

تحلیل ریخت زمین ساختی گسل آجاجاری

بابک سامانی *

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

عباس چرچی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

شیما ناظمی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۷

* b.samani@scu.ac.ir

چکیده

گسل آجاجاری در فروافتادگی دزفول شمالی یکی از گسل‌های مهم در استان خوزستان محسوب می‌شود. به دلیل عملکرد این گسل در منطقه، مورفولوژی مشخصی ایجاد شده است که می‌تواند در ردیابی و شناسایی ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی آن مورد استفاده قرار گیرد. برای تشخیص و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در امتداد این گسل، شاخص‌های مورفوتکتونیکی پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)، شکل حوضه (Bs)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (شاخص Vf)، و گرادیان- طول رودخانه (SL) محاسبه گردید. مقدار شاخص Smf از ۱/۰۰۷ در مناطق بسیار فعال تا ۱/۵۸ در مناطق با فعالیت متوسط تکتونیکی متغیر می‌باشد. مقدار شاخص Bs از ۷/۸۳ در مناطق بسیار فعال منطقه تا مقدار ۱/۱۸ در مناطق با فعالیت تکتونیکی کم متغیر می‌باشد. مقدار شاخص Vf از ۰/۲۱ در مناطق فعال با دره‌های V شکل تا ۵/۲۹ در مناطق غیرفعال با دره‌های U مانند تغییر می‌کند و مقدار شاخص SL از ۱۴۱۴/۵۸ در مناطق بسیار فعال منطقه تا مقدار ۳۸۵/۱۴ در مناطق با فعالیت تکتونیکی کم متغیر است. با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و روی هم‌اندازی (Overlay) لایه‌های اطلاعاتی Smf، Bs، Vf و SL، منطقه به سه ناحیه تکتونیکی رده‌بندی شد و نقشه پهنه‌بندی تکتونیک فعال بصورت کمی برای منطقه تهیه گردید. در این نقشه رده‌های ۱ تا ۳ به ترتیب نشانگر بیشترین تا کمترین فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که گسل آجاجاری در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی به جز چند محدوده کوچک دارای فعالیت با رده تکتونیکی متوسط است و در بخش‌های شمال غربی دارای فعالیت با رده تکتونیکی پایین می‌باشد.

کلمات کلیدی: گسل آجاجاری، فروافتادگی دزفول، نو زمین ساخت، تکتونیک جنبی، شاخص‌های مورفوتکتونیکی

مقدمه

ساختمان‌های حاصله حاکی از فعالیت بالای گسل باشند در حالی که ممکن است این بخش از گسل فاقد هر نوع رخداد لرزه‌ای باشد و یا بالعکس. یکی از متداول‌ترین جنبه‌های مطالعاتی تکتونیک جوان در هر منطقه‌ای شامل مطالعات ریخت زمین‌ساختی در آن محدوده می‌باشد. با توجه به عدم وجود شبکه‌های منظم سیستم موقعیت یاب جغرافیایی و داده‌های زمین لرزه‌ای با عدم قطعیت مناسب در قرن گذشته، انجام مطالعات تکتونیک پویا در مقیاس-های محلی بسیار دشوار می‌باشد. از این‌رو انجام مطالعات ریخت زمین‌ساختی به منظور فهم فعالیت‌های تکتونیکی جوان، یک شیوه پرکاربرد و متداول در بسیاری از مطالعات می‌باشد. مطالعه اثرات زمین‌ریخت‌شناسی (مستقیم و غیرمستقیم) می‌تواند ما را بسوی جنبش‌های نوزمین‌ساختی بوجود آورنده آنها رهنمون کند. مورفوتکتونیک یا تکتونیک ژئومورفولوژی دانش مطالعه اشکال و سیمای ایجاد شده بر زمین است که بر اثر سازوکارهای تکتونیکی ایجاد شده‌اند و از آن به معنای کاربرد اصول زمین ریختی در تحلیل مسائل تکتونیکی تعبیر می‌شود (Burbank and Anderson, 2008). از مهم‌ترین شاخص‌ها که اطلاعات مهمی را برای تفسیر تاریخچه مورفوتکتونیک منطقه در اختیار قرار می‌دهند می‌توان به شاخص پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان در حد فاصل مناطق هموار و نواحی کوهستانی، نسبت کف دره به عمق دره، نسبت عرض دره به

پوسته ایران زمین طی رخداد‌های زمین‌شناسی دوره‌های تشریری و کوآترنری تحت تأثیر تحولات وسیعی قرار گرفته است. به گونه‌ای که بسیاری از سیمای کنونی طی رخداد‌های جوان تکتونیکی شکل گرفته‌اند. تکوین و حتی فعالیت مجدد بسیاری از گسل‌های ایران در ارتباط با این حرکات تکتونیکی جوان می‌باشد. در بسیاری از موارد جهت درک میزان فعالیت‌های تکتونیکی گسل‌ها از مطالعات تکتونیک جنبی (Active tectonics) و نوزمین ساخت (Neo-tectonics) استفاده می‌شود. در مطالعات تکتونیک جنبی با استفاده از پراکندگی زمانی- مکانی و ساز و کار رخداد‌های زمین‌لرزه‌ای 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 تکتونیک جوان بازه زمانی طولانی‌تری (حداقل از دوره کوآترنری) از تحولات زمین‌شناسی را شامل می‌شوند (Twiss and Moores, 2007). با توجه به ماهیت متفاوت این دو مقوله، در بسیاری از موارد مقایسه داده‌های حاصل از مطالعات تکتونیک پویا و تکتونیک جوان نتایج مشابهی را در اختیار قرار نخواهند داد (Asadi, 1396). به‌عنوان مثال در بخشی از یک گسل ممکن است فعالیت‌ها بصورت غیرلرزه‌ای و سطحی است و ریخت

ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی جوان در منطقه مورد مطالعه می باشد.

