

تجزیه و تحلیل برخی از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی حوضه شیرین‌رود، کپه‌داغ مرکزی

مریم عزتی^۱، *مریم آق‌آتابای^۲، مصطفی رقیمی^۳ و شعبان شنائی^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک دانشکده علوم دانشگاه گلستان، استادیار دانشکده علوم دانشگاه گلستان،

^۲استاد دانشکده علوم دانشگاه گلستان، ^۴دانشیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۱۸

چکیده

شاخص‌های مورفومتریک برای تعیین سطح فعالیت‌های تکتونیکی مفید هستند و در پروژه‌های تحقیقاتی از این شاخص‌ها برای به دست‌آوردن جزئیات تکتونیک فعال استفاده می‌شود. در این پژوهش، برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی، نظیر فاکتور عدم تقارن AF، طول - شیب رودخانه SL، نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره Vf، فاکتور عدم تقارن توپوگرافی T و شاخص شکل حوضه Bs محاسبه گردید. هدف از این پژوهش تفکیک مناطق فعال تکتونیکی از مناطق با فعالیت کم‌تر می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های مورفومتریک از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی در محیط GIS و Global mapper استفاده شد. میزان شاخص AF حوضه اصلی ۱۷،۲۰ به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی کج‌شدگی زیاد آن است. به نظر می‌رسد وجود گسل‌های تراستی و چین‌های مرتبط با آن‌ها در راستای موازی حوضه، باعث کج‌شدگی آن شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان شاخص AF، مربوط به زیر حوضه‌های شرقی و غربی می‌باشد. بالاترین میزان شاخص SL مربوط به محل‌های تقاطع گسل‌ها و شکستگی‌های مزدوجی است که مسیر آبراهه‌ی اصلی را قطع می‌کند. شاخص Vf محاسبه شده نشان می‌دهد که اکثر دره‌ها به‌خصوص در شمال منطقه، اغلب V شکل و عمیق بوده و مرتبط با بالآمدگی تکتونیکی می‌باشد. نکته جالب این تحقیق این است که مقدار شاخص Vf بر خلاف انتظار در محل‌هایی که شاخص SL افزایش پیدا کرده، زیاد است که نشان‌دهنده U شکل بودن دره‌ها در این محل‌هاست. به نظر می‌رسد علت این امر فرسایش بالای سنگ‌ها به علت تقاطع گسل‌های مزدوج، اختلاف فرسایشی سنگ‌ها و نیز عملکرد گسل‌های امتدادلغز باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فعالیت تکتونیکی در منطقه بالا است.

واژه‌های کلیدی: نو زمین‌ساخت، کپه‌داغ مرکزی، شاخص مورفومتریک، حوضه‌ی آبریز

مقدمه

سیستم‌های رودخانه‌ای به مقدار زیادی تحت تأثیر تکتونیک فعال قرار می‌گیرند و به گسل خوردگی و تغییر شکل سطحی ناحیه‌ای حساس هستند. در نتیجه با استفاده از میزان انحراف آن‌ها می‌توان میزان و خصوصیات فعالیت‌های تکتونیکی اخیر را تعیین نمود (Keller and Pinter, 1996:174).

مطالعه کانال‌های رودخانه‌ای و نهشته‌های جابه‌جا شده‌ی آن‌ها به وسیله‌ی گسلش، زمان زمین‌لرزه، مقدار جابه‌جایی و اطلاعات ویژه‌ی را که در ارزیابی خطرات زلزله‌ی آینده مهم می‌باشد، آشکار می‌کند (Ibid: 172). در این تحقیق برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی منطقه از شاخص‌های مورفومتریکی استفاده شده است.

شاخص‌های مورفومتریکی برای شناسایی خصوصیات خاص یک ناحیه، به‌ویژه برای تعیین سطح فعالیت‌های تکتونیکی مفید هستند. این شاخص‌ها برای ارزیابی سریع و کمی تغییر شکل سریع تکتونیکی استفاده می‌شوند و از آن‌ها می‌توان برای به‌دست‌آوردن جزئیات تکتونیک فعال استفاده کرد (Ibid: 121).

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی درباره‌ی کاربرد شاخص‌های مورفومتریکی برای ارزیابی نو زمین‌ساخت مناطق مختلف دنیا و ایران صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۴ وریور و همکاران ریخت‌زمین‌ساخت گسل الیکی را بررسی کردند (Verrior et al., 2004). در سال ۲۰۰۶ آریسکو و همکاران نو زمین‌ساخت و ریخت‌زمین‌ساخت، شمال سیسیلی را بررسی کردند (Arisco et al., 2006) و در سال ۲۰۰۸ استیپنسکووا و همکاران با انجام پژوهشی به بررسی گسترش نو زمین‌ساختی حوضه‌ی زه‌کشی در شرق کوه‌های سادتن، به جابجایی‌های اخیر گسل در «جمهوری چک» پی‌بردند (Stepancikova et al., 2008).

در ایران در سال ۱۳۸۷ خادمی، پژوهشی را درباره محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی پیرامون گسل ترود- جنوب دامغان- انجام داد. در سال ۱۳۸۴ رادفر و پورکرمانی ریخت زمین‌ساخت گسل کوهبنان را بررسی کردند. در سال ۱۳۸۵ وحدتی، دانشمند و قاسمی نو زمین‌ساخت، سپیدرود و دشت‌گیلان را بررسی کردند. خاوری و همکاران در سال ۱۳۸۹ به بررسی نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه‌ی رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران پرداختند. گورابی و نوحه‌گر در سال ۱۳۸۴ پژوهشی درباره بررسی فعالیت تکتونیکی حوضه‌ی آبخیز در که انجام دادند. پیش از محاسبه‌ی شاخص‌های مورفومتریکی در منطقه‌ی مورد مطالعه، سؤالاتی مطرح است که در اینجا به سه مورد اشاره می‌شود: (۱) ارتباط بین الگوی زه‌کشی منطقه و گسل‌های موجود به چه صورت است؟ (۲) فعالیت‌های تکتونیکی چه تأثیری در جهت‌یافتگی

رودخانه‌های منطقه داشته است؟ (۳) آیا با استفاده از شاخص‌های مورفومتری در منطقه مورد مطالعه می‌توان مناطق فعال را از مناطق با فعالیت کمتر تفکیک کرد؟ در این پژوهش سعی شده است با بررسی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی به سؤالات مطرح شده، پاسخ داده شود. همچنین در این پژوهش فرضیاتی نیز در نظر گرفته شد که در این قسمت به دو مورد اشاره می‌شود: (۱) بین الگوهای زه‌کشی و گسل‌های موجود در منطقه رابطه تنگاتنگی وجود دارد. (۲) با استفاده از شاخص‌های مورفومتری می‌توان مناطق فعال را از مناطق با فعالیت کمتر تشخیص داد.

