

تحلیل زمین‌ساخت فعال حوضه‌ی بجنورد با کمک شاخص‌های مورفوتکتونیک

مریم عزتی* - کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان
مریم آق‌آتابای - استادیار دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۱/۲۱

چکیده

شاخص‌های مورفوتکتونیک برای شناسایی خصوصیات خاص یک ناحیه و برای مثال برای تعیین سطح فعالیت‌های تکتونیک مفید هستند. از این اطلاعات برای بدست‌آوردن جزئیات زمین‌ساخت فعال در یک منطقه‌ی خاص استفاده می‌شود. منطقه‌ی مورد مطالعه در البرز شرقی - بینالود قرار دارد. در این مطالعه شاخص‌های مختلف شامل عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شکل حوضه (Bs)، منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi)، سینوسیتی (S) و طول - شیب رودخانه (SL) محاسبه گردید. نتایج این تجزیه و تحلیل‌ها با هم جمع گردید و با شاخصی تحت عنوان زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) بیان گردید. در این مطالعه برای محاسبه‌ی شاخص‌های مورفومتری از نقشه‌ی توپوگرافی و DEM منطقه در محیط نرم‌افزار GIS استفاده گردید. مقدار شاخص AF در حوضه‌ی اصلی ۴۰ می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی کج‌شدگی حوضه‌ی اصلی به سمت غرب می‌باشد. مقدار شاخص شکل حوضه (Bs) نشان می‌دهد که قسمت شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه فعال‌ترین بخش آن می‌باشد. محاسبه‌ی شاخص منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi) نشان‌دهنده‌ی مرحله‌ی جوانی در قسمت شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. شاخص سینوسیتی (S) در حوضه‌ی اصلی ۱.۳۵ می‌باشد، که نشان‌دهنده‌ی بالا آمدگی تکتونیک منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. منطقه‌ی مورد مطالعه (حوضه‌ی بجنورد) به چهار ناحیه‌ی تکتونیک با فعالیت خیلی بالا، بالا، متوسط و پایین تقسیم بندی شد و برای هر کدام از زیر حوضه‌های منطقه مقادیر شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شد و همچنین شدت فعالیت تکتونیک مشخص گردید. محاسبه شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به قسمت شرقی حوضه‌ی بجنورد می‌باشد. نقشه‌ی پهنه‌بندی نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت تکتونیک و پرخطرترین بخش منطقه‌ی مورد مطالعه قسمت شرقی حوضه‌ی بجنورد می‌باشد.

واژگان کلیدی: زمین‌ساخت فعال، شاخص‌های مورفوتکتونیک، حوضه‌ی بجنورد، البرز شرقی

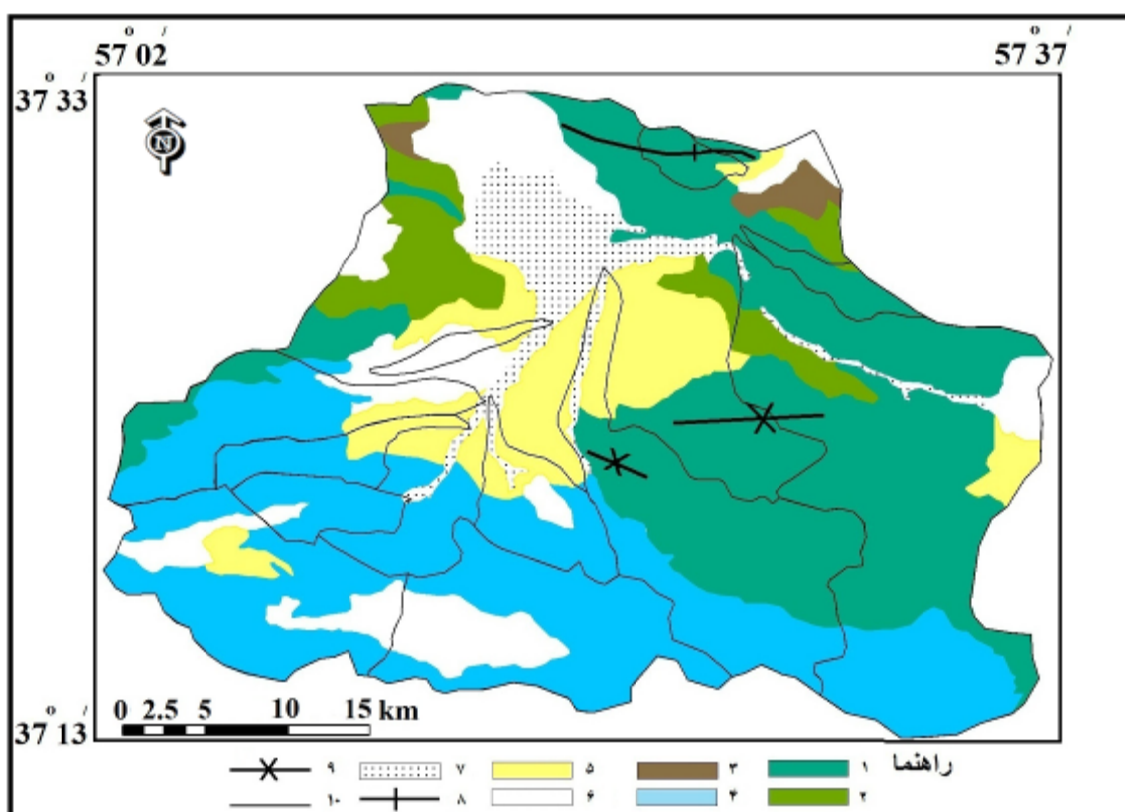
مقدمه

مورفومتری به عنوان یک اندازه‌گیری کمی از شکل مناظر تعریف می‌شود. به ساده‌ترین شکل، لندفرم‌ها با روابطی از اندازه، ارتفاع (ماکزیمم، مینیمم، یا میانگین) و شیب آن‌ها شناخته می‌شوند. شاخص‌های ژئومورفیک برای شناسایی خصوصیات خاص از یک ناحیه، برای مثال برای تعیین سطح فعالیت‌های تکتونیکی مفید هستند. بعضی از شاخص‌های ژئومورفیکی با اکتشاف لوازم جدید پیشرفت کرده‌اند. این شاخص‌ها برای شناسایی نواحی‌ای که تغییر شکل سریع تکتونیکی را تجربه کرده‌اند مفید می‌باشند. از این اطلاعات برای بدست آوردن جزئیات تکتونیک فعال یک منطقه‌ی خاص استفاده می‌شود. شاخص‌های ژئومورفیکی بخصوص برای مطالعات زمین‌ساختی مفید می‌باشند زیرا برای ارزیابی سریع یک ناحیه‌ی خاص استفاده می‌شوند. اطلاعات لازم اغلب از روی عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی به دست می‌آید (Keller and Pinter, 2002: 121).

