



تحلیل نوزمین ساخت گسل شوستر با استفاده از شاخص‌های مورفومتری

بابک سامانی^{۱*}، عباس چرچی^۲، یاسمین راضی جلالی^۳

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- کارشناسی ارشد تکتونیک گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵

چکیده

عملکرد گسل شوستر واقع در فروافتادگی دزفول شمالی باعث ایجاد مورفولوژی مشخصی شده است که در ردیابی و شناسایی ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمینریخت‌شناسی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه پهنه‌بندی گسل شوستر از لحاظ نوع فعالیت بر اساس شاخص‌های ریخت زمین ساختی پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)، شاخص شکل حوضه (Bs)، شاخص طول-گرادیان رود (SI)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf) و شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af) مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار شاخص Smf در گسل شوستر از ۱/۰۰۷ در مناطق فعال تا ۱/۵۸۴ در مناطق غیرفعال زمین ساختی متغیر می‌باشد. مقدار شاخص SI از ۸۹۸/۱۱ در مناطق بسیارفعال منطقه تا مقدار ۲۴۲/۸ در مناطق با فعالیت زمین ساختی کم متغیر می‌باشد. مقدار شاخص Bs از ۹/۶۲ در مناطق بسیارفعال منطقه تا مقدار ۲/۰۴ در مناطق با فعالیت زمین ساختی کم متغیر می‌باشد. مقدار شاخص Vf از ۱ در مناطق فعال با دره‌های V شکل تا ۱۰/۵ در مناطق غیرفعال با دره‌های U مانند متغیر است. مقدار شاخص شاخص Af از ۳۵۹/۳ در مناطق بسیارفعال منطقه تا مقدار ۳/۷ در مناطق با فعالیت زمین ساختی کم متغیر می‌باشد. با استفاده از تکنیک‌های GIS، رویهم‌اندازی (overlay) چهار لایه‌های اطلاعاتی Smf، Bs، SL، Vf و Af انجام گرفت و منطقه به سه ناحیه زمین ساختی رده‌بندی شد و نقشه پهنه‌بندی زمین ساخت فعال بصورت کمی برای منطقه تهیه گردید. در این نقشه رده‌های ۱ تا ۳ به ترتیب نشانگر بیشترین تا کمترین فعالیت‌های زمین ساختی می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که گسل شوستر در بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی دارای فعالیت با رده زمین ساختی متوسط بوده و در بخش‌های جنوب‌شرقی دارای فعالیت با رده زمین ساختی پایین می‌باشد و قسمتی از شمال‌غربی گسل (اطراف شهر شوستر) دارای فعالیت زمین ساختی بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گسل شوستر، فروافتادگی دزفول، نوزمین ساخت، زمین ساخت فعال، شاخص‌های ریخت زمین ساختی.



Neo-tectonic analysis of Shushtar fault using morphometric indexes

Samani .B^{1,*}; Charchi .A² ; Razi Jalali .Y³

1 Associate professor, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz

2 Assistant Professor, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz

3 Master of Tectonics, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz

Abstract

The effect of Shushtar fault in the northern Dezful Embayment cases to several geomorphologic features that can be used to identification of geology and morphotectonic properties of the this fault. The Geomorphic indices including mountain front sinuosity (Smf), valley floor width to valley height ratio (Vf), basin shape index (Bs), stream length–gradient index (SL) and basin asymmetry index (Af) have been calculated for determination of various tectonic activities along the Shushtar fault. The mountain front sinuosity (Smf) index was calculated about 1.007 to 1.584 respectively in the active and inactive parts of the Shushtar fault. The stream length–gradient (SL) index was calculated between 898.11 in the high active tectonic and 242.8 in the low active tectonic parts of the study area. The basin shape (Bs) index has been calculated between 9.62 for the very active parts and, 2.04 for the low active parts of the fault. The amounts of valley floor width to valley height ratio (Vf) index show the range between 1 to 10.5 in the active parts with V shape valley morphology and inactive parts with U shape valley morphology respectively. Also the basin asymmetry index (Af) was calculated between 359.3 in the high active tectonic and 3.7 in the low active tectonic parts of the study area. With application of the GIS techniques and the overlaying the Smf, Bs, Vf, SL and Af data layers the area was divided into three different tectonic zones and quantitative active tectonic zoning map was prepared for the study area. In this active tectonic map, classes 1 to 3 respectively show the highest to lowest tectonic activity along the Shushtar fault. Results reveal that the Shushtar fault in the central and northwestern parts shows the medium tectonic activity and in the southeastern parts shows the low tectonic activity manner. Also results show the high tectonic activity in the some northwestern parts near the Shushtar city.

Keywords: Shushtar fault, Dezful Embayment, Neotectonic, Active tectonic, Morphotectonic index



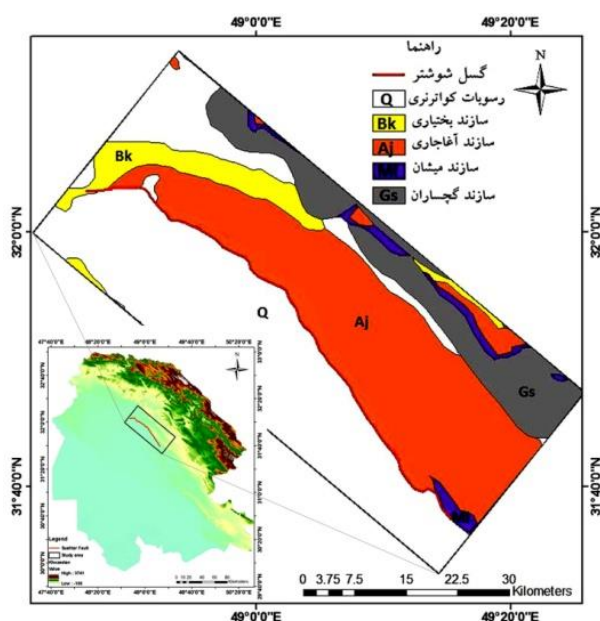
مقدمه

خارجی نیز با تغییر در اشکال و فرمهای ناشی از نیروهای درونی باعث تغییر شکل زمین می‌گردند که در مباحث ژئومورفولوژی به آنها پرداخته می‌شود و لازم است در مطالعات ریخت زمین ساختی تأثیر این عوامل نیز در نظر گرفته شود. در بسیاری از مطالعات پیشین از شاخص‌های ریخت سنجی جهت مطالعه و بررسی فعالیت‌های نوزمین ساختی در حوضه‌های آبریز پرداخته شده است. گسل شوشتر یکی از گسل‌های مهم و بزرگ استان خوزستان بوده که تاکنون از دیدگاه فعالیت‌های نوزمین ساختی مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های ریخت سنجی به بررسی میزان فعالیت‌های نوزمین ساختی در بخش‌های مختلف گسل شوشتر واقع در غرب استان خوزستان پرداخته شده است.

گستره مورد بررسی

گسل شوشتر در دامنه شمالی فروافتادگی دزفول شمالی قرار دارد، این فروافتادگی بخش جنوب باختری کمربند چین‌خورده زاگرس را در شمال شرق لبه صفحه عربستان شامل می‌شود (Alavi, 1994, 2007). محدوده مورد مطالعه با عرض جغرافیایی $33^{\circ} 31'$ تا $32^{\circ} 13'$ شمالی و طول جغرافیایی $48^{\circ} 53'$ تا $49^{\circ} 14'$ شرقی در کوهپایه‌های زاگرس چین‌خورده در استان خوزستان و جنوب غرب ایران در فروافتادگی دزفول شمالی قرار دارد. گسل شوشتر با طول تقریبی ۶۵ کیلومتر و با روند عمومی $N316^{\circ}$ از مجاورت شهرستان شوشتر عبور می‌کند (شکل ۱). این گسل مانند دیگر گسل‌های پهنه‌ی چین‌خورده‌ی زاگرس نتیجه‌ی همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا می‌باشد و باعث بروز تغییر شکل‌هایی در منطقه شده است. در راستای این گسل سازند بختیاری، میشان و آغاجاری (فرادیواره) بر روی رسوبات کواترنری (فرودیواره) گسل رانده شده است.