ارتفاع درّه، مخروط افکنه‌ها، سطوح مثلثی شکل واقع بر روی پرتگاه‌های گسلی شاخص‌های مورفومتری گسل آغاچاری اشاره نمود که این موارد مهم جهت



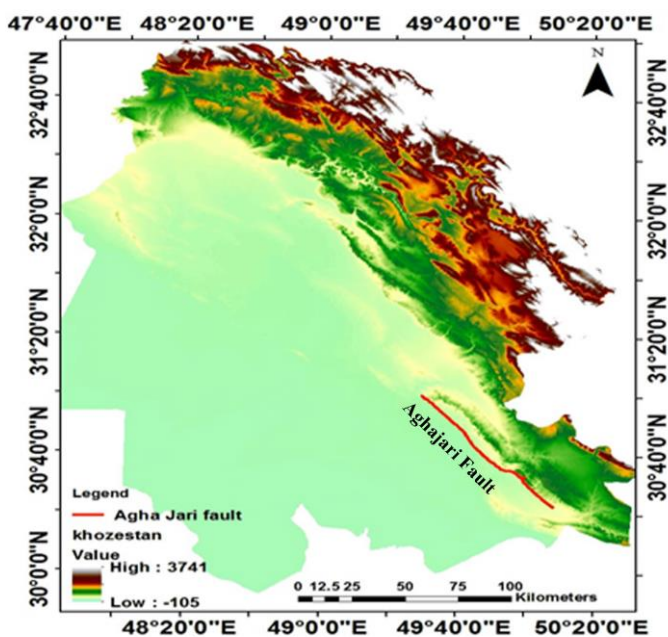
شکل ۱- تصویر صحرایی از موقعیت گسل آغاچاری و مورفولوژی مرز کوه و دشت در دامنه جنوبی تاقدیس آغاچاری. ۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان امیدیه. جهت دید عکس به سمت جنوب شرق

Fig. 1. Field picture of Aghajari Fault and the mountain-plain morphology in the southern limb of Aghajari anticline. 5km southwestern of Omidyeh city. View direction to SE.

گسل دارای مکانیسم عمده حرکتی معکوس با کمی مولفه امتداد لغز راست‌بر می‌باشد و عملکرد آن باعث رانده شدن تاقدیس آغاچاری بر روی دشت آبرفتی امیدیه شده است. تاقدیس آغاچاری در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز و ۶۰ کیلومتری شمال شرق بندر ماهشهر قرار دارد. بخش زیادی از یال جنوب غربی آن در مسیر جاده اهواز به امیدیه به موازات جاده قابل مشاهده می‌باشد. در طی عبور از جاده‌ی اهواز- امیدیه به دلیل وجود مرز کوه و دشت، گسل آغاچاری به خوبی قابل تشخیص و دسترسی است.

منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

محدوده مورد مطالعه با عرض جغرافیایی $30^{\circ} 22'$ تا $31^{\circ} 01'$ شمالی و طول جغرافیایی $48^{\circ} 48'$ تا $49^{\circ} 14'$ شرقی در محدوده‌ی جنوب شرقی استان خوزستان قرار گرفته است (شکل ۲). این گسل از حوالی پل خلف آباد (شمال رامشیر) آغاز گردیده و ضمن عبور از شهرستان‌های امیدیه و آغاچاری تا منطقه زیدون (جنوب شرق بهبهان) کشیده شده است. طول این گسل حدود ۱۰۲ کیلومتر است. بر اساس مشاهدات صحرایی و اندازه‌گیری‌های به عمل آمده، این



شکل ۲- موقعیت گسل آغاچاری بر روی نقشه DEM خوزستان.

Fig. 2. Location of Aghajari Fault on the Digital Elevation Model (DEM) of Khuzestan.

روش کار

در این پژوهش به منظور ارزیابی وضعیت تکتونیک جنبا، با استفاده از مدل ارتفاع رقومی (DEM)، نقشه زمین‌شناسی، نقشه‌ی آبراهه‌های منطقه و نقشه زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه، جهت اندازه‌گیری شاخص‌های مورفوتکتونیک در امتداد گسل آجاجاری استفاده شده است تا فعالیت و پویایی تکتونیک در بخش‌های مختلف گسل آجاجاری مورد ارزیابی و محاسبه قرار گیرد. از آنجا که تعیین کمی میزان فعالیت‌های تکتونیک مستلزم انجام مطالعات پرهزینه و زمان بر می‌باشد از این روش استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک برای ارزیابی سریع و ارزان میزان پویایی زمین ساختی یک ناحیه‌ی خاص حایز اهمیت می‌باشد. روش معمول در انجام این گونه مطالعات اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف ژئومورفیک و بررسی و مقایسه نتایج و نهایتاً پهنه‌بندی منطقه از دیدگاه میزان فعالیت‌های نوزمین ساختی در یک محدوده وسیع می‌باشد. در این مطالعه به منظور فهم میزان فعالیت زمین‌ساختی گسل آجاجاری اندازه‌گیری پارامترهای ژئومورفیک در امتداد گسل و در کمترین فاصله از خط اثر گسل اندازه‌گیری شده است. بنابراین برای پیشبرد اهداف این مطالعه از چهار شاخص ژئومورفیک استفاده شد که عبارتند از: شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf)، شاخص کشیدگی حوضه (Bs) و شاخص گرادپان طولی رودخانه (SL). استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ارتفاع رقومی در مطالعات ریخت زمین‌ساختی به عنوان نقشه‌ها و داده‌های پایه، امری اجتناب‌ناپذیر است و دقت نتایج حاصله دارای ارتباط تنگاتنگ با میزان دقت نقشه‌ها و داده‌های پایه می‌باشد. طبعاً استفاده از نقشه‌ها و تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالاتر بر میزان دقت نتایج خواهد افزود. در این تحقیق از تصاویر ارتفاع رقومی با دقت ۳۰ متر استفاده گردیده است. منطقه مورد مطالعه به سلول‌هایی با ابعاد ۵×۵ کیلومتر شبکه بندی شد و شاخص‌های ژئومورفیک در امتداد گسل در هر یک از سلول‌ها اندازه‌گیری گردید. به این ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی و رده‌بندی هر یک از شاخص‌های ژئومورفیک در منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید. با توجه به اندازه‌گیری شاخص‌ها در سلول‌های دربر دارنده خط اثر گسل، ذکر این نکته ضروری است که میزان دقت نقشه‌های پهنه‌بندی و رده‌بندی در مجاورت گسل دارای بالاترین دقت و با فاصله گرفتن از گسل، از میزان دقت نتایج کاسته خواهد شد.

