

## بررسی و تحلیل شواهد ژئومورفولوژیکی و تکتونیکی فعال با استفاده از شاخص های ژئومورفولوژیکی در دامنه های شمالی دشت جیرفت

کرامت نژادافزلی\*؛ استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

فاطمه بیاتانی؛ دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵

### چکیده

مطالعه و اندازه گیری مناظر و اشکال ایجاد شده توسط تکتونیک فعال از موارد مهم علم ژئومورفولوژی به حساب می آید. گسل جبال بارز در شمال دشت جیرفت در جنوب استان کرمان قرار داشته و از دیدگاه تکتونیکی فعال است. به دلیل عملکرد گسل جبال بارز در منطقه، مورفولوژی مشخصی در دامنه های شمالی دشت جیرفت ایجاد شده است که می تواند در شناسایی بخش های مختلف این گسل مورد استفاده قرار گیرد. شاخص های ژئومورفولوژیکی ابزار مفیدی در ارزیابی فعالیت های نوزمین ساختی مناطق به شمار می روند. امتیاز مهم این شاخص ها سرعت بالا در تحلیل و تعیین سطح فعالیت نوزمین ساختی است. هدف اصلی این پژوهش بررسی میزان فعالیت تکتونیک فعال گسل جبال بارز با استفاده از شاخص های مورفوتکتونیکی (VF، Smf Facet%، S، SL) است. نتایج به دست آمده از شاخص های مورفوتکتونیکی گویای تداوم حرکت های نئو تکتونیکی و بالآمدگی در منطقه مورد مطالعه می باشد که با شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه مورد پژوهش همچون وجود پرتگاه های گسلی خطی و مستقیم، اشکال مثلثی شکل، دره های ژرف و V شکل، مطابقت می کنند.

کلیدواژه ها: تکتونیک فعال، شاخص مورفوتکتونیکی، جبال بارز، جیرفت.

### مقدمه

تکتونیک فعال به فرایندهای تکتونیکی اطلاق می شود که در یک مقیاس زمانی در پوسته زمین تغییر شکل هایی ایجاد کنند که این تغییر شکل ها برای جوامع انسانی مهم هستند.

مطالعه تکتونیک فعال در ارزیابی خطر بسیار مهم است. مخصوصاً در نواحی که میزان فعالیت های تکتونیکی در هولوسن و پلیستوسن بالایی نسبتاً زیاد بوده، دارای اهمیت فراوانی می باشد. شواهد مورفوتکتونیکی در ارزیابی تکتونیک فعال و فعالیت گسل ها ابزاری مفید و مطمئن به شمار می رود، زیرا از طریق مطالعه این شواهد می توان مناطقی را شناسایی کرد که در گذشته فعالیت های سریع یا حتی کند تکتونیکی را پشت سر گذاشته اند. اندازه گیری کمی زمین منظرها بر اساس محاسبه شاخص های ژئومورفیک با استفاده از نقشه های توپوگرافی، عکس های هوایی و کارهای صحرائی صورت می گیرد. بنابراین امتیاز مهم به کارگیری این شاخص ها در ارزیابی سریع میزان فعالیت تکتونیکی در مناطق وسیع می باشد کرمی (۱۳۹۱). البته باید توجه داشت که در بسیاری مواقع، تفکیک اثرات ناشی از حرکات تکتونیکی فعال از اثرات فرسایش بر روی ریخت شناسی بسیار دشوار می باشد و نباید تنها با استفاده از یک شاخص در مورد فعال بودن منطقه قضاوت نمود. بنابراین به منظور ارزیابی درجه نسبی فعالیت تکتونیکی یک ناحیه معمولاً نتایج حاصل از چند شاخص با یکدیگر ترکیب می شوند. تقریباً هیچ ناحیه ای را در جهان نمی توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تاثیر تغییرات تکتونیکی قرار نگرفته باشد. شاخص های ژئومورفیک به طور گسترده ای به عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش های تغییر شکل یافته به وسیله گسل های فعال مورد استفاده قرار گرفته اند. شاخص های خاصی مبتنی بر تحلیل شبکه زهکشی یا جبهه های کوهستان می باشند (EI Hamduni et al., 2008). این شاخص ها نشان دهنده رویکردی کمی برای تحلیل ژئومورفیک افتراقی مربوط به فرآیندهای فرسایشی و رسوبی شامل کانال رودخانه، نیمرخ طولی، مورفولوژی دره و همچنین عوارض ناشی از فعالیت های تکتونیکی از قبیل پرتگاه های گسل می باشند. شاخص های تکتونیک فعال می تواند ناهنجاری های موجود در سیستم رودخانه ای یا در طول جبهه های کوهستان را آشکار سازند. این ناهنجاری ها ممکن است در نتیجه تغییرات محلی به واسطه فعالیت های تکتونیکی ناشی از بالآمدگی یا فرونشست حاصل شود یا طول جبهه های کوهستان را آشکار سازند (Bull and McFadden, 2007). از جمله اولین کسانی بودند که از شاخص  $S_{mf}$  و  $V_f$  برای ارزیابی نسبی تکتونیک فعال در شمال و جنوب گسل Garlock در کالیفرنیا استفاده کردند. فلورینسکی (۱۹۹۶) در بررسی نوع ارتباط بین گسل و لندفرم های حاصل، از نقشه های خمیدگی ۵ برای تشخیص و توصیف خطوط گسل استفاده کرد. کروویچ و همکارانش (۱۹۹۹) با بررسی امتداد ژئومورفولوژیکی خط الرأس و شکل هندسی پروفیل های طولی عوارض گوناگون که از مدل رقومی ارتفاعی استخراج نمودند به تفسیر لندفرمها و ساختار تکتونیکی پرداختند.

