاقدیس یا رشته کوه قطع شده است و در آنها رودخانه ها و آبراهه های دائمی و فصلی جریان دارند. شاخص Vf در ۶ زیر حوضه فعالیت تکتونیکي بالا و در ۱۳ زیرحوضه فعالیت متوسط نشان می دهند که منطبق بر مسیر فعالیت سامانه های گسلی F_1 ، F_2 و F_3 می باشند و حاکی از این است که دره های V شکل عمیقی در پاسخ به فراخواست فعال شکل گرفته اند (شکل ۵ ر، ج). شکل (۲ د) موقعیت جغرافیایی نیمرخ های عرضی و پهنه بندی فعالیت تکتونیکي، بر اساس مقادیر شاخص Vf را نشان می دهد.

شاخص عدم تقارن حوضه (Af)

این شاخص روشی برای ارزیابی میزان کج شدگی تکتونیکي در مقیاس حوضه زهکشی می باشد و از رابطه (۴) محاسبه می شود (هار و گاردنر، ۱۹۸۵):^۳

$$Af = (A_r / A_t) * 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

پارامتر A_r مساحت حوضه در سمت راست جهت جریان (با نگاه به پایین دست)، A_t مساحت کل حوضه زهکشی است. در رابطه بالا اگر مقدار شاخص Af حدود ۵۰ باشد نشان دهنده رودخانه ای است که دارای موقعیت مسیر ثابت و جریان مداومی است و نشان از نبود فعالیت تکتونیکي در منطقه می باشد. ولی اگر این شاخص دارای مقادیر بیشتر یا

¹. Dehbozorgi et al.

². Silva et al.

³. Hare and Gardner

کمتر از ۵۰ باشد، به دلیل کج شدگی و انحراف کانال اصلی رودخانه، نشان از فعالیت تکتونیکی در منطقه دارد (کلر، ۱۹۸۶).^۱ به طور کلی جهت جریان رودخانه خرم رود از شرق به طرف غرب می باشد. با توجه به مقادیر شاخص Af در تقسیم بندی همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، از ۴۷ زیر حوضه بررسی شده، ۱۵ زیر حوضه با فعالیت زیاد، ۲۴ زیر حوضه با فعالیت تکتونیکی متوسط و ۸ زیر حوضه با فعالیت تکتونیکی کم شناسایی شده است (شکل ۲ ر). همانطور که مشاهده می شود میزان عدم تقارن در بخش‌های مختلف حوضه یکسان نیست. بررسی‌ها نشان می دهند اکثر زیرحوضه‌هایی که در مجاورت گسل قرار گرفته اند و به موازات جبهه کوهستان جریان دارند (مانند زیرحوضه‌های ۱۳، ۳۷، ۳۰ و ۳۱) میزان کج شدگی بالایی نشان می دهند. در برخی زیر حوضه‌ها شرایط لیتولوژیکی بر میزان کج شدگی تاثیرگذار بوده است (مانند زیرحوضه‌های ۴۴ و ۴۵).

شاخص نسبت شکل حوضه (Bs)

حوضه‌های فعال تکتونیکی شکل کشیده‌ای دارند. با گذشت زمان و توقف فراخاست، شکل حوضه به تدریج دایره‌ای می شود و شاخص کاهش می یابد (باربانک و اندرسون، ۲۰۰۱).^۲ طرح افقی شکل حوضه بوسیله نسبت کشیدگی آن از رابطه (۵) توصیف می شود (رامیرز-هریرا، ۱۹۹۸).^۳

$$Bs = Bl/Bw \quad \text{رابطه (۵)}$$

در معادله این شاخص، Bl طول حوضه از خط الراس تا نقطه خروجی است (طول بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع حوضه)، و Bw پهنای حوضه، که در پهن‌ترین نقطه آن اندازه‌گیری می شود. بر اساس طبقه بندی همدونی و همکاران (۲۰۰۸) مقدار شاخص حوضه‌ها به شرح ذیل می باشد: $Bs > 4$: حوضه فعال (کلاس ۱)، $3-4$: حوضه نیمه فعال (کلاس ۲)، $Bs < 3$: حوضه با فعالیت کم (کلاس ۳). با توجه به میزان شاخص Bs در ۴۷ زیر حوضه که در محدوده ۰٫۹۷ تا ۶٫۸۱ متغیر می باشد، نقشه پهنه بندی تهیه شده است (شکل ۲ ص). بر اساس مقادیر بدست آمده از این شاخص، ۳ زیرحوضه فعالیت بالا و ۱۲ زیرحوضه فعالیت متوسط تکتونیکی نشان می دهند. این زیرحوضه‌ها در مسیر راندگی‌های اصلی F_1 ، F_2 و F_3 واقع شده اند و تاییدی بر فعال بودن این گسل‌ها و فراخواست سریع جبهه‌های کوهستان می باشند.

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf):

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان از توان بالایی برای شناسایی مناطق با فعالیت تکتونیکی برخوردار می باشد (کلر و پینتر، ۱۹۹۶: ۲۰۵) این شاخص از رابطه (۶) محاسبه می شود (بال و مک فادن، ۱۹۷۷^۴ و ۱۹۷۸^۵).

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه Smf شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان، Lmf طول پیشانی کوهستان در محل اتصال کوهستان در امتداد پایه کوه و Ls طول خط مستقیم پیشانی کوهستان می باشد. بر اساس تقسیم بندی همدونی و همکاران (۲۰۰۸) مقادیر Smf که دارای ارزش عددی بیشتر از ۱٫۱ هستند در کلاس یک و مقادیری که بین ۱٫۱ تا ۱٫۵ هستند، کلاس دو