پوسته ایران زمین طی رخدادهای زمین‌شناسی دوره‌های ترشیری و کواترنری تحت تاثیر تحولات وسیعی قرار گرفته است. به گونه‌ای که بسیاری از سیماهای کنونی طی رخدادهای جوان زمین ساختی شکل گرفته‌اند. تکوین و حتی فعالیت مجدد بسیاری از گسل‌های ایران در ارتباط با این حرکات زمین ساختی جوان می‌باشد. در بسیاری از موارد جهت درک میزان فعالیت‌های زمین ساختی گسل‌ها از مطالعات زمین ساخت پویا و نوزمین ساخت استفاده می‌شود. در مطالعات زمین ساخت پویا با استفاده از پراکندگی زمانی-مکانی و ساز و کار رخدادهای زمین لرزه‌ها و یا داده‌های شبکه‌های موقعیت‌یاب جغرافیایی به بررسی چگونگی توزیع و الگوی تنش در پوسته و ماهیت حرکات آن پرداخته می‌شود. (Fossen, 2016) این درحالی است که مطالعات نوزمین ساخت بازه زمانی طولانی‌تری (حداقل از دوره کواترنری) از تحولات زمین‌شناسی را شامل می‌شوند (Twiss and Moore, 2007). نوزمین ساخت به عوامل جدید زمین ساختی گفته می‌شود که عمدتاً در گسل‌ها نمود پیدا می‌کند. جابجایی گسل‌ها، باعث تشدید کانون‌های زلزله، آزاد شدن نیروهای درونی زمین و در نهایت تغییر شکل عوامل ژئومورفولوژیکی سطح زمین می‌شود. ریخت زمین ساخت یکی از شاخه‌های علم زمین ساخت است، که از بررسی اشکال و فرم‌های موجود در پوسته‌ی خارجی زمین به مطالعه‌ی نیروها و عوامل به وجود آورنده آنها می‌پردازد و چون فرم‌ها و اشکال فعلی موجود در پوسته خارجی زمین عموماً مربوط به آخرین حرکات پوسته‌ی زمین (فازهای کوهزایی، حرکات خشکی‌زایی و غیره) می‌باشند، بنابراین مطالعه‌ی آنها کمک شایانی به مباحث مربوط به زمین ساخت پویا، لرزه زمین ساخت، نوزمین ساخت، ژئومورفولوژی نظری و غیره می‌نماید. از طرف دیگر فرم‌ها و اشکال سطح زمین فقط محصول عوامل و نیروهای درونی نیستند، بلکه عوامل



شکل ۱. ا: وضعیت گسل شوشتر بر روی تصویر DEM خوزستان و نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و با به کارگیری مدل ارتفاع رقومی، نقشه زمین‌شناسی، نقشه‌ی آبراهه‌های منطقه و نقشه زیر حوضه‌های منطقه، به بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی در بخش‌های مختلف گسل شوشتر پرداخته شده است. از آنجا که تعیین کمی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی مستلزم انجام مطالعات پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد از این رو استفاده از شاخص‌های مورفومتری برای ارزیابی سریع و ارزان میزان پویایی زمین‌ساختی یک ناحیه خاص حایز اهمیت می‌باشد. روش معمول در انجام این‌گونه مطالعات اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف مورفومتری و بررسی و مقایسه نتایج و نهایتاً پهنه‌بندی منطقه از دیدگاه میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در یک محدوده وسیع

می‌باشد. در این مطالعه به منظور فهم میزان فعالیت زمین‌ساختی گسل شوشتر اندازه‌گیری پارامترهای مورفومتری در امتداد گسل و در کمترین فاصله از خط اثر گسل اندازه‌گیری شده است. از این رو این مطالعه یک دیدگاه و روش نسبتاً جدید در استفاده از این پارامترها بمنظور فهم رفتار یک گسل در بخش‌های مختلف آن ارائه می‌دهد. بنابراین برای پیش‌برد اهداف این مطالعه از پنج شاخص مورفومتری استفاده شد که عبارتند از: شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان^۱ (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره^۲ (Vf)، شاخص کشیدگی حوضه^۳ (Bs)، شاخص گرادیان طولی رودخانه^۴ (SL) و شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی^۵ (Af). در این تحقیق از نقشه‌های ارتفاع رقومی با دقت ۳۰ متر جهت استخراج نقشه‌های پایه استفاده گردیده است. بنابراین دقت نقشه‌های استخراجی و تاثیر گذاری آنها در نتایج

۴. Stream Length-gradient index

۵. Basin asymmetry index

۱. Mountain front sinuosity

۲. Ratio of valley floor width to valley height

۳. Drainage Basin Shape Ratio



در ادامه شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (S_{mf})، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (V_f)، شاخص کشیدگی حوضه (B_s)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) و شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (A_f) در امتداد گسل شوشتر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از چندین شاخص می‌تواند با یکدیگر ترکیب شده و با افزوده شدن به سایر اطلاعات نظیر نقشه‌ی گسل‌های اصلی، نقشه‌ی پی‌سنگ و نرخ‌های بالاآمدگی، رده‌های فعالیت زمین ساختی را برای منطقه مشخص نمود (پورخسروانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شکری و همکاران، ۱۳۹۸). این رده‌ها نشانگر درجه نسبی فعالیت در یک ناحیه هستند.

پیچ و خم پیشانی کوهستانی

فعالیت زمین ساختی در کوهستان می‌تواند به وسیله شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان بیان می‌شود. اغلب جبهه‌های فعال زمین ساختی مقادیر این شاخص نزدیک به عدد یک است. با افزایش میزان بالا آمدگی این شاخص کاهش یافته یا متوقف می‌شود و فرایندهای فرسایشی فرصت پیدا می‌کنند تا جبهه کوهستان پر پیچ و خمی را شکل دهند. در طی زمان این پیشانی بسیار بی‌نظم خواهد شد (Lewise et al., 2017). پیچ و خم پیشانی کوهستان به صورت رابطه ۱ تعریف شده است (Keller and Pinter, 1996):

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s \quad (\text{رابطه 1})$$

S_{mf} پیچ و خم پیشانی کوهستان، L_{mf} طول پیشانی کوهستان در طول کوهپایه و انحناهای مشخص در دامنه آن و L_s طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است. این شاخص نشانگر توازن بین نیروهای زمین ساختی فرسایشی مایل به بریدن دهانه‌ها در پیشانی کوهستان و نیروهای زمین ساختی مایل به ایجاد پیشانی‌های مستقیم کوهستانی

بدست آمده تحت تاثیر میزان دقت اولیه نقشه ارتفاع راقومی قرار خواهد گرفت. طبعاً استفاده از نقشه‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر بر میزان دقت نتایج خواهد افزود. سپس نقشه تغییرات هر یک از شاخص‌های ژئومورفیک در شبکه‌های ۵×۵ کیلومتری با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در محدوده حریم گسل تهیه گردید. با توجه به ماهیت خطی اثر گسل بر روی نقشه، نتایج به دست آمده در مجاورت گسل دارای بالاترین قطعیت و با فاصله گرفتن از گسل، از میزان قطعیت نتایج کاسته خواهد شد. در نهایت با استفاده از کلاس بندی‌های استاندارد، میزان فعالیت‌های زمین ساختی متفاوت گسل در بخش‌های مختلف آن به نقشه در آمده است.

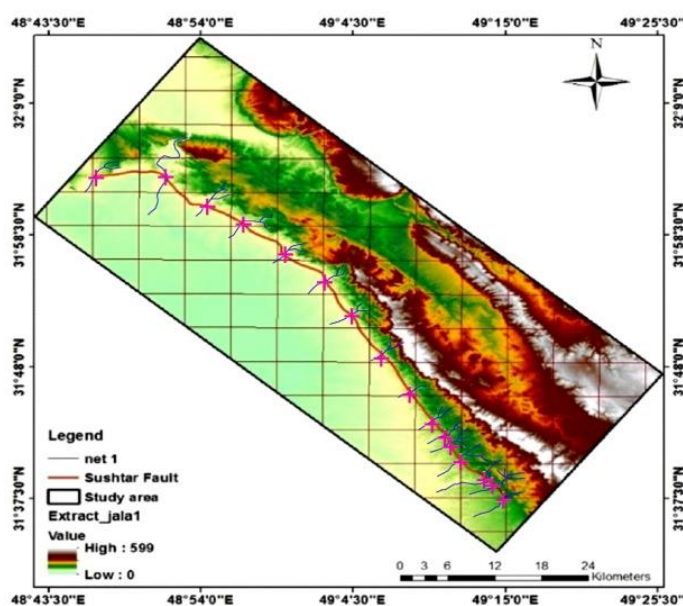
بحث

ریخت زمین ساخت، زمین‌لرزه‌شناسی و دیرینه لرزه‌شناسی اساس مطالعات زمین ساخت فعال و نوزمین ساخت است (Bull, 2008; Burbank and Anderson, 2011). تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در کره زمین نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تغییرات زمین ساختی قرار نگرفته باشد (Keller and Pinter, 2002). شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی‌های زمین ساختی مفید هستند زیرا می‌توانند برای ارزیابی سریع مناطق وسیع به کار گرفته شوند و داده‌های ضروری آن اغلب به سرعت از نقشه‌های راقومی و تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند (Keller and Pinter, 1996؛ عزتی و همکاران، ۱۳۹۸). هر یک از شاخص‌های مورد بحث، امکان یک رده‌بندی نسبی از فعالیت‌های زمین ساختی را در بررسی‌های مقدماتی فراهم می‌آورد و می‌توان منطقه را به نواحی فعال، نیمه‌فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی کرد. وقتی بیش از یک شاخص برای یک ناحیه خاص به کار می‌رود نتایج پر معنی‌تر از تحلیل‌های حاصل از یکی از آنها حاصل می‌شود (Kirby and Whipple, 2012; Gaidzik and Ramirez, 2016).