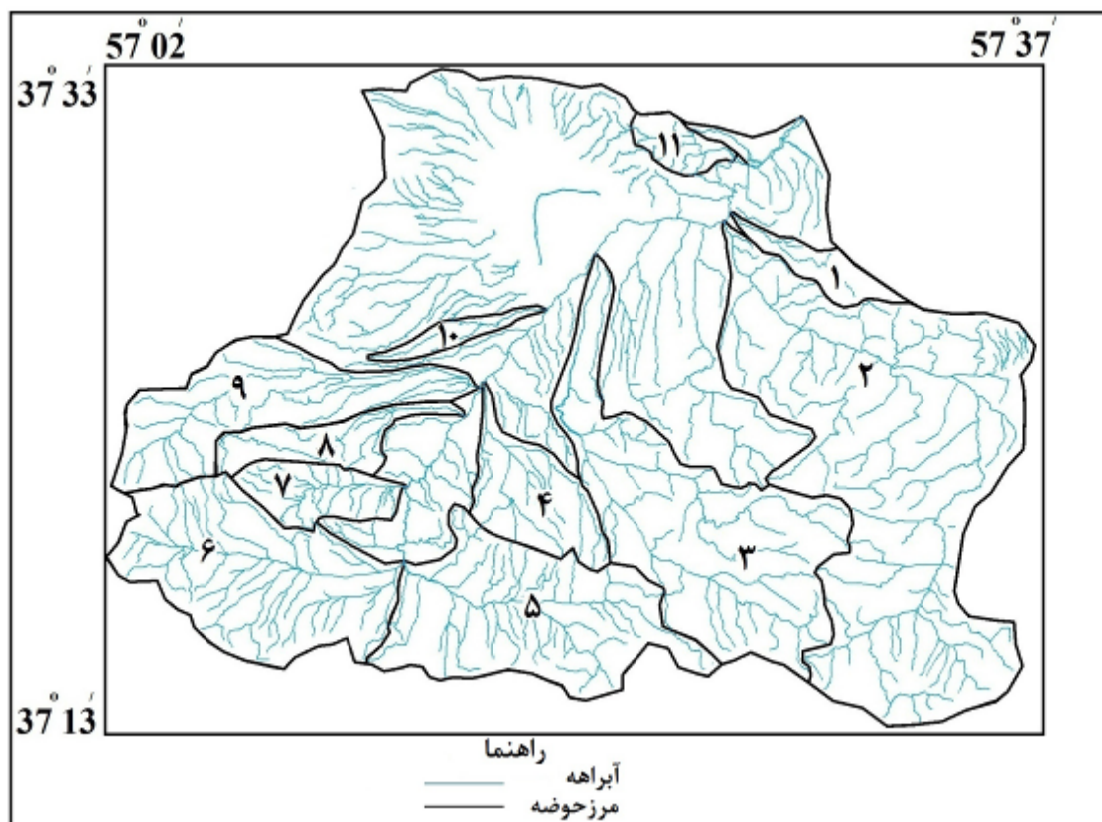
هر یک از شاخص‌ها ارائه‌دهنده‌ی یک طبقه‌بندی نسبی از میزان فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد. وقتی که از چند شاخص برای یک ناحیه استفاده شود، نسبت به به‌کارگیری یک شاخص نتایج خیلی بامعناتری را ارائه می‌دهد (Keller and Pinter, 2002: 122). نتایج چندین شاخص می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند و رده‌ی فعالیت‌های تکتونیکی را به دست آورند، این نتایج در سطح گسترده برای تخمین درجه‌ی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی در یک ناحیه مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌توان منطقه را به نواحی خیلی فعال، نیمه فعال یا غیرفعال رده‌بندی نمود (Keller and Pinter, 2002: 154). هدف از این پژوهش پهنه‌بندی نسبت تکتونیک فعال در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. سوآلی که در این پژوهش مطرح است: آیا با بررسی تکتونیک فعال منطقه می‌توان یک پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای از منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه داد؟ تا کنون تحقیقات مختلفی در رابطه با تکتونیک فعال در سایر نقاط جهان و ایران صورت گرفته است که در اینجا به چند نمونه اشاره شده است: راکول و همکاران (۱۹۸۵) تکتونیک ژئومورفولوژی مخروط افکنه‌های آبرفتی و جبهه‌های کوهستانی نزدیک ونچورا، کالیفرنیا را مورد بررسی قرار دادند (Rockwell et al., 1985). اسوالد و وسنوسکی (۲۰۰۲) نوزمین‌ساخت و زمین‌شناسی کواترنری زون گسلی کوهستان هانترو و محل دره‌ی سالین، جنوب شرق کالیفرنیا را مورد بررسی قرار دادند (Oswald & Wesnousky, 2002). گارسیا-ملندز و همکاران (۲۰۰۳) نوزمین-ساخت و توسعه‌ی مناظر پلیو-کواترنری در حوضه‌ی جنوب شرق هارکال-اورا رشته جبال بتیک، جنوب شرق اسپانیا را بررسی کردند (Garcia-Melendez et al., 2003). سیلوا و همکاران (۲۰۰۳) پیدایش گسل پیشانی کوهستان در جنوب شرق اسپانیا: ارزیابی ژئومورفولوژیکی فعالیت‌های تکتونیکی و زمین‌لرزه‌ای را انجام دادند (Silva et al., 2003). منتوانی و ویتافینزی (۲۰۰۳) نتوتکتونیک محل سد وجانت را بررسی کردند (Vita-Finz, 2003). مانتوانی و همکاران (۲۰۰۴) مورفوتکتونیک گسل الیکی را مورد بررسی قرار دادند (Mantovani & Verrior, 2004). فورترس و همکاران (۲۰۰۵) نوزمین‌ساخت و تغییر شکل کانال رودخانه‌ی پایین آیوانه‌یما: شاخه‌ی سمت راست رودخانه‌ی پرانای بالایی، برزیل را مورد بررسی قرار دادند (Fortes et al., 2005). آریسکو و همکاران (۲۰۰۶) نتوتکتونیک و مورفوتکتونیک شمال سیسیلی را مورد بررسی قرار دادند (Arisco et al., 2006). استوکس (۲۰۰۸) توسعه‌ی حوضه‌ی پلیو-پلیستوسن در حوضه‌ی رسوبی منحرف‌شده: حوضه‌ی ورا، رشته جبال بتیک، جنوب شرق اسپانیا را مورد بررسی قرار داد (Stokes, 2008). کریستفر و ایدو (۲۰۱۰)، آنالیز هیدرولوژیکی انیتشا شمال شرق حوضه‌ی زهکشی با استفاده از تکنیک‌های ژئواینفرماتیک را انجام دادند (Christopher et al., 2010). ده‌بزرگی و همکاران (۲۰۱۰) به تجزیه و تحلیل کمی فعالیت‌های نسبی تکتونیکی در ناحیه‌ی سروستان، زاگرس مرکزی پرداختند (Dehbozorgi et al., 2010).

موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در البرز شرقی بین طول‌های $57^{\circ} 02'$ تا $57^{\circ} 37'$ و عرض‌های $37^{\circ} 13'$ تا $37^{\circ} 33'$ قرار دارد. البرز شرقی در طول تاریخ شاهد زمین‌لرزه‌های مخربی بوده است و با وجود گسل‌ها و زمین‌لرزه‌های منطقه، البرز شرقی از نظر ایجاد زمین‌لرزه دارای پتانسیل بالایی است (Ambraseys and Melville, 1982; Berberian and Yeats, 1999). رشته جبال البرز شرقی - بینالود اغلب شامل نهشته‌های دریایی ژوراسیک می‌باشد و از لحاظ ساختاری متعلق به ایران مرکزی است. از لحاظ زمین‌شناسی بینالود در ادامه‌ی رشته‌کوه البرز اصلی می‌باشد که مرز حاشیه‌ی جنوبی دریای خزر را مشخص می‌کند (Alavi, 1996). منطقه‌ی مورد مطالعه (حوضه‌ی بجنورد) از لحاظ سنگ‌شناسی متفاوت می‌باشد، چنان‌که قسمت شرقی آن اغلب شامل رسوبات آهکی و مقاوم‌تر و قسمت جنوبی و غربی آن شامل رسوبات دارای مقاومت کمتر و آبرفت‌های کواترنری می‌باشد (شکل ۱). منطقه‌ی مورد مطالعه از یک حوضه‌ی اصلی و ۱۱ زیر حوضه تشکیل گردیده است (شکل ۲)، مساحت حوضه‌ی بجنورد 1232 Km^2 و طول آبراهه‌ی اصلی 47.45 کیلومتر می‌باشد. از زیر حوضه‌های مطالعه شده بیشترین مساحت مربوط به زیرحوضه‌ی شماره ۲ و بیشترین طول رودخانه نیز مربوط به زیرحوضه‌ی شماره ۲ می‌باشد، کمترین مساحت مربوط به زیرحوضه‌ی شماره ۱۰ و کمترین طول رودخانه مربوط به زیرحوضه‌ی شماره ۱۱ می‌باشد.