^۱. Keller

^۲. Burbank and Anderson

^۳. Ramírez-Herrera

^۴. Bull and McFadden

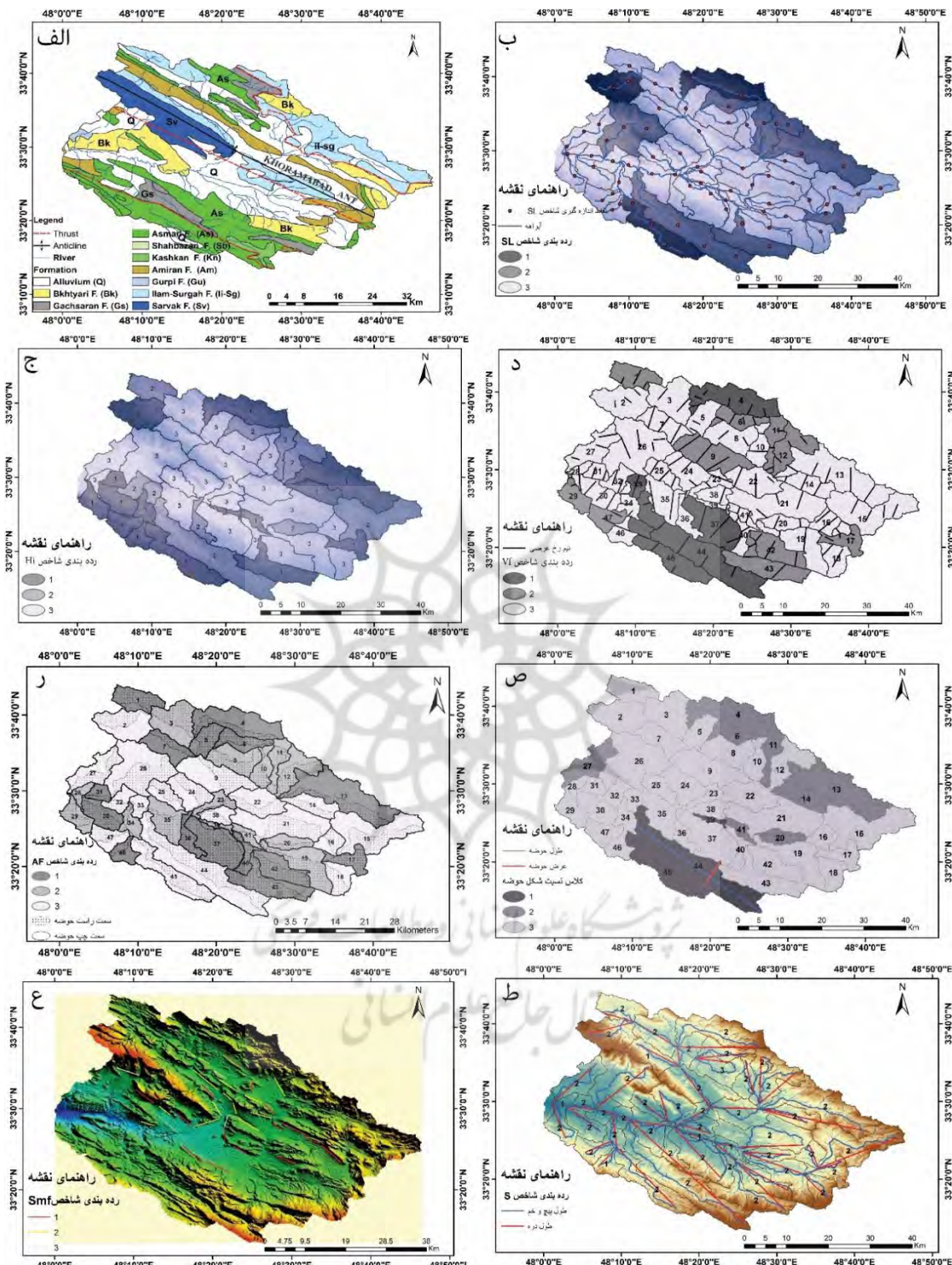
^۵. Bull

و مقادیری که از ۱,۵ بیشتر باشند در کلاس سه واقع می شوند. شکل (۲ ع) موقعیت مناطقی که Smf اندازه گیری شده و میزان فعالیت تکتونیک آنها را نشان می دهد. این شاخص در ۱۱ زیر حوضه، فعالیت بالا و در ۸ زیر حوضه، فعالیت تکتونیک متوسط نشان می دهد. در پای این جبهه‌های کوهستان، رسوبات کواترنری نهشته شده اند و شواهدی از قبیل مخروط افکنه‌های دگرشکل شده، حفاری عمیق آبراهه و گاه‌جا‌جایی در مسیر آبراهه مشاهده شده است که تاییدی بر فعالیت تکتونیک در این مناطق می باشد. در برخی مناطق بخاطر فرسایش ناشی از شرایط لیتولوژیکی در سازندهای نرم از قبیل گچساران و گورپی و یا فرسایش و حضور رسوبات آبرفتی، اندازه‌گیری این شاخص در برخی زیرحوضه‌ها امکانپذیر نبود. شکل‌های (۶ ب و ج)، دو مورد از مشاهدات میدانی پیشانی کوهستان را نشان می دهند.

۷,۱. شاخص پیچ و خم رودخانه (S)

تغییر در شیب بستر رودخانه تحت تاثیر فعالیت های تکتونیک، رابطه‌ی مستقیمی با میزان پیچ و خم رودخانه دارد. بنابراین هرچه مقادیر عددی بدست آمده از این شاخص بیشتر باشد، حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است و هرچه کمتر باشد، بر فعال بودن تکتونیک در منطقه دلالت می کند. برای ارزیابی شاخص پیچ و خم رودخانه از رابطه (۷) استفاده می شود (بال، ۱۹۷۸):

در این فرمول: S میزان سینوسیته یا پیچ و خم رودخانه، C طول رودخانه و V طول دره را نشان می دهد. مقدار شاخص پیچ و خم رودخانه در ۴۷ زیرحوضه تغییراتی از ۱,۱ تا ۱,۶ نشان می دهند که حاکی از وجود تکتونیک فعال تا متوسط در منطقه مورد مطالعه می باشد. این پارامترها در شکل (۲ ط) نشان داده شده اند. بر اساس مقادیر محاسبه شده از این شاخص، ۵ زیرحوضه فعالیت بالا و ۴۱ زیرحوضه فعالیت متوسط تکتونیک نشان می دهند. مماندری بودن رودخانه و آبراهه‌های موجود در دره‌های عمیق نیز تاییدی بر حرکات تکتونیک در حوضه می باشد.



شکل ۲: الف) نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه ب) ارزیابی شاخص گرادیان طولی رودخانه. ج) ارزیابی شاخص انتگرال هیپسومتری. د) ارزیابی شاخص نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره ر) ارزیابی شاخص عدم تقارن حوضه. ص) پارامترهای اندازه گیری شده شاخص نسبت شکل حوضه. ع) پارامترهای اندازه گیری شده شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان. ط) ارزیابی شاخص پیچ و خم رودخانه در حوضه خرم آباد.

محاسبه و تحلیل بعد فرکتال

کاربردی ترین روش آنالیز تحلیل فرکتالی، روش مربع شمار می باشد که در تحلیل گسل ها و شکستگی ها توسط

زمین شناسان مورد استفاده قرار گرفته است (اکوبو و آکی،^۱ ۱۹۸۷؛ هیراتا،^۲ ۱۹۸۹؛ ایدزیاک و تمپر،^۳ ۱۹۹۶؛ سوکمون و همکاران،^۴ ۱۹۹۶، ۱۹۹۷؛ آنگولو و همکاران،^۵ ۱۹۹۸). از آنجا که توزیع فرکتالی خطواره ها و شکستگی ها بیانگر نحوه فعالیت های تکتونیکی و چگونگی گسترش آن می باشد (تورکات،^۶ ۱۹۹۲) این ویژگی در این پژوهش مورد توجه قرار گرفت. اساس روش فرکتال محاسبه ابعاد فرکتالی عناصر هندسی است. معادله کلی محاسبه ابعاد فرکتالی به صورت رابطه (۸) می باشد:

$$N_n = C/r_n^D \quad \text{رابطه (۸)}$$

N_n تعداد متغیرهای معلوم در پدیده، مورد مطالعه، r_n بعد خطی ویژه، C عدد ثابت و D بعد فرکتالی می باشد. تحلیل نهایی بر اساس نمودار $\log - \log$ حاصل از تعداد مربع های حاوی ساختار خطواره (N_n) بر حسب طول ضلع مربع به کار گرفته شده (r_n) یا عکس آن ($1/r_n$) صورت گرفته است. برای بدست آوردن بعد فرکتالی از رابطه (۹) استفاده می شود:

$$\log(N_n) = a + D \log(1/r_n) \quad \text{رابطه (۹)}$$

D ضریب خط بدست آمده از نمودار می باشد که بعد فرکتالی را نشان می دهد. برای تحلیل فرکتالی خطواره های گسلی ابتدا تصحیحات هندسی و تکنیک های بارزسازی بر روی تصاویر لندست ۸ در منطقه مورد مطالعه انجام شد و سپس خطواره ها به روش خودکار و دستی (با توجه به تغییر شکل های سطحی همچون قطع شدگی، جدایش و انحنا در ساختارها) استخراج شدند. خطواره های بدست آمده با استفاده از نقشه های زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای منطقه تصحیح شدند. نقشه تهیه شده از شبکه خطواره های گسلی فعال در منطقه مورد مطالعه به ۶ مربع با ابعاد ۲۳،۹ کیلومتر تقسیم گردید (شکل ۳). برای هر یک از این مربع ها به طور جداگانه بعد فرکتالی محاسبه شده است. جدول (۱) ابعاد مربع ها (r) و تعداد مربع هایی که حاوی خطواره هستند (N) را نشان می دهد. بر اساس نمودار های $\log - \log$ رسم شده برای هر مربع بعدهای فرکتالی محاسبه شده است (شکل ۴). این نمودارها ابعاد فرکتالی را در هر پهنه به صورت زیر نشان می دهند:

$$D_1 = 1.6258, D_2 = 1.7806, D_3 = 1.764, D_4 = 1.755, D_5 = 1.8264, D_6 = 1.6857$$

با توجه به نتایج حاصل از ابعاد فرکتالی، پهنه های N_1 و N_5 به ترتیب بیشترین و کمترین فعالیت خطواره های گسلی را نشان می دهند. بر این اساس نواحی با فعالیت تکتونیکی بالا در قسمت های شمال - شمال شرق و جنوب - جنوب غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده اند.

¹. Okubo and Aki

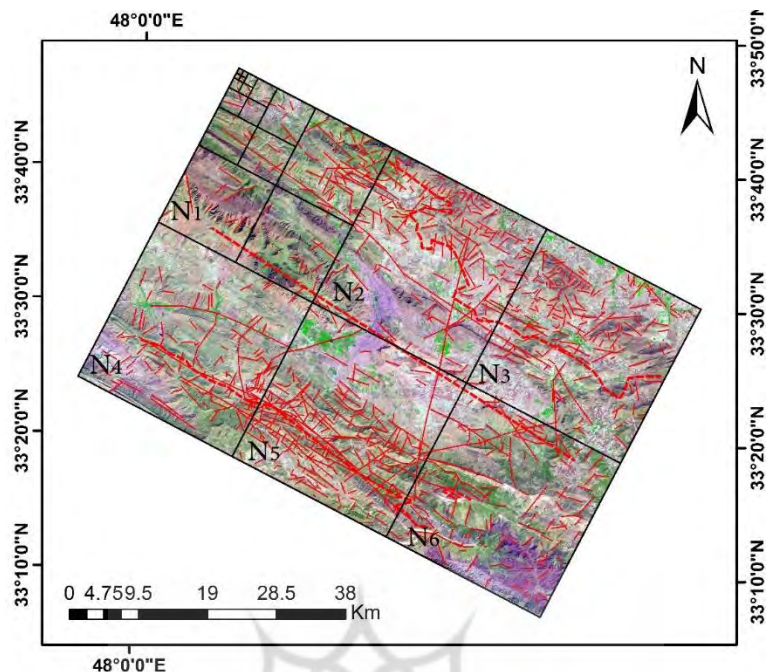
². Hirata

³. Idziak and Temper

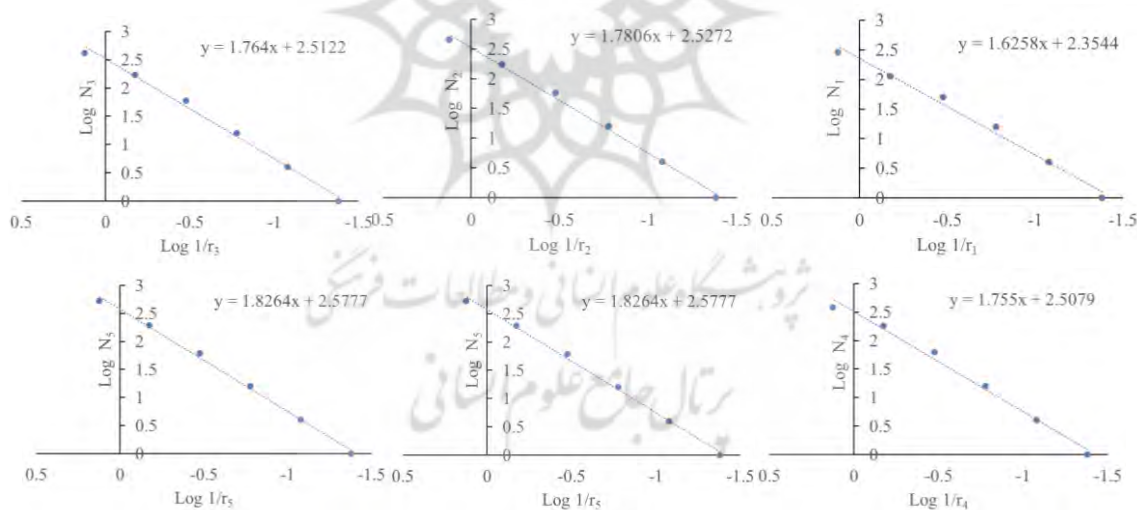
⁴. Suk Moon et al.

⁵. Angulo- Brown et al.

⁶. Turcotte



شکل ۳: نقشه خطواره های گسلی نهایی و پهنه بندی منطقه مورد مطالعه (N۱ تا N۶) بر روی تصویر ترکیبی ۷۵۲ لندست ۸.



شکل ۴: نمودارهای Log N-Log 1/r ترسیم شده برای محاسبه ابعاد فرکتالی ۶ پهنه مورد مطالعه.