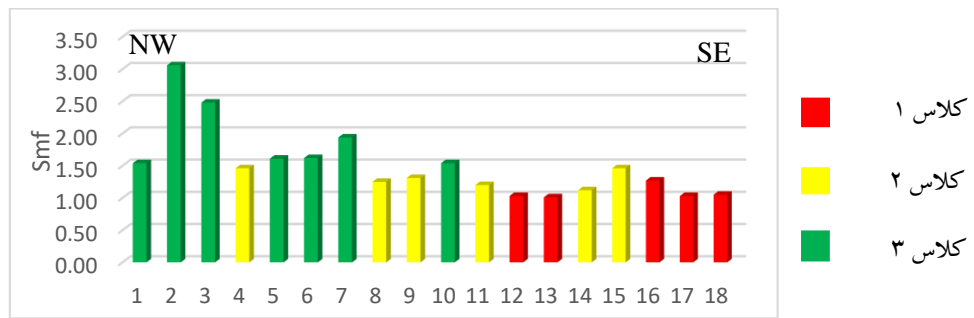


فعال و کلاس ۲، $1/5 < Smf < 1/1$ مناطق با فعالیت تکتونیکی متوسط و کلاس ۳، $Smf > 1/5$ مناطق غیر فعال زمین ساختی می باشند. طبق تقسیم بندی ارائه شده توسط El Hamdouni et al., 2008 بخش اعظم گسل شوشتر از دیدگاه فعالیت تکتونیکی در کلاس ۱ و ۲ جای دارد. جدول ۲ مقادیر L_s ، L_{mf} و Smf و فعالیت زمین ساختی شبکه های مختلف جبهه کوهستان را در گسل شوشتر نشان می دهد. نمودار ۱ نمودار تغییرات Smf در امتداد گسل شوشتر را نشان می دهد. مقدار این شاخص در گسل شوشتر از $1/0.07$ در مناطق فعال تا $1/5.84$ در مناطق غیر زمین ساختی متغیر می باشد. شکل ۳ الف و ب به ترتیب نقشه پهنه بندی و کلاس بندی شاخص Smf گسل شوشتر را نشان می دهد. بر اساس این شاخص نیمه شمال غربی گسل شوشتر نشان دهنده فعالیت زمین ساختی کم، و نیمه جنوب شرقی گسل به استثنای بخشهایی از مرکز و پایانه جنوب شرقی گسل به ترتیب نشان دهنده فعالیت زمین ساختی متوسط و بالا می باشند.

منطبق بر یک گسل فعال محدود کننده رشته می باشد. پیشانی های کوهستانی مرتبط با تکتونیک فعال و بالا آمدگی، نسبتاً مستقیم بوده و دارای مقادیر پایین Smf هستند. اگر نرخ بالا آمدگی کاهش یافته یا متوقف شود، فرآیندهای فرسایشی، سبب تراشیده شدن هر چه بیشتر پیشانی کوهستانی شده و Smf افزایش می یابد. مقادیر Smf در عمل می توانند به سادگی از روی نقشه های توپوگرافی یا عکس های هوایی محاسبه گردند. به منظور اندازه گیری شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستانی طبق شکل ۲ محدوده گسل شوشتر مشخص گردید و با استفاده از نقشه مدل ارتفاعی رقومی و $Global Mapper$ نقشه های زمین شناسی $1/100000$ در محیط منطقه مورد مطالعه به سلول های با ابعاد ۵ در ۵ کیلومتر شبکه بندی گردید. در محیط $Arc Gis$ نقاط مرکزی هر شبکه مشخص گردید و مقدار Smf مربوط به هر شبکه تعیین و با استفاده از مختصات هر نقطه و مقدار شاخص Smf آن نقطه، نقشه پهنه بندی Smf ترسیم گردید. طبق جدول ۱ تقسیم بندی (El Hamdouni et al., 2008) کلاس ۱، $Smf < 1/1$ بسیار



شکل ۲. تصویر DEM شبکه بندی شده تاقدیس و گسل شوشتر به همراه موقعیت آبراهه ها و دره های عرضی در یال جنوبی تاقدیس.



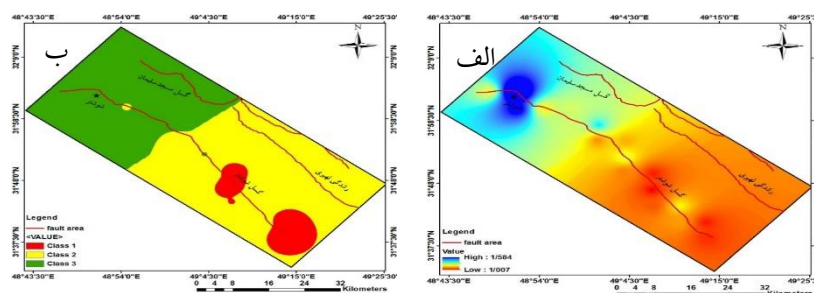
نمودار ۱: مقادیر اندازه گیری شده پیشانی کوهستان در امتداد گسل شوشتر

جدول ۱: تقسیم بندی فعالیت های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص Smf (El Hamdouni et al., 2008).

مناطق	فعال	نیمه فعال	غیر فعال
میزان Smf	$Smf > 1/1$	$1/5 < Smf < 1/1$	$Smf < 1/5$

جدول ۲: مقادیر محاسبه شده ی شاخص Smf

NO	X	Y	Smf	Class
۱	۳۲/۰۵	۴۸/۸۰	۱/۵۴	۳
۲	۳۲/۰۵	۴۸/۸۵	۳/۰۶	۳
۳	۳۲/۰۰	۴۸/۸۵	۲/۴۸	۳
۳	۳۲/۰۰	۴۸/۹۱	۱/۴۶	۲
۵	۳۲/۰۰	۴۸/۹۶	۱/۶۱	۳
۶	۳۱/۹	۴۸/۹۶	۱/۶۲	۳
۷	۳۱/۹۶	۴۹/۰۱	۱/۹۴	۳
۸	۳۱/۹۱	۴۹/۰۱	۱/۲۵	۲
۹	۳۱/۹۱	۴۹/۰۶	۱/۳۱	۲
۱۰	۳۱/۸۷	۴۹/۰۶	۱/۵۴	۳
۱۱	۳۱/۸۲	۴۹/۰۶	۱/۲	۲
۱۲	۳۱/۸۲	۴۹/۱۲	۱/۰۳	۱
۱۳	۳۱/۷۸	۴۹/۱۱	۱/۰۱	۱
۱۴	۳۱/۷۳	۴۹/۱۲	۱/۱۲	۲
۱۵	۳۱/۷۳	۴۹/۱۷	۱/۴۶	۲
۱۶	۳۱/۶۹	۴۹/۱۷	۱/۲۷	۱
۱۷	۳۱/۶۹	۴۹/۲۲	۱/۰۳	۱
۱۸	۳۱/۶۴	۴۹/۲۲	۱/۰۵	۱



شکل ۳. الف) نقشه پهنه‌بندی شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان
ب) نقشه کلاس‌بندی شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان

شاخص شکل حوضه (Bs)

