Archive of SID

جغرافیا و توسعه شمارهٔ ۵۳ زمستان ۱۳۹۷
وصول مقاله: ۹۶/۰۳/۳۰
تأیید نهایی: ۹۶/۱۱/۳۰
صفحات: ۱۵۸- ۱۴۱

تحلیل ریخت‌زمین‌ساختی گسل رامهرمز، استان خوزستان، ایران

دکتر بابک سامانی[۱*]، زینب اسدی[۲]، دکتر عباس چرچی[۳]

چکیده

گسل رامهرمز در فروافتادگی دزفول شمالی قرار داشته که از دیدگاه تکتونیکی فعال است. به‌دلیل عملکرد این گسل در منطقه، مورفولوژی مشخصی ایجاد شده است که می‌تواند در شناسایی بخش‌های مختلف این گسل مورد استفاده قرار گیرد. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که پهنای این گسل در تمام طول منطقه ثابت و یکسان نیست و گسل از نوع رانده است. برای تشخیص فعالیت تکتونیکی منطقه، شاخص‌های مورفوتکتونیکی پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (Smf)، نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه (شاخص Vf)، شکل حوضه (Bs) و گرادیان–طول رودخانه (Sl) محاسبه شد. مقدار شاخص Smf منطقه از ۱/۰۰۳ به‌عنوان بسیار فعال تا ۱/۱۴ با فعالیت متوسط تکتونیکی متغیّر است. مقدار شاخص Vf از ۰/۳۷ تا ۱۳/۴۸ تغییر می‌کند که به‌ترتیب معرف مناطق فعال با درّه‌های V شکل تا مناطق غیرفعال با درّه‌های U شکل است. همچنین، مقدار شاخص Bs در منطقه از ۶/۵ تا ۰/۵ متغیّر است که به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ منطقهٔ بسیار فعال تا با فعالیت تکتونیکی کم، متغیّر است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار شاخص Sl از ۲۲۷ تا ۱۴/۵ متغیّر دارد که مؤید آن است که بخش‌های مختلف این منطقه ازنظر تکتونیکی در ردهٔ با فعالیت تکتونیکی اندک قرار می‌گیرند. با استفاده از تکنیک‌های GIS، روی‌هم‌اندازی (Overlay) چهار لایه‌های اطلاعاتی Smf، Bs ، Vf و Sl انجام گرفت و منطقه به سه ناحیهٔ تکتونیکی رده‌بندی شد و نقشهٔ پهنه‌بندی تکتونیک فعال برای منطقه تهیه شد. بر این اساس، بخش اعظم طول گسل رامهرمز در ردهٔ فعالیت تکتونیکی متوسط قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: گسل رامهرمز، فروافتادگی دزفول، تکتونیک فعال، شاخص‌های مورفوتکتونیکی.

۱- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران *
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

b.samani@scu.ac.ir
zeinabasadi67@yahoo.com
Charchi38@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پوستهٔ ایران زمین طی رخدادهای زمین‌شناسی دوره‌های ترشیری و کواترنری تحت‌تأثیر تحولات وسیعی قرار گرفته است. به‌گونه‌ای که بسیاری از سیماهای کنونی طی رخدادهای جوان تکتونیکی شکل گرفته‌اند. تکوین و حتی فعالیت مجدد بسیاری از گسل‌های ایران در ارتباط با این حرکات تکتونیکی جوان است. در بسیاری از موارد به‌منظور درک میزان فعالیت‌های تکتونیکی گسل‌ها از مطالعات تکتونیک پویا[1] و تکتونیک جوان[2] استفاده می‌شود. در مطالعات تکتونیک پویا با استفاده از پراکندگی زمانی- مکانی و سازوکار رخدادهای زمین‌لرزه‌ای یا داده‌های‌شبکه‌های موقعیت‌یاب جغرافیایی،به بررسی چگونگی توزیع و الگوی تنش در پوسته و ماهیت حرکات آن پرداخته می‌شود *(Fossen, 2016: 481)*. این درحالی است که مطالعات تکتونیک جوان بازهٔ زمانی طولانی‌تری (حداقل از دورهٔ کواترنری) از تحولات زمین‌شناسی را شامل می‌شوند *(Twiss and Moores, 2007: 743)*. با توجه به ماهیت متفاوت این دو مقوله، در بسیاری از موارد مقایسهٔ داده‌های حاصل از مطالعات تکتونیک پویا و تکتونیک جوان، نتایج مشابهی را در اختیار قرار نخواهند داد *(متین، ۱۳۹۵: ۱۴۸)*؛ به‌عنوان مثال در بخشی از یک گسل ممکن است فعالیت‌ها به‌صورت غیرلرزه‌ای و سطحی بوده و ریخت ساختارهای به‌دست‌آمده حاکی از فعالیت بالای گسل باشند؛ درحالی که ممکن است این بخش از گسل فاقد هر نوع رخداد لرزه‌ای باشد و یا برعکس. یکی از متداول‌ترین جنبه‌های مطالعاتی تکتونیک جوان در هر منطقه‌ای شامل مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی در آن محدوده است. با توجه به نبود شبکه‌های منظم، سیستم موقعیت‌یاب‌جغرافیایی و داده‌های‌زمین‌لرزه‌ای با عدم‌قطعیت مناسب در قرن گذشته، انجام مطالعات تکتونیک پویا در مقیاس‌های محلی بسیار دشوار است؛ ازاین‌رو انجام مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی به‌منظور فهم فعالیت‌های تکتونیکی جوان، یک شیوهٔ پرکاربرد و متداول در بسیاری از مطالعات است. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از شاخص‌های مورفومتری به بررسی فعالیت‌های تکتونیکی جوان در امتداد گسل رامهرمز پرداخته شود. گسل رامهرمز در فروافتادگی دزفول شمالی، در پهنهٔ زاگرس چین‌خورده قرار داشته و یکی از گسل‌های بزرگ و بااهمیت استان خوزستان است؛ بنابراین مطالعه‌و بررسی میزان فعالیت نوزمین‌ساختی آن با استفاده از محاسبهٔ شاخص‌های مورفوتکتونیکی در منطقه حائز اهمیت است. هدف اصلی این پژوهش بررسی عوارض و شواهد ژئومورفولوژی ساختمانی و شاخص‌های مورفومتری گسل رامهرمز به‌منظور ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی جوان است. مطالعهٔ اثرات زمین‌ریخت‌شناسی (مستقیم و غیرمستقیم) می‌تواند ما را به‌سوی جنبش‌های نوزمین‌ساختی به‌وجود آورندهٔ آن‌ها رهنمون کند.مورفوتکتونیک یا تکتونیک ژئومورفولوژی، دانش مطالعهٔ اشکال و سیماهای ایجادشده بر زمین است که بر اثر مکانیسم‌های تکتونیکی ایجاد شده‌اند و از آن به معنای کاربرد اصول ژئومورفیک در تحلیل مسائل تکتونیکی تعبیر می‌شود *(Burbank and Anderson, 2012: 438; Grohmann, 2004: 1055-1067; Rangzan et al, 2003: 317-332)* بررسی و شناخت فرایندهای ژئومورفیکی، فرایندهای تکتونیکی زمین و نحوهٔ ایجاد و پیدایش یک سیمای