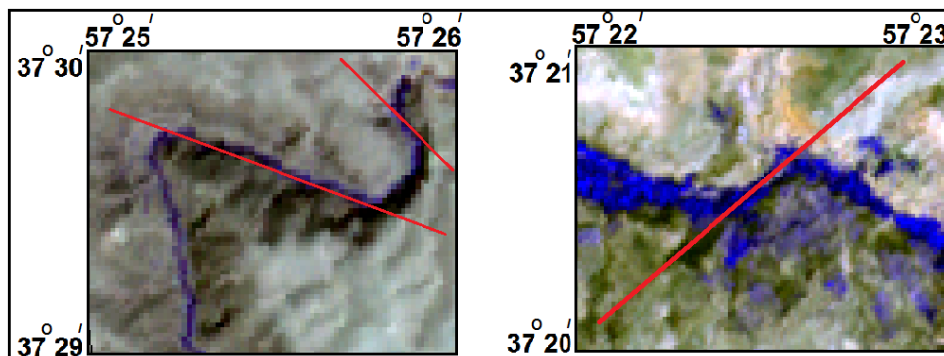
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، ۱. آهک اوریتولین‌دار، ۲. مارن اوریتولین‌دار، ۳. شیل و مارن، ۴. آهک و مارن سفید خاکستری، ۵. مارن قرمز و ماسه‌سنگ، ۶. دشت‌های آبرفتی، ۷. آبرفت‌های جوان، ۸. تاق‌دیس، ۹. ناودیس، ۱۰. مرز حوضه.



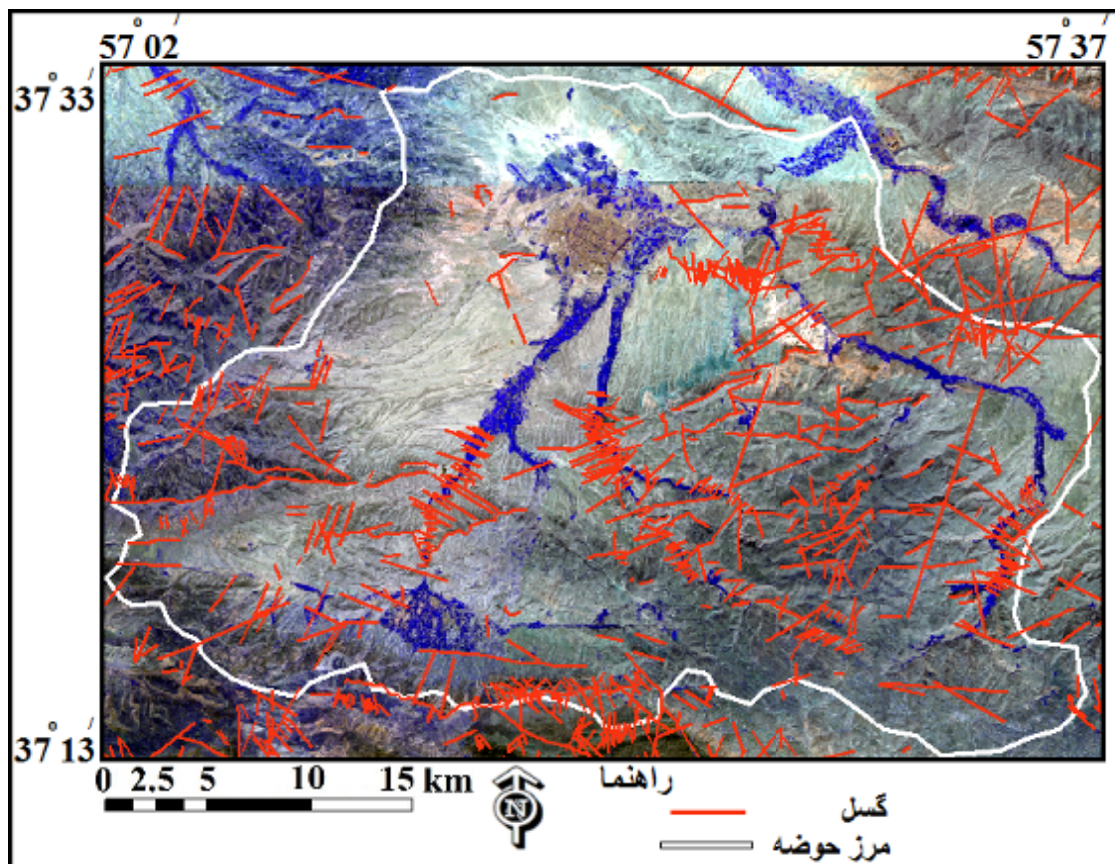
شکل ۲. حوضه‌ی بجنورد، زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های آن

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای شناسایی گسل‌ها از قطع‌شدگی ناگهانی و جابجایی واحدها، ساختارها، تغییر مسیر آبراهه‌ها (شکل ۳) و وجود پرتگاه‌ها استفاده گردید. برای استخراج شکستگی‌ها و گسل‌ها در محیط GIS 9.2 از تصاویر باندهای VNIR و فیلترهای جهت‌دار 45° ، 90° ، 135° و 180° در محیط نرم‌افزارهای پردازش تصویر ENVI 4.3 استفاده شد (شکل ۴). در این تحقیق با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی $1/25000$ آبراهه‌ها و مرز حوضه‌های مورد مطالعه مشخص شد. برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی شاخص‌های مختلف شامل عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شکل حوضه (Bs)، سینوسیته (S)، منحنی هیپسومتر (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi)، طول-شیب رودخانه (SL) و زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه گردید، نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های مختلف در زیر آورده شده است.



شکل ۳. تصویر رنگی از باندهای VNIR سنجنده ASTER از انحراف آبراهه‌های منطقه



۴. تصویر ماهواره‌ای و خطوط استخراج‌شده از منطقه‌ی مورد مطالعه

عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)^۱

شکل هندسی رودخانه از طریق راه‌های مختلفی، کیفی و کمی توصیف می‌شود. وقتی زهکشی در مناطق فعال تکتونیکی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی یک الگو و شکل هندسی مشخص دارد. فاکتور عدم تقارن (AF) از رابطه-ی شماره‌ی (۱) به دست می‌آید:

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

رابطه‌ی (۱)

(Ar) مساحت قسمت راست حوضه زهکشی و (At) مساحت کل حوضه زهکشی است. شاخص AF روشی مناسب برای تعیین کج‌شدگی تکتونیکی در مقیاس حوضه زهکشی می‌باشد. برای یک رودخانه که در محیط پایدار تکتونیکی شکل گرفته و اکنون در محیط پایدار در جریان است AF باید در حدود ۵۰ باشد که نشان‌دهنده‌ی حوضه زهکشی کاملاً متقارن است. مقدار کمتر یا بیشتر از ۵۰ نشان‌دهنده‌ی عدم تقارن در حوضه است (Keller and Pinter, 2002: 125).