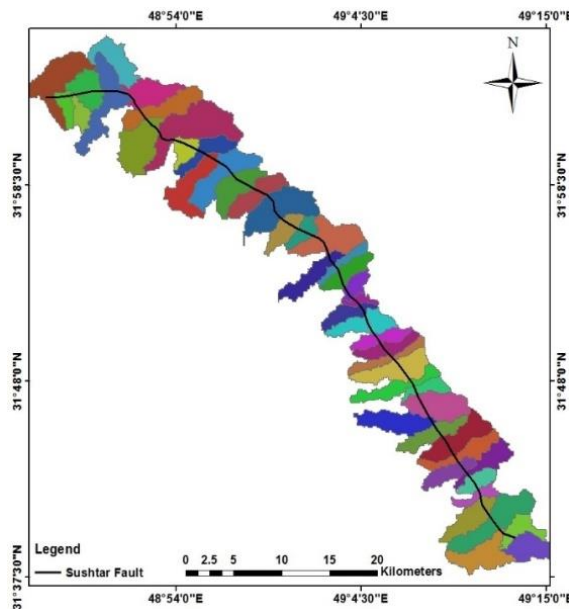
شکل پلانیمتری حوضه‌ها به وسیله نسبت شکل حوضه توصیف می‌شود. با استفاده از این شاخص می‌توان شکل حوضه را به یک شاخص کمی تبدیل کرد (Keller and Pinter, 2002). که به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$Bs = BI / Bw \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه طول حوضه BI ، از محل مجرای خروجی تا بالاترین نقطه عرض حوضه (دورترین آن) و Bw عرض حوضه بوده که در عریض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود. حوضه‌های با کشیدگی زیاد مشخص‌کننده مناطق فعال زمین‌ساختی است. با گذشت زمان فعالیت منطقه، شکل آن به دایره نزدیک می‌شود. حوضه‌هایی با Bs بزرگتر از ۴ حوضه‌های فعال، حوضه‌های با Bs بین ۳ تا ۴ حوضه‌های نیمه‌فعال و حوضه‌هایی با Bs کمتر از ۳ حوضه‌های غیرفعال تقسیم‌بندی می‌شوند.

برای اندازه‌گیری شاخص شکل حوضه در محیط Global mapper با استفاده از Dem منطقه، حوضه‌ها

استخراج گردید و در محیط Arc Gis مقدار طول و عرض حوضه اندازه‌گیری شد. شکل ۴ حوضه‌های استخراج شده از Dem را نشان می‌دهد. با استفاده از فرمول $Bs=BI/Bw$ مقدار شاخص شکل حوضه Bs برای هر حوضه محاسبه شد. مقدار شاخص Bs از ۹/۶۲ در مناطق بسیار فعال منطقه تا مقدار ۲/۰۴ در مناطق با فعالیت زمین‌ساختی کم متغیر می‌باشد. جدول ۳ تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین‌ساختی مناطق براساس میزان شاخص Bs (El Hamdouni et al., 2008) را نشان می‌دهد. جدول ۴ مقادیر شاخص شکل حوضه BS و کلاس فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمودار ۲ نمودار شاخص شکل حوضه BS را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی شاخص شکل حوضه (Bs) مطابق شکل ۵ الف ترسیم شد و در نهایت نقشه کلاس‌بندی شاخص شکل حوضه (Bs) مطابق شکل ۵ ب ترسیم گردید. بر اساس این شاخص قسمت اعظم بخش‌های شمال غربی گسل نشان‌دهنده فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا تا متوسط و بخش‌های جنوب‌شرقی گسل عموماً فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط تا پایین را نشان می‌دهد.



شکل ۴: حوضه‌های اطراف گسل شوستر

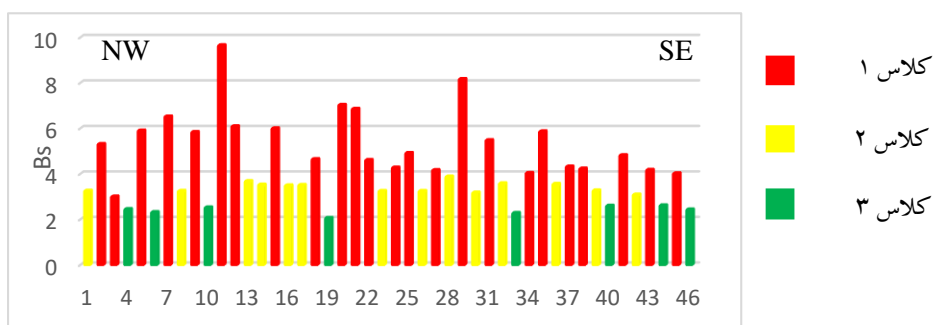
جدول ۳: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص B_s (El Hamdouni et al., 2008)

مناطق	فعال	نیمه‌فعال	غیرفعال
میزان B_s	$4 < B_s$	$3 < B_s < 4$	$B_s > 3$

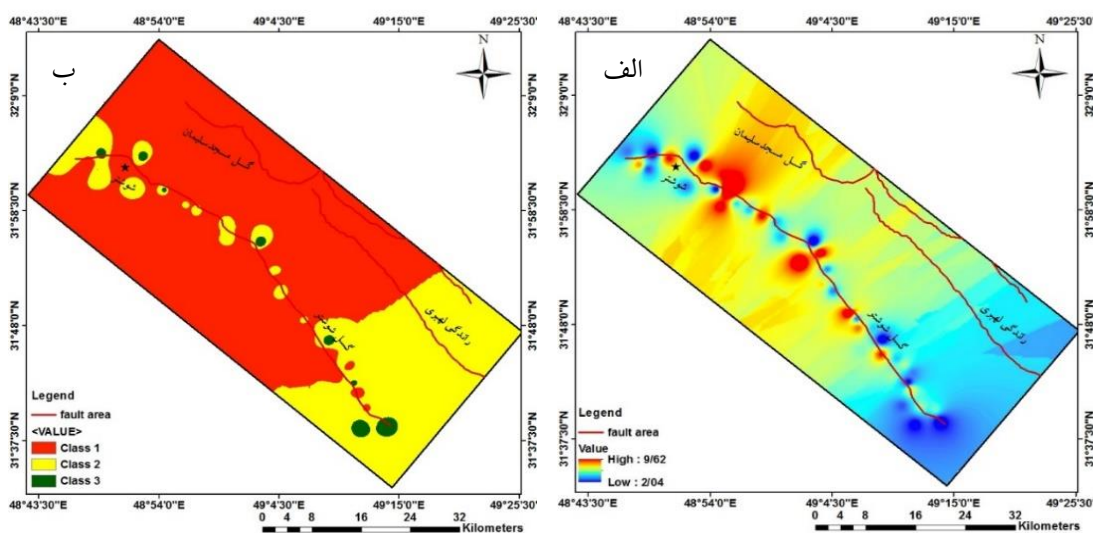
جدول ۴: مقادیر شاخص شکل حوضه B_s و کلاس فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه

No	X	Y	B_s	No	X	Y	B_s
۱	۳۲/۰۶	۴۸/۷۸	۳/۲۳	۲۴	۳۱/۸۷	۴۹/۰۷	۴/۲۵
۲	۳۲/۰۴	۴۸/۷۹	۵/۲۸	۲۵	۳۱/۸۶	۴۹/۰۶	۴/۸۹
۳	۳۲/۰۳	۴۸/۸۱	۲/۹۷	۲۶	۳۱/۸۵	۴۹/۰۷	۳/۲۲
۴	۳۲/۰۶	۴۸/۸۱	۲/۴۲	۲۷	۳۱/۸۳	۴۹/۰۹	۴/۱۳
۵	۳۲/۰۵	۴۸/۸۴	۵/۸۷	۲۸	۳۱/۸۲	۴۹/۱۰	۳/۸۵
۶	۳۲/۰۵	۴۸/۸۷	۲/۲۹	۲۹	۳۱/۸۱	۴۹/۱۰	۸/۱۴
۷	۳۲/۰۴	۴۸/۸۹	۶/۴۶	۳۰	۳۱/۸۰	۴۹/۱۱	۳/۱۵
۸	۳۲/۰۱	۴۸/۸۶	۳/۲۲	۳۱	۳۱/۷۹	۴۹/۱۱	۵/۴۵
۹	۳۲/۰۲	۴۸/۹۱	۵/۸۱	۳۲	۳۱/۷۹	۴۹/۱۳	۳/۵۶
۱۰	۳۲/۰۰	۴۸/۹۰	۲/۵	۳۳	۳۱/۷۷	۴۹/۱۴	۲/۲۵
۱۱	۳۲/۰۰	۴۸/۹۲	۹/۶۲	۳۴	۳۱/۷۶	۴۹/۱۱	۴/۰۱
۱۲	۳۱/۹۸	۴۸/۹۱	۶/۰۶	۳۵	۳۱/۷۵	۴۹/۱۴	۵/۸۴
۱۳	۳۱/۹۸	۴۸/۹۳	۳/۶۵	۳۶	۳۱/۷۴	۴۹/۱۶	۳/۵۳