1-Active tectonics
2-Neo-tectonics

www.SID.ir

Archive of SID

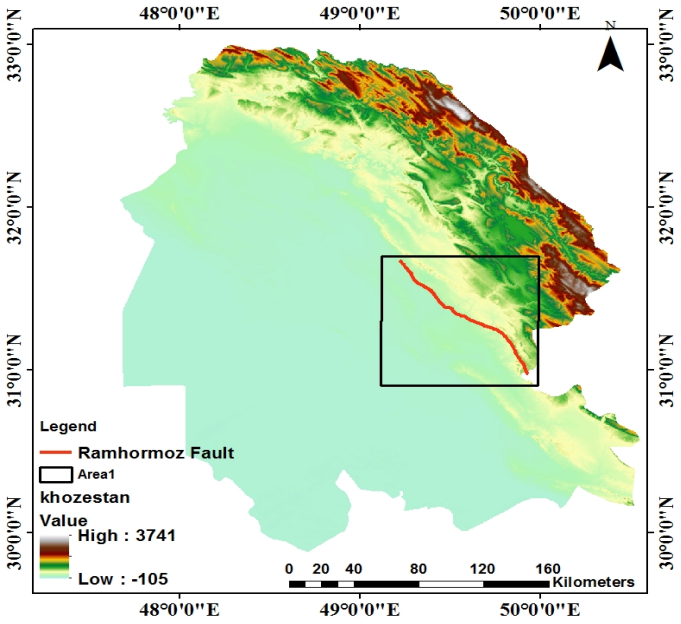
زمینی، از مواردی است که علم مورفوتکتونیک آن را مورد بررسی قرار می‌دهد. مورفولوژی جبهه‌های کوهستان ایجادشده به‌وسیلهٔ گسل‌ها و نیز افزارهای گسلی می‌توانند در تعیین فعالیت نسبی تکتونیکی ما را یاری دهند. برای انجام این گونه مطالعات می‌توان از علم نوپای تکتونیک ژئوموفولوژی سود جست *(سلیمانی، ۱۳۷۸: ۱۵۶-۱۴۸)*. برخی از شاخص‌های ژئومورفیک، ابزارهای مقدماتی و پایه برای تشخیص نواحی دچار دگرشکلی تکتونیکی می‌باشند. این اطلاعات از بررسی نقشه‌ها حاصل می‌شوند و نتایج نسبتاً مناسبی از فعالیت‌های نوزمین‌ساختی منطقه در اختیار قرار می‌دهند. به‌طورکلی، شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی‌های تکتونیکی مفید هستند، زیرا می‌تواند برای ارزیابی سریع مناطق وسیع به‌کار گرفته شوند و داده‌های ضروری آن اغلب به‌سرعت از نقشه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آیند *(Keller and Pinter, 1996: 564; Joshi et al, 2013: 292-306; Keller and DeVecchio, 2013: 129-147)*.

گسترهٔ مورد بررسی

منطقهٔ مورد مطالعه در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی ´۵۵ °۳۰ تا ´۴۱ °۳۱ شمالی و طول جغرافیایی ´۰۷ °۴۹ تا ´۵۸ °۴۹ شرقی قرار دارد. منطقه شامل ۶ برگ نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران (مسجدسلیمان، کوه آسماری، مارون، هفتکل، ماهشهر و آغاجاری) است. براساس نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور ازلحاظ زمین‌شناسی منطقه شامل سازندهای گچساران، میشان، آغاجاری، بختیاری و رسوبات آبرفتی عهد حاضر است. گسل رامهرمز در استان خوزستان در کوهپایه‌های زاگرس چین‌خورده در جنوب و جنوب‌غرب ایران به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا که یکی از مناطق فعال تکتونیکی است، قرار گرفته است *(Berberian and Kings, 1981: 210-256; Talbot and Alavi 1996: 89-109; Golonka 2004: 235-273)*. گسل رامهرمز یک راندگی طولی با روند شمال باختری- جنوب خاوری است که با طول نزدیک به ۱۱۰ کیلومتر از مجاورت رامهرمز عبور می‌کند (شکل ۱). این گسل واقع در کمربند فعال چین‌خوردهٔ زاگرس به‌عنوان قطعه‌ای از گسل فروافتادگی دزفول، باعث رانده‌شدن تاقدیس‌های هفتکل و نفت‌سفید بر روی رسوبات کواترنری شده است. سازند گچساران در جنوب باختری دشت رامهرمز در امتداد این راندگی بیرون‌زدگی دارد *(Berberian, 1977: 239-263)*.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: موقعیت گسل رامهرمز در استان خوزستان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

روش کار

در این پژوهش با استفاده از مدل ارتفاع رقومی[1]، نقشهٔ زمین‌شناسی، نقشهٔ آبراهه‌ها و نقشهٔ زیر حوضه‌ها، شاخص‌های مورفوتکتونیک در امتداد گسل رامهرمز به‌منظور اندازه‌گیری میزان فعالیت و پویایی تکتونیکی در بخش‌های مختلف گسل مورد ارزیابی و محاسبه قرار گرفته است. با پیشرفت علم سنجش از دور و با افزایش دقت مکانی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های حاصل از آن‌ها، اندازه‌گیری شاخص‌های مورفوتکتونیکی با دقت بالاتری صورت خواهد پذیرفت. ازآنجا که تعیین کمّی میزان فعالیت‌های تکتونیکی مستلزم انجام مطالعات پرهزینه و زمان‌بر است؛ ازاین‌رو استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی برای ارزیابی سریع و ارزان میزان پویایی زمین‌ساختی یک ناحیهٔ خاص حایز اهمیت است. روش معمول در انجام این‌گونه مطالعات، اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف ژئومورفیکی و بررسی و مقایسهٔ نتایج و درنهایت پهنه‌بندی منطقه از دیدگاه میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در یک محدودهٔ وسیع است. در این مطالعه به‌منظور فهم میزان فعالیت زمین‌ساختی گسل رامهرمز، اندازه‌گیری پارامترهای ژئومورفیک در امتداد گسل و در کمترین فاصله از خط اثر گسل اندازه‌گیری شده است؛ ازاین‌رو این مطالعه یک دیدگاه و روش نسبتاً جدید در استفاده از این پارامترها به‌منظور فهم رفتارهای متفاوت یک گسل در بخش‌های مختلف آن ارائه می‌دهد. برای پیشبرد اهداف این مطالعه، از چهار شاخص ژئومورفیک استفاده شد که عبارت‌اند از: شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان[2] (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه[3] (Vf)، شاخص کشیدگی حوضه[4] (Bs) و شاخص گرادیان طولی رودخانه[5] (SL). در این تحقیق از نقشه‌های ارتفاع

1-Digital Elevation Model

2- Mountain front sinuosity
3-Ratio of valley floor width to valley high
4- Drainage Basin Shape Ratio
5–Stream Length-gradient index

www.SID.ir

Archive of SID

رقومی با دقت ۳۰ متر برای استخراج نقشه‌های پایه استفاده شده است؛ بنابراین دقت نقشه‌های استخراجی و تأثیرگذاری آن‌ها در نتایج به‌دست‌آمده تحت‌تأثیر میزان دقت اولیهٔ نقشهٔ ارتفاع رقومی قرار خواهد گرفت. طبعاً استفاده از نقشه‌هایی با قدرت تفکیک مکانیِ بالاتر بر میزان دقت نتایج خواهد افزود. در این پژوهش با استفاده از مشخصات هندسی گسل رامهرمز *(شیخ الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۵۸)* و با استفاده از روش میانگین شیب گسل و عمق پی‌سنگ *(غلامیان، ۱۳۹۵: ۱۳۵)*، حریم گسل رامهرمز در حدود بیست کیلومتر تعیین شد. سپس نقشهٔ تغییرات هر یک از شاخص‌های ژئومورفیک در شبکه‌های ۵×۵ کیلومتری با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در محدودهٔ حریم گسل تهیه شد. با توجه به ماهیت خطی اثر گسل بر روی نقشه، نتایج به‌دست‌آمده در مجاورت گسل دارای بالاترین قطعیت و با فاصله‌گرفتن از گسل، از میزان قطعیت نتایج کاسته خواهد شد.