هدف از این پژوهش، بررسی الگوی نو زمین‌ساختی قسمتی از منطقه‌ی کپه‌داغ و تفکیک مناطق فعال تکتونیکی از مناطق با فعالیت کمتر می‌باشد. از آن جا که کپه‌داغ شاهد زمین‌لرزه‌های تاریخی در گذشته و سال‌های اخیر بوده است، بنابراین چنین مطالعه‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه ضروری به نظر می‌رسد و می‌توان مناطق فعال را از مناطق با فعالیت کمتر تفکیک نمود.

روش تحقیق: شاخص‌های مورفومتری یک

برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی، شاخص‌های فاکتور عدم‌تقارن AF، شاخص طول-شیب رودخانه SL، نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره Vf، فاکتور عدم تقارن توپوگرافی T و شاخص شکل حوضه Bs محاسبه شد که نمای ساده‌ای از محاسبه‌ی شاخص‌ها در شکل ۱ آورده شده است. برای محاسبه‌ی این شاخص‌ها از نرم‌افزارهای GIS، Global mapper و Arc view استفاده شد. برای محاسبه اکثر شاخص‌های یادشده لازم است ابتدا مرز حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها مشخص شود. در این تحقیق از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ برای مشخص کردن آبراهه‌ها و مرز حوضه مورد مطالعه (زیر حوضه رودخانه‌ی شیرین‌رود) استفاده شد (شکل ۳).

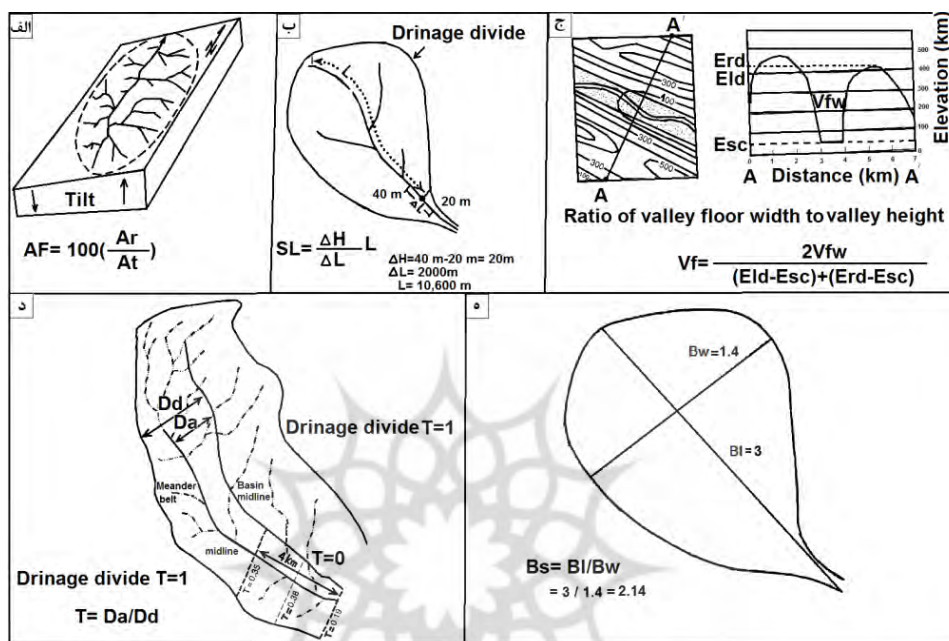
عدم تقارن حوضه زه‌کشی (AF)^۱

فاکتور عدم تقارن (AF) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$AF=100(Ar/At) \quad (۱)$$

(Ar) مساحت قسمت راست حوضه زه‌کشی و (At) مساحت کل حوضه زه‌کشی است. AF برای تعیین کج‌شدگی تکتونیکی در مقیاس حوضه‌ی زه‌کشی است. AF=۵۰ نشان‌دهنده حوضه زه‌کشی کاملاً متقارن است. مقدار کمتر یا بیشتر از ۵۰ نشان‌دهنده عدم تقارن در حوضه است (شکل ۱ الف). مانند اغلب شاخص‌های ژئومورفیکی، AF در جایی که جنس سنگ‌های حوضه‌زه‌کشی و سنگ‌های زیرین یکی باشد، بهترین عملکرد را دارد (Keller and Pinter, 1996: 126).

بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) شاخص AF به سه رده: رده ۱، $|Af-50| > 15$ ، رده ۲، $|Af-50| = 7-15$ ، رده ۳، $|Af-50| < 7$ تقسیم‌بندی می‌شود.



شکل ۱. نمای ساده از محاسبه شاخص‌های الف) عدم تقارن حوضه زه‌کشی (AF)، ب) شاخص طول - شیب رودخانه (SL)، ج) نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (Vf)، د) فاکتور عدم تقارن توپوگرافی (T)، ه) شاخص شکل حوضه (Bs). (Keller and Pinter, 1996).

شاخص طول - شیب رودخانه (SL)

شاخص طول - شیب رودخانه (SL) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \tag{2}$$

$\Delta H / \Delta L$ شیب محلی رودخانه بین دو خط کنتوری خاص است (ΔH تغییرات ارتفاع بین دو نقطه‌ی اندازه‌گیری شده و ΔL تغییرات طول بین دو نقطه‌ی اندازه‌گیری شده) و L طول کل کانال رودخانه از نقطه‌ای که در آن شاخص، محاسبه می‌شود به سمت بالا رود تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است (شکل ۱ب). شاخص طول - شیب رودخانه با قدرت رود ارتباط دارد و به تغییرات شیب رودخانه

حساس است. این شاخص همچنین به مقاومت سنگ حساس می‌باشد زیرا سنگ‌های مقاوم، یک کانال شیب‌دار ایجاد می‌کنند. بنابراین وقتی که رودخانه از سنگ‌های نسبتاً سخت عبور می‌کند، شاخص افزایش پیدا می‌کند اما وقتی که از سنگ‌های نسبتاً نرم عبور می‌کند، کاهش می‌یابد. یک ناحیه با شاخص SL بالا، روی سنگ‌های نرم و سست، ممکن است بیان‌گر فعالیت تکتونیکی اخیر باشد. مقدار شاخص SL در مناطقی که مقاومت سنگ‌ها بالا است و هنگامی که فعالیت‌های تکتونیکی به صورت عمودی عمل می‌کنند یا در جاهایی که آبشار وجود دارد، زیاد است (Keller and Pinter, 1996: 129).

بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) شاخص SL به سه دسته رده‌بندی شده است:

رده ۱ ($SL > 500$)، رده ۲ ($300 < SL < 500$)، رده ۳ ($SL < 300$).

در این تحقیق شاخص SL با قرار دادن نقشه‌ی توپوگرافی و رودخانه منطقه در محیط نرم‌افزار Global mapper محاسبه گردید و سپس اعداد محاسبه شده در محیط Arc view کنتور بندی گردید و نقشه آن ترسیم شد.

نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (V_f):

نسبت وسعت کف دره به ارتفاع دره V_f از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_f = 2 V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})] \quad (3)$$

V_{fw} وسعت کف دره، E_{rd} و E_{ld} به ترتیب ارتفاع قسمت چپ دره و ارتفاع قسمت راست دره و E_{sc} ارتفاع کف دره است (شکل ۱ ج). مقدار کم V_f بیان‌گر دره عمیق با رودخانه‌ای که به‌طور فعال در حال کندن کف دره است و به‌طور عادی منطقه در حال بالا آمدگی می‌باشد. اما دره پهن نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی نسبتاً پایدار تکتونیکی بوده و مقدار زیاد V_f نشان‌دهنده سرعت کم بالا آمدگی در منطقه است (Keller and Pinter, 1996: 141).

بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) شاخص V_f به سه دسته رده‌بندی شده است: رده

۱ ($V_f > 0.5$)، رده ۲ ($0.5 \leq V_f \leq 1$)، رده ۳ ($V_f > 1$).

برای محاسبه شاخص V_f در محیط نرم‌افزار Global mapper آبراهه‌های رده ۳ تا رده ۶ رودخانه‌ی شیرین‌رود به فواصل ۴ کیلومتری تقسیم‌بندی و نقطه‌گذاری شد؛ برای هر نقطه شاخص V_f محاسبه گشت. اعداد به دست آمده از محاسبه شاخص نسبت وسعت کف دره به ارتفاع دره V_f در محیط نرم‌افزار Arc view کنتور بندی شد و نقشه شاخص V_f به دست آمد.

فاکتور عدم تقارن توپوگرافی^۱(T)

$$T = Da/Dd \quad (4)$$

Da فاصله خط میانی حوضه‌ی زه‌کشی تا خط میانی کمر بند مآندری است و Dd فاصله‌ی میان خط میانی حوضه‌ی زه‌کشی تا خط تقسیم حوضه‌ی زه‌کشی است، برای یک حوضه‌ی کاملاً متقارن $T = 0$ است و اگر عدم تقارن افزایش پیدا کند، T افزایش پیدا می‌کند و به مقدار عددی ۱ نزدیک می‌شود (شکل ۱د) جهت مهاجرت محلی کانال رودخانه یک نشانه از کج‌شدگی زمین در آن جهت است (keller and pinter, 1996:128).

برای محاسبه‌ی شاخص T از نرم‌افزار GIS استفاده شد و همه‌ی آبراه‌ها به قطعه‌هایی با طول ۴ km تقسیم شد همچنین قطعات با طول کمتر از ۴ km از محاسبه حذف گشت. بردارهای عدم تقارن توپوگرافی (T) برای رودخانه‌ی شیرین‌رود برای مقایسه با سایر شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی ترسیم گردید.

شاخص شکل حوضه^۲(Bs)

تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت کشیدگی آن به صورت زیر توصیف می‌گردد:

$$Bs = BI/Bw \quad (5)$$

BI طول حوضه، فاصله‌ی پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن است و Bw عرض حوضه که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود، می‌باشد (شکل ۱ه). مقدار زیاد شاخص Bs مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین‌ساختی است در صورتی که مقادیر کم آن حوضه‌های دایره‌ای شکل، نواحی غیرفعال را نشان می‌دهد. پیشانی‌های کوهستانی که سریع بالآمده‌اند، حوضه‌های کشیده و تندی را ایجاد می‌کنند و زمانی که فعالیت زمین‌ساختی کم یا متوقف شود، عرض‌شدگی حوضه رخ می‌دهد (Bull and McFadden, 1977).

بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) شاخص شکل حوضه (Bs) به سه رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ ($Bs > 4$)، رده ۲ ($3 < Bs < 4$)، رده ۳ ($Bs < 3$).

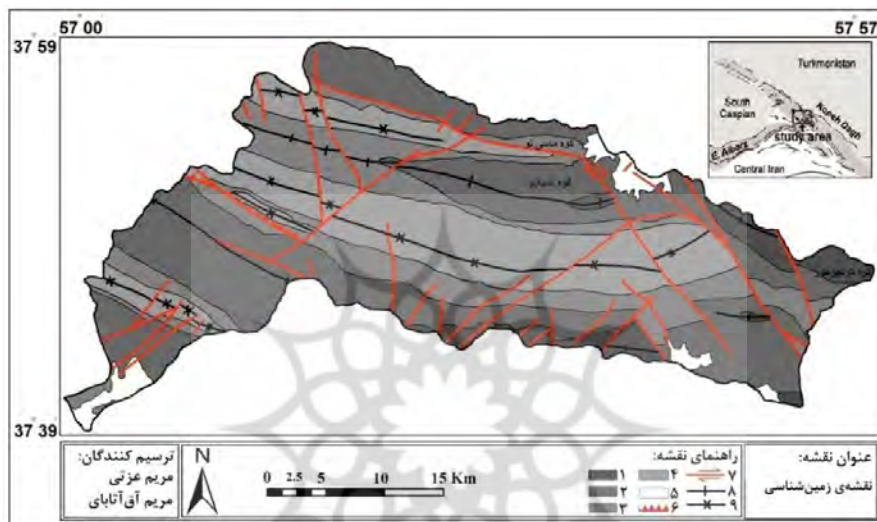
برای محاسبه شاخص (Bs) از نرم‌افزار GIS استفاده شد و پس از قرار دادن اعداد به‌دست آمده در رابطه‌ی (۵) شاخص شکل حوضه حاصل گردید.