۴/۳	۴۹/۱۷	۳۱/۷۳	۳۷	۳/۵	۴۸/۹۵	۳۱/۹۷	۱۴
۴/۲	۴۹/۱۶	۳۱/۷۲	۳۸	۵/۹۷	۴۸/۹۷	۳۱/۹۶	۱۵
۳/۲۵	۴۹/۱۹	۳۱/۷۲	۳۹	۳/۴۶	۴۸/۹۹	۳۱/۹۵	۱۶
۲/۵۷	۴۹/۱۸	۳۱/۷۱	۴۰	۳/۴۸	۴۹/۰۰	۳۱/۹۳	۱۷
۴/۷۹	۴۹/۱۸	۳۱/۷۰	۴۱	۴/۶۲	۴۹/۰۲	۳۱/۹۳	۱۸
۳/۰۶	۴۹/۱۷	۳۱/۶۷	۴۲	۲/۰۴	۴۹/۰۴	۳۱/۹۲	۱۹
۴/۱۵	۴۹/۲۰	۳۱/۶۷	۴۳	۷	۴۹/۰۲	۳۱/۸۹	۲۰
۲/۵۹	۴۹/۱۹	۳۱/۶۴	۴۴	۶/۸۳	۴۹/۰۵	۳۱/۹۰	۲۱
۴	۴۹/۲۲	۳۱/۶۶	۴۵	۴/۵۸	۴۹/۰۶	۳۱/۸۹	۲۲
۲/۴	۴۹/۲۳	۳۱/۶۵	۴۶	۳/۲۲	۴۹/۰۶	۳۱/۸۸	۲۳



نمودار ۲: نمودار شاخص شکل حوضه (Bs)



شکل ۵: الف) نقشه پهنه‌بندی شاخص شکل حوضه (Bs) و ب) نقشه کلاس‌بندی شاخص شکل حوضه (Bs)

با دره‌های U مانند متغیر است. جدول ۵ تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین ساختی مناطق براساس میزان شاخص Vf (El Hamdouni et al., 2008) را نشان می‌دهد. جدول ۶ پارامترهای لازم برای محاسبه VF گسل شو شتر را نشان می‌دهد. نمودار ۳ مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص Vf در امتداد گسل شو شتر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل با رسم نمودار شاخص Vf برای آبراهه‌هایی که گسل شو شتر را قطع می‌کنند (شکل ۲) و باعث ایجاد دره می‌شوند می‌توان مناطق فعال یا غیرفعال گسل را تشخیص داد. شکل ۷ الف و ب به ترتیب نقشه پهنه‌بندی و نقشه کلاس‌بندی نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (Vf) با استفاده از روش تقسیم‌بندی (El Hamdouni et al., 2008) نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۷ که قسمت اعظم طول گسل در کلاس ۳ قرار داشته و موید فعالیت زمین ساختی پایین در طول گسل می‌باشد.

شاخص نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره

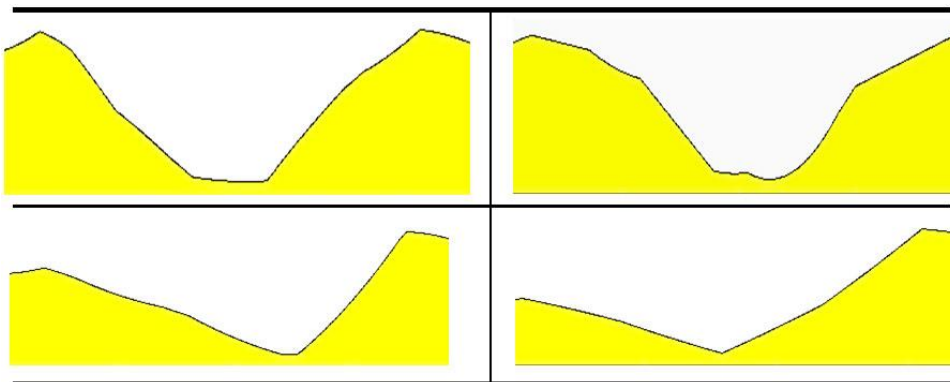
نسبت پهنای کف دره به ارتفاع به صورت رابطه ۳ بیان شده است (Bull, 2008):

(رابطه ۳)

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

Vf نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن VF_W پهنای کف دره و Erd و Eld ارتفاع دیواره‌های سمت راست و چپ دره نسبت به هم و Esc ارتفاع کف دره است.

با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه مورد مطالعه، شاخص Vf در مقاطعی که آبراهه‌های اصلی، دره‌ها را قطع نموده‌اند در نرم افزار Global Mapper محاسبه گردید. در محدوده مورد مطالعه شاخص Vf برای ۱۶ دره نزدیک به جبهه کوهستان در امتداد گسل شو شتر، محاسبه گردید (موقعیت محل‌های اندازه‌گیری در شکل ۲ ارائه شده است). شکل ۶ نیمرخ برخی از دره‌های مورد بررسی قرار گرفته را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از ۱ در مناطق فعال با دره‌های ۷ شکل تا ۱۰/۵ در مناطق غیرفعال



شکل ۶: مقاطع عرضی از برخی دره‌های موجود در منطقه جهت محاسبه پارامتر (VF)

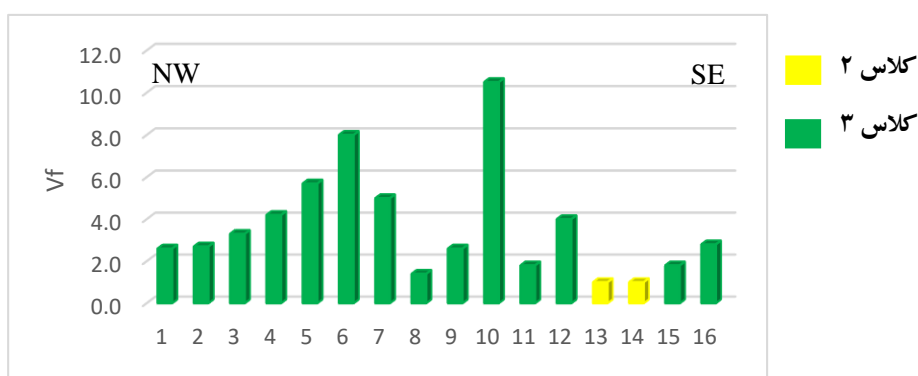


جدول ۵: تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین‌ساختی مناطق براساس میزان شاخص Vf (El Hamdouni et al., 2008)

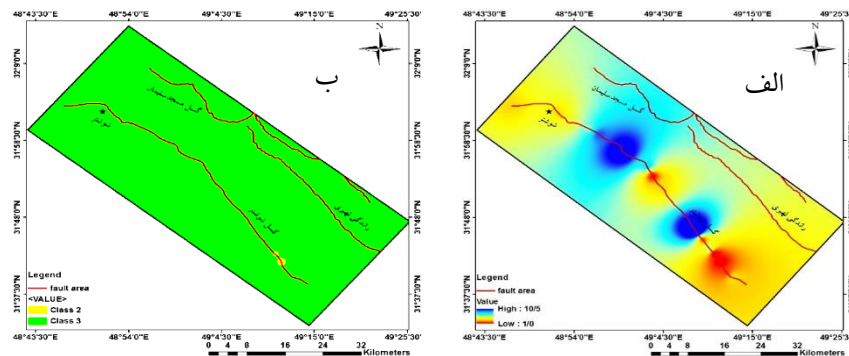
مناطق	فعال	نیمه‌فعال	غیرفعال
Vf میزان	$0.5 < Vf$	$1 < Vf < 0.5$	$1 < Vf$