بحث

شاخص‌های مورفوتکتونیکی برای شناسایی خصوصیات تکتونیکی و میزان کمّی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی یک ناحیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این اطلاعات برای به‌دست‌آوردن جزئیاتی همچون میزان فعالیت‌های قائم، افقی و کج‌شدگی‌های پوستهٔ زمین در یک منطقهٔ خاص استفاده می‌شود. اطلاعات لازم اغلب از روی عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی به‌دست می‌آید *(Keller and Pinter, 2002: 362)*. نتایج حاصل از چندین شاخص می‌تواند با یکدیگر ترکیب شده و با افزوده‌شدن به سایر اطلاعات نظیر نقشهٔ گسل‌های اصلی، نقشهٔ توپوگرافی پی‌سنگ و نرخ‌های بالاآمدگی، رده‌های فعالیت تکتونیکی را برای منطقه مشخص کرد. این رده‌ها نشانگر درجهٔ نسبی فعالیت تکتونیکی در یک ناحیه هستند. مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی و مطالعات لرزه‌ای و مدل‌سازی‌های صورت‌گرفته درجهت تعیین میزان جابجایی پوسته (همچون مدل جهانی NUVEL) کمک شایانی در درک ماهیت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی خواهند کرد. در این راستا استفاده از سنجش از دور و GIS با توجه به کاربردها و قابلیت‌های بی‌شمار آن در علوم زمین، مفید و حائز اهمیت است. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از تصویر ماهواره‌ای گسل رامهرمز، مدل رقومی ارتفاع منطقه و تکنیک‌های GIS، پهنه‌بندی تکتونیکی در امتداد گسل با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک صورت پذیرد. درنهایت با استفاده از کلاس‌بندی‌های استاندارد، میزان فعالیت‌های تکتونیکی متفاوت گسل در بخش‌های مختلف آن به نقشه درآمده است

(El Hamdouni et al, 2008: 150-173).

شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان Smf

فعالیت تکتونیکی در کوهستان می‌تواند به‌وسیلهٔ شاخص پیچ‌وخم جبههٔ کوهستان بیان شود *(Giaconia et al, 2012; 90-106)*. در اغلب جبهه‌های فعال تکتونیکی مقادیر Smf نزدیک به عدد یک است؛ به‌عنوان مثال در مطالعاتی که توسط مؤمنی طارمسری و همکاران *(۱۳۹۴: ۶۹-۵۰)* در ازبک کوه طبس صورت پذیرفته، نشان‌دهندهٔ نزدیکی میزان پارامتر پیچ‌وخم پیشانی کوهستان به عدد ۱ و سطح فعالیت تکتونیکی بالا در منطقه است. با افزایش میزان بالاآمدگی Smf کاهش یافته یا متوقف می‌شود و فرایندهای فرسایشی فرصت پیدا می‌کنند تا جبههٔ کوهستان پرپیچ‌وخمی را شکل دهند. در طی زمان این پیشانی بسیار بی‌نظم خواهد شد *(Ramirez-Herrera, 1998: 317-332)*. به‌منظور اندازه‌گیری شاخص پیچ‌وخم پیشانی

www.SID.ir

Archive of SID

کوهستانی محدودهٔ گسل رامهرمز مشخص شد و با استفاده از نقشهٔ مدل ارتفاع رقومی و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ در محیط Mapper Global منطقهٔ مورد مطالعه به سلول‌هایی با ابعاد ۵ در ۵ کیلومتر شبکه‌بندی شد (شکل ۲).

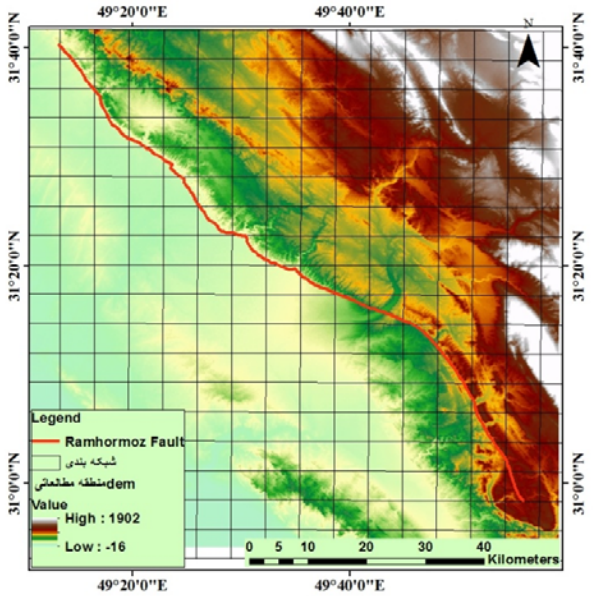
اثر ریخت‌زمین‌ساختی گسل رامهرمز به‌صورت مرز بین کوه و دشت به‌خوبی قابل مشاهده است. این اثر در ۳۰ سلول قابل مشاهده است که مقادیر Ls و Lmf در هر سلول اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطهٔ ۱ *(Keller and Pinter, 2002)*

رابطهٔ ۱: $Smf=Lmf/Ls$

مقدار شاخص Smf برای جبهه‌های کوهستانی اصلی در این ۳۰ سلول طبق رابطهٔ ۱ محاسبه شد. در این رابطه Lmf طول پیشانی کوهستان در امتداد کوهپایه و Ls طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است. در محیط ArcGIS نقاط مرکزی هر شبکه مشخص شد و مقدار Smf مربوط به هر شبکه تعیین و با استفاده از مختصات هر نقطه و مقدار شاخص Smf آن نقطه، نقشهٔ پهنه‌بندی Smf ترسیم شد.

طبق جدول ۱ تقسیم‌بندی *(El Hamdouni et al, 2008: 150-173)* کلاس ۱، Smf <۱/۱ بسیارفعال و کلاس ۲، ۱/۱< Smf <۱/۵ مناطق با فعالیت تکتونیکی متوسط و کلاس ۳، Smf >۱/۵ مناطق غیرفعال تکتونیکی می‌باشند.

طبق تقسیم‌بندی ارائه‌شده از سوی ال‌همدونی و همکاران *(۲۰۰۸: ۱۷۳-۱۵۰)* منطقهٔ مورد مطالعه در کلاس ۱ و ۲ جای دارد. شکل ۳ نمودار تغییرات Smf در امتداد گسل رامهرمز نشان می‌دهد. مقدار این شاخص در گسل رامهرمز از ۱/۰۰۳ در مناطق فعال تا ۱/۱۴ در مناطق غیرفعال تکتونیکی متغیّر است. شکل ۴ الف و ب به‌ترتیب نقشهٔ پهنه‌بندی و کلاس‌بندی شاخص Smf گسل رامهرمز را نشان می‌دهد. نقشهٔ پهنه‌بندی، نقاط فعال از غیرفعال تکتونیکی گسل رامهرمز را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نقشهٔ DEM شبکه‌بندی‌شدهٔ گسل رامهرمز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

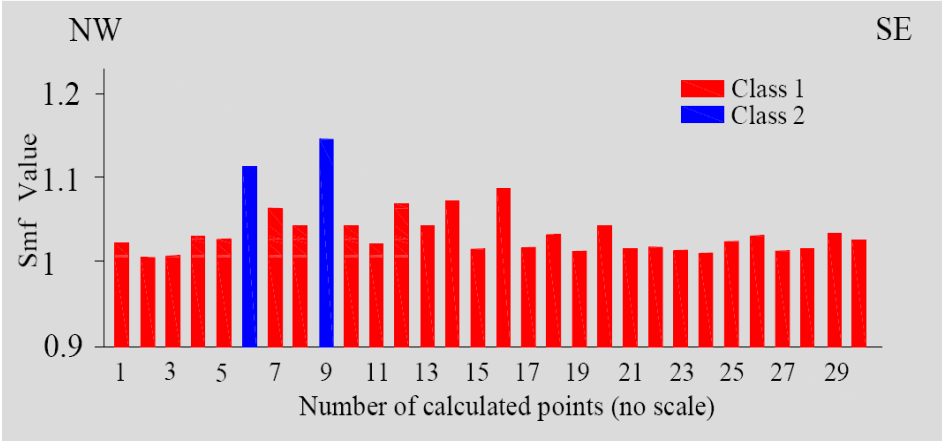
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Smf.