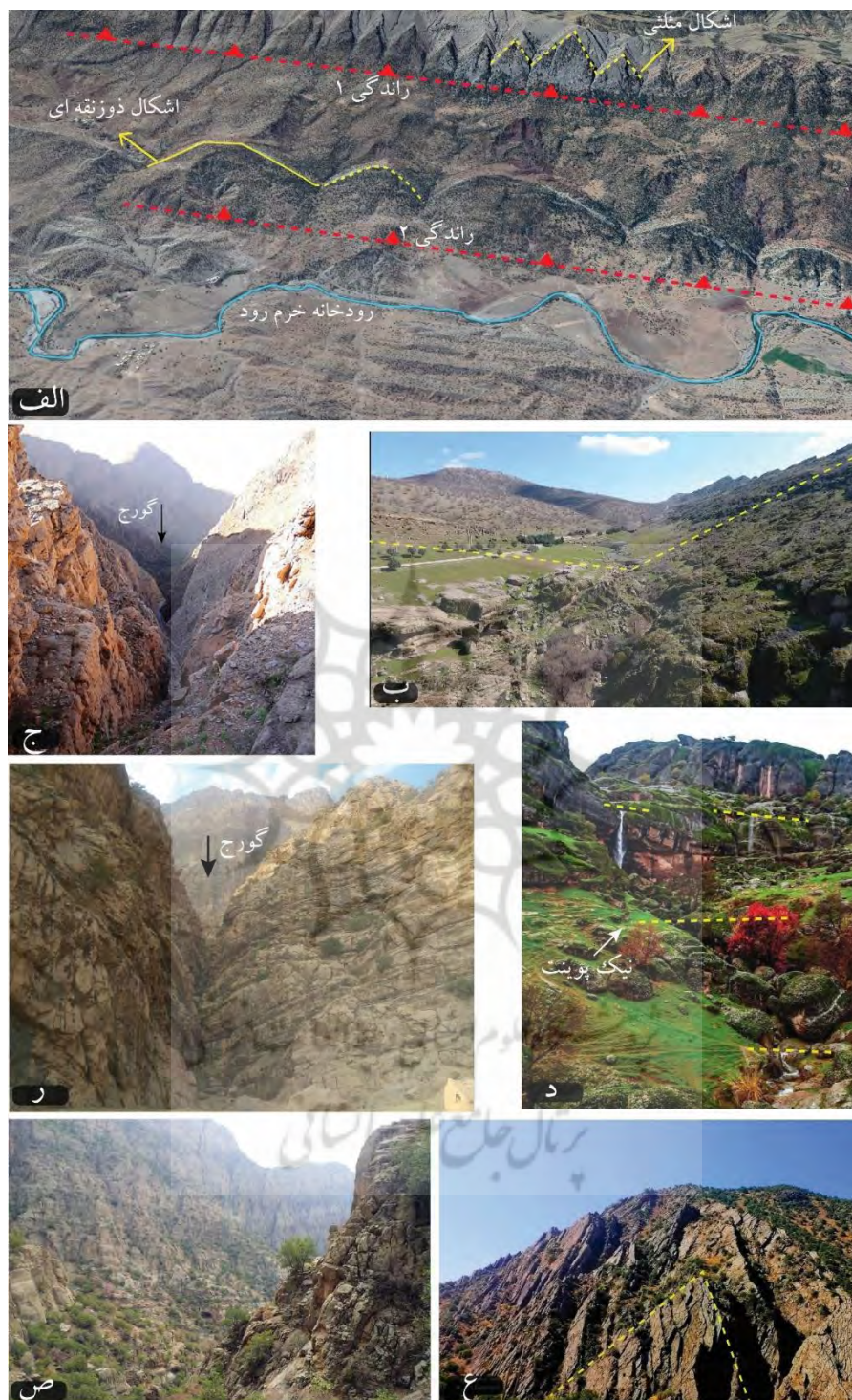
جدول ۱: ابعاد مربع ها (rn) و تعداد مربع هایی که حاوی خطواره هستند (N) در ۶ پهنه مورد مطالعه.

$r_n(\text{km})$	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6
23.94	1	1	1	1	1	1
11.97	4	4	4	4	4	4
5.985	16	16	16	16	16	16
2.992	50	58	60	63	61	50
1.496	113	176	172	182	194	143
0.748	286	451	419	384	526	332