بحث و نتایج

رقابت همیشگی بین فرآیندهای تکتونیک که منجر به شکل‌گیری توپوگرافی و فرآیندهای سطحی که منتهی به فرسودگی آن می‌شود، بیان‌کننده تکتونیک ژئومورفولوژی یا ژئومورفولوژی ساختاری می‌باشد (Burbank and Anderson, 2011). شاخص‌های ریخت‌سنجی روشی برای تعیین سرعت فرآیندهای زمین‌ساخت جنبا می‌باشد. هر یک از شاخص‌های مورد بحث، امکان یک رده‌بندی نسبی از فعالیت‌های تکتونیک 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. در ادامه شاخص پیچ و خم پیشانی

کوهستان (Mountain front sinuosity) (Smf)، شاخص شکل حوضه (Drainage Basin Shape Ratio) (Bs)، شاخص طول رود-گرادیان (Stream Length-gradient index) (SL) و نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Ratio of valley floor width to valley) (Vf) در امتداد گسل آجاجاری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

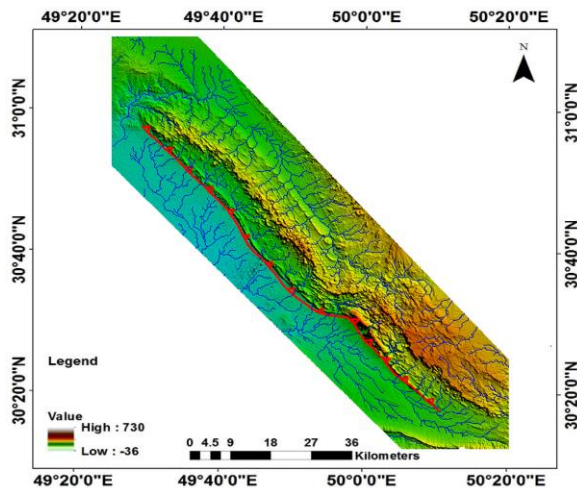
پیچ و خم پیشانی کوهستان Smf

این شاخص نشان‌دهنده رقابت بین شدت و تمایل فرایندهای فرسایشی برای ایجاد یک پیشانی نامنظم و فعالیت‌های تکتونیک جهت ایجاد یک پیشانی مستقیم برای کوه است. پیشانی کوه‌هایی که با بالا آمدگی فعال همراهند، تقریباً مستقیم است بنابراین خمش پایین در یک جبهه کوهستانی مستقیم و صاف با یک گسل مرزی فعال دیده می‌شود. اگر نرخ بالا آمدگی کم یا متوقف شود فرایندهای فرسایشی جبهه کوهستان را با بی‌نظمی بیشتری خواهند تراشید و شروع به تشکیل پیشانی پرپیچ و خم می‌کنند که با گذشت زمان نا منظم‌تر می‌گردد و مقدار پیچ و خم پیشانی کوهستان افزایش خواهد یافت. بنابراین هرگاه مقدار این پارامتر با یک برابر باشد بیانگر پهنه فعال از نظر تکتونیک است. افزایش در مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیک منطقه است. از سوی دیگر جنس سنگ‌های کوه و مقاومت آنها در برابر عوامل فرسایش می‌تواند در مقدار شاخص Smf مؤثر باشد (Bull, 2008). پیچ و خم پیشانی کوهستان به صورت رابطه ۱ تعریف شده است (Keller and Pinter, 1996):

$$\text{Smf} = \text{Lmf} / \text{Ls} \quad (\text{رابطه } ۱)$$

Smf پیچ و خم پیشانی کوهستان، Lmf طول پیشانی کوهستان در طول کوهپایه و انحنای مشخص در دامنه آن و Ls طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است.

به منظور اندازه‌گیری شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستانی طبق شکل ۳ محدوده گسل آجاجاری مشخص گردید و با استفاده از نقشه مدل ارتفاع رقومی و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ در محیط Mapper Global منطقه مورد مطالعه به سلول‌هایی با ابعاد ۵ در ۵ کیلومتر شبکه‌بندی گردید. سپس مقادیر Ls و Lmf اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه ۱ مقدار شاخص Smf برای جبهه‌های کوهستانی اصلی در ۲۶ سلول محاسبه شد. در محیط ArcGis 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 پهنه‌بندی Smf ترسیم گردید. طبق جدول ۱ تقسیم‌بندی (El Hamdouni et al., 2008) رده ۱، $1/1 < \text{Smf} < 1/5$ بسیارفعال و رده ۲، $1/5 < \text{Smf} < 1/10$ مناطق غیرفعال تکتونیک می‌باشند. طبق تقسیم‌بندی ارائه شده از سوی (El Hamdouni et al., 2008) بخش اعظم گسل آجاجاری از دیدگاه فعالیت تکتونیک در رده ۱ و ۲ جای دارد. شکل ۴ نمودار تغییرات Smf در امتداد گسل آجاجاری نشان می‌دهد. مقدار این شاخص در گسل آجاجاری از ۱/۰۰۷ در مناطق فعال تا ۱/۵۸۴ در مناطق غیرفعال تکتونیک متغیر می‌باشد. شکل ۵ الف و ب به ترتیب نقشه پهنه‌بندی و رده بندی شاخص Smf گسل آجاجاری را نشان می‌دهد.