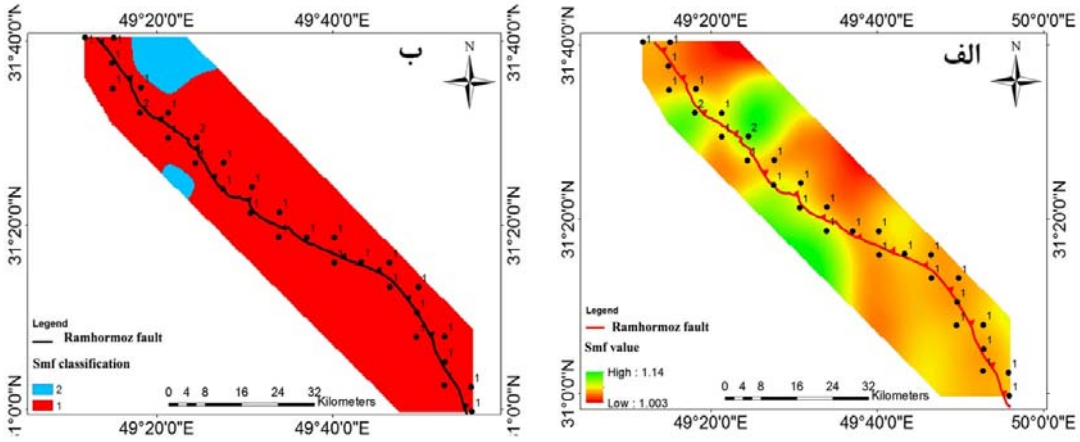
مناطق	کلاس ۱ فعال	فعالیت متوسط کلاس ۲	کلاس ۳ فعالیت کم
میزان Smf	<۱/۱ Smf	<۱/۵ Smf۱/۱<	>۱/۵ Smf

مأخذ: *El Hamdouni et al, 2008*



شکل ۳: نمایش مقادیر اندازه‌گیری‌شده شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان در امتداد گسل رامهرمز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۴: الف) نقشهٔ پهنه‌بندی شاخص پیچ وخم پیشانی کوهستان. ب) نقشهٔ کلاس‌بندی شاخص پیچ وخم پیشانی کوهستان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه

نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه (Vf) از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود:

رابطهٔ ۲:

$$Vf = 2\,Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

در رابطهٔ فوق Vf: نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه؛ Vfw: پهنای (عرض) درّه؛ Eld و Erd: به‌ترتیب ارتفاع خط تقسیم آب در قسمت راست و چپ درّه، Esc ارتفاع کف بستر درّه است *(Bull and McFadden, 1977: 115-138)*. هنگام محاسبهٔ Vf، این پارامتر در یک سری فاصله از جبههٔ کوهستان برای هر درّه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مقادیر زیاد Vf مرتبط با نرخ‌های کم بالاآمدگی می‌باشند؛ بنابراین رود، پهنای بسترِ خود را فرسایش داده، به‌گونه‌ای که به‌طور گسترده پهنای بسترِ درّه افزایش می‌یابد. مقادیر کم Vf بیانگر درّه‌های عمیق همراه با رودهایی است که به‌طور فعال کف بستر خود را حفر می‌کنند و همچنین به‌طور معمول همراه با بالاآمدگی است *(گورابی، ۱۳۸۶: ۱۹۶-۱۷۷)*. با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقهٔ مورد مطالعه، شاخص Vf در مقاطعی که آبراهه‌های اصلی، درّه‌ها را قطع کرده‌اند در نرم‌افزار Global Mapper محاسبه شد.

در محدودهٔ مورد مطالعه، شاخص Vf برای ۲۲ دره نزدیک به جبهه کوهستان در امتداد گسل رامهرمز، محاسبه شده است. محل این نقاط در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۶ برخی از نیمرخ‌های دره‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. موقعیت این نیمرخ‌ها در شکل ۵ بوسیله نقاط ستاره‌ای شکل نشان داده شده است. مقدار این شاخص از ۰/۳۷ در مناطق بسیار فعال با درّه‌های Vشکل منطقه تا ۱۳/۴۸ درمناطق با فعالیت تکتونیکی کم با درّه‌های U شکل متغیّر است. شکل ۷ مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ شاخص Vf در امتداد گسل رامهرمز را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ با رسم نمودار، شاخص Vf برای آبراهه‌هایی که گسل رامهرمز را قطع و ایجاد درّه می‌کنند، می‌توان مناطق فعال یا غیرفعال گسل را تشخیص داد. جدول ۲ تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص Vf *(El Hamdouni et al, 2008: 150-173)* را نشان می‌دهد. با استفاده از مقادیر Vf نقشهٔ پهنه‌بندی شاخص نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه تهیه شد (شکل ۸ الف). شکل ۸ ب، نقشهٔ کلاس‌بندی نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه (Vf) با استفاده از روش تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد *(El Hamdouni et al, 2008: 150-173)*.

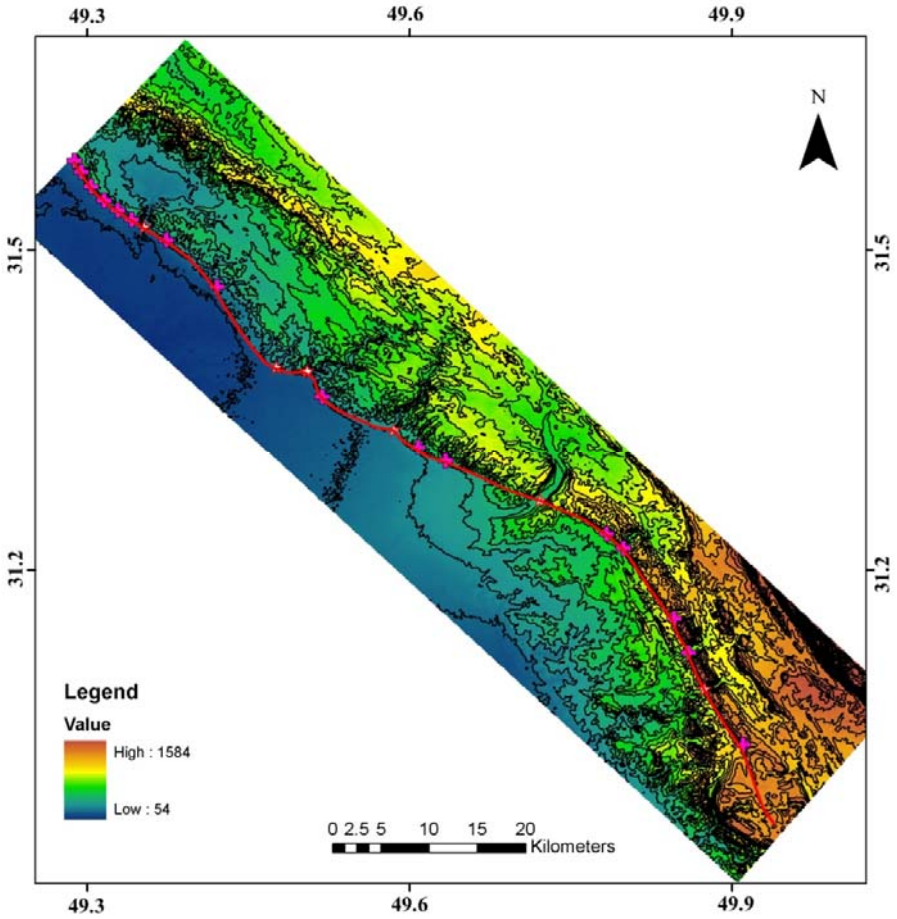
جدول ۲: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Vf