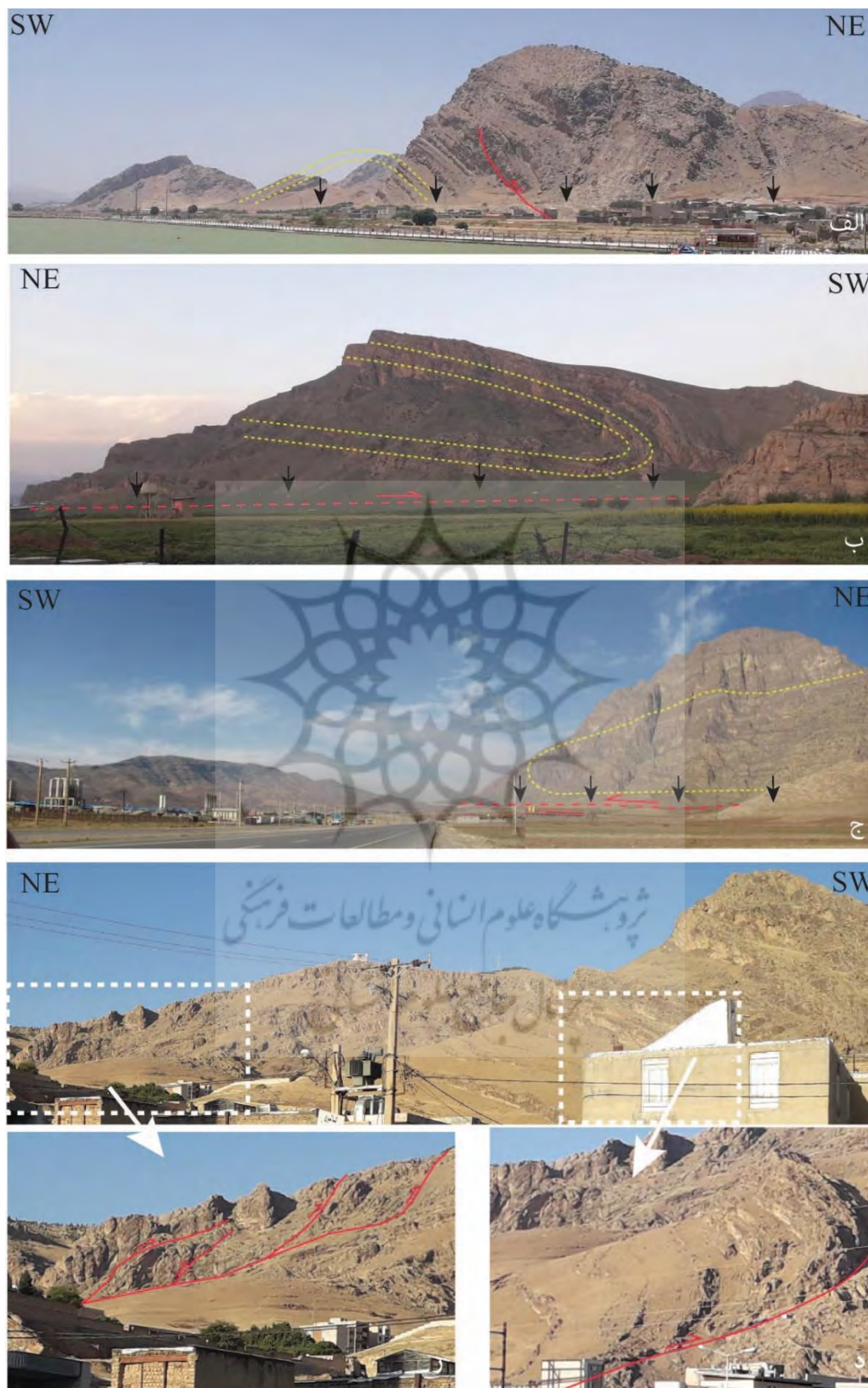
شواهد صحرائی

مشاهدات صحرائی نشان دهنده شواهد تکتونیک فعال در گستره مورد مطالعه می باشد، که بر نتایج به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک منطبق می باشند. وجود آبشارهای پلکانی در کوه‌های مخملکوه نشان دهنده نیک پوینت‌های رودخانه ای در محل عبور گسل می باشد (شکل ۵ د). شواهدی نظیر دره‌های V شکل عمیق (شکل ۵ ص)، گورج (شکل‌های ۵ ج، ر)، اشکال مثلثی و دوزنقه ای (۵ الف، ع)، نیک پوینت‌ها (شکل ۵ د) دره‌های نامتقارن (شکل ۵ ب) و جبهه‌های کوهستان (شکل‌های ۶ ب، ج) از جمله شواهدی هستند که بر اثر فعالیت تکتونیک در منطقه مورد مطالعه شکل گرفته اند. موقعیت مکانی این ساختارهای ژئومورفیک بر روی شکل (۷) نشان داده شده اند. در تاق‌دیس‌های در حال بال‌آمدگی، تکتونیک فعال باعث ایجاد لندفرم‌های خاصی در جبهه کوهستان می شوند (ولز و همکاران، ۱۹۸۸، تپیت و همکاران، ۲۰۰۹). با گذشت زمان این لندفرم‌ها دچار تغییرات می شوند (والاس، ۱۹۷۸). اشکال دوزنقه‌ای جوان اندکی پس از عملکرد گسل شکل می‌گیرند که با گذشت زمان و تاثیر فرسایش به اشکال مثلثی شکل تبدیل می‌شوند (تپه و سزبیلیر، ۲۰۱۷)^۱ (شکل ۵ الف). بر این اساس، اشکال دوزنقه‌ای که در کنار راندگی ۲ و اشکال مثلثی که در کنار راندگی ۱ شکل گرفته اند دلالت بر جوانتر بودن راندگی ۲ دارد. در راندگی ۱ اشکال مثلثی جوانتر به جبهه کوهستان نزدیکتر هستند (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴). این ساختارها نشان می‌دهند در این منطقه، پیشانی کوهستان فعال و در حال فراخاست می باشد. الگوی مئاندری و کج شدگی جانبی شده رودخانه خرم رود در پاسخ به این فراخاست می باشد (شکل ۵ الف). در یال جنوبی تاق‌دیس خرم آباد دو چین خوابیده مشاهده شده است که ناشی از فعالیت‌های راندگی می باشند (شکل‌های ۶ ب و ج). قرارگیری راستای سطح محوری این چین‌ها در راستای روند گسل، بیانگر چین تاقگون فرادیواره ای می باشد که عامل ایجاد کننده آنها گسل راندگی پنهان می باشد. شکل (۶ الف)، تاق‌دیس ملایمی در بخش مرکزی تاق‌دیس خرم آباد نشان می‌دهد، تشکیل این قبیل تاق‌دیس‌ها ناشی از وجود گسل‌هایی است که در سطح تظاهر ندارند و از یک سطح جدایشی میانی منشا گرفته اند. کوتاه شدگی ناشی از چین خوردگی تاق‌دیس خرم آباد یک ساختار فلسی از گسل‌های راندگی و گسل راندگی در یال شمالی تاق‌دیس ایجاد نموده است که در شکل‌های (۶ د، ر) مشاهده می‌شود. براساس شواهد میدانی، وجود ساختارهای راندگی، چین خوردگی‌های مرتبط با راندگی و توپوگرافی مرتفع در منطقه شواهدی بر عملکرد فعال تنش‌های تکتونیک و برخاستگی می باشد.

^۱. Tepe and Sözbilir



شکل ۵: الف) موقعیت اشکال مثلثی، اشکال ذوزنقه‌ای، راندگی‌ها و رودخانه خرم رود بر روی تصویر گوگل ارث. ب) دره‌ای که دیواره‌های راست و چپ نسبت به هم نامتقارن می‌باشند. ج) گورج (تنگ دره) ایجاد شده در مسیر گسل د) نیک پوینت‌های شکل گرفته در مسیر گسل که موجب ایجاد آبشارهایی در این محل شده است. ر) گورج (تنگ دره) ایجاد شده در مسیر گسل ع) اشکال مثلثی شکل. ص) دره V شکل عمیق



شکل ۶: تصاویری از ساختارهای مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه. الف) تصویر تاقدیس مرتبط با گسل در سازند سروک. ب) و ج) تصاویر تاقدیس های خوابیده مرتبط با گسل های کور. د، ر) تصاویر راندگی و ساختار فلسی شکل. پیکانهای مشکی رنگ به پیشانی کوهستان اشاره می کنند.

بحث

شناسایی مناطق دارای پتانسیل خطر زمین لرزه همواره از دغدغه‌های اصلی زمین‌شناسان بوده است و محققان با روش‌های گوناگون آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند. دوره بازگشت طولانی بسیاری از زمین لرزه‌های بزرگ، امکان وجود حرکات خزشی در محل گسل‌های فعال که با زمین لرزه‌های شدید توأم نیستند و همچنین دوره زمانی کوتاه مدت ثبت زمین لرزه‌های دستگاهی سبب شده است اطلاعات حاصل از ثبت زمین لرزه‌ها دید کاملی از تکنیک فعال مناطق را ارائه ندهد. با توجه به کمبود شدید اطلاعات لرزه‌شناسی دستگاهی و تاریخی در مناطق مختلف کشورمان و همچنین دوره بازگشت طولانی بسیاری از زمین لرزه‌های بزرگ، استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در شناسایی مناطق مختلف ضروری می‌نماید (سلیمانی، ۱۳۷۸). شواهد ژئومورفولوژیکی که فعالیت‌های طولانی مدت پوسته زمین را در خود ثبت می‌کنند، در شناسایی وضعیت تکتونیکی و ارزیابی مناطق لرزه خیز ابزار مفیدی به شمار می‌آیند.