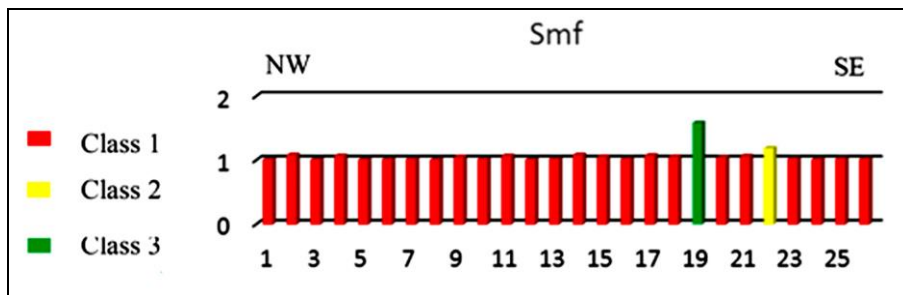
شکل ۳- نقشه DEM منطقه مورد مطالعه.

Fig. 3. Digital Elevation Model (DEM) of the study area.

جدول ۱- تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Smf (El Hamdouni et al., 2008).

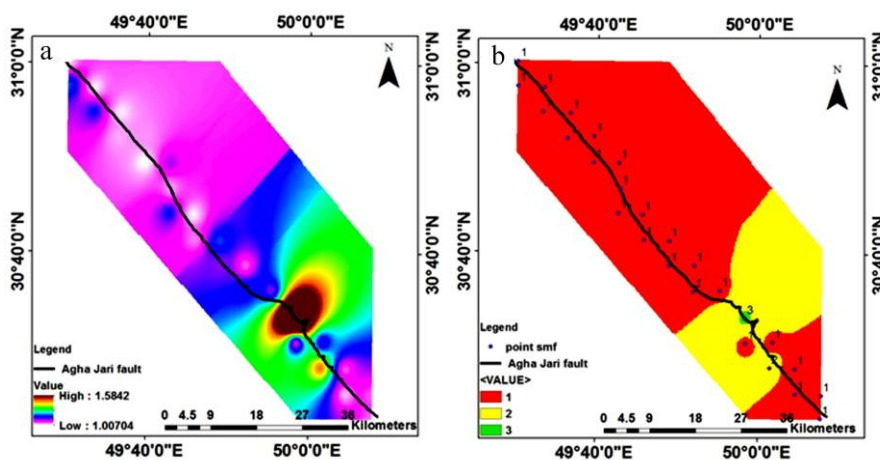
Table.1. Classification of active tectonics according to the Smf index (El Hamdouni et al., 2008).

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
$Smf > 1.5$	$1.1 < Smf < 1.5$	$Smf < 1.1$	Smf



شکل ۴- مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص پیشانی کوهستان در امتداد گسل آغاجاری.

Fig. 4. The amounts of mountain front sinuosity along the Aghajari Fault.



شکل ۵- (a) نقشه پهنه‌بندی شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان. و (b) نقشه رده بندی شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان.

Fig. 5. (a) Zoning map of mountain front sinuosity index, and (b) classification map of mountain front sinuosity index.

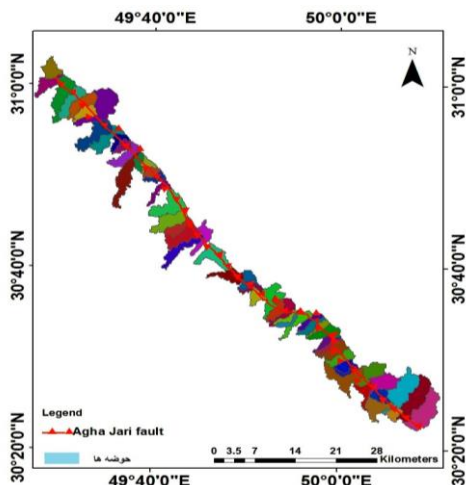
شاخص شکل حوضه (Bs)

با استفاده از این شاخص می‌توان شکل حوضه را به یک شاخص کمی تبدیل کرد (Cannon, 1976). مقدار این شاخص به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$Bs = B_l / B_w \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه طول حوضه B_l ، از محل مجرای خروجی تا دورترین نقطه حوضه و B_w عرض حوضه، که در عریض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود. حوضه‌های با کشیدگی زیاد مشخص کننده‌ی مناطق فعال زمین‌ساختی است یعنی جایی که جریان به صورت ابتدایی بستر خود را حفر می‌کند. با دور شدن از زمان فعالیت منطقه، شکل آن به دایره نزدیک می‌شود. حوضه‌هایی با B_s بزرگتر از ۴ حوضه‌های فعال، حوضه‌های با B_s بین ۳ تا ۴ حوضه‌های نیمه‌فعال و حوضه‌هایی با B_s 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 ۶ حوضه‌های استخراج شده از DEM در محیط Global mapper را نشان می‌دهد. با استفاده از فرمول $B_s = B_l / B_w$ مقدار شاخص شکل حوضه B_s برای هر حوضه محاسبه شد. مقدار شاخص B_s از ۷/۸۵ در مناطق بسیارفعال منطقه تا مقدار ۱/۱۸ در مناطق با فعالیت تکتونیکی کم متغیر می‌باشد. جدول ۲ تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص B_s (El Hamdouni et al., 2008) را نشان می‌دهد. شکل ۷ نمودار شاخص شکل حوضه B_s را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی شاخص شکل حوضه (Bs) مطابق شکل ۸ الف ترسیم شد و در نهایت نقشه رده بندی شاخص شکل حوضه (Bs) مطابق شکل ۸ ب ترسیم گردید.