محدوده و قلمرو پژوهش: منطقه مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۹° و ۳۷° تا ۵۹' و ۳۷° شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۷° تا ۵۷' و ۵۷° شرقی، در کپه‌داغ مرکزی و قسمت شمالی شهرهای

1- Transverse Topographic Symmetry Factor

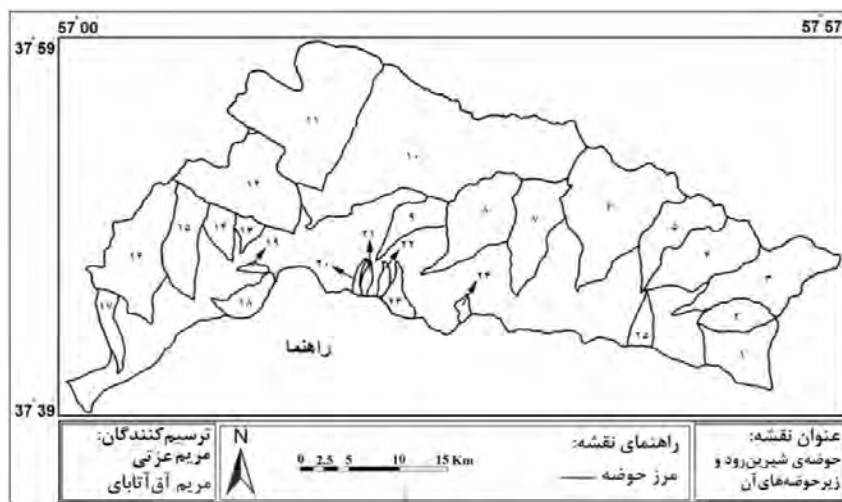
2- Index of Drainage Basin Shape

بجنورد و شیروان بین روستاهای کاکلی و راز واقع شده است (شکل ۲). در این پژوهش، خصوصیات نو زمین‌ساختی حوضه شیرین‌رود یکی از شاخه‌های فرعی رود اترک واقع در کپه داغ مرکزی در شمال شرق ایران، انتخاب و با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی مورد مطالعه قرار گرفته است. مساحت حوضه شیرین‌رود ۱۰۰۸,۶ کیلومتر مربع و طول شاخه اصلی آن ۱۰۴,۸۹ کیلومتر می‌باشد. این حوضه آبریز، ۲۵ زیر حوضه دارد (شکل ۳).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از بلورچی و مهر پرتو، ۱۳۶۵ با کمی تغییرات)؛ ۱. آهک اوربیتولین‌دار (سازند تیرگان)، ۲. مارن اوربیتولین‌دار (سازند سرچشمه)، ۳. شیل و مارن (سازند سنگانه)، ۴. ماسه‌سنگ و شیل گلوکونیت‌دار (سازند آیتامیر)، ۵. آبرفت‌های کواترنری، ۶. گسل تراستی، ۷. گسل امتدادلغز، ۸. تاقدیس، ۹. ناودیس.

تحقیقات ریخت‌زمین‌ساختی نشان می‌دهند که عناصر ساختاری (چین‌ها و گسل‌ها) عامل اصلی کنترل‌کننده ژئومورفولوژی ناحیه هستند. سرعت زیاد فرسایش رودخانه‌ای و کانال‌های رودخانه‌ای V شکل عمیق نشان می‌دهند که سرعت بالا آمدگی بیش از سرعت فرسایش است (Ramazani et al., 2008: 313).



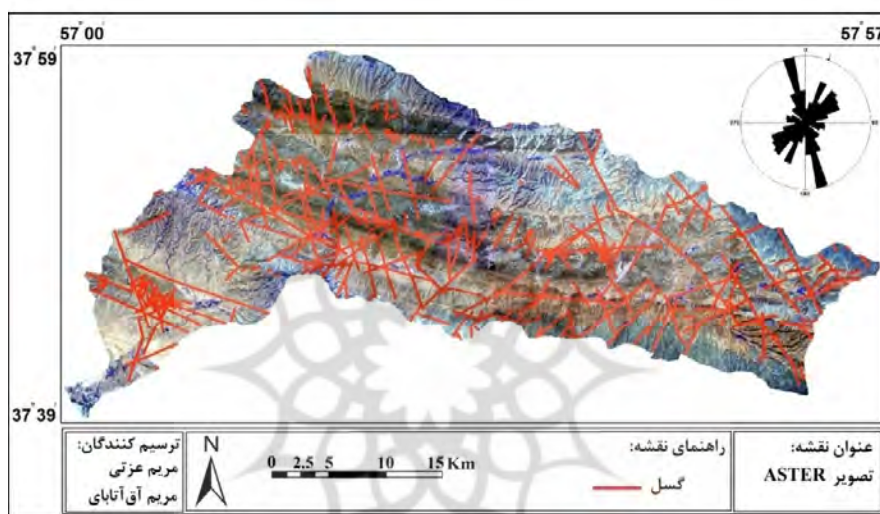
شکل ۳. حوضه شیرین رود و زیر حوضه‌های آن

از نظر ساختاری، سنگ‌های کپه‌داغ از سنگ‌های ایران مرکزی متمایز است و متعلق به سکوی توران می‌باشد (Stocklin, 1974; Alavi, 1996). کپه‌داغ از یک سری سنگ‌های رسوبی انعطاف‌پذیر و متعلق به مزوزئیک- ترشیری ساخته شده است (Berberian, 1976) که شامل توالی‌های آهک، مارن و ماسه سنگ است (Afshar Harb, 1987). در این توالی، سنگ آهک مقاوم تیرگان به سن کرتاسه ارتفاعات کمربند کوهستانی و مارل‌ها و ماسه سنگ‌ها، زمین‌های پست و دره‌ها را تشکیل می‌دهد. منطقه‌ی مورد مطالعه که در قسمت شمالی بجنورد و شیروان بین کاکلی و راز قرار دارد، از ماسه سنگ و شیل گلوکونیت‌دار آتامیر، شیل و مارن سنگانه، آهک اوربیتولین‌دار تیرگان و مارن اوربیتولین‌دار سرچشمه تشکیل شده است (شکل ۲).

کپه‌داغ مرکزی از گسل‌های امتدادلغز راستگرد فعال با امتداد شمال غرب- جنوب شرق تشکیل شده است که در امتداد آن‌ها جابه‌جایی صورت گرفته است. این گسل‌ها که سبب جابه‌جایی ساختارهای زمین‌شناسی تا چندین کیلومتر شده‌اند، عامل رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگی در قرن نوزدهم و بیستم بوده‌اند. بنابراین نشان‌دهنده خطر لرزه‌خیزی در منطقه پرجمعیت شمال شرق ایران است (Hollingsworth et al., 2006: 1161)

بحث

در این تحقیق، گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه با استفاده از تصویر ASTER^۱ و نقشه‌های زمین‌شناسی موجود استخراج شد. برای استخراج شکستگی‌ها و گسل‌ها در محیط GIS از باندهای VNIR^۲ تصویر ASTER و از فیلترهای ۰، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ درجه استفاده شد. علاوه بر این فیلترها، برای شناسایی گسل‌ها از قطع‌شدگی ناگهانی واحدها، جابجایی واحدها و ساختارها، تغییر مسیر آبراهه‌ها، وجود پرتگاه‌ها نیز استفاده گردید (شکل ۴).