شاخص شکل حوضه (B_s) ^۱

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

$$B_s = B_l / B_w \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

B_l طول حوضه، فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن است و B_w عرض حوضه که در عرض-ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود، است. مقدار زیاد شاخص B_s مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین-ساختی است، در صورتی که مقادیر کم آن حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می‌دهد (Bull and McFadden, 1977).

درجه‌ی سینوسیته (S) ^۲

درجه‌ی سینوسی بودن از طریق رابطه‌ی شماره‌ی (۳) به دست می‌آید:

$$S = C / V \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

C طول کانال رودخانه و V طول خط مستقیم موازی با کانال رودخانه است. در مناطق فعال تکتونیکی رودخانه به شکل خط مستقیم است. هر چه مقدار شاخص S کمتر و به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی فعالیت تکتونیکی در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد، کوچک‌ترین مقدار تغییرشکل می‌تواند باعث تغییر در درجه‌ی سینوسی بودن یک رودخانه می‌شود (keller and pinter, 2002: 174).

منحنی هیپسومتری (H_c) و انتگرال هیپسومتری (H_i) ^۳

منحنی هیپسومتری با به دست آوردن نسبت‌های h/H و a/A رسم می‌شود که $x=a/A$ و $y=h/H$ است. h ارتفاع یک سطح کانتوری خاص و H ارتفاع کل حوضه‌ی زهکشی است. در پایین‌ترین نقطه از حوضه‌ی زهکشی به دلیل صفر بودن h ، $y=h/H=0$ است ولی در بالاترین نقطه از حوضه زهکشی $h/H=1$ است. A مساحت کل حوضه زهکشی است و a مساحت یک خط کانتوری خاص که از بلندترین نقطه‌ی حوضه تا آن خط کانتوری خاص اندازه‌گیری شده است. در بلندترین نقطه از حوضه زهکشی به دلیل صفر بودن a ، $a/A=0$ است، ولی در پایین‌ترین نقطه از حوضه زهکشی $a/A=1$ است. انتگرال به عنوان مساحت زیر منحنی هیپسومتری تعریف می‌شود. مقدار زیاد شاخص انتگرال هیپسومتری، یک توپوگرافی جوان را نشان می‌دهد. مقدار متوسط از انتگرال هیپسومتری و منحنی هیپسومتری S مانند نشان‌دهنده مرحله بلوغ است (keller and pinter, 2002: 122).

شاخص طول-شیب رودخانه (SL) ^۴

شاخص طول-شیب رودخانه (SL) از رابطه‌ی شماره‌ی (۴) به دست می‌آید:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

که در آن $\Delta H / \Delta L$ شیب محلی رودخانه بین دو خط کانتوری 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. 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

1. Index of Drainage Basin Shape

2. Sinuosity

3. Hypsometric Curve & Hypsometric Integral

4. Stream Length-gradient Index

سنگ‌های مقاوم یک کانال شیب‌دار ایجاد می‌کنند. وقتی که رودخانه از سنگ‌های نسبتاً سخت عبور می‌کند، شاخص افزایش پیدا می‌کند اما وقتی که از سنگ‌های نسبتاً نرم عبور می‌کند، کاهش می‌یابد. ایجاد گسل در سنگ‌های مقاوم سبب اختلاف ارتفاع قابل توجهی در نیم رخ طولی رودخانه می‌شود در صورتی که گسل در سنگ‌های سست روی داده باشد، تغییر قابل توجهی در میزان SL روی نمی‌دهد. یک ناحیه با شاخص SL بالا، روی سنگ‌های نرم و سست ممکن است که بیانگر فعالیت تکتونیکی اخیر باشد. شاخص طول-شیب رودخانه یک وسیله با ارزش برای ارزیابی تکتونیک فعال است (Keller and Pinter, 1996, 129). در این مطالعه شاخص‌های مختلف بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) رده‌بندی گردید (جدول ۱)، سپس با محاسبه و میانگین‌گیری از شاخص‌های مختلف شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه گردید و از لحاظ زمین‌ساختی به چهار رده تقسیم‌بندی شد. مقدار S/n بین ۱ تا ۱.۵ به رده ۱، بین ۱.۵ تا ۲ به رده ۲، بین ۲ تا ۲.۵ به رده ۳ و بیشتر از ۲.۵ به رده ۴ تقسیم‌بندی شد (El Hamdouni et al., 2008). در این مطالعه برای شناسایی مناطق فعال تکتونیکی ابتدا شاخص‌های مختلف برای حوضه‌ی اصلی و زیر حوضه‌های آن محاسبه گردید، سپس شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی برای حوضه‌ی اصلی و همه-ی زیر حوضه‌های آن محاسبه گردید (جدول ۲).

جدول ۱. رده‌بندی شاخص‌های مورفومتری توسط (El Hamdouni et al., 2008)

رده	عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)	شکل حوضه زهکشی (Bs)	انتگرال هیپسومتریک (Hi)	SL
۱	$ Af-50 > 15$	$(Bs > 4)$	۰.۵۵-۱	$(SL \geq 500)$
۲	$-50 \leq Af-50 < 15$	$(3 < Bs < 4)$	۰.۴۵-۰.۵۵	$(300 < SL < 500)$
۳	$ Af-50 < 7$	$(Bs < 3)$	۰-۰.۴۵	$(SL < 300)$

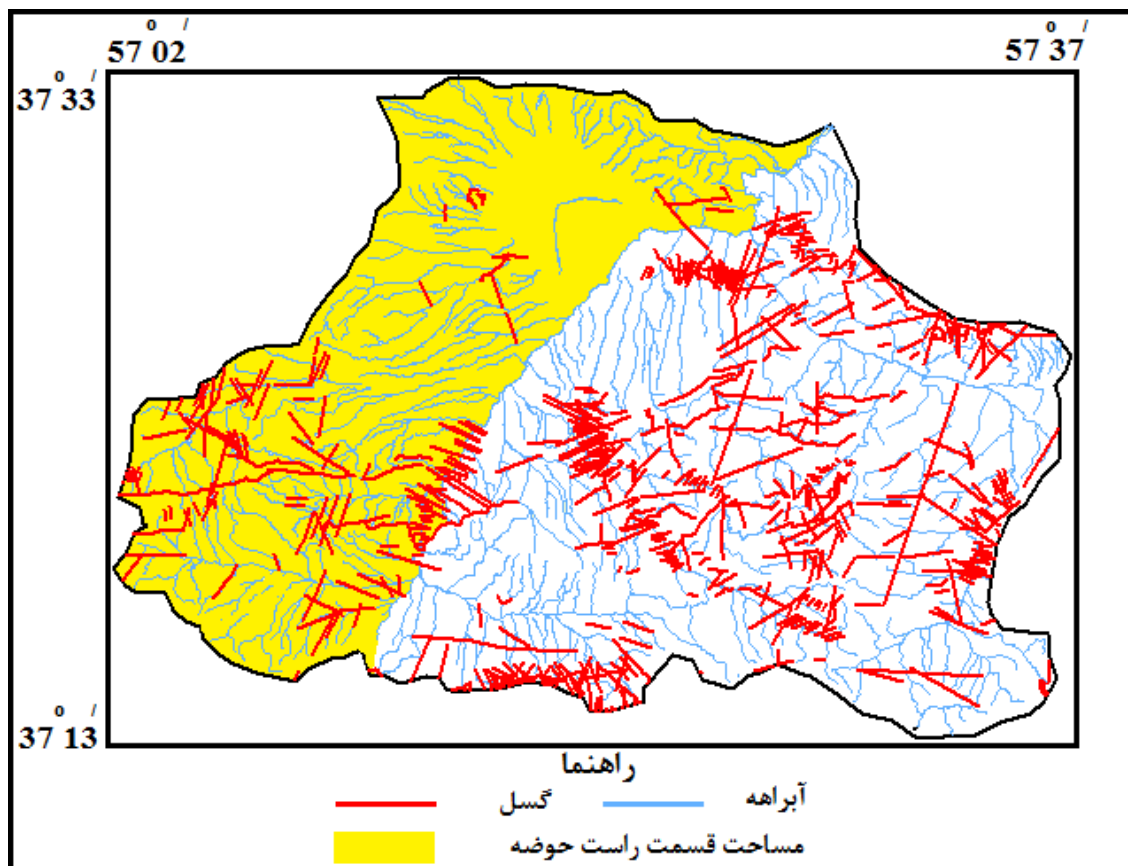
جدول ۲. تقسیم‌بندی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