مناطق	کلاس ۱	کلاس ۲ فعالیت متوسط	کلاس ۳ فعالیت کم
میزان Vf	Vf <۰/۵	۰/۵ <Vf< ۱	Vf> ۱

مأخذ: *El Hamdouni et al., 2008*

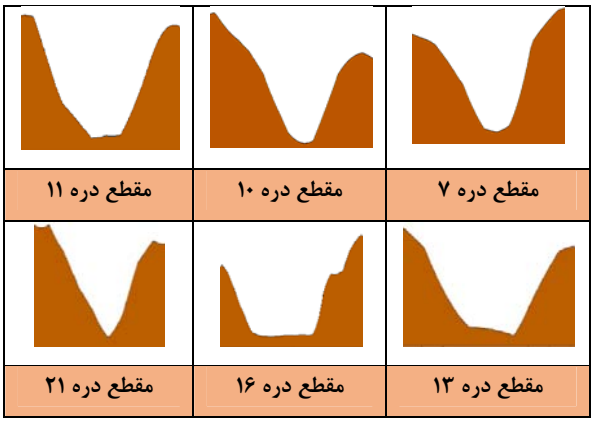
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵: مدل رقومی ارتفاع منطقه به همراه خطوط تراز با فواصل ۴۰ متر. موقعیت نقاط مربوط به شاخص Vf مشخص شده است. نقاط ستاره‌ای شکل نشان‌دهندهٔ نیمرخ‌های درّه در شکل ۶ می‌باشند.

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

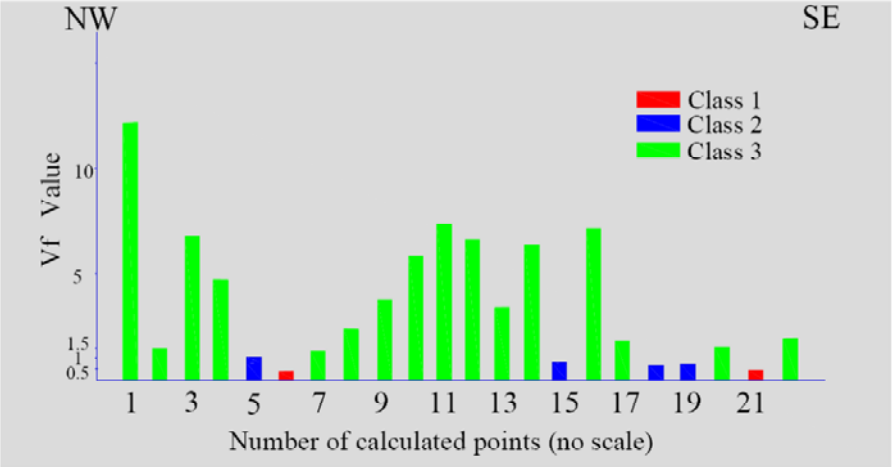


شکل ۶: مقاطع نسبت عرض کف بستر درّه به ارتفاع درّه (Vf)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

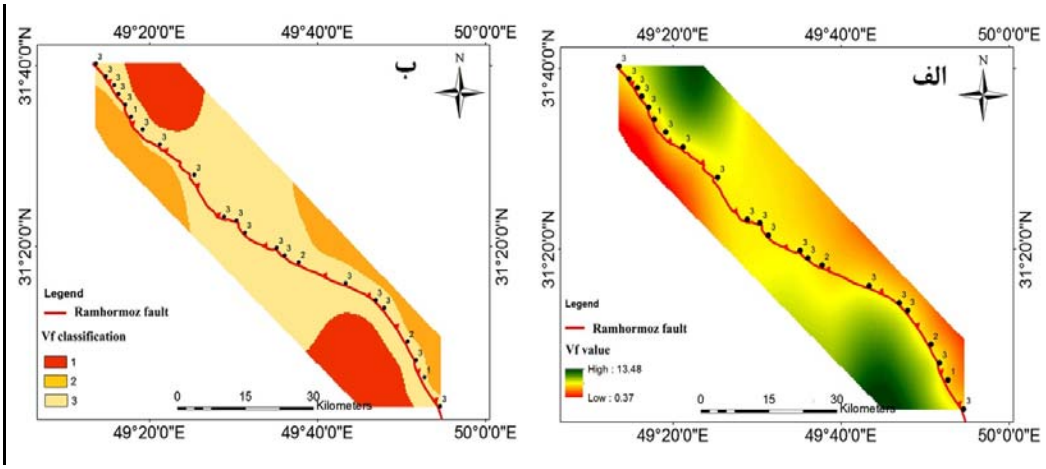
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷: مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ شاخص Vf در امتداد گسل رامهرمز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۸ : الف) نقشهٔ پهنه‌بندی شاخص نسبت عرض کف بستر درّه به ارتفاع درّه (Vf).

ب) نقشهٔ کلاس‌بندی شاخص نسبت عرض کف بستر درّه به ارتفاع درّه (Vf)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

شاخص شکل حوضه (Bs)

شکل پلانی‌متری حوضه‌ها به‌وسیلهٔ نسبت شکل حوضه توصیف می‌شود *(Mahmood & Gloaguen, 2012: 265-276)*. حوضه‌های کشیده‌ای که با مقادیر بالای Bs (بیشتر از ۴) مشخص می‌شوند، ازلحاظ تکتونیکی فعال هستند. مقادیر عددی ۳ تا ۴ این شاخص بر حوضه‌های نیمه‌فعال دلالت می‌کنند و مقادیر کمتر از ۳، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهد که ازنظر زمین‌ساختی غیرفعال هستند *(کرمی، ۱۳۹۱: ۱۸-۱۱)*. برای اندازه‌گیری شاخص شکل حوضه در نرم‌افزار Global Mapper با استفاده از DEM منطقه، حوضه‌ها استخراج شد و در محیط Arc GIS مقدار طول و عرض حوضه اندازه‌گیری شد. شکل ۹ حوضه‌های استخراج‌شده از DEM را نشان می‌دهد.

رابطهٔ ۳ :

$$Bs=Bl/Bw$$

www.SID.ir

Archive of SID

با استفاده از رابطهٔ ۳، مقدار شاخص شکل حوضه (Bs) برای هر حوضه محاسبه شد. در رابطهٔ ۳، Bl طول دورترین نقطه تا خروجی حوضه و Bw طول پهن‌ترین بخش حوضه است. مقدار شاخص Bs از ۶/۵ در مناطق بسیارفعال منطقه تا مقدار ۰/۵ در مناطق با فعالیت تکتونیکی کم متغیّر است. شکل ۱۰ نمودار شاخص شکل حوضهٔ Bs را نشان می‌دهد. جدول ۳ تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Bs *(El Hamdouni et al, 2008: 150-173)* را نشان می‌دهد. نقشهٔ پهنه‌بندی شاخص شکل حوضهٔ (Bs) با استفاده از مقادیر این شاخص مطابق شکل ۱۱ الف ترسیم شد و درنهایت نقشهٔ کلاس‌بندی شاخص شکل حوضهٔ (Bs) براساس روش *(El Hamdouni et al., 2008: 150-173)* مطابق شکل ۱۱ ب، ترسیم شد.

شاخص شیب طولی رودخانه

شاخص طول-شیب رودخانه، یک معیار باارزش برای ارزیابی تکتونیک فعال است *(Keller &Pinter, 1996: 564)*. شاخص گرادیان رودخانهٔ Sl با استفاده از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود *(Keller and DeVecchio, 2013: 129-147)*.