شکل ۴. تصویر ASTER باند VNIR و گسل‌های استخراج شده مربوط به حوضه شیرین‌رود

روند غالب گسل‌های منطقه شمال‌غرب-جنوب‌شرق با سازوکار امتدادلغز است، جابجایی رودخانه‌ها، ساختارها و نمودار گل سرخی تهیه شده از گسل‌های منطقه نیز گویای این مطلب می‌باشد (شکل ۴). سازوکار ژرفی برخی از بزرگ‌ترین داده‌های لرزه‌ای نیز نشان‌دهنده گسل‌هایی با روند NW-SE می‌باشد که می‌توان به زمین‌لرزه‌ی (۱۹۹۷) بجنورد اشاره نمود. یکی دیگر از روندهای غالب منطقه روند NE-SW است که به صورت مزدوج با گسل‌های قبل تشکیل شده و دارای سازوکار امتدادلغز است. گسل‌های دیگری که دارای فراوانی کمی است ولی یکی از ساختارهای غالب منطقه را تشکیل می‌دهد، گسل‌های تراسی با روند تقریباً E-W است. با این که تعداد این گسل‌ها کم است اما اثرات

1- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

2- Visible and Near- Infrared Radiometric

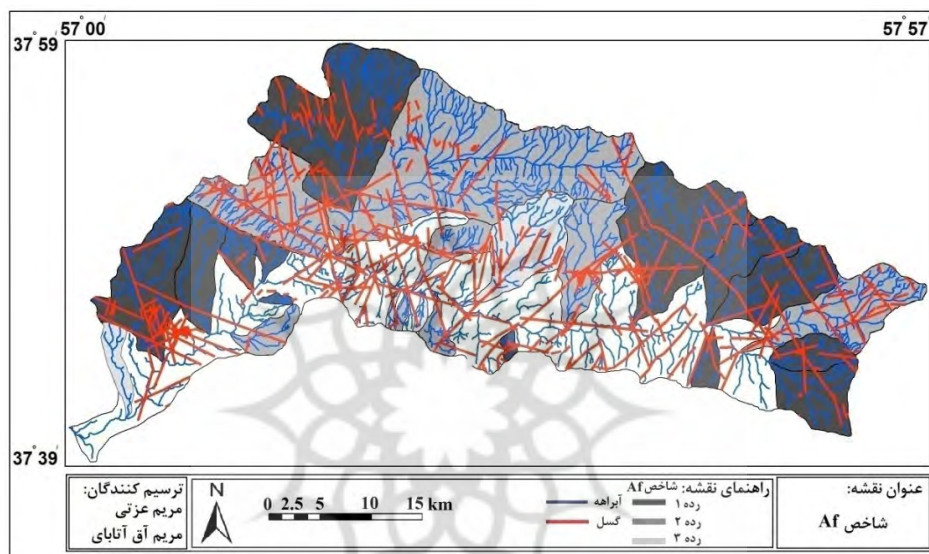
قابل توجهی بر روی ساختارهای منطقه گذاشته است. با توجه به وقوع زمین لرزه‌های متعدد تاریخی و زمین لرزه‌های سال‌های اخیر در منطقه مورد مطالعه و همچنین گسل‌های استخراج شده، انتظار می‌رود که محاسبه شاخص‌ها نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بالا در منطقه باشند.

در این پژوهش بعد از ترسیم زیر حوضه‌های حوضه شیرین‌رود در محیط GIS، Global mapper و Arc view شاخص‌های مختلف برای آن‌ها محاسبه گردید و نتایج مربوط به محاسبه شاخص‌های مورفومتریک در (جدول ۱) نشان آورده شده است.

جدول ۱. تقسیم‌بندی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی در زیرحوضه‌های حوضه شیرین‌رود

شماره حوضه	طول رودخانه	مساحت حوضه	AF	$ Af-50 $	رده AF	SL	رده SL	Vf	رده Vf	Bs	رده Bs
۱	۱۱,۷۴۴	۲,۵	۸۴,۱۱	۳۴,۱۱	۱	۲۵۸	۳	۰,۰۱	۱	۱,۳۶	۳
۲	۹,۱۶۹	۱,۳۴	۳۲,۳۲	۱۷,۶۷	۱	۲۶۵	۳	۰,۲۹	۱	۲,۳۸	۳
۳	۲۲,۵۷۲	۴,۲	۴۲,۵	۷,۴۸	۲	۱۲۸	۳	۰,۴۷	۱	۳,۴۲	۲
۴	۱۷,۰۰۱	۳,۵۱	۳۰,۳	۱۹,۷۳	۱	۲۲۵	۳	۰,۶۴	۲	۲,۶۱	۳
۵	۱۶,۰۵۸	۲,۵۳	۲۸,۸	۲۱,۲۴	۱	۳۲۰	۲	۰,۸۲	۲	۳,۱۳	۲
۶	۱۸,۱۱۲	۶,۹۷	۲۹,۷	۲۰,۲۹	۱	۳۰۰	۲	۰,۷۸	۲	۱,۶۵	۳
۷	۱۶,۲۳۴	۳,۰۸	۳۶,۹	۱۳,۰۶	۲	۳۱۰	۲	۰,۸۶	۲	۳,۲۷	۲
۸	۱۵,۸۰	۳,۶۶	۵۰,۵	۰,۵	۳	۳۴۰	۲	۰,۸۳	۲	۲,۰۴	۳
۹	۱۰,۴۱	۱,۵۳	۳۷,۸	۱۲,۲	۲	۴۵۰	۲	۱,۴۰	۳	۳,۱۱	۲
۱۰	۳۶,۲۷	۱۵,۸۶	۴۲,۹۵	۷,۴۸	۲	۳۵۰	۲	۰,۵۸	۲	۲,۳۳	۳
۱۱	۱۸,۷۰۲	۹,۲۱	۱۷,۰۷	۳۲,۹۳	۱	۲۸۰	۳	۰,۵۶	۲	۱,۱۱	۳
۱۲	۱۵,۳۵۷	۵,۱۴	۶۳,۴۹	۱۳,۰۵	۲	۲۷۰	۳	۰,۹۵	۲	۱,۵۶	۳
۱۳	۳,۹۷۲	۰,۴۶	۳۱,۹۵	۱۸,۰۵	۱	۶۰۰	۱	۰,۸۵	۲	۱,۷۷	۳
۱۴	۶,۳۶۶	۰,۹۰	۲۹,۹۸	۲۰,۰۲	۱	۵۷۰	۱	۱,۶	۳	۱,۹۶	۳
۱۵	۱۲,۲۷	۲,۳۷	۲۹,۶۴	۲۰,۳۷	۱	۳۲۰	۱	۱,۸	۳	۳,۴۷	۲
۱۶	۱۹,۵۴۲	۴,۶۷	۳۱,۰۸	۱۸,۹۴	۱	۳۷۰	۲	۲,۴	۳	۳,۷۴	۲
۱۷	۱۰,۹۲	۰,۸۷	۵۴,۱	۴,۱	۳	۲۶۵	۳	۲,۶	۳	۳,۵۲	۲
۱۸	۸,۸۴	۰,۹۹	۶۲,۰۴	۱۲,۰۴	۲	۳۴۰	۲	۱,۷	۳	۲,۲۴	۳
۱۹	۳,۶۵	۰,۱۶	۲۷,۶۱	۲۷,۶۱	۱	۴۸۰	۲	۰,۹۷	۲	۳,۰۹	۲
۲۰	۴,۴۴	۰,۱۵	۵۰,۲۶	۰,۲۶	۳	۵۹۰	۱	۰,۷۶	۲	۴,۰۳	۱
۲۱	۳,۹۴	۰,۲۰	۳۹,۲۶	۱۰,۴۷	۲	۶۸۰	۱	۰,۵۹	۲	۳,۳۷	۲
۲۲	۴,۰۸	۰,۲۲	۵۰,۶	۰,۶۰	۳	۷۰۰	۱	۳,۴	۳	۳,۱۱	۲
۲۳	۸,۳۰۶	۰,۶۲	۵۸,۸	۸,۸۳	۲	۲۶۰	۳	۱,۲	۳	۴,۳۹	۱
۲۴	۳,۱۲	۰,۲۱	۷۱,۸۲	۲۱,۸۲	۱	۶۰۰	۱	۰,۶۵	۲	۱,۸۷	۳
۲۵	۵,۸۹	۰,۶۶	۲۵,۹۱	۲۴,۰۹	۱	۳۱۱	۲	۰,۷۵	۲	۲,۵	۳