کوهزاد زاگرس با طول تقریبی ۱۵۰۰ کیلومتر، به عنوان بخشی از سیستم کوهزایی آلپ-همالیایا، دگرشکلی پوسته ای فعال گسترده همراه با فعالیت لرزه‌ای شدیدی را در جهت جغرافیایی شمال غرب-جنوب شرق نشان می‌دهد (گوربوز و سائین، ۲۰۱۸). این کمربند با نرخ همگرایی 2 ± 22 mm/a در جهت $5^{\circ} \text{E} \pm 8^{\circ} \text{N}$ (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴)^۲ هنوز هم یک مرز همگرایی فعال محسوب می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۴^۳; ریگارد و همکاران، ۲۰۰۴^۴; تالبیان و جکسون، ۲۰۰۴^۵; تاتار، ۲۰۰۴^۶; ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴). هندسه و تحول جنبشی ساختارها در کمربند چین خورده-رانده زاگرس، به علت موقعیت خاص تکتونیکی، تنوع در رخساره‌های رسوبی و ضخامت لایه‌ها و سبک‌های چین خوردگی، الگوی خاصی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی را نشان می‌دهد و به وسیله گسل‌های رانده‌گی کنترل می‌شوند که غالباً کور هستند (بربریان، ۱۹۹۵)^۷ و در سطح زمین تظاهر ندارند. به همین دلیل در زیر پهنه لرستان، عدم انطباق برخی تغییر شکل‌های سطحی با گسل‌های رخنمون یافته در سطح مشاهده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه گسل‌های رانده‌گی در بعضی نقاط در سطح زمین رخنمون دارند (شکل ۶) و به همراه گسل‌های کور که رخنمون سطحی ندارند، در طول کوآترنر نقش مهمی را در ساختار ژئومورفولوژی منطقه ایفا کرده‌اند؛ به طوری که آثار این فعالیت‌ها بر روی ویژگی‌های سیستم رودخانه‌ای و حوضه زهکشی دیده می‌شود. در این پژوهش ژئومورفولوژی تکتونیکی حوضه رودخانه خرم رود با استفاده از شاخص‌های کمی ژئومورفیک در ۴۷ زیر حوضه، مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از این محاسبات، بر اساس شاخص فعالیت تکتونیکی نسبی (Iat) در چهار کلاس فعالیت تکتونیکی خیلی فعال، فعال، متوسط و کم بررسی شده و نقشه پهنه بندی حوضه تهیه شده است (شکل ۷). این نتایج بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی خیلی فعال تا فعال در نواحی شمال-شمال شرق و جنوب-جنوب غربی منطقه مورد مطالعه و فعالیت متوسط در برخی از زیرحوضه‌ها می‌باشند که بر محدوده رانده‌گی‌های اصلی انطباق نشان می‌دهند. بر اساس این نتایج قسمت‌های شمال شرقی تاقدیس مرتبط با رانده‌گی خرم آباد فعالیت تکتونیکی کمی نشان می‌دهند که می‌تواند به دلیل قرار گرفتن در زیر رسوبات آبرفتی و تاثیر فرسایش باشد.

از آنجا که دگرریختی‌ها و زمین لرزه‌های حاصل از فعالیت‌های تکتونیکی مرتبط با گسل‌های زیر سطحی هستند (یساقی، ۲۰۰۶)، با تشخیص خطواره‌های گسلی که می‌توان فعالیت‌های ناشی از حرکات عمقی گسل‌های زیر سطحی را

1. Gürbüz and Saein

2. Vernant et al.

3. Allen et al.

4. Regard et al.

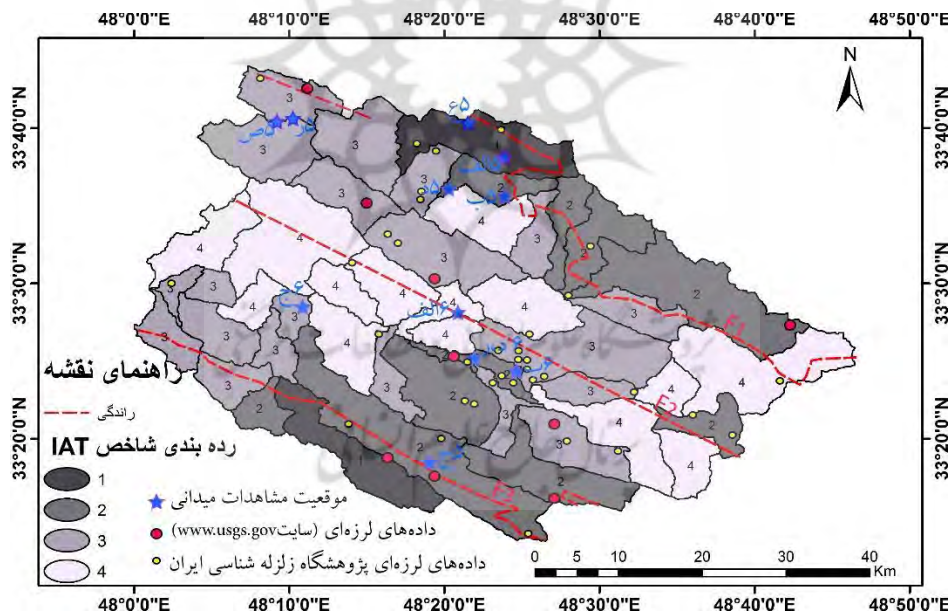
5. Talebian and Jackson

6. Tatar et al.

7. Berberian

در سطح زمین پی جویی نمود. در محدوده ای که خطواره های گسلی تراکم بیشتری دارند، مناطق فعالتر هستند و از نظر لرزه خیزی جزو نواحی پرخطر لرزه ای محسوب می شوند. استفاده از روش های فرکتالی در مطالعه خطواره های گسلی این امکان را فراهم می کند که بین نتایج بدست آمده از شاخص های ژئومورفیک و خطواره های گسلی فعال یک ارتباط منطقی برقرار نمود و با نتایج حاصل از ترسیم نمودارهای ابعاد فرکتالی، تغییرات ساختاری زمین شناختی و فعالیت های تکتونیک را مورد مقایسه قرار داد. بر پایه محاسبات ابعاد فرکتالی انجام شده در محدوده مورد مطالعه، میزان بعد فرکتالی در پهنه های N_2 و N_5 بیشترین مقدار را نشان می دهد که منطبق با مناطق دارای تراکم خطواره های گسلی است و بیانگر فعالیت تکتونیک بالایی این دو پهنه می باشد (شکل ۳). نواحی فعال تکتونیک در روش های تعیین فعالیت تکتونیک نسبی (Iat) و تحلیل الگوی فرکتالی حاکم بر منطقه مورد مطالعه با یکدیگر همپوشانی نشان می دهند. با توجه به نتایج نهایی حاصل از این مطالعات، نواحی شمال-شمال شرق و جنوب-جنوب غرب حوضه فعالیت تکتونیک بالایی نشان می دهند و احتمال لرزه خیزی در آنها بالاست.

در ارزیابی فعالیت تکتونیک منطقه با گردآوری داده های زمین لرزه ای تاریخی و دستگاهی در حوضه خرم آباد و ترسیم پراکنش کانون سطحی زمین لرزه های دستگاهی (شکل ۷) مشخص شد که در پیرامون گسل های منطقه قرار دارند. بزرگی زمین لرزه ها از سده بیستم تا کنون، مابین ۲٫۲ تا ۵ ریشتر ثبت شده است که در عمق صفر تا ۶۷ کیلومتری رخ داده اند و تاییدی بر تحلیل تکتونیک فعال در این پژوهش می باشد.



شکل ۷: نقشه پهنه بندی نهایی حاصل از شاخص های کمی ژئومورفیک در منطقه مورد مطالعه. موقعیت داده های لرزه ای و مشاهدات میدانی لندفرم های فعال بر روی شکل مشخص شده است. بزرگی داده های لرزه ای از ۲٫۲ تا ۵ ریشتر متغیر می باشند.