رابطهٔ ۴: $SL= (\Delta H/\Delta L)\ L$

در این رابطه، L: مجموعه طول کانال از نقطهٔ خروجی که شاخص در بالاترین نقطهٔ کانال اندازه‌گیری می‌شودو $\Delta H/\Delta L$: معادل گرادیان محلی رود در مقطع اندازه‌گیری است. شاخص طول- شیب رودخانه با قدرت رود ارتباط دارد و به تغییرات شیب رودخانه حساس است. این شاخص همچنین به مقاومت سنگ حساس است؛ زیرا سنگ‌های مقاوم، یک کانال شیب‌دار ایجاد می‌کنند. وقتی که رودخانه از سنگ‌های نسبتاً سخت عبور می‌کند، شاخص افزایش پیدا می‌کند، اما وقتی‌که از سنگ‌های نسبتاً نرم عبور می‌کند، کاهش می‌یابد. ایجاد گسل در سنگ‌های مقاوم سبب اختلاف ارتفاع قابل‌توجهی در نیمرخ طولی رودخانه می‌شود. در صورتی که گسل در سنگ‌های سست روی داده باشد، تغییر قابل‌توجهی درمیزان SL روی نمی‌دهد. یک ناحیه با شاخص SL بالا، برروی سنگ‌های نرم و سست ممکن است که بیانگر فعالیت تکتونیکی اخیر باشد *(Keller and Pinter, 2002: 362)*.

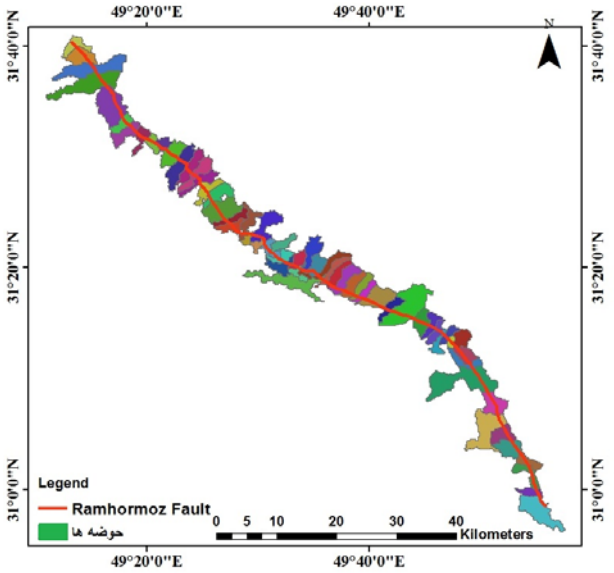
جدول ۳: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Bs

مناطق	کلاس ۱ فعال	کلاس ۲ فعالیت متوسط	کلاس ۳ فعالیت کم
Bsمیزان	>۴Bs	۳-۴	< ۳ Bs

مأخذ: *El Hamdouni et al., 2008*

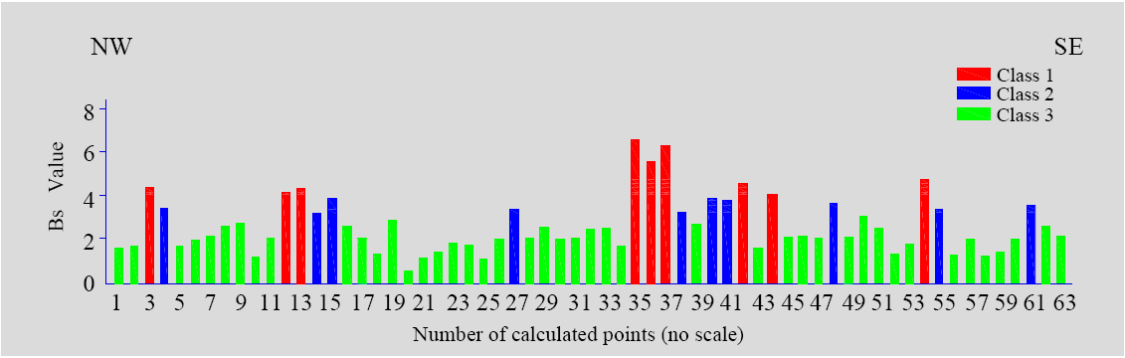
www.SID.ir

Archive of SID



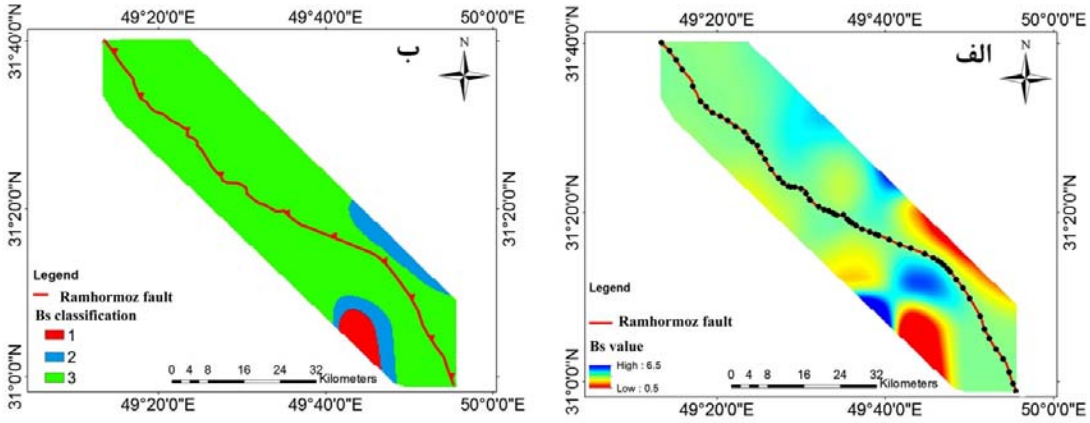
شکل ۹: حوضه‌های اطراف گسل رامهرمز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۱۰: نمودار شاخص شکل حوضهٔ BS

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۱۱: الف) نقشهٔ پهنه‌بندی شاخص شکل حوضهٔ (Bs) ب) نقشهٔ کلاس‌بندی شاخص شکل حوضهٔ (Bs)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

www.SID.ir

Archive of SID

به‌منظور تهیه لایهٔ شاخص گرادیان- طول رود، آبراهه‌های منطقهٔ مورد مطالعه از مدل رقومی، ارتفاع (DEM) در نرم‌افزار Global Mapper استخراج شد. سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و آبراهه‌های استخراج‌شده و مطابق با رابطهٔ ۴، این شاخص در ۲۱ نقطه از منطقهٔ مورد طالعه که رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی روند غالب کوهستان را قطع کرده‌اند، محاسبه شد. شکل ۱۲ نمودار مقادیر شاخص گرادیان- طول رودخانه را نشان می‌دهد. با استفاده از توابع درون‌یابی در محیط GIS مقدار این شاخص برای تمام منطقه تعیین و لایهٔ شاخص SL تهیه (شکل ۱۳الف) و با استفاده از این شاخص و بر اساس روش *(El Hamdouni et al, 2008: 150-173)* منطقه به ۳ ناحیه ازنظر فعالیت تکتونیکی کلاس‌بندی شد (شکل ۱۳ ب).

جدول ۴ مقادیر آستانه‌ای این شاخص را براساس مطالعات *(Dehbozorgi et al, 2010: 230-333)* نشان می‌دهد؛ ازاین‌رو قسمت اعظم طول گسل رامهرمز در محدودهٔ کلاس با فعالیت تکتونیکی پایین قرار می‌گیرد.