شاخص AF با محاسبه قسمت راست حوضه‌ی زه‌کشی و کل حوضه‌ی زه‌کشی در محیط GIS و قرار دادن آن در رابطه‌ی (۱) محاسبه گردید (شکل ۵). مقدار AF حوضه اصلی ۱۷,۲۰ و $|AF - 50| = 32,8$ بوده که نشانه فعال بودن حوضه می‌باشد و در رده ۱ قرار می‌گیرد. مقدار $|AF - 50|$ برای ۲۵ زیر حوضه منطقه مورد مطالعه بین ۰/۵ (حوضه ۸) تا ۳۴,۱۱ (حوضه ۱) متغیر است (جدول ۱).

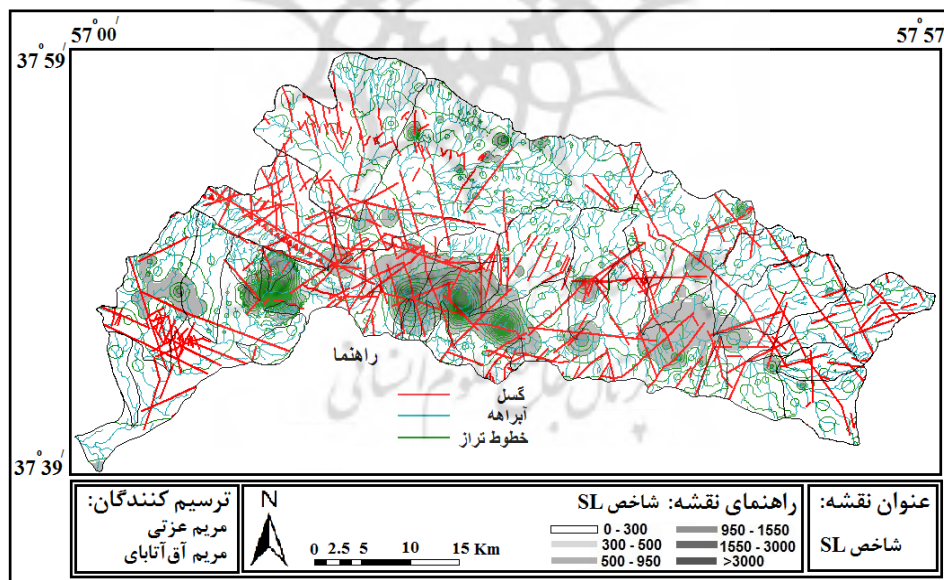


شکل ۵. نقشه تغییرات شاخص عدم تقارن حوضه زه‌کشی (AF) در حوضه‌ی زه‌کشی شیرین‌رود

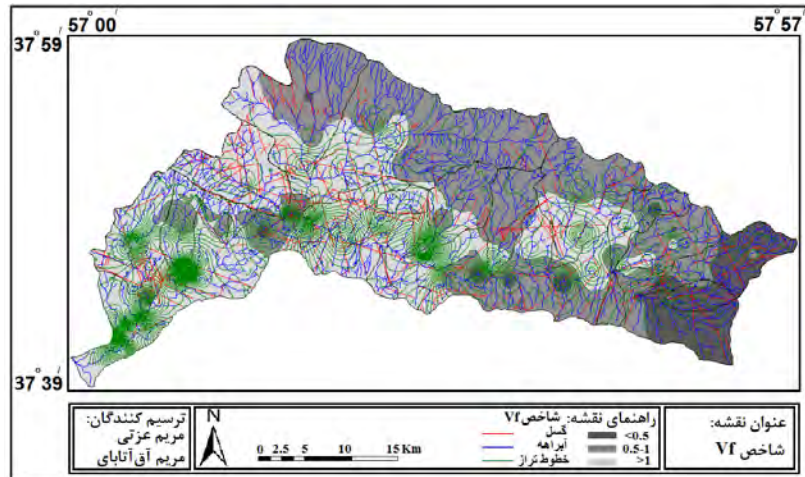
از محاسبه شاخص AF برای حوضه‌ی شیرین‌رود و زیر حوضه‌های آن می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کج‌شدگی حوضه‌ی اصلی به دلیل وجود چین‌ها و احتمالاً گسل‌های تراستی با امتداد تقریباً شرقی-غربی در شمال حوضه می‌باشد که باعث شده شمال حوضه، نسبت به جنوب آن بالاآمدگی بیشتری داشته باشد و در نتیجه حوضه‌ی اصلی به سمت کج شود و کج‌شدگی زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه را می‌توان به وجود گسل‌های امتدادلغز متعدد نسبت داد. در مجموع اکثر زیر حوضه‌ها فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهند. اما مقایسه‌ی بین زیر حوضه‌های شمالی و جنوبی نشان می‌دهد که زیر حوضه‌های شمالی نسبت به زیر حوضه‌های جنوبی کج‌شدگی بیشتری دارند. همچنین در قسمت شمالی حوضه‌ی شیرین‌رود، زیر حوضه‌های قسمت چپ و راست حوضه نسبت به زیر حوضه‌های میانی کج‌شدگی بیشتری را نشان می‌دهند (جدول ۱، شکل ۵). به نظر می‌رسد فعالیت گسل‌های امتدادلغز

مزدوج به خصوص گسل‌های با روند شمال غرب - جنوب شرق، باعث کج‌شدگی این زیر حوضه‌ها شده باشد. این دسته از گسل‌ها باعث جابه‌جایی و قطع شدگی چین‌های این منطقه نیز شده است (بلورچی و مهر پرتو، ۱۳۶۵). مطالعاتی که ده‌بزرگی و همکاران انجام داده‌اند، نشان می‌دهد که نامتقارنی زیاد حوضه، وابسته به فعالیت تکتونیکی می‌باشد (Dehbozorgi et al., 2010).