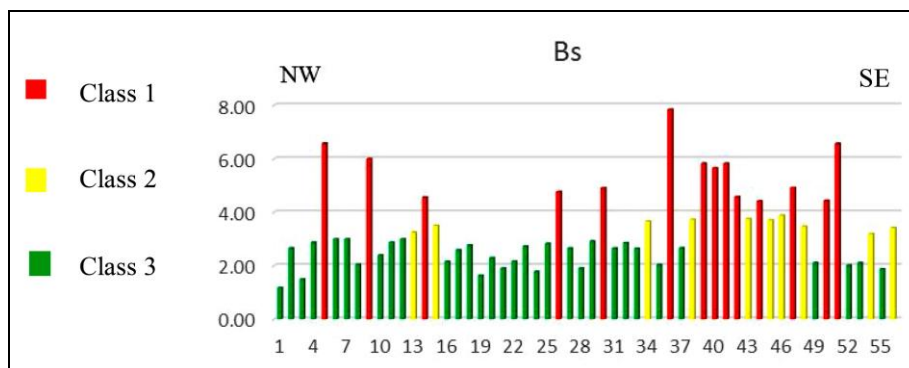
شکل ۶- حوضه‌های اطراف گسل آغاجاری.

Fig. 6. Basins around the Aghajari Fault.

جدول ۲- تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص B_s (El Hamdouni et al., 2008).

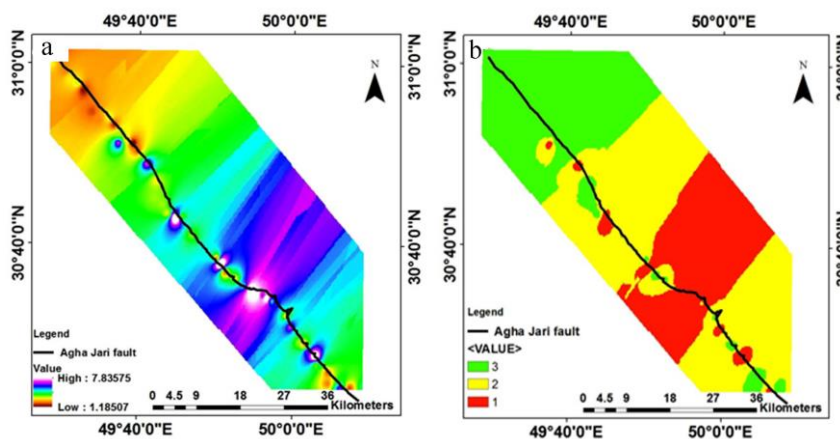
Table. 2. Active tectonic classification according to the B_s index (El Hamdouni et al., 2008).

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
$B_s < 3$	3-4	$B_s > 4$	B_s



شکل ۷- نمودار شاخص شکل حوضه B_s .

Fig. 7. The chart of basin shape (B_s) index.



شکل ۸- (a) نقشه پهنه‌بندی شاخص شکل حوضه (Bs) و (b) نقشه رده بندی شاخص شکل حوضه (Bs).
 Fig. 8. (a) Zoning map of basin shape (Bs) index. (b) Classification map of basin shape index.

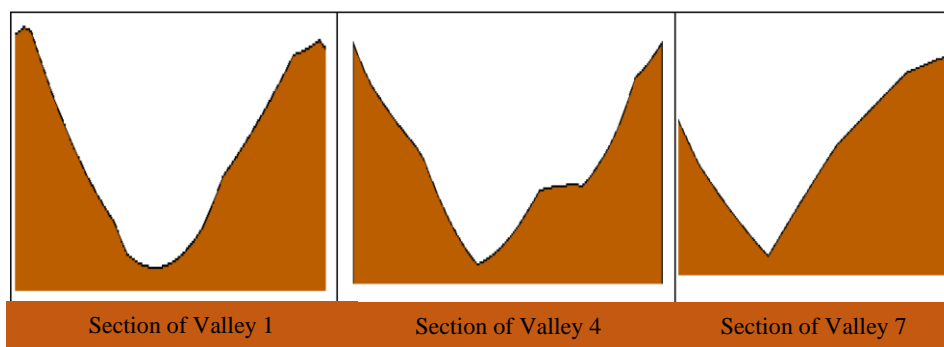
زمان را داشته است. Vf یکی از نسبت‌های بسیار مفید در شناسایی مناطق فعال می‌باشد و به ویژه به فعالیت‌های تکتونیکی اواخر کواترنر بسیار حساس است (Bull, 2008). با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه مورد مطالعه، شاخص Vf در مقاطعی که آبراهه‌های اصلی، دره‌ها را قطع نموده‌اند در نرم افزار Global Mapper محاسبه گردید. در محدوده مورد مطالعه شاخص Vf برای ۱۱ دره نزدیک به جبهه کوهستان در امتداد گسل آغاچاری، محاسبه شده است. شکل ۹ نیمرخ برخی از دره‌های مورد بررسی قرار گرفته را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از ۰/۲۱ در مناطق فعال با دره‌های V شکل تا ۴/۹ در مناطق غیرفعال با دره‌های U مانند متغیر است. جدول ۳ تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Vf (El Hamdouni et al., 2008) را نشان می‌دهد. شکل ۱۰ مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص Vf در امتداد گسل آغاچاری را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل با رسم نمودار شاخص Vf برای آبراهه‌هایی که گسل آغاچاری را قطع می‌کنند و باعث ایجاد دره می‌شوند می‌توان مناطق فعال یا غیرفعال گسل را تشخیص داد. شکل ۱۱ a و b به ترتیب نقشه پهنه‌بندی و نقشه رده بندی نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (Vf) با استفاده از روش تقسیم‌بندی (El Hamdouni et al., 2008) نشان می‌دهد.