نتیجه گیری

با محاسبه شاخص های ژئومورفیک Sf ، Af ، S ، Smf ، Hi ، Bs و Vf در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نرخ تکتونیک فعال در حوضه خرم آباد بررسی شد. با توجه به مقادیر شاخص های محاسبه شده، شاخص نسبی تکتونیک فعال (Iat) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج کلی حاصل از شاخص Iat، نشانگر فعالیت تکتونیک خیلی فعال تا فعال در

شمال-شمال شرق و جنوب-جنوب غرب منطقه مورد مطالعه می باشد. استفاده توأم تفسیر خطواره های گسلی بر روی تصاویر لندست و بررسی فعالیت‌های تئوتکتونیکی با استفاده از شاخص های ژئومورفیک زمینه مناسبی را برای شناسایی نواحی فعال و پرخطر لرزه ای فراهم می سازد. تحلیل فرکتالی خطوره های گسلی در ۶ پهنه نشان می‌دهد، پهنه های N_2 و N_5 با میزان بعد فرکتالی ۱,۷۸۰۶ و ۱,۸۲۶۴ حداکثر فعالیت و تراکم خطواره ها را دارا می باشند. نتایج بدست آمده، تحلیل شکل‌سنجی تکتونیک فعال در حوضه خرم آباد را تأیید می‌کنند و نشان می دهند نواحی شمال-شمال شرق و جنوب-جنوب غرب محدوده مورد مطالعه از فعالیت تکتونیکی بالایی برخوردارند. سیمای کلی منطقه تا حد زیادی ناشی از فعالیت سه راندگی بزرگ با روند شمال غربی- جنوب شرقی می باشد. این شواهد به همراه لندفرم‌های فعال و زمین‌لرزه‌های ثبت شده (شکل ۷) در امتداد گسل‌های منطقه مورد مطالعه همگی حاکی از تکتونیک فعال بوده که اهمیت توجه و مطالعه بیشتر را نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۹۷۴۰۳۱۳۳۶۹۸ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه لرستان انجام شده است. از دانشگاه لرستان بابت حمایت مالی تشکر و قدردانی می شود.

منابع

- انصاری لاری، ا.، ثروتی، م.، رعیتی، ز.، ۱۳۹۰. بررسی ژئومورفولوژی طاق‌دیس طاهونه، لرستان، مجله جغرافیای طبیعی، دوره ۴، شماره ۴، صص ۷۳-۸۶.
- بهرامی، ش.، مقصودی، م.، بهرامی، ک.، ۱۳۹۰. بررسی نقش تکتونیک در زناهنجاری مورفومتری شبکه زهکشی در چهار حوضه آبخیز در زاگرس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴۳، صص ۷۰-۵۱.
- بیاتی خطیبی، م.، ۱۳۸۸. تشخیص فعالیت های تئوتکتونیکی در حوضه‌ی آبریز قرنق‌چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، فضای جغرافیایی، دوره ۹، شماره ۵۵، صص ۵۰-۲۵.
- خیام، م.، مختاری کشکی، د.، ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها (مورد نمونه: مخروط افکنه های دامنه شمالی میشوداغ)، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، صص ۱۰-۱.
- درویش زاده، ع.، محمدی، م.، ۱۳۸۴، زمین شناسی ایران (رشته جغرافیا)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- رامشت، م.، آراء، ه.، شایان، س.، یمانی، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی دقت و صحت شاخص های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده های ژئودینامیکی، مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۲، صص ۵۲-۳۵.
- سلیمانی، ش.، ۱۳۷۸، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی، چاپ اول، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- سیف، ع.، خسروی ق.، ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطق فارس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴۲، صص ۱۴۶-۱۲۵.

- عباسی، ث.، یساقی، ع.، ۱۳۹۰. استفاده از تصاویر لندست و داده‌های زمین مغناطیسی در شناسایی خطواره‌های گسلی و تحلیل خاستگاه آنها در ناحیه لرستان، زاگرس چین‌خورده. سنجش از دور و II ایران، شماره ۱، صص ۱۹-۳۳.
- علایی‌طالقانی، م.، ۱۳۸۶، ژئومورفولوژی ایران، چاپ چهارم، انتشارات قومس، تهران.
- غلامی، ا.، موسوی، م.، ۱۳۹۷. بررسی بالآمدگی تکتونیک در کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرجند (خراسان جنوبی) با استفاده از شواهد ریخت زمین‌ساختی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۱۹۵-۱۸۱.
- منصوری، ر.، صفاری، ا.، ۱۳۹۴. تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوض آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره ۲۴، صص ۹۳-۱۰۵.
- میرجلیلی، م.، قائمی، ف.، رحیمی، ب.، مشرفی‌فر، م.، غلامزاده، م.، ۱۳۹۸. ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی منطقه خاوری شهر یزد، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، شماره ۱۱۱، صص ۲۷۰-۲۵۷.
- نگهبان، م.، خطیب، م.، ۱۳۸۴. بررسی تکتونیک فعال به روش تراکم سنجی آبراهه‌ها در اطراف گسل نصرت آباد (خاور ایران)، بیست و دومین همایش زمین‌شناسی، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- یمانی، م.، باقری، س.، جعفری‌اقدام، م.، ۱۳۸۹. تأثیر نوزمین‌ساخت در مورفولوژی آبراهه‌های حوضه آبریز چله (زاگرس غربی) مجله محیط جغرافیایی، شماره ۱، صص ۸۲-۶۷.
- یمانی، م.، کامرانی دلیر، ح.، باقری، س.، ۱۳۹۲. مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نوزمین‌ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۹، صص ۱-۲۶.
- bnnnn,,, aakkson, .., Warrrrr, R., 2004. .. C.. oz. roo.. anzzaooa o hle Arabaa-Eurasaa oossswcn and. e.oopp .sson ohhhhart..... . d oang-ddddddd.. ooa .a.... Tccoan,,, 33(2tt
- frloo dt1116-ankk9PgK., TTTAgunn, R.n & hhrP 0 hhh ffff .. pgggi ul oEE n. nl ooof rr 4222))) , bwww- Tec99n . ed aandsaap nnhh rr oo unaanis and Eg Rttt (EasGGGaa n and N. Czcz Rppub))), Rooo Snns, 6, . p. 7971-8001.
- Anguoorr ow. , F., Rarrrr zz-A rpp vr a., Typp... E., Rudeuu. 88r. o, A., pl. . 7-aaaarrrrrr.C... n 8888. h ,, oooooou & ddddddttt FF 0 vut r qpn,, iiiuuu kooooppg ln ii T p. 99 33.
- &fff plddd i9 ote r gttt f i ggrsnm i ii und k t trr , 9()99ld: .aeeee ebRsee n oooooaaacld suraæethh h , IIII I hhhhhAw 04 l t le .l 31444.
- BrrFFF nP r 5LLld h. n hrdi uuu trrr yl (R, 201p(59-n....aa... n o goooo rSh sggiaur a..... .ooooo nn... Wssdddddrr Warrrrhdd, Kashrrr ii aa acaas: iii ng Rooo Snnsng and II S. InnnnnooooJJburnaooooo aa ssss and ooo snnniees, 4(1), p.164.
- B ou ,, nn nZni , 0... i uo rS li i oTcco n o oo oooooo ooooo pp nn77h: ~ mn
- r mnbnrf S odhhh lddd r nn hl r77. Appdeh r,, Y. P g,, , uuY. d , ZZ2 ...)) nn i tt i uuuu ooo ooh. nnn oo , . r7() 9 nn 7... nggoos, FProceednign .. m V, .. nn g. nn . e .s., 4 TTpp ottt rl tlll ppo t, 0p. 15-137-
- B W.B., 19nT& 00. llldrrrrrrrrru ... o-thh sAuuu J. t iippi . . u nl nn u TULt:- aooooaa t-- snnnie6ppp a. nnnn nn nnnnnnn Arzzona.
- Chnng, W., Wang, N., hhao, M., T &u 6pttt llll llll l rno lddd ..zrr h Lx r i o hnnnm oo trnrhtS e7)). ..o EEM-d o TT . g. deeeee e F& TT g Ta i r rnn co Rwy n.nTi .nrn.
- , oggR.T., . 9or F 97 rn AAm. nge-(asnnsmmm s). -ra. dd hhhPqqie ,, dhn raas o., No . uuXASSSSr tttt-boannoooo : nlt nmp nn hle sss sis(ppp E33 ae ee n..)) oo-aad Soyuyyo5A ui nnnnnm-.5), pp. 7opol d
- rrr bo o5g ,, -Pou eeraa 2,, ,, Araas, ,, aa n, A.A., oo ,, ukk , uuIT000 o r 0.i uu d aadlll lrs n Wee, ttt . 00 dd eei n sr rrsnn pin h sg c oo n hh hl . op(oy, pp.329 37-p