مقدار شاخص SL در حوضه‌ی شیرین‌رود حدوداً بین ۴۰ تا ۶۲۵۲ متغیر است (شکل ۶). نکته قابل توجه در نقشه‌ی شاخص طول - شیب‌رود این است که در محل تقاطع گسل‌های مزدوج مقدار شاخص SL به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است. محل افزایش شاخص SL مربوط به گسل‌های امتدادلغز بوده که باعث جابه‌جایی سازندها و فرار دادن لیتولوژی‌های مختلف شیل و مارن (سازند سنگانه) در مقابل ماسه‌سنگ (سازند آتامیر) در کنار یکدیگر شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد در محل افزایش شاخص SL نیز شاهد افزایش شاخص Vf می‌باشیم. با توجه به فعال بودن و بالاآمدگی تکتونیکی منطقه، آن را می‌توان به خردشدگی سازندهای منطقه در اثر گسل‌های امتدادلغز نسبت داد که موجب پهن‌شدگی دره‌های آن منطقه و افزایش شاخص Vf و ایجاد دره‌های U شکل در منطقه شده است. اما در ارتفاعات منطقه، شاهد کاهش شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره Vf و دره‌های V شکل می‌باشیم؛ آن را می‌توان به فعالیت تکتونیکی بیشتر نسبت داد (شکل ۷).

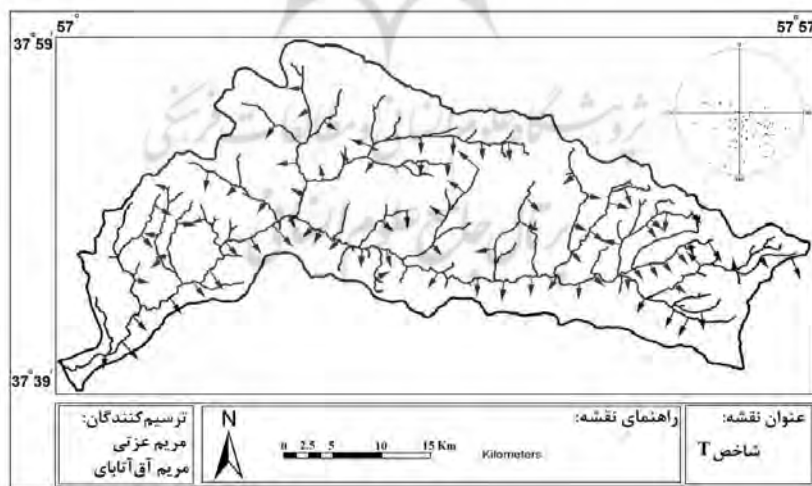


شکل ۶. نقشه تغییرات شاخص طول - شیب آبراهه (SL) در حوضه شیرین‌رود



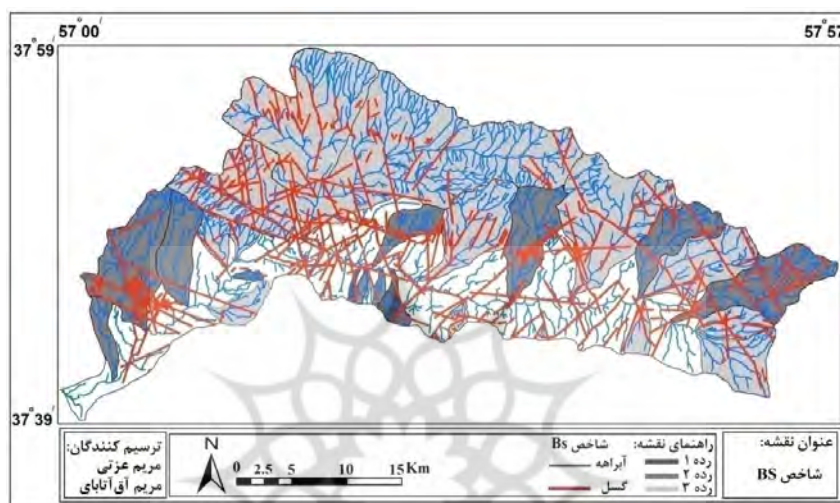
شکل ۷. پراکندگی میزان شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (V_f) در شبکه‌ی زه‌کشی شیرین‌رود

از شواهد دیگری که نشان‌دهنده فعال بودن حوضه‌ی شیرین‌رود است می‌توان به شاخص فاکتور عدم‌تقارن توپوگرافی T اشاره کرد که نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه اصلی و زیر حوضه‌های آن می‌باشد (شکل ۸). مقدار شاخص T در منطقه از ۰٫۹۴ (حوضه ۸) تا ۰٫۰۱ (حوضه ۳) متغیر است و در حوضه‌ی اصلی شیرین‌رود ۰٫۴۴ می‌باشد. جهت پیکان شاخص T اغلب به سمت جنوب می‌باشد که نشانه‌ی مهاجرت رودخانه شیرین‌رود به سمت جنوب است و دلیل اصلی آن گسل تراستی و چین‌های قسمت شمالی منطقه می‌باشد که باعث کج‌شدگی حوضه و رودخانه‌ی شیرین‌رود شده است.



شکل ۸. بردارهای عدم تقارن توپوگرافی (T)، طول بردارها با میزان کج‌شدگی متناسب می‌باشد.

مقدار شاخص BS برای حوضه‌ی اصلی شیرین‌رود ۳,۶ می‌باشد و در رده‌ی ۲ قرار می‌گیرد. در زیر حوضه‌های آن بین ۱,۱۱ (حوضه ۱۰) و ۴,۳۹ (حوضه ۲۳) متغیر است (جدول ۱). زیر حوضه‌های قسمت چپ و راست کشیدگی بیشتری را نسبت به زیر حوضه‌های میانی نشان می‌دهند، که آن را می‌توان متأثر از شکل حوضه اصلی و کمانش آن دانست (شکل ۹).