شاخص نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (VF)

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

$$VF = 2 VFW / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad \text{(رابطه ۳)}$$

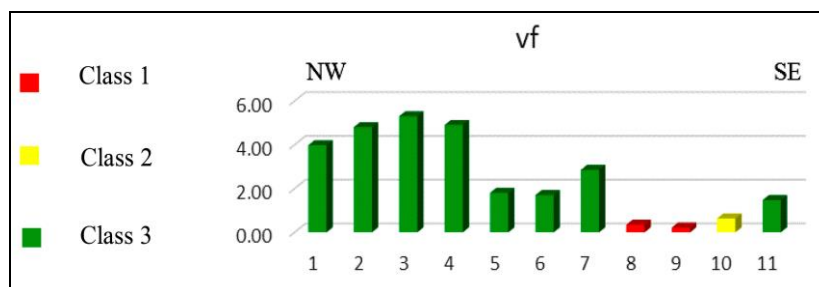
Vf نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، Vfw پهنای کف دره و Eld و ارتفاع دیواره‌های سمت راست و چپ دره نسبت به هم و ارتفاع کف دره است. هنگام محاسبه این شاخص در هر دره، باید پارامترهای آن در فاصله یکسانی از پیشانی کوهستانی اندازه‌گیری شوند. این شاخص بین دره‌هایی با کف مسطح دارای مقادیر نسبتاً زیاد Vf و دره‌های V شکل با مقادیر نسبتاً پایین Vf فرق می‌گذارد. مقادیر بزرگ Vf با نرخ‌های بالآمدگی پایین که در آن رودها کف دره پهن را می‌برند، در ارتباط است. مقادیر پایین Vf به دره‌های عمیقی اشاره دارد که در آن رودها به طور فعال دره‌ها را حفر می‌کنند و معمولاً در ارتباط با بالآمدگی هستند. هرچه اختلاف ارتفاع دیواره‌های دره (Eld و Erd) نسبت به کف دره (Esc) زیادتر باشد، دره عمیق‌تر است و مقدار این شاخص کاهش می‌یابد و این نشانگر بالا آمدگی در طول مدت کم می‌باشد. بنابراین مقادیر کوچک Vf، نشان‌دهنده دره‌های V بوده شکل که می‌توانند نتیجه عملکرد تکتونیکی فعال باشند و مقادیر بزرگ Vf، نشان‌دهنده دره‌های U شکل و مناطقی است که جریان فرصت پهن نمودن بستر خود را در طول



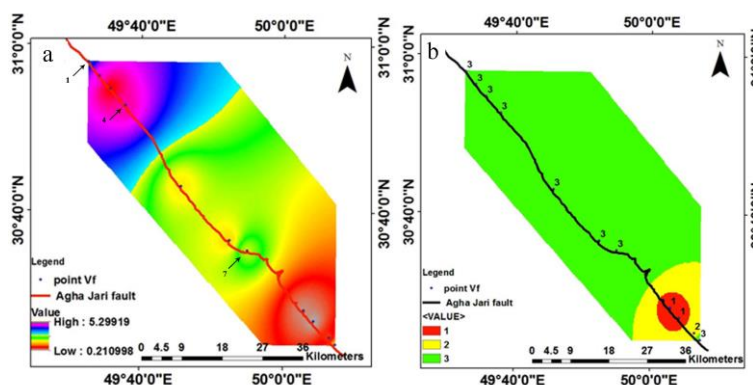
شکل ۹- مقاطع نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (Vf).
 Fig. 9. Cross sections of valley floor width to valley height (Vf).

جدول ۳- تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Vf (El Hamdouni et al., 2008).
Table 3. Active tectonic classification according to the Vf index (El Hamdouni et al., 2008).

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
Vf > 1	0.5 < Vf < 1	Vf < 0.5	Vf



شکل ۱۰- مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص Vf در امتداد گسل آغاجاری.
Fig. 10. The amounts of Vf index along the Aghajari Fault.



شکل ۱۱- (a) نقشه پهنه‌بندی نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (Vf) پیکان‌ها موقعیت نیم‌رخ‌های ترسیم شده در شکل ۹ را نشان می‌دهند. (b) نقشه رده‌بندی نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (Vf).

Fig. 11. (a) Zoning map of valley floor width to valley height (Vf) index. Arrows show the profile location in the Figure 9. (b) Classification map of valley floor width to valley height (Vf) index.

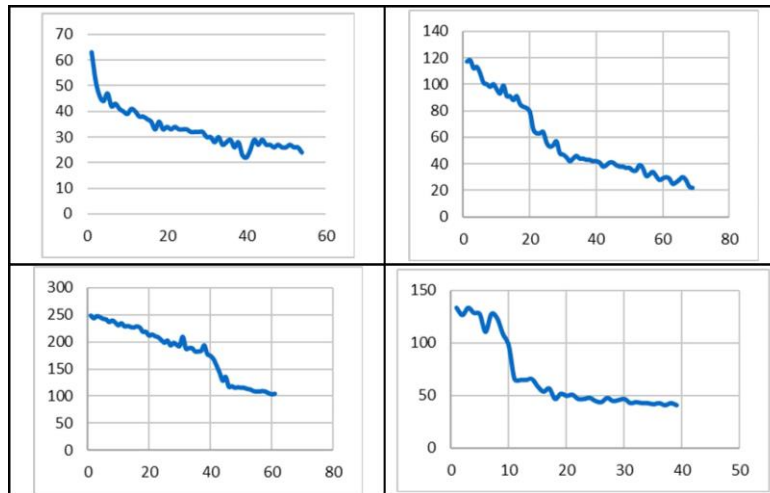
به منظور تهیه لایه شاخص گرادیان- طول رود، آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) در نرم‌افزار Global Mapper استخراج گردید. سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و آبراهه‌های استخراج شده و مطابق رابطه‌ی ۴ این شاخص در ۱۱ نقطه از منطقه مورد مطالعه که رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی روند غالب کوهستان را قطع نموده‌اند محاسبه شد. شکل ۱۲ مقاطع طولی برخی از آبراهه‌ها را نشان می‌دهد. جدول ۴ تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Vf و بر اساس نتایج مطالعات (Dehbozorgi et al 2010) را نشان می‌دهد. با استفاده از توابع درون‌یابی در محیط GIS مقدار این شاخص برای تمام منطقه تعیین و لایه شاخص SL تهیه (شکل ۱۳) و با استفاده از این شاخص و بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008)، منطقه به ۳ ناحیه از نظر فعالیت تکتونیکی رده‌بندی شد (شکل ۱۴). مقدار شاخص SL از ۱۴/۶ تا ۱۴/۶ در مناطق بسیارفعال منطقه تا مقدار ۳۸۵/۱۴ در مناطق با فعالیت تکتونیکی کم متغیر می‌باشد.