جدول ۴: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص SL

مناطق	کلاس ۱ فعال	کلاس ۲ فعالیت متوسط	کلاس ۳ فعالیت کم
میزان SL	>۵۰۰SL	<۵۰۰ SL۳۰۰<	< ۳۰۰ SL

مأخذ: Dehbozorgi et al, 2010

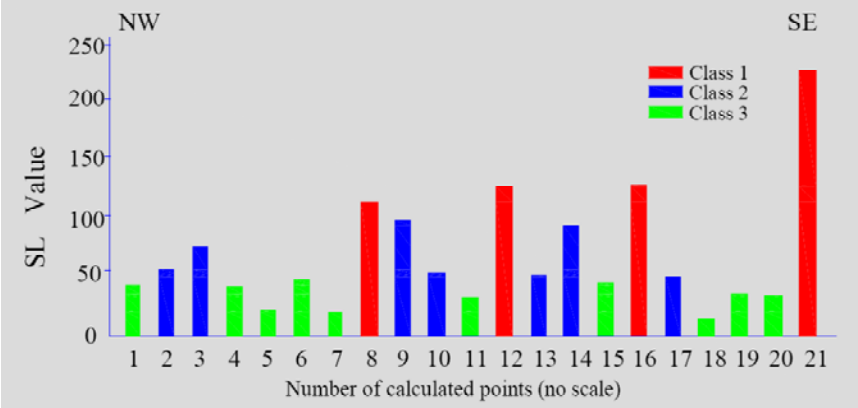
رده‌بندی فعالیت زمین‌ساختی

هریک از شاخص‌های مورد بحث، امکان یک رده‌بندی نسبی از فعالیت‌های زمین‌ساختی 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 ناحیهٔ خاص مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گیرد، نتایج پرمعنی‌تر از تحلیل‌های حاصل از هریک از شاخص‌هاست که به‌تنهایی حاصل می‌شود *(Keller and Pinter, 1996: 564)*.

با استفاده از قابلیت‌های GIS و توابع تحلیلی آن، می‌توان هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی Bs، Vf، Smf و SL کوهستان در منطقه را انجام داده و با دقت و سرعت بالا یک رده از فعالیت زمین‌ساختی نسبی را به هر ناحیه نسبت داد. ازآنجاکه تعیین ضریب اهمیت نسبی پارامترهای مورفومتریک در شرایط مختلف زمین‌شناختی تحت‌تأثیر پارامترهای متفاوتی قرار می‌گیرد و تاکنون وزن‌دهی استانداردی به‌منظور روی‌هم‌اندازی لایه‌ها در این گونه مطالعات صورت نپذیرفته‌است؛ بنابراین از روش weighted overlay، با وزن‌های یکسان برای روی‌هم‌اندازی لایه‌های شاخص ژئومورفیک برای تعیین فعالیت تکتونیکی استفاده شد و نقشهٔ پهنه‌بندی تکتونیک فعال برای منطقه تهیه شد (شکل ۱۴). این نقشه نشان می‌دهد، ازلحاظ رخدادهای نوزمین‌ساختی قسمت اعظم گسل رامهرمز در محدودهٔ فعالیت تکتونیکی ردهٔ متوسط قرار گرفته است.

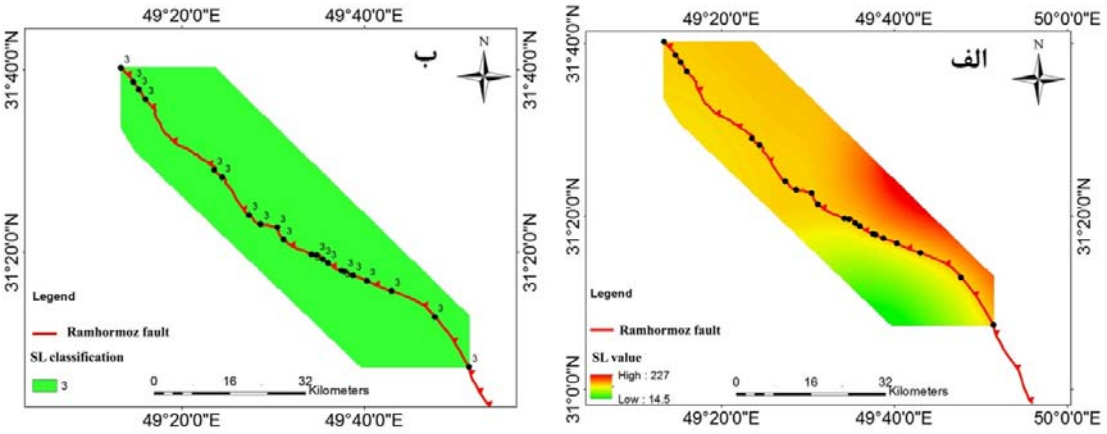
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲: نمودار شاخص گرادیان- طول رودخانه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



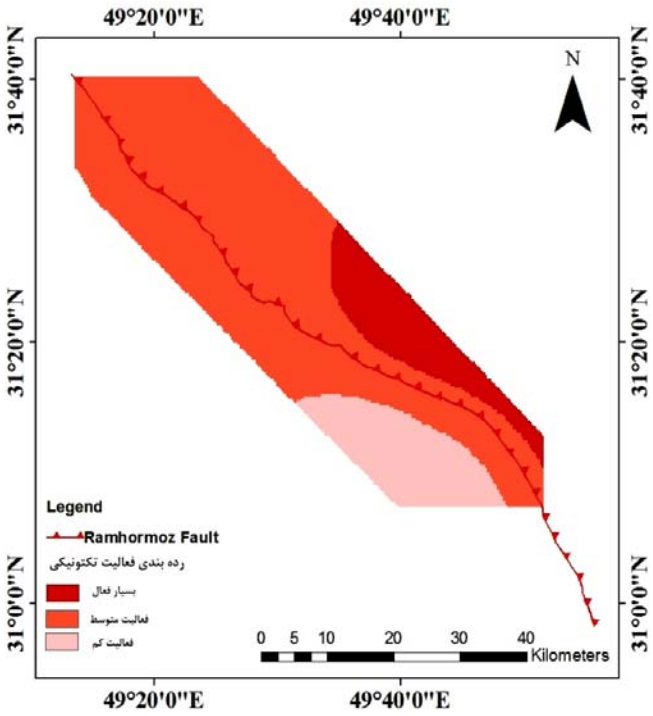
شکل ۱۳: الف) نقشهٔ پهنه‌بندی شاخص گرادیان-طول رودخانه برای آبراهه‌های مختلف در منطقه

ب) نقشهٔ کلاس‌بندی شاخص گرادیان-طول رودخانه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۴: نقشهٔ پهنه‌بندی فعالیت تکتونیکی منطقه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

نتیجه

شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه‌شده با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، برای ارزیابی تکتونیک فعال در سرتاسر مناطق بزرگ، روشی مناسب و کارآمد است. استفاده از نوآوری‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، کمک شایانی به ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک و تحلیل‌ساختاری به‌عنوان ابزارهای پایه و اساسی به‌منظور شناخت فعالیت‌های تکتونیک در منطقه کرد. حرکات متوالی در گسل‌های واژگون یا راندگی سبب قرارگیری سنگ‌های سخت فرادیواره در مجاورت رسوبات جوان و سست فرودیواره می‌شود. این اختلاف در ویژگی مواد فرادیواره و فرودیواره موجب تمرکز لغزش در پهنهٔ باریکی در پای پیشانی کوهستانی برخاسته، چین‌خورده و برجسته ازنظر ریخت‌شناسی می‌شود. در این ناحیه فرایندهای شیب‌فعال، فرسایش آبراهه‌ای و ته‌نشست بادبزن‌های آبرفتی در مجموع می‌توانند باعث نامعلوم شدن خط اثر گسل شوند *(McCalpin, 2009: 534)*؛ ازاین‌رو بررسی و تفسیر زمین‌ساختی بر روی این نوع گسل‌ها بیشتر با تکیه بر شواهد زمین‌ریختی صورت می‌پذیرد. در محدودهٔ مورد مطالعه این وضعیت به چشم می‌خورد؛ گسل رامهرمز به‌واسطهٔ معکوس‌بودن خود موجب قرارگیری واحدسنگی گچساران در مجاورت رسوبات کواترنری شده است. هر یک از شاخص‌های مورد بحث در فوق یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت تکتونیکی ارائه می‌دهند که برای مطالعات شناسایی و بررسی‌های مقدماتی مفید می‌باشند. برای گسل رامهرمز نقشهٔ پهنه‌بندی و کلاس‌بندی چهار شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه،

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص طول-گرادیان رود و شاخص شکل حوضه تهیه شد.