جدول ۶: مقادیر محاسبه شده شاخص Vf

Class	Vf	Y	X	No
۳	۲/۶	۴۸/۷۷	۳۲/۰۵	۱
۳	۲/۷	۴۸/۸۷	۳۲/۰۳	۲
۳	۳/۳	۴۸/۸۹	۳۲/۰۱	۳
۳	۴/۲	۴۸/۹۲	۳۲/۰۰	۴
۳	۵/۷	۸۴۹۵۴۸	۳۱/۹۸	۵
۳	۸	۴۸/۹۹	۳۱/۹۵	۶
۳	۵	۴۹/۰۴	۳۱/۹۱	۷
۳	۱/۴	۴۹/۰۵	۳۱/۸۹	۸
۳	۲/۶	۴۹/۰۷	۳۱/۸۷	۹
۳	۱۰/۵	۴۹/۱۳	۳۱/۷۷	۱۰
۳	۱/۸	۴۹/۱۵	۳۱/۷۴	۱۱
۳	۴	۴۹/۱۶	۳۱/۷۲	۱۲
۳	۱	۴۹/۱۷	۳۱/۷۱	۱۳
۳	۱	۴۹/۱۸	۳۱/۶۹	۱۴
۳	۱/۸	۴۹/۱۹	۳۱/۶۷	۱۵
۳	۲/۸	۴۹/۲۱	۳۱/۶۶	۱۶



نمودار ۳: مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص Vf در امتداد گسل شوشتر



شکل ۷. الف) نقشه پهنه‌بندی نسبت عرض کف بستر درّه به ارتفاع درّه (Vf) ب) نقشه کلاس‌بندی نسبت عرض کف بستر درّه به ارتفاع درّه (Vf). بر اساس این پارامتر بخش اعظم گسل شوستر در رده فعالیت تکتونیکی پایین قرار می‌گیرد.

مقاومت سنگ و توپوگرافی می‌شود (Hack, 1973, 1982). شاخص گرادیان-طول رود، برای یک محدوده مورد نظر به صورت رابطه ۴ تعریف شده است (کلر و پینتر، ۱۹۹۶):

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

به منظور تهیه لایه شاخص گرادیان-طول رود، آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) در نرم‌افزار Mapper Global استخراج گردید. سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و آبراهه‌های استخراج شده و مطابق رابطه‌ی ۴ این شاخص در ۱۶ نقطه از منطقه مورد مطالعه که رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی روند غالب کوهستان را قطع نموده‌اند (شکل ۲) محاسبه شد. شکل ۸ برخی از مقاطع طولی آبراهه‌ها را نشان می‌دهد. جدول ۷ تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین ساختی مناطق براساس میزان شاخص (SL, Dehbozorgi et al, 2010) را نشان می‌دهد. جدول ۸ مقادیر محاسبه شده برای شاخص گرادیان-طول رودخانه را نشان می‌دهد. نمودار ۴ شاخص گرادیان-طول رودخانه را نشان می‌دهد. با استفاده از توابع درونی در محیط GIS مقدار این شاخص برای تمام منطقه تعیین و لایه شاخص SL تهیه گردید (شکل ۹

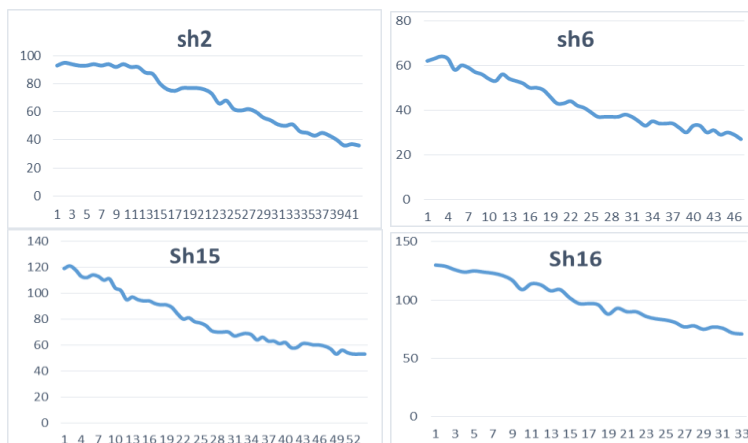
شاخص شیب طولی رودخانه

شبکه رودخانه نشان‌دهنده ترتیب سلسله مراتب از شاخه‌های فرعی یعنی مرتبه‌های پایین و حرکت آن به سمت شاخه‌های اصلی یعنی مرتبه‌های بالاتر می‌باشند. در رودخانه‌های دارای شیب منظم، قدرت آبراهه در طول رشته رودخانه ثابت باقی می‌ماند و با افزایش تخلیه در پایین دست، گرادیان کاهش می‌یابد. به طور معمول مرتبه اول زهکش گرادیان شیب تندتر از مرتبه دوم خواهد داشت و مرتبه دوم زهکش‌ها نیز گرادیان بالاتری از مرتبه‌های سوم دارند. رودخانه‌هایی که تحت تأثیر حرکات زمین ساختی نیستند دارای تغییرات اندک و پروفیل منظمی می‌باشند. رودخانه‌هایی که به صورت زمین ساختی آشفستگی دارند، پیش‌بینی می‌شود که پروفیل شیب آن‌ها تغییرات شیب را با شدت بیشتر نشان می‌دهند. (Snow and Slingerland, 1990) بنابراین چنین آشفستگی‌هایی در پروفیل رودخانه به ویژه زمانی که مطابقتی با تغییرات لیتولوژی ندارد بیان‌کننده زمین ساخت فعال می‌باشد. شاخص SL با قدرت رود متناسب است. شاخص SL به تغییرات شیب کانال بسیار حساس است و این حساسیت سبب ارزیابی روابط فعالیت‌های زمین ساختی ممکن،



این نقشه منطقه به سه ناحیه تکتونیکی با فعالیت پایین، متوسط و بالا تقسیم گردید. بر اساس نقشه کلاس بندی این شاخص، بخش اعظم گسل به استثنای بخش‌هایی از مرکز گسل دارای فعالیت تکتونیکی متوسط می‌باشد (شکل ۱۳ ب).

الف) و با استفاده از این شاخص و بر اساس روش (El Hamdouni et al, 2008)، منطقه به ۳ ناحیه از نظر فعالیت زمین ساختی کلاس بندی شد (شکل ۹ ب). مقدار شاخص SL از ۸۹۸/۱۱ در مناطق بسیارفعال منطقه تا مقدار ۲۴۲/۸ در مناطق با فعالیت تکتونیکی کم متغیر می‌باشد. بر اساس



شکل ۸: نمایش برخی از مقاطع طولی رودخانه

جدول ۷: تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین ساختی مناطق بر اساس میزان شاخص SL (ده بزرگی، ۲۰۱۰)

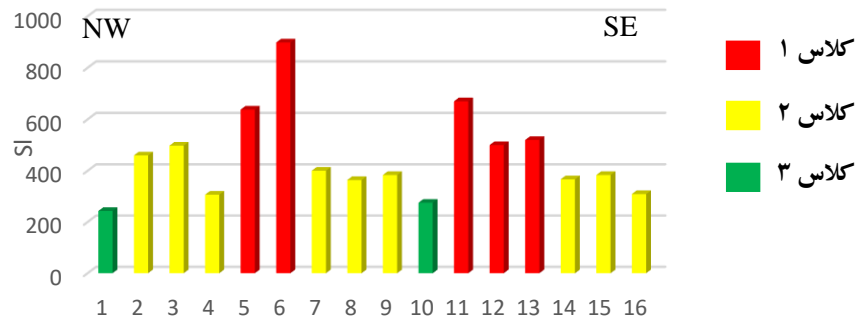
مناطق	فعال	نیمه فعال	غیرفعال
میزان SL	$SL < 500$	$300 < SL < 500$	$SL > 300$