شماره حوضه ه	مساحت حوضه (Km ²)	طول رودخانه (Km)	S	AF	$ Af-50 $	رده A F	BS	رد ه B S	Hi	رده Hi	رده Iat	S/n	رده Iat
۱	۱۴.۹	۹.۷۶	۱.۱	۵۶.۶	۶۶	۳	۴.۲	۱	۰.۷۸	۱	۲	۱.۶۶	۲
۲	۲۷۸.۷	۳۸.۳۰	۱.۳	۶۷.۵	۱۷.۵	۱	۴.۱	۱	۰.۸۲	۱	۱	۱	۱
۳	۱۴۴.۲	۳۲.۰۷	۱.۲	۳۰.۱	۱۹.۹	۱	۴.۳	۱	۰.۸۴	۱	۱	۱	۱
۴	۳۸.۸۶	۱۴.۴	۱.۲	۴۴.۱	۵.۸	۳	۲.۳	۳	۰.۸۳	۱	۳	۲.۳	۳

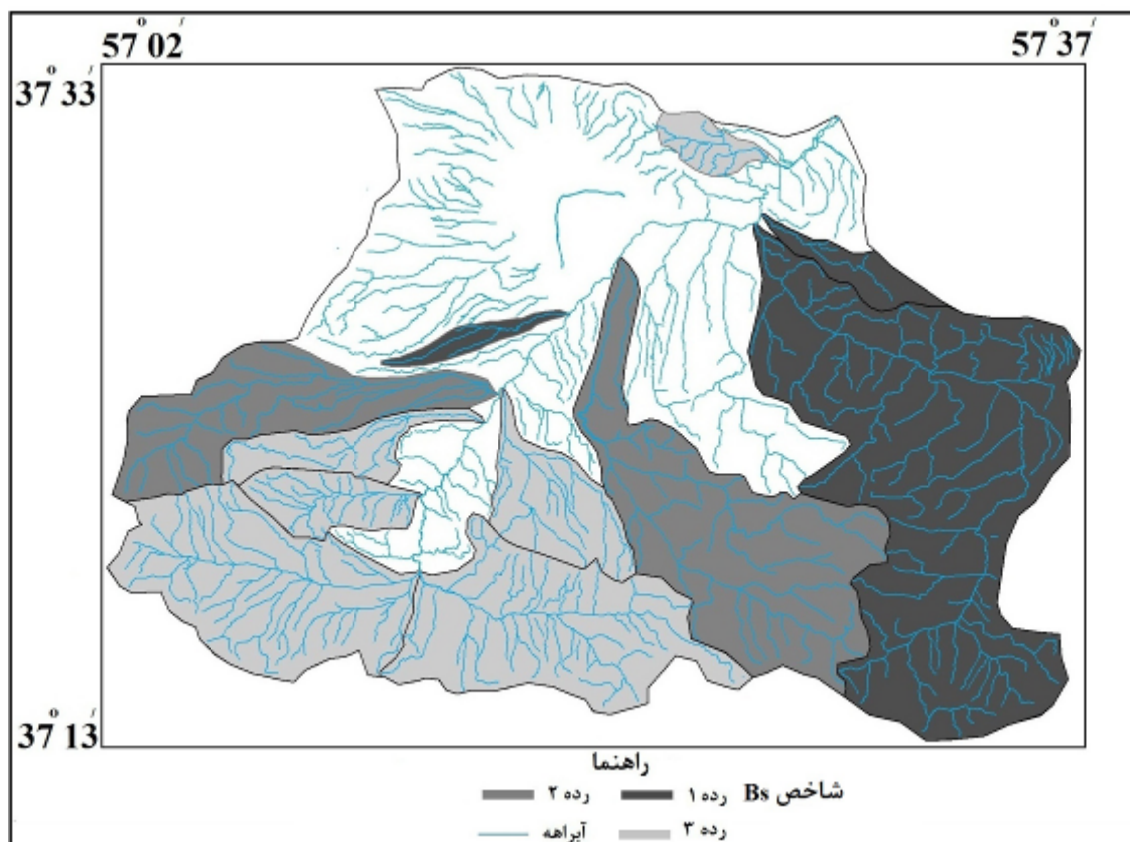
	۳			۶		۱			۲	۳			
۴	۲۶	۴	۲	۰.۴	۳	۱.	۳	۰.۲۶	۵۰.	۱.۱	۲۱.۱۵	۱۰.۴۳	۵
	۶			۸		۹			۳	۸			
۴	۲۶	۴	۲	۰.۴	۳	۱.	۳	۰.۵	۵۰.	۱.۲	۱۶.۲۹	۱۰.۷.۲	۶
	۶			۹		۷			۵	۶		۷	
۴	۳	۴	۳	۰.۴	۳	۱.	۳	۱.۴	۵۱.	۱.۲	۹.۱۳	۲۵.۱۴	۷
				۲		۵			۴	۷			
۴	۲۶	۴	۲	۰.۴	۳	۱.	۳	۶.۳	۵۶.	۱.۴	۱۸.۴۱	۲۵.۳۷	۸
	۶			۶		۸			۳	۴			
۳	۲.۳	۳	۲	۰.۵	۲	۳.	۳	۴.۵	۵۴.	۱.۲	۲۵.۱۳	۷۵.۵۶	۹
	۳			۴		۴			۵	۲			
۳	۲.۳	۳	۳	۰.۳	۱	۴.	۳	۳.۹	۵۳.	۱.۱	۱۱.۶۳	۹.۱۴	۱۰
	۳			۶		۵			۹	۶			
۴	۳	۴	۳	۰.۴	۳	۱.	۳	۲.۸	۵۲.	۱.۲	۷.۲۳	۱۱.۹	۱۱
				۴		۴			۸	۲			

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ آبراهه‌ها و مرز حوضه‌های مورد مطالعه مشخص گردید، همچنین برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی و بررسی ریخت زمین ساختی منطقه‌ی مورد مطالعه شاخص‌های عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شکل حوضه (Bs)، سینوسیته (S)، منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi)، طول-شیب رودخانه (SL) و زمین ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شد، نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. محاسبه‌ی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) برای حوضه‌ی اصلی نشان-دهنده‌ی کج‌شدگی حوضه‌ی اصلی به سمت غرب می‌باشد (شکل ۶) که آن را می‌توان سنگ‌شناسی مقاوم‌تر قسمت شرق حوضه و تراکم بیشتر گسل‌ها در آن منطقه حوضه نسبت داد، مقدار شاخص AF در حوضه‌ی اصلی ۴۰ و ۱۰ $|Af-50|$ می‌باشد و بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) در رده‌ی ۲ قرار می‌گیرد. بیشترین فعالیت و کج‌شدگی مربوط به قسمت شرقی حوضه‌ی اصلی و زیر حوضه‌های شماره‌ی ۱ تا ۴ می‌باشد که آن را می‌توان به وجود چین‌های قسمت شرقی حوضه و تراکم گسل‌ها در آن منطقه نسبت داد. کمترین مقدار شاخص AF مربوط به قسمت جنوبی حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۲) که نشان‌دهنده‌ی وجود حوضه‌های متقارن‌تر و با کج‌شدگی کمتر در آن مناطق می‌باشد، از دیگر دلایل کاهش شاخص AF در قسمت جنوبی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان به تراکم رسوبات آبرفتی در آن مناطق اشاره نمود.