- Rüdggrr, ,,, Fodor, ,,, oo rááhh E., Tbbbsz, T. 2009. ii snnnnnmooa o uuuaa oaaa and noooooo aatur nn a oow h ndsaape: A EEM-b. sdd oo rphooooo anaiiii s. nn hle Cnnrra... annonaa . asnn Hungary. ooo oo rphology, 104(4), pp.203-217.
- Sarp, .. and uu zgun, S., 2015. oo rpho..... .. auuaooa o hh Aşşın-Ebbşaan ggğ basnn. sn n eern d s iii aa n an 's s iis s o EE dddddddrd E Tureey. ourna. o Asaan Earh hnnnn ee. 11, . p.819-826.
- Sarp, .. and üü z. ün, Ş., 2012. Spaaaa anaiiii s o .. rpho diees: hh aas of Bouu. ull- apar basnn wrrrrrr sccooa o..NorhhAnaoaaa Fa. S..... .. ureey. ooo dnmaaaa Aaaa . 5.2), pp.86-95.
- Shhu,, S.A., 1986. Auuaad rrrrrrrs. ons ooaeeeeooooo.... Aeereeooooo p.80-...
- SaaaaP... , oo y, J,,, aazo, .. . Barda .. , 2. 03. Fa. tt-gnaaaadddoo unaa. rronss nn souhlaast Spannt goomorphooğ assssnnn o ooooo and s yyyyyyyoo oo rphooğy, . 0(3), pp.203-2. 5.
- Shaaaa S... nnuro, ,,, de aao ,,, .. F., oooaizy, J., . 005. chnnn foddng nhhh Cnnrra and Easnnaagros .. dd-bttt (Ir. n): sa oo bttty, uu ttp daadhnnn ss . nd .. bas... n oonrr.. ournaooSŞnuuura ooo oğy, 27(9), pp.1680-1696.
- Suooo no, S., nnn, TTT, Kadir; W... A., nnn draaaaa, ,,, Sanoao, .. , uu bios, J., 1996. Fratt a ooo hle Suaa rra Aiii ee Fautt S nd sssee odynaaaaa Impaaaaoos, .. ooo dnn. 22 1-9.
- Sockknnn .. , 1968. Sruuuural hssoor and ooooo o Iran: a rvvwwAAP bunnnnnd2(7) pp.1229-1258.
- Tabbbuan, and aakkson, raapprassa o aarhquae oaaa ccc cccss e e sHbrnnmrg nhhh aagros oo unaans o Iran. ooo phaaaaadourna Innnnnnooaa., 156(3), pp.506-....
- Taaa; ,,, aa zzzddd.. and Ghaoo-y-Ashaaay, ,,, 2004. Tccoan o hle Cnnrra aagros (Iran) dddueed rro rrrr oarhquae sccccccccc ooo phaaaaadourna Innnnnnooaa., 156(2), pp.255-....
- Tpp., Ç. and Sözbrrrr.. , 2017. Tccoan geooo rphology o th Kaaa pKşa Basnnand surroundng horsss, souhhweeeen par o hh ddd zaaa bnn, Weeeen Anaocaaa ooo dnmaaaaaaa 29(1), pp. 70-....
- Troaan F, aa ,,, .. P., aaaaaSaaa ,,, Paæennnn .. , Saeel .. , 2222. Corraaooa bwwaen SL-nlxx anoaa ssss and soq fauuu nn aeereeoo unaann bssss In 66hh oonn ooo oo rphooğaad nnnnnm "oo rphovvooa oeeeoaaaa aeereebssss.
- Tuoo, ,,, .. ,,, 1992. Fraaads and Chaos nn ooo oğy and ooo phssssss Cabb rdğe unieersyyy Crsss, 398 p.
- Turowsk .. ,,, aagu, .. , oo uuu, N., 2009. Rpppons o bddrokk hmann wdhh oo oooooo c oönnng: Insgğss rro a nuee raaa oo d,, thooaaaaaooonsddaaooos, . nd omparsson whhhdddd . aaa JournaooGöphaaaaaRaaaarhh: EarhhSuræe, 114(F3).
- Topa S., KrrrrrE., Bu,,, A., Koyyğğ A., 2016. Tccoan geooo rphooğ o a aarğe noraa aautt: Ahhhhr ad SW Tureey. ooo oo rphooğy, 259, pp.55-99.
- Topa S., 2019. Eaa.u. ooa ofraaa a..... . long hh Pr... e-Saz Fau (Söee Basnn souhhw Anaocaa: Insgğts rro goooo rph nrdssss and dranng. anaiiii s. ourna of oo unaannSeeenee, 16(4), pp.909-923.
- Vnnran P., Nooooushan, F, aa .. dddd.. , Abbass RRR, Vgggy, C., aa .. on, F, Nanka .. , aa rnnod, .. , Ashaaa., A., Bayrr,.R...Taaaoo F., 2004. Prnnnt-da uuuua dooosaa ooa and paæe nnuuaa ssss nn hh dddd Eas oonsrrannd b .. S aaa sureee nss nn Iran an. norhhnnn aaa n. ooo phaaaaaaur. Ilnnnnnnooaa.. 157(1), pp.381-398.
- Waaaæe, R. ., 1978. ee o nd raooooochange oaaautt-gnaaaadddrange rronss, norhh-eenrraR Nvvada. .. R SS ee o Surv, 6(5), pp.637-650.
- Wlls, S... , Buaand. T.F, Mnng C.,,, aae, P.. , Karas, P.A., . oooa, K.I., Rtttrr, ... , Wll nrg, .. R., 198. . Rggoo a aarawoa. nnooooo goooo rphooğy Hbaig a sggnnn dddconeergnnt paa boundar pa asoooooaaR... .. oo rphooğy, 1(3), pp.239-265.
- oooo .. , Konsaannnd E., Kououeeaa, I.K., 2004. Tccoan goooo rphooğ o aaaapnnn ss: .. aas of. Kopp oad and Naa Anchaæos .. usss Bunnnnnn hle ooo oğaaa . oc f rreee, 36(4). pp.. 716-1725.