جدول ۸: مقادیر محاسبه شده برای شاخص گرادیان-طول رودخانه

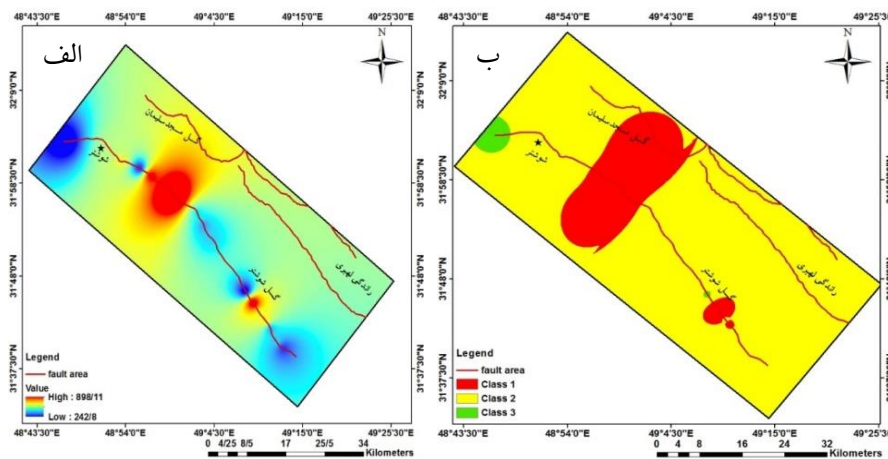
Class	SL	Y	X	NO
۳	۲۴۲/۸	۴۸/۷۷	۳۲/۰۵	۱
۲	۴۵۹/۷۵	۴۸/۸۷	۳۲/۰۳	۲
۲	۴۹۸	۴۸/۸۹	۳۲/۰۱	۳
۲	۳۰۶/۵	۴۸/۹۲	۳۲/۰۰	۴
۱	۶۳۸	۸۴۹۵۴۸	۳۱/۹۸	۵
۱	۸۹۸/۱	۴۸/۹۹	۳۱/۹۵	۶
۲	۴۰۰	۴۹/۰۴	۳۱/۹۱	۷
۲	۳۶۳/۶	۴۹/۰۵	۳۱/۸۹	۸
۲	۳۸۳/۳	۴۹/۰۷	۳۱/۸۷	۹
۳	۲۷۵	۴۹/۱۳	۳۱/۷۷	۱۰



۱	۶۷۰	۴۹/۱۵	۳۱/۷۴	۱۱
۱	۵۰۰	۴۹/۱۶	۳۱/۷۲	۱۲
۱	۵۲۰	۴۹/۱۷	۳۱/۷۱	۱۳
۲	۳۶۶/۵	۴۹/۱۸	۳۱/۶۹	۱۴
۲	۳۸۳/۳	۴۹/۱۹	۳۱/۶۷	۱۵
۲	۳۰۸/۹	۴۹/۲۱	۳۱/۶۶	۱۶



نمودار ۴: نمودار شاخص گرادیان-طول رودخانه



شکل ۹: الف) نقشه پهنه‌بندی شاخص گرادیان-طول رودخانه
ب) نقشه کلاس‌بندی شاخص گرادیان-طول رودخانه

می‌یابد. شبکه غالباً دارای الگو و هندسه واضحی است. عامل عدم تقارن برای نمایان ساختن کج شدگی زمین ساختی در مقیاس حوضه‌ی زهکشی یا مساحت‌های بزرگتر، توسعه یافته است. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی طبق رابطه ۵ قابل محاسبه می‌باشد (2002).

شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی

هندسه‌ی شبکه‌های رود می‌تواند به چند صورت توصیف گردد. هم به صورت کمی و هم به صورت کیفی جایی که زهکشی در حضور زمین ساخت فعال توسعه



شدند. با استفاده از رابطه ۵ مقدار شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی برای هر حوضه محاسبه شد. مقدار شاخص Af از ۳۵۹/۳ در مناطق بسیار فعال منطقه تا مقدار ۳/۷ در مناطق با فعالیت زمین ساختی کم متغیر می‌باشد. جدول ۹ تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین ساختی براساس میزان شاخص (El Hamdouni et al, 2008) را نشان می‌دهد. جدول ۱۰ مقادیر شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی Af و کلاس فعالیت‌های زمین ساختی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمودار ۵ نمودار شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی Af را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af) مطابق شکل ۱۰ الف ترسیم شد و در نهایت نقشه کلاس‌بندی شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af) مطابق شکل ۱۰ ب ترسیم گردید. شاخص Af در سه رده با توجه به طبقه‌بندی (El Hamdouni et al, 2008) طبقه‌بندی شده است. بر اساس این شاخص قسمت اعظم گسل شوشتر نشان دهنده فعالیت زمین ساختی بالا می‌باشد.

برای شبکه رودی که تشکیل شده و جریان آن در یک وضعیت پایدار است، Af باید حدود ۵۰ باشد. Af به کج‌شدگی عمود بر روند رودخانه حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ این شاخص، ممکن است نشانگر کج‌شدگی باشند.

$$Af = \frac{Ar}{At} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این رابطه Ar مساحت حوضه‌ی سمت راست رود (دید به سمت پایین دست) و At مساحت کل حوضه‌ی زهکشی است. برای شبکه رودی که تشکیل شده و جریان آن در یک وضعیت پایدار است، Af باید حدود ۵۰ باشد. Af به کج‌شدگی عمود بر روند رودخانه حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ این شاخص، ممکن است نشانگر کج‌شدگی باشند. برای اندازه‌گیری شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی در محیط Global Mapper با استفاده از Dem منطقه، حوضه‌ها استخراج گردید و در محیط Arc Gis مقدار مساحت حوضه‌ها اندازه‌گیری

جدول ۹: تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین ساختی مناطق براساس میزان شاخص Af (El Hamdouni et al., 2008)

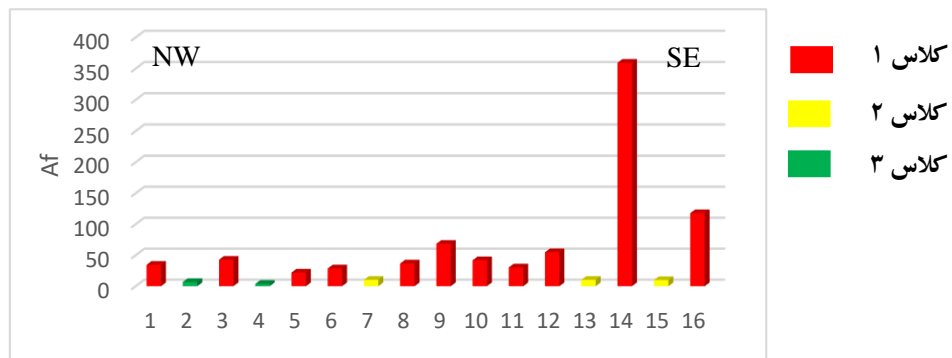
مناطق	فعال	نیمه‌فعال	غیرفعال
میزان Af	$15 < Af-50 $	$5 < Af-50 < 15$	$ Af-50 > 15$

جدول ۱۰: مقادیر محاسبه شده‌ی شاخص Af

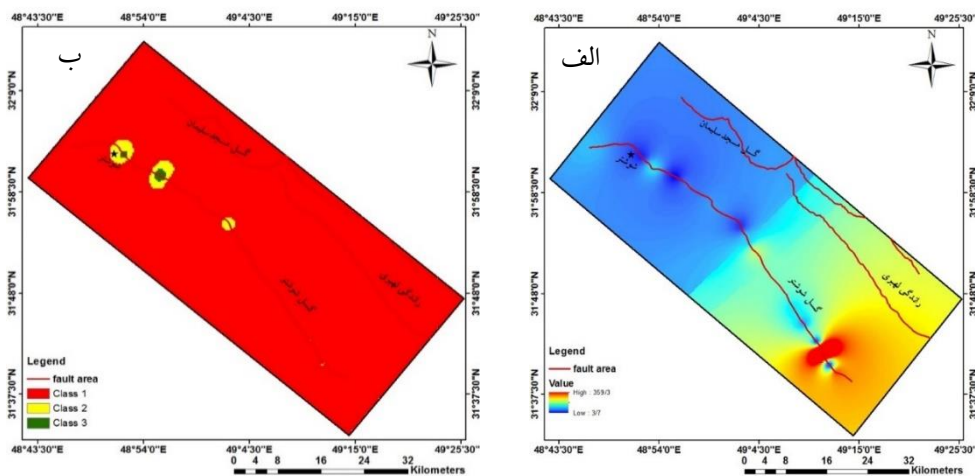
No	X	Y	Af	Class	Af-50
۱	۳۲/۰۵	۴۸/۷۷	۱۵/۴۱	۱	۳۴/۵۸
۲	۳۲/۰۳	۴۸/۸۷	۵۶/۷۶	۳	۶/۷۶
۳	۳۲/۰۱	۴۸/۸۹	۷/۳۱	۱	۴۲/۶۸
۴	۳۲/۰۰	۴۸/۹۲	۵۳/۷	۳	۳/۷
۵	۳۱/۹۸	۸۴۹۵۴۸	۲۸	۱	۲۱/۹۹
۶	۳۱/۹۵	۴۸/۹۹	۲۱/۳۷	۱	۲۸/۶۲
۷	۳۱/۹۱	۴۹/۰۴	۶۰/۲	۲	۱۰/۲
۸	۳۱/۸۹	۴۹/۰۵	۱۳/۳۹	۱	۳۶/۶