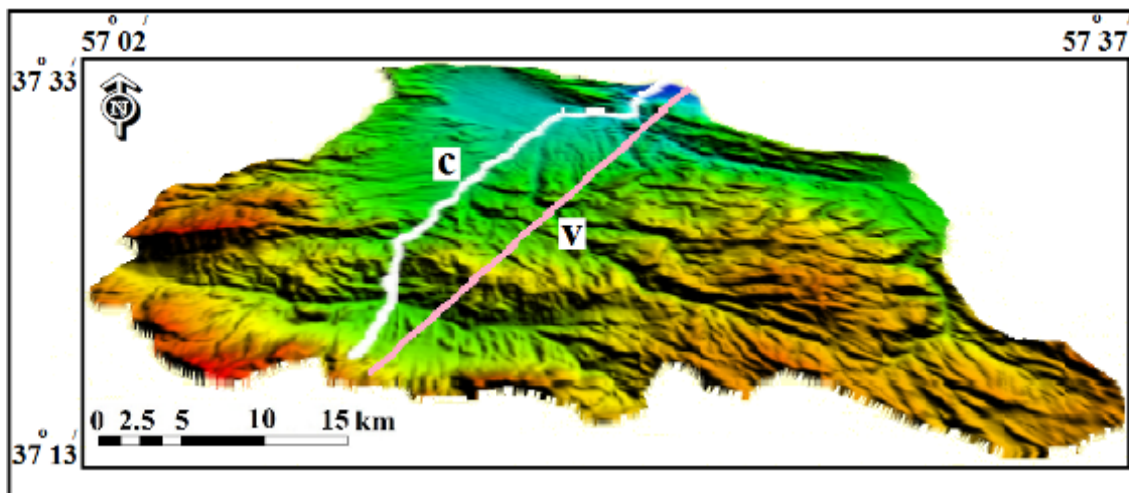


شکل ۶ نقشه‌ی تغییرات شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) در حوضه زهکشی بجنورد مقدار شاخص شکل حوضه (Bs) در حوضه‌ی اصلی ۱.۰۵ می‌باشد و بر اساس روش (El Hamdouni et al, 2008) در رده‌ی ۳ قرار می‌گیرد، که نشان‌دهنده‌ی نرخ پایین بودن بالا آمدگی در حوضه‌ی اصلی می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی غیرفعال بودن و غلبه‌ی فرسایش بر بالا آمدگی در حوضه‌ی اصلی می‌باشد. هر چه شکل حوضه‌ی اصلی به دایره شبیه‌تر بوده و مقدار عددی شاخص Bs نیز به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی فعالیت تکتونیکی کمتر در آن منطقه می‌باشد بنابراین تمامی این شواهد نشانه‌ی نرخ بالا آمدگی کم و صرف زمان بیشتری برای فرسایش در حوضه‌ی اصلی می‌باشد. از زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه زیر حوضه‌های جنوبی‌تر دارای کمترین مقدار شاخص Bs و کمترین فعالیت می‌باشند و پهن‌ترین زیرحوضه‌ها زیر حوضه‌های جنوبی می‌باشد (جدول ۲) که آن را می‌توان به تراکم رسوبات آبرفتی در این مناطق نسبت داد، کشیده‌ترین زیرحوضه‌ها مربوط به زیر حوضه‌های شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد که از دلایل آن می‌توان به لیتولوژی مقاوم‌تر و وجود چین‌های قسمت شرقی منطقه نام برد که باعث بالا آمدگی این منطقه و افزایش شاخص Bs گردیده است (شکل ۷).



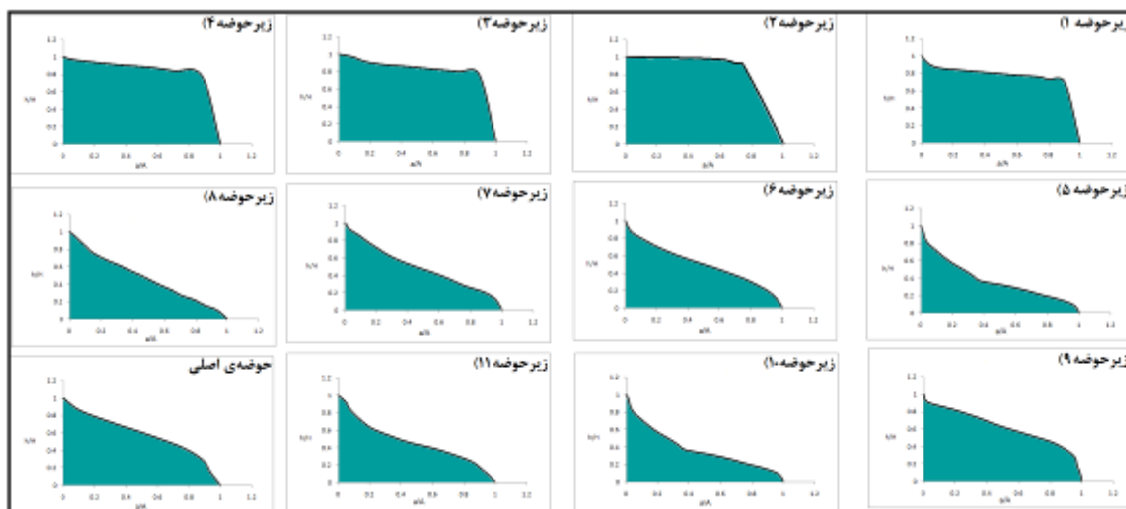
شکل ۷. نقشه تغییرات شاخص شکل حوضه (Bs) در شبکه زهکشی بجنورد

مقدار شاخص S در حوضه‌ی اصلی ۱.۳۵ می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی فعالیت تکتونیکی و بالا آمدگی منطقه می‌باشد (شکل ۸). میزان شاخص سینوسیتی (S) در اغلب زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نزدیک به ۱ می‌باشد. در مناطقی که شاهد بالا آمدگی تکتونیکی و حضور چین‌های منطقه می‌باشیم مقدار شاخص سینوسیتی کمتر و به مقدار عددی ۱ نزدیک‌تر می‌باشد همچنین در مناطقی که شاهد فعالیت تکتونیکی کمتر می‌باشیم مقدار عددی شاخص سینوسیتی از ۱ بیشتر می‌باشد (جدول ۲) این موضوع خود نشان‌دهنده تأثیرپذیری شکل آبراهه‌های منطقه از میزان فعالیت تکتونیکی است.