شاخص شیب طولی رودخانه (SL)

شاخص SL با قدرت رود متناسب است. شاخص SL به تغییرات شیب کانال بسیار حساس است و این حساسیت سبب ارزیابی روابط فعالیت‌های تکتونیکی ممکن، مقاومت سنگ و توپوگرافی می‌شود. شاخص گرادیان- طول رود، برای یک محدوده مورد نظر به صورت رابطه ۴ تعریف شده است (Keller and Pinter, 1996):

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

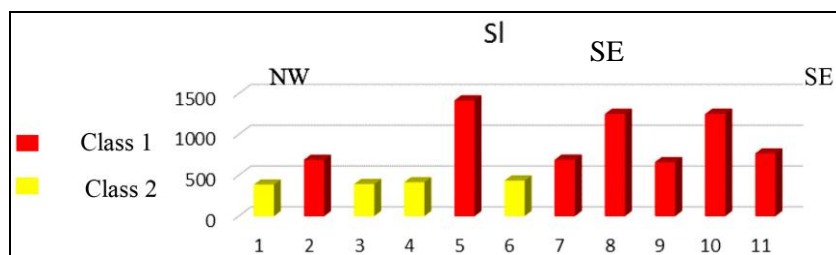
SL شاخص طول-گرادیان رود، $\Delta H / \Delta L$ شیب کانال یا گرادیان محدوده مورد نظر (ΔH) نشانگر تغییر ارتفاع کانال و ΔL معرف طول آن است. L، نیز، طول کانال از نقطه مورد نظری است که به عنوان شاخص تا مرتفع‌ترین نقطه، کانال محاسبه می‌شود. در بیشتر موارد، این پارامترها از روی نقشه‌های توپوگرافی محاسبه می‌شوند.



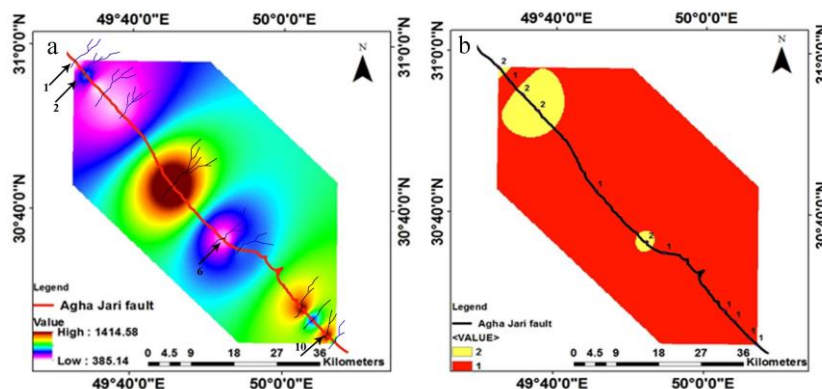
شکل ۱۲- مقاطع طولی آبراهه های شماره ۱، ۲، ۶ و ۱۰.
 Fig. 12. Longitudinal cross sections of drainages 1, 2, 6 and 10.

جدول ۴- تقسیم بندی فعالیت های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص SL (Dehbozorgi et al., 2010).
 Table 4. Active tectonic classification according to the SL index (Dehbozorgi et al., 2010).

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
SI < 300	300 < SI < 500	SI > 500	SI



شکل ۱۳- نمودار شاخص گرادیان- طول رودخانه.
 Fig. 13. Chart of Stream Length-gradient index.



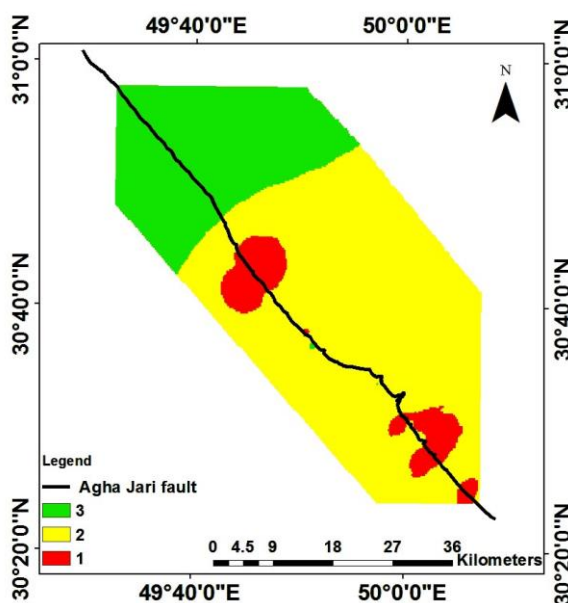
شکل ۱۴- (a) نقشه پهنه بندی شاخص گرادیان- طول رودخانه. پیکان ها موقعیت نیمرخ های طولی رسم شده در شکل ۱۲ را نشان می دهند. (b) نقشه رده بندی شاخص گرادیان- طول رودخانه.

Fig. 14. (a) Zoning map of stream length-gradient (SL) index. Arrows show the longitudinal profile location in the Figure 12. (b) Classification map of Stream Length-gradient (SL) index.