۶۸/۲۶	۱	۱۱۸/۲۶	۴۹/۰۷	۳۱/۸۷	۹
۴۱/۴۸	۱	۹۱/۸۴	۴۹/۱۳	۳۱/۷۷	۱۰
۳۰/۱۹	۱	۸۰/۱۹	۴۹/۱۵	۳۱/۷۴	۱۱
۵۴/۷۸	۱	۱۰۴/۷۸	۴۹/۱۶	۳۱/۷۲	۱۲
۱۰/۱۴	۲	۶۰/۱۴	۴۹/۱۷	۳۱/۷۱	۱۳
۳۵۹/۳	۱	۴۰۹/۳	۴۹/۱۸	۳۱/۶۹	۱۴
۹/۷۷	۲	۴۰/۲۲	۴۹/۱۹	۳۱/۶۷	۱۵
۱۱۷/۷۴	۱	۱۶۷/۷۴	۴۹/۲۱	۳۱/۶۶	۱۶



نمودار ۵. شکل ۱۴. نمودار شاخص شکل حوضه Af



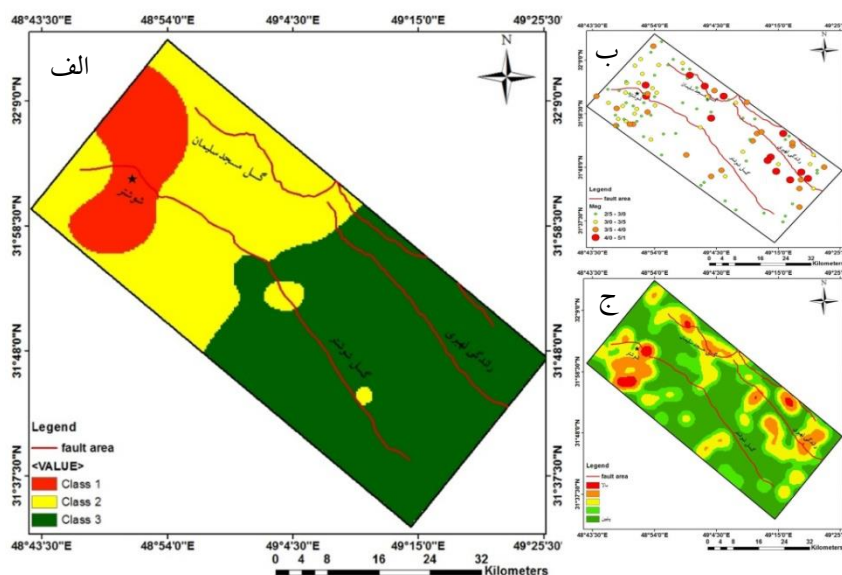
شکل ۱۰. الف) نقشه پهنه‌بندی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی
ب) نقشه کلاس‌بندی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی



نتیجه‌گیری

زمین ساخت فعال برای منطقه تهیه شد (شکل ۱۱ الف). این نقشه نشان می‌دهد که قسمت اعظمی از نیمه شمال غربی گسل دارای فعالیت تکتونیکی متوسط تا بالا بوده و در بخش اعظمی از نیمه جنوب شرقی دارای فعالیت زمین ساختی پایین می‌باشد. با استفاده از داده‌های لرزه‌ای موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران نقشه رومرکز رخدادهای لرزه‌ای (شکل ۱۱ ب) و پهنه بندی فعالیت‌های زمین ساختی پویا در منطقه تهیه گردید (شکل ۱۱ ج). مقایسه نقشه رده‌بندی ریخت زمین ساختی و نقشه تراکم رخدادهای لرزه‌ای (شکل ۱۶ ب، ج) منطقه نشان دهنده انطباق فعالیت‌های نوزمین ساختی و زمین ساخت پویا در منطقه می‌باشد. این مسأله هیچ معیاری جهت میزان صحت سنجی و راستی آزمایی نتایج مطالعات ریخت زمین ساخت نبوده و تنها نشان دهنده وجود ارتباط بین میدانهای تنش عصر حاضر (کواترنری) و میدانهای تنش کنونی (زمان حال) می‌باشد.

هریک از شاخص‌های مورد بحث امکان یک رده‌بندی نسبی از فعالیت‌های زمین ساختی را در بررسی‌های مقدماتی فراهم می‌آورد و می‌توان منطقه را به نواحی فعال، نیمه‌فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی نمود. وقتی بیش از یک شاخص برای یک ناحیه خاص مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گیرد نتایج مناسبتری از تحلیل‌های حاصل از یک شاخص منفرد حاصل می‌شود. با استفاده از قابلیت‌های GIS و توابع تحلیلی آن، می‌توان هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی BS, Smf, VF, SL و Af در منطقه را انجام داده و با دقت و سرعت بالا یک رده از فعالیت زمین ساختی نسبی را به هر ناحیه نسبت داد. در این تحقیق از روش fuzzy overlay، با وزن‌های یکسان برای رویهم اندازی لایه‌های شاخص ژئومورفیک برای تعیین فعالیت زمین ساختی استفاده گردید و نقشه‌ی پهنه‌بندی



شکل ۱۱. الف) نقشه‌ی پهنه‌بندی فعالیت‌های نوزمین ساخت ب) نقشه پراکندگی رومرکز رخدادهای لرزه‌ای و پهنه‌بندی فعالیت‌های زمین ساخت پویا در صد سال اخیر



El Hamdouni, R., C. Irigaray, T. Fernández, J. Chacón and E. Keller., 2008. "Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)." *Geomorphology* 96(1): pp.150-173.

Fossen, H., 2016. *Structural geology*. Cambridge University Press.

Gaidzik, K. and Ramirez-Herrera, M.T., 2016. Geomorphic indices and relative tectonic uplift in the Guerrero of the Mexican forearc, *Geoscience frontiers*, pp. 1-54. Geological Survey Professional, 294B, pp45-97.

Hack, J.T., 1957. "Studies of longitudinal stream-profiles in Virginia and Maryland": U.S.

Hack, J.T., 1973. "Stream-profiles analysis and stream-gradient index". *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1, pp421-429.

Hack, J.T., 1982. "Physiographic division and differential uplift in the piedmont and Blue Ridge". *U.S. Geological Survey Professional*, 1265, pp1-49.

Keller, E. A. and N. Pinter., 1996. *Active tectonics*, Prentice Hall Upper Seddle River, NJ, USA.

Keller, E. A. and N. Pinter., 2002. *Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall , New Jersey: p.362.

Kirby, E. Whipple, K.X., 2012. Expression of active tectonics in erosional and scapes, *J. Struct. Geol.* 44, pp.54-75.

Lewis, C.J. Sancho, C. McDonald, E.V. Pena-Monne, J.L. Rhodes, E. Calle, M. Soto. R., 2017. Post-tectonic landscape evolution in NE Iberia using staircase terraces: combined effects of uplift and climate, *Geomorphology* 292, pp. 85-103.

Snow, R. S. and R. L. Slingerland., 1990. Stream profile adjustment to crustal warping: nonlinear results from a simple model. *The Journal of Geology*: pp699-708.

Twiss, R. J., & Moores, E. M., 2007. *Mechanics of Natural Fractures and Faults*. *Structural Geology*, 2, pp.231-264.

قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله از حمایت های مالی صورت گرفته توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.SG99.216) در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را می نمایند.

منابع

پورخسروانی، م. مهرایی نژاد، ع. مجبی، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی نقش تکتونیک در بروزند گنبد های نمکی منطقه زاگرس. فصلنامه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. شماره ۳، ۱۶۵-۱۸۲.

عزتی، م. غلامی، ا. موسوی، م.، ۱۳۹۸. بررسی تکامل ساختاری کوه های شمال بیرجند با استفاده از ترسیم مقاطع عرضی. فصلنامه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. شماره ۲، ۱۲۲-۱۳۷.

شکری، پ. ده بزرگی، م. حکیمی اسپایر، س.، ۱۳۹۸. بررسی مورفوتکتونیک غرب البرز مرکزی با استفاده از شاخص های ژئومورفیک. فصلنامه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. شماره ۴، ۱۲۴-۱۰۵.

Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforelandevolution. *American Journal of Science* 304, pp.1-20.

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, pp.211-238.

Bull, W. B., 2008. *Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology*, John Wiley & Sons.

Dehbozorgi, M., M. Pourkermani, M. Arian, A. Matkan, H. Motamedi and A. Hosseiniasl., 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *geomorphology* 121(3-4): pp.329-341.