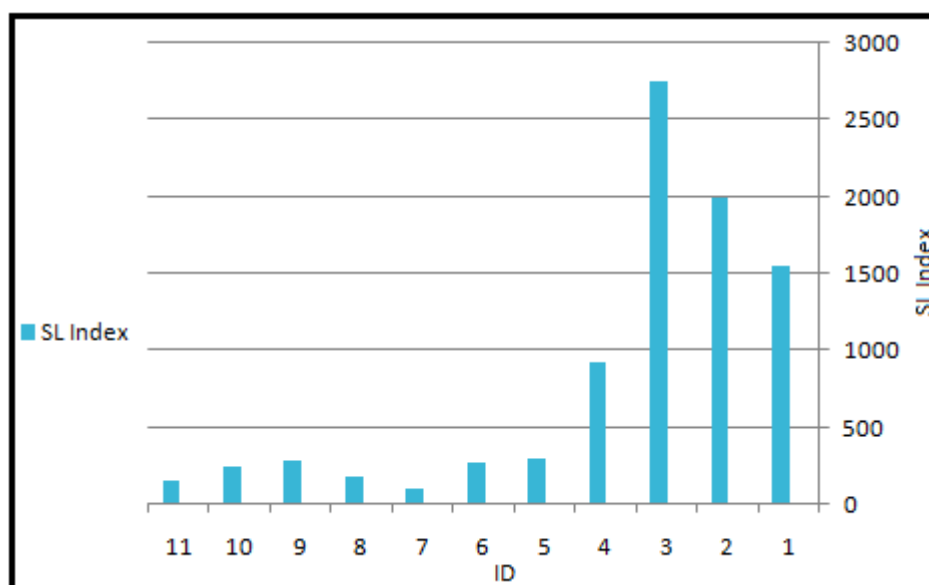
شکل ۸. پراکندگی میزان شاخص درجه‌ی سینوسی (S) در شبکه زهکشی بجنورد

در این پژوهش شاخص منحنی هیپسومتری (H_c) و انتگرال هیپسومتری (H_i) برای حوضه‌ی اصلی و تمامی زیر حوضه‌های آن محاسبه گردید. انتگرال هیپسومتری با محاسبه‌ی مساحت زیر نمودار به دست آمد، میزان شاخص انتگرال هیپسومتری در حوضه‌ی اصلی ۰.۵۳ می‌باشد و بر اساس رده‌بندی (El Hamdouni et al., 2008) در رده‌ی ۲ قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد متعادل نیروهای ژئومورفولوژیکی در منطقه می‌باشد (شکل ۹)، میزان شاخص انتگرال هیپسومتری در حوضه‌ی بجنورد نشان‌دهنده‌ی مرحله‌ی بلوغ در حوضه‌ی اصلی می‌باشد. محاسبه‌ی این شاخص در زیر حوضه‌های مختلف نشان از فعالیت بیشتر زیر حوضه‌های شماره‌ی ۱ تا ۴ می‌باشد؛ از دلایل افزایش این شاخص در قسمت شرقی حوضه‌ی بجنورد می‌توان به ارتفاعات آن منطقه و بیشتر بودن نرخ بالا آمدگی از نرخ فرسایش در این قسمت از حوضه اشاره نمود، زیر حوضه‌های دیگر منطقه‌ی مورد مطالعه در رده‌های ۲ و ۳ قرار می‌گیرند (جدول ۲)، زیر حوضه‌های جنوبی و غربی اغلب در رده‌ی ۳ قرار می‌گیرند که از دلایل آن می‌توان به تراکم رسوبات با مقاومت کمتر و فرسایش پذیری سریع‌تر آن‌ها در مقابل عوامل فرسایشی اشاره نمود.

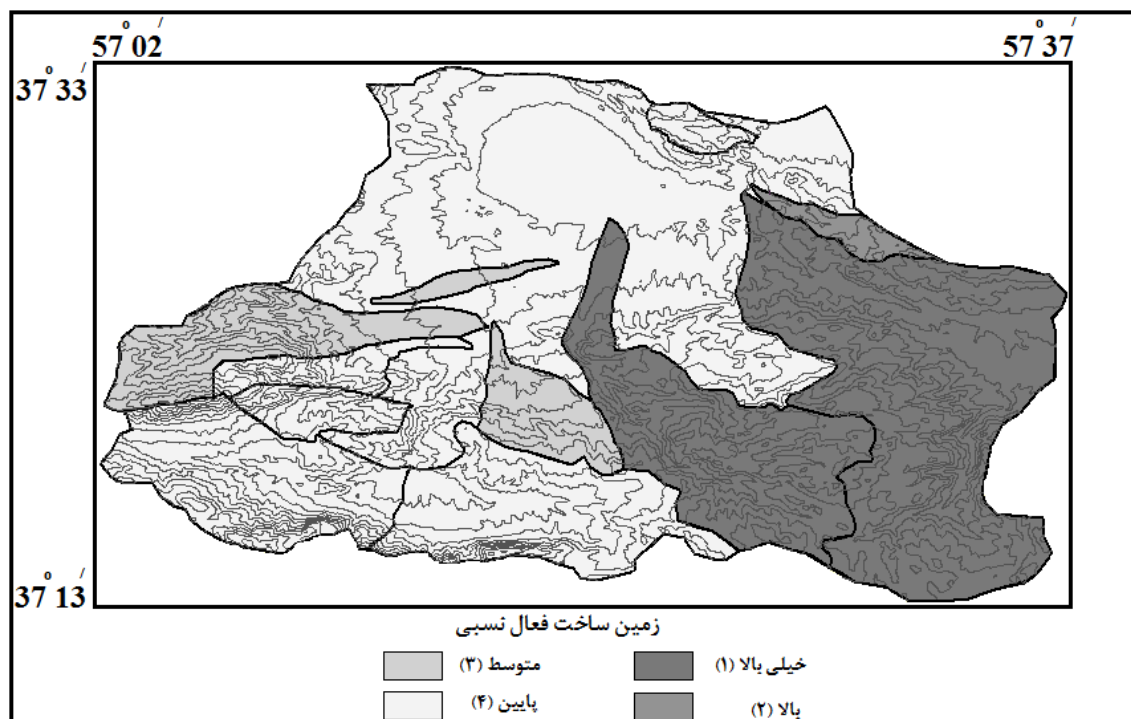


شکل ۹. منحنی‌های هیپسومتری ۱۱ زیر حوضه و حوضه‌ی اصلی

مقدار شاخص SL در حوضه‌ی بجنورد حدوداً بین ۹۰ تا ۲۷۵۲ متغیر است (شکل ۱۰). بیشترین میزان این شاخص مربوط به زیر حوضه‌های شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد افزایش شاخص SL را در این نواحی می‌توان به تکنونیک فعال و لیتولوژی مقاوم قسمت شرقی حوضه‌ی بجنورد نسبت داد، از دلایل کاهش این شاخص در زیر حوضه‌های جنوبی می‌توان به تراکم آبرفت‌های با مقاومت کمتر اشاره نمود و از دلایل کاهش شاخص SL در زیر حوضه‌های غربی می‌توان به تراکم کمتر خطواره‌ها نسبت به زیر حوضه‌های شرقی اشاره نمود. محاسبه‌ی شاخص SL نشان‌دهنده‌ی فعالیت تکنونیک‌ی بیشتر قسمت شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۱۰. نمودار میله‌ای مربوط به شاخص SL در زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه محاسبه‌ی شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) با میانگین‌گیری از شاخص‌های مختلف حاصل می‌آید، این مطالعه نشان می‌دهد که کمترین میزان شاخص زمین ساخت فعال نسبی و کمترین مقدار فعالیت تکنونیک‌ی مربوط به قسمت جنوبی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد که از دلایل آن می‌توان به تراکم رسوبات آبرفتی، کاهش تراکم گسل‌ها و چین‌ها در این ناحیه اشاره نمود، همچنین محاسبه‌ی این شاخص نشان می‌دهد که قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه در رده‌ی متوسط قرار می‌گیرد افزایش این شاخص در قسمت غربی حوضه‌ی بجنورد را می‌توان به تراکم رسوبات مقاومت‌تر و تراکم بیشتر گسل‌ها در این نواحی نسبت داد. اندازه‌گیری شاخص Iat نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت تکنونیک‌ی مربوط به قسمت شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۱۱) افزایش شاخص Iat در این ناحیه را می‌توان به عملکرد گسل‌ها و لیتولوژی مقاوم این ناحیه نسبت داد، بنابراین بیشترین فعالیت تکنونیک‌ی مربوط به قسمت شرقی حوضه‌ی بجنورد و کمترین فعالیت تکنونیک‌ی مربوط به قسمت جنوبی حوضه‌ی بجنورد می‌باشد.