رده بندی فعالیت زمین ساختی

در منطقه را انجام داد و با دقت و سرعت بالا یک رده از فعالیت زمین ساختی نسبی را به هر ناحیه نسبت داد. از روش همپوشانی وزن دار، با وزن های یکسان برای روی هم اندازی لایه های شاخص ژئومورفیک برای تعیین فعالیت تکتونیکی استفاده گردید و نقشه ی پهنه بندی تکتونیک فعال برای منطقه تهیه شد (شکل ۱۵). این نقشه نشان می دهد گسل آجاجاری در بخش های مرکزی و جنوب شرقی به جز چند محدوده کوچک دارای فعالیت با رده تکتونیکی متوسط بوده و در بخش های شمال غربی دارای فعالیت با رده تکتونیکی پایین می باشد.

هریک از شاخص های مورد بحث امکان یک رده بندی نسبی از فعالیت های زمین ساختی را در بررسی های مقدماتی فراهم می آورد و می توان منطقه را به نواحی فعال، نیمه فعال و غیر فعال تقسیم بندی نمود. وقتی بیش از یک شاخص برای یک ناحیه خاص مورد اندازه گیری و ارزیابی قرار گیرد نتایج مناسب تری از تحلیل های حاصل یک شاخص منفرد حاصل می شود (Keller and Pinter, 1996). با استفاده از قابلیت های GIS و توابع تحلیلی آن، می توان هم پوشانی لایه های اطلاعاتی Vf Smf, Bs و



شکل ۱۵- نقشه ی پهنه بندی تکتونیک فعال منطقه.

Fig. 15. Active tectonic map of the study area.

نتیجه گیری

جبهه های کوهستانی منظم و مناطق فعال تکتونیکی می باشد. با توجه به نقشه شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شاخص طول-گرادیان رود و شاخص شکل حوضه تهیه شد. لازم به ذکر است بخش های مختلف گسل بر اساس شاخص های مختلف مورفومتریکی از لحاظ ویژگی های تکتونیک جنبا رفتارهای متفاوتی را نشان می دهند. این بدان معناست که اگر بخش هایی از گسل بر اساس شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان در رده فعالیت تکتونیکی بالا قرار دارد لزوماً بر اساس

برای گسل آجاجاری نقشه پهنه بندی و رده بندی چهار شاخص شامل: شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شاخص طول-گرادیان رود و شاخص شکل حوضه تهیه شد. لازم به ذکر است بخش های مختلف گسل بر اساس شاخص های مختلف مورفومتریکی از لحاظ ویژگی های تکتونیک جنبا رفتارهای متفاوتی را نشان می دهند. این بدان معناست که اگر بخش هایی از گسل بر اساس شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان در رده فعالیت تکتونیکی بالا قرار دارد لزوماً بر اساس یک شاخص دیگر نشان دهنده همین رده از فعالیت تکتونیکی نخواهد بود. از این رو برای فهم کلی از رفتار تکتونیکی گسل، با استفاده از روش همپوشانی وزن دار و با در نظر گرفتن وزن یکسان برای لایه های اطلاعاتی حاصل از هر شاخص، نهایتاً نقشه رده بندی فعالیت تکتونیکی جنبا در طول گسل تهیه گردید. براساس مطالعات صورت گرفته در این پژوهش مهم ترین نتایج حاصل عبارتند از:

۲. با استفاده از حوضه های استخراج شده از مدل ارتفاع رقومی، نقشه شاخص شکل حوضه برای منطقه تهیه شد. بر اساس این شاخص قسمت شمال غرب گسل آجاجاری با فعالیت تکتونیکی پایین در رده ۳، قسمت مرکزی و جنوب شرق گسل با فعالیت تکتونیکی متوسط در رده ۲ و بخشی از قسمت مرکزی و شمال غرب آن دارای فعالیت تکتونیکی بالا و رده ۱ می باشد.

۱. نقشه ایجاد شده از شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان منطقه (شاخص Smf)، منطقه را به ۲ ناحیه تکتونیکی تقسیم کرده است. در نقشه شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf) مقادیر نزدیک به عدد یک، گویای

۳. 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 رده ۳ قرار داشته و مؤید فعالیت تکتونیکی پایین در طول گسل می باشد.

۴. با استفاده از مدل ارتفاع رقومی و آبراهه های استخراج شده از DEM نقشه شاخص طول-گرادیان رود (SI) برای منطقه تهیه شد. براساس این

قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی صورت گرفته توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.EG98.341) در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

نقشه منطقه به دو ناحیه تکتونیکی تقسیم گردید که به جز بخش‌های کوچکی از مرکز و شمال غرب منطقه که دارای فعالیت تکتونیکی متوسط بوده سایر نواحی گسل نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی اندک می‌باشد. ۵. نقشه‌ی پهنه‌بندی تکتونیک فعال منطقه نشان می‌دهد که گسل آغاچاری در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی به جز چند محدوده کوچک دارای فعالیت با رده تکتونیکی متوسط بوده و در بخش‌های شمال غربی دارای فعالیت با رده تکتونیکی پایین می‌باشد.

منابع

- Asadi, Z., 1396. Structural and morphotectonic analyses of Ramhormoz fault. MSc Thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz.
- Bull, W.B., 2008. Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology. John Wiley & Sons, pp. 650.
- 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 22, 115–138.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2008. Tectonic Geomorphology, Department Of Geosciences. The Pennsylvania State University, pp. 320.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2011. Tectonic Geomorphology. John Wiley & Sons, pp. 586.
- Cannon, P.J., 1976. Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes* 36, 16-13.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology* 121, 329-341.
- El Hamdouni, R.C., Irigaray, T., Fernández, J., Chacón, J., Keller, E., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, 150-173.
- Fossen, H., 2016. Structural geology second edition. Cambridge University Press, pp. 520.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008. The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology* 95, 260-273.
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996. Active tectonics, Prentice Hall Upper Seddle River, NJ, USA.
- McCalpin, J.P., 2009. Paleoseismology. Academic press, pp. 534.