شکل ۹. نقشه تغییرات شاخص شکل حوضه (BS) در شبکه زهکشی شیرین‌رود

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

از تلفیق نتایج شاخص‌های محاسبه شده در حوضه اصلی و ۲۵ زیر حوضه و با گسل‌های استخراج شده از تصویر ASTER می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کم بودن میزان شاخص AF حوضه اصلی (حدود ۲۷) نشان‌دهنده کج‌شدگی زیاد این حوضه و در نتیجه فعالیت تکتونیکی بالا در این منطقه می‌باشد. با توجه به وجود چین‌ها و تراست‌ها در راستای حوضه می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت این ساختارها باعث کج‌شدگی حوضه اصلی شده است. بیشترین میزان شاخص SL مربوط به محل‌های تقاطع گسل‌ها و شکستگی‌های مزدوجی است که مسیر آبراهه اصلی را قطع کرده‌اند. این گسل‌ها که امتدادلغز هستند باعث جابجایی سازندها و قرار دادن سنگ‌های نامقاوم مانند شیل و مارن (سازند سنگانه) در مقابل واحدهای مقاوم‌تر مانند ماسه‌سنگ (سازند آتامیر) و آهک (تیرگان) در کنار یکدیگر شده است. محاسبه‌ی شاخص Vf برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که اکثر دره‌ها به‌خصوص در بخش شمالی ناحیه V شکل بوده و آن را می‌توان به بالآمدگی منطقه در اثر فعالیت‌های تکتونیکی از

جمله چین‌خوردگی‌های فعال مرتبط با گسل‌های تراستی نسبت داد. یکی از نتایج این مقاله این است که بر خلاف انتظار در محل افزایش شاخص SL، شاخص Vf نیز افزایش یافته است. با توجه به فعال بودن و بالآمدگی تکتونیکی منطقه، آن را می‌توان به خردشدگی سنگ‌های منطقه در اثر تقاطع تعداد زیادی شکستگی‌ها و گسل‌های امتدادلغز نسبت داد که باعث افزایش فرسایش سنگ‌ها و در نتیجه پهن‌شدگی دره‌های آن منطقه و ایجاد دره‌های U شکل در منطقه شده است. محاسبه‌ی شاخص T نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه‌ی اصلی و اکثر زیر حوضه‌ها به سمت جنوب می‌باشد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر نو زمین‌ساختی بسیار فعال است که وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد در این منطقه گویای این مطلب می‌باشد.

پیشنهادها

- برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد:
- تحلیل ساختاری منطقه‌ی مورد مطالعه
- بررسی لرزه‌زمین‌ساختی منطقه‌ی مورد مطالعه
- شناسایی گسل‌های پنهان منطقه با استفاده از داده‌های گرانی‌سنجی

منابع

- ۱- بلورچی، محمدحسین، مهر پرتو، محمود. (۱۳۶۵). نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- ۲- رادفر، شهباز، پورکرمانی، محسن. (۱۳۸۴). ریخت زمین‌ساخت گسل کوه‌بنان، فصل‌نامه‌ی علوم زمین، شماره ۵۸، صص ۱۸۳-۱۶۶.
- ۳- خادمی، محسن. (۱۳۸۹). محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پیرامون گسل ترود، جنوب دامغان، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۷۵، صص ۴۷-۵۶.
- ۴- خاوری، رضوان، منوچهر قرشی، مهران آرین و خسرو تهرانی. (۱۳۸۹). نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه‌ی جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران، فصل‌نامه‌ی علوم زمین، شماره ۷۵، صص ۶۷-۷۴.
- ۵- گورابی، ابوالقاسم و احمد نوحه‌گر. (۱۳۸۴). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش جغرافیایی - شماره ۶۰، صص ۱۷۷-۱۹۶.
- ۶- وحدتی دانشمند، بهارک؛ محمدرضا قاسمی؛ منوچهر قرشی و نگار حقی‌پور. (۱۳۸۵). نو زمین‌ساخت سپیدرود و دشت گیلان، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۶۵، صص ۱۲-۲۵.

7. Afshar Harb, A., Bolourch, M., and Mehrparto, M. 1987. Geological quadrangle map of Iran no. J5 (Bojnurd sheet), scale 1:250,000, Geological Survey of Iran.
8. Alavi, M. 1996. Tectono-stratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *J. Geodyn.*, 21(1), 1-33.
9. Arisco, G., Arnone, G., Favara, R., Nigro, F., Perricone, M., Renda, P. and Mondello, C. 2006. Integrated geotectonic and morphometric analysis of northern Sicily, *Boll. Soc. Geol. It.*, 125, 1-24.
10. Berberian, M. 1976. Contribution to the Seismo-tectonics of Iran (Part II). Vol., 39, Geological Survey of Iran.
11. Bull, W.B., and Mc Fadden, L.D. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault. California: In: Doehring, D.O (eds), *Geomorphology in Arid Regions Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*. State University of New York, Binghamton, 115-138.
12. Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A. 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology*, 121, 329-341.
13. EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., and Keller and pinter, E.A. 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*. Article in press. 150-173.
14. Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M.R., Bolorchi, M.J. 2006. Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the kopeh dagh mountains, NE Iran. *Geophysics. J. Int.*, 166, 1161-1177.
15. Keller and pinter, Edward, A. and Nicholas, P. 1996. *Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall Publisher. New, Jersey. Pp 121-174.
16. Ramazani Oomali, R., Shahriari, S., Hafezi Moghaddas, N., Omidi, P., Eftekharnjad, J. 2008. A model for active tectonics in Kope dagh (north-east Iran). *World applied Sciences Journal*, 3(2): 312-316.
17. Ramirwz-Herrera, M.A. 1998. Geomorphic assessment of Active tectonics in the Acambay Garben, Mexican volcanic belt. *Earth surface process landforms*, 23: 317-332.
18. Stepancikova P., Stemberk J., Vilimek V. and Kostak B. 2008. Neotectonic development of drainage networks in the East Sudeten Mountains and monitoring of recent fault displacements (Czech Republic). *Geomorphology* 102, 68-80.
19. Stocklin, J. 1974. Possible ancient continental margins in Iran, in *Geology of Continental Margins.*, eds Burke, C. & Drake, C., Springer- Verlag, New York. 873-877.
20. Verrior, S., Zygouri, V., Kokkalas, S. 2004. Morphotectonic analysis in the Eliko fault zone (Gulf of Corinth, Greece). Department of Geology, University of Patras, 1706-1714.