شکل ۱۱. پراکندگی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) در حوضه‌ی اصلی و زیر حوضه‌های آن

بحث و نتیجه‌گیری

محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی یکی از مهم‌ترین ابزارهایی است که برای بررسی میزان فعالیت تکتونیکی یک منطقه به کار می‌رود. در این مطالعه شاخص‌های عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شکل حوضه (BS)، سینوسیته (S)، منحنی هیپسومتری (Hc)، انتگرال هیپسومتری (Hi) و طول-شیب رودخانه (SL) برای بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی بجنورد محاسبه گردید و از میانگین‌گیری از تمامی آن‌ها شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) به دست آمد. مقدار شاخص Af در حوضه‌ی اصلی ۴۰ می‌باشد که نشان از کج‌شدگی حوضه‌ی اصلی به سمت غرب می‌باشد که آن را می‌توان به تراکم گسل‌ها در قسمت شرقی حوضه و همچنین وجود چین‌ها و لیتولوژی مقاوم‌تر در قسمت شرقی حوضه‌ی اصلی نسبت داد. اندازه‌گیری شاخص BS در حوضه‌ی اصلی نشان‌دهنده‌ی نزدیک بودن شکل حوضه‌ی اصلی به دایره است، از زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه زیر حوضه‌های جنوبی اغلب به دایره نزدیک می‌باشند که آن را می‌توان به سنگ‌شناسی و تراکم رسوبات با مقاومت کمتر در آن ناحیه نسبت داد. محاسبه شاخص سینوسیته (S) در منطقه‌ی مورد مطالعه و نزدیک بودن مقدار این شاخص به عدد ۱ نشان‌دهنده‌ی بالا آمدگی تکتونیکی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد که آن را می‌توان به تراکم چین‌های منطقه در قسمت شرقی حوضه نسبت داد که باعث بالا آمدگی این قسمت از حوضه‌ی بجنورد شده است. اندازه‌گیری شاخص منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi) در حوضه‌ی بجنورد و تمامی زیر حوضه‌های آن نشان می‌دهد که در حوضه‌ی اصلی فرآیندهای ژئومورفولوژیکی به صورت متعادل عمل می‌کنند. ولی محاسبه‌ی منحنی و انتگرال هیپسومتری در زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در زیر حوضه‌های شرقی فرآیندهای تکتونیکی بر فرآیندهای فرسایشی پیشی دارد در صورتی که در زیر حوضه‌های جنوبی و غربی یا فرآیندهای فرسایشی بر فرآیندهای تکتونیکی پیشی می‌گیرند و یا فرآیندهای ژئومورفولوژیکی به صورت متعادل عمل می‌کنند. محاسبه‌ی شاخص SL در حوضه‌ی بجنورد نشان می‌دهد فعال‌ترین بخش منطقه‌ی مورد مطالعه زیر حوضه‌های شرقی می‌باشند که از دلایل آن می‌توان به تراکم رسوبات با مقاومت بیشتر و خطواره‌ها در این ناحیه اشاره

نمود. محاسبه‌ی شاخص زمین ساخت فعال نسبی نشان می‌دهد که نیروهای تکتونیکی در قسمت غربی منطقه‌ی مورد مطالعه به صورت متعادل عمل می‌کنند در صورتی که بیشترین فعالیت تکتونیکی مربوط به قسمت شرقی حوضه‌ی بجنورد و کمترین فعالیت تکتونیکی مربوط به قسمت جنوبی حوضه‌ی بجنورد می‌باشد. همچنین در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار GIS و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌های عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شکل حوضه (Bs)، منحنی هیپسومتري (Hc) و انتگرال هیپسومتري (Hi)، سینوسی (S) و طول- شیب رودخانه (SL) نقشه‌ی پهنه‌بندی تکتونیکی حوضه‌ی بجنورد به دست آمد و منطقه‌ی مورد مطالعه به چهار ناحیه‌ی تکتونیکی با فعالیت خیلی بالا، بالا، متوسط و پایین تقسیم‌بندی شد و برای هر ناحیه از منطقه مقادیر شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه و شدت فعالیت تکتونیکی مشخص شد. با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی تکتونیکی پرخطرترین بخش منطقه‌ی مورد مطالعه بخش شرقی آن و کم‌خطرترین قسمت حوضه‌ی بجنورد بخش جنوبی آن می‌باشد.

منابع

- Alavi M., 1996, **Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran**, Journal of Geodynamics, Vol. 21, No. 1, pp. 1–33.
- Ambraseys N., Moinfar A., and Tchalenko J., 1971, **The Karnaveh (Northeast Iran) earthquake of 30 July, 1970**, Annali di Geophysica, No. 24, pp. 475–495.
- Arisco G., Arnone G., Favara R., Nigro F., Perricone M., Renda P., Mondello C., 2006, **Integrated neotectonic and morphometric analysis of northern Sicily**, *Bollettino della società Geologica Italiana*, pp. 129–153.
- Berberian M., and Yeats R., 1999, Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 89, pp.120–139.
- 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, pp. 115–138.
- Christopher O., Idowu A.O., Olugbenga A.S., 2010, Hydrological Analysis of Onitsha North East Drainage Basin Using Geoinformation Techniques, *World Applied Sciences Journal* Vol.11, No. 10, pp. 1297–1302.
- 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*, No.121, pp. 329–341.
- EL Hamdouni R., Irigaray C., Fernandez T., Chacon J., and Keller E. A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*, No. 969, pp. 150–173.
- Fortes E., Stevaux J. C., Volkmer S., 2005, Neotectonics and channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Parana' River, Brazil, *Geomorphology*, No. 70, pp. 325–338.
- García-Meléndez E., Goy J.L., Zazo C., 2003, Neotectonics and Plio-Quaternary landscape development within the eastern Hue'rcal-Overa Basin (Betic Cordilleras, southeast Spain), *Geomorphology*, No. 50, pp. 111– 133.
- Keller, E.A., & Pinter, N., 2002, *Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape*, Prentice Hall P. 362.
- Mantovani F., Vita-Finzi C., 2003, Neotectonics of the Vajont dam site, *Geomorphology*, No. 54, pp. 33–37.
- Oswald J. A., Wesnousky S. G., 2002, Neotectonics and Quaternary geology of the Hunter Mountain fault zone and Saline Valley region, southeastern California, *Geomorphology*, No. 42, PP. 255– 278.

- Rockwell T.K., Keller E.A., Johnson D.L., 1985, Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California, In: Morisawa, M. (Ed.), Tectonic Geomorphology, Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium. Allen and Unwin Publishers, Boston, MA, pp. 183–207.
- Silva P.G., Goy J.L., Zazo C., Bardajm T., 2003, Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity, *Geomorphology*, No. 250, pp. 203–226.
- Stokes M., 2008, Plio-Pleistocene drainage development in an inverted sedimentary basin: Vera basin, Betic Cordillera, SE Spain, *Geomorphology*, No. 100, pp. 193–211.
- Verrior S., Zygouri V., Kokkalas S., 2004, Morphotectonic analysis in the Eliki fault zone (Gulf of Corinth, Greece), *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. xxx VL, pp. 1706-1714.