۱. نقشهٔ ایجادشده از شاخص پیچ‌وخم جبههٔ کوهستان منطقه (شاخص Smf) نیز منطقه را به ۳ ناحیهٔ تکتونیکی تقسیم کرده که با توجه به رخنمون سازند گچساران در منطقه، کمترین مقدار این شاخص در جایی بوده که این سازند رخنمون داشته و چون این رخنمون‌های سازند گچساران، بر محل راندگی‌های اصلی منطقه منطبق است، بیشترین فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهند. در نقشهٔ شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (Smf)، مقادیر نزدیک به عدد یک، گویای جبهه‌های کوهستانی منظم و مناطق فعال تکتونیکی است. با توجه به نقشهٔ شاخص، پیچ‌وخم پیشانی کوهستان تقریباً کل طول گسل فعال است.

۲. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، نقشه نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf) برای منطقه تهیه شد. نقشه شاخص Vf تهیه شده برای منطقه نشان می دهد که قسمت اعظم طول گسل در کلاس ۳ قرار داشته و موید فعالیت تکتونیکی پایین در طول گسل می‌باشد.

۳. با استفاده از مدل ارتفاع رقومی و آبراهه‌های استخراج شده از آن نقشه شاخص طول-گرادیان رود (SL) برای منطقه تهیه شد. براین اساس بخش اعظم گسل رامهرمز نشان دهنده فعالیت تکتونیکی متوسط می‌باشد.

۴. با استفاده از حوضه‌های استخراج شده از مدل ارتفاع رقومی، نقشه شاخص شکل حوضه برای منطقه تهیه گردید. براین اساس بخش اعظم گسل رامهرمز نشان دهنده فعالیت تکتونیکی اندکی می‌باشد.

۵. نقشهٔ پهنه‌بندی تکتونیک فعال منطقه نشان می‌دهد که قسمت‌های مرکزی و جنوب‌شرق گسل ازلحاظ فعالیت تکتونیکی فعال‌تر است.

با توجه به پوشیده‌شدن قسمت‌هایی از منطقه با سازند گچساران و خاصیت پلاستیسیه (شکل‌پذیری) سازند گچساران، این سازند در مقابل تنش‌های تکتونیکی حالت جریان‌پذیری و ارتفاع کم پیدا می‌کند، درصورتی که سازندهای مقاوم‌تر در برابر این تنش‌ها ارتفاع بیشتری ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، سازند گچساران فرسایش‌پذیری بالایی دارد که همهٔ این عوامل باعث می‌شود، محاسبهٔ شاخص‌ها در قسمت‌هایی از منطقه با خطا همراه شود.

منابع

- سلیمانی، شهرام (۱۳۷۸). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینهٔ لرزه‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. شمارهٔ ۸. صفحات ۱۵۶-۱۴۸.
- شیخ‌الاسلامی، محمدرضا؛ حمیدرضا جوادی؛ محمد اسدی؛ احمد آقاحسینی؛ مهدی کوه‌پیما؛ بهرام وحدتی‌دانشمند (۱۳۹۳). دانشنامهٔ گسل‌های ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. صفحات ۵۵۸-۱.
- غلامیان، مرضیه (۱۳۹۵). تحلیل ساختاری و لرزه‌زمین‌ساخت گسل رامهرمز. رسالهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز. صفحات ۱۳۵-۱.
- کرمی، فریبا (۱۳۹۱). ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند. فصلنامهٔ علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. شمارهٔ ۳۷. صفحات ۱۸-۱۱.
- گورابی، ابوالقاسم (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضهٔ آبخیز درکه. پژوهش‌های جغرافیایی. شمارهٔ ۱۵. صفحات ۱۹۶-۱۷۷.

www.SID.ir

Archive of SID

- متین، نعیم(۱۳۹۵). تحلیل ساختاری و مورفوتکتونیکی دشت مهارلو. رسالۀ کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز. صفحات ۱۴۸-۱.
- مؤمنی‌طارمسری، محمد؛ مریم دەبزرگی؛ علی یساقی؛ رضا نوزعیم (۱۳۹۴). ارزیابی تکتونیک فعال ازبک کوه در شمال طبس، ایران مرکزی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. شمارۀ ۳. صفحات ۶۹-۵۰.
- Berberian, M (1977). "Three phases of metamorphism in Haji-Abad quadrangle (southern extremity of the Sanandaj-Sirjan structural zone): a palaeotectonic discussion." Contribution to the Seismotectonics of Iran. Vol, 16., PP: 239-263.
- Berberian, M., King, G.C.P. (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences. Vol, 18., PP:210-265.
- Bull, W.B., McFadden, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.), Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton. Vol, 22., PP: 115–138.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S. (2012). Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Oxford. PP: 438.
- Dehbozorgi, M. Pourkermani, M. Arian, M. Matkan, A.A. Motamedi, H. Hosseiniasl, A. (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, Geomorphology. Vol,121., PP:230-333.
- 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. Vol, 96., PP: 150-173.
- Fossen, H. (2016). Structural Geology. Cambridge University Press. PP: 481.
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J. M., Azañón, J. M., Pérez-Peña, J. V., Pérez-Romero, J., Villegas, I. (2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain). Geomorphology. Vol, 145., PP: 90-106.
- Golonka, J (2004). Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. Tectonophysics. Vol,381., PP: 235-273.
- Grohmann, C.H. (2004). Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R. Computers and Geosciences. Vol, 30., PP:1055-1067.
- Joshi, P.N., Maurya, D.M., Chamyal, L.S. (2013). Morphotectonic segmentation and spatial variability of neotectonic activity along the Narmada–Son Fault, Western India: Remote sensing and GIS analysis. Geomorphology. Vol, 180., PP: 292-306.
- Keller, E.A., DeVecchio, D. E (2013). Tectonic Geomorphology of Active Folding and Development of Transverse Drainages. In: John F. Shroder (ed.) Treatise on Geomorphology. Vol, 5., PP: 129-147.
- Keller, E. A., Pinter, N (1996). Active tectonics, Prentice Hall Upper Seddle River,NJ,USA.PP:564.
- Keller, E. A., Pinter, N. (2002). "Active tectonic, Earthquickes, Uplift and Landscape." Prentice Hall , New Jersey. PP: 362.
- Mahmood, S.A., Gloaguen, R (2012). Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis.Geoscience Frontiers. Vol, 32,PP.265-276
- McCalpin,J.P. (2009). Paleoseismology. Academic press. PP: 534.
- Ramirez-Herrera, M. T (1998). "Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt." Earth surface processes and landforms. Vol, 23., PP: 317-332.
- Rangzan, K., S. Pirasteh and Ali, S.A (2003). "Use of digital elevation model for study of drainage morphometry and identification stability and saturation zones in relations to landslide assessments in parts of the Shahbazan area, SW Iran." Cartography. Vol, 32., PP: 71-76.
- Talbot, C.J., Alavi, M. (1996). The past of a future syntaxis across the Zagros, Geological Society, London, Special Publications. Vol 100, PP:89-109.
- Twiss, J.R., Moores, E.M. (2007). Structural geology. Freeman & Company NewYork. PP:743.

www.SID.ir