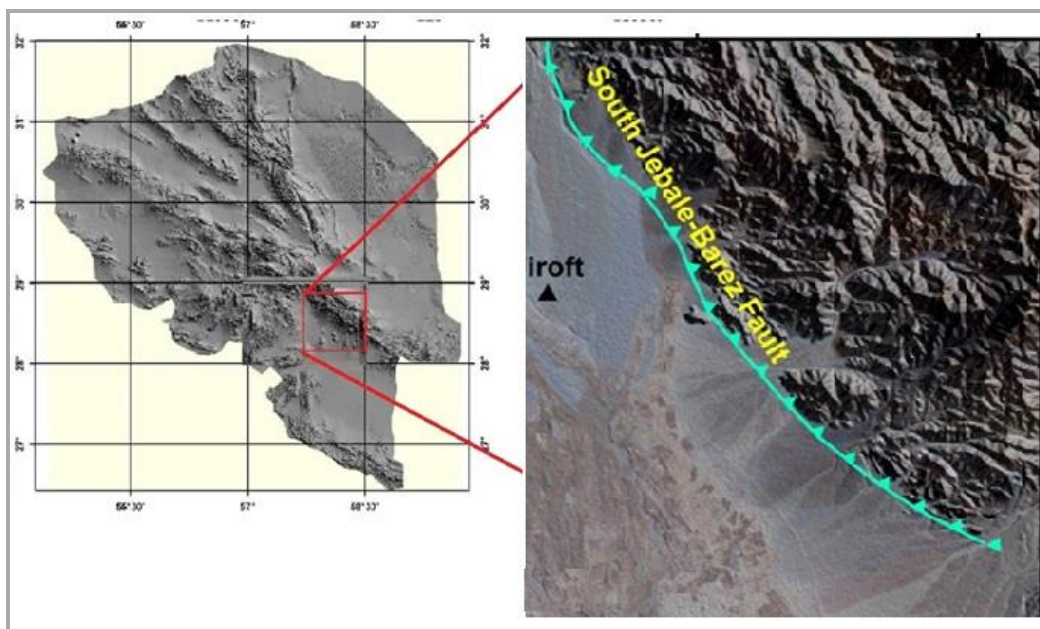
(Walker and Jackson, 2004) بهره گیری از تصاویر و تکنیک سنجش از دور، ایران مرکزی را از دیدگاه مورفوتکتونیکی و لرزه ای مورد مطالعه قرار داده است. ثروتی (۱۳۷۱) در بررسی و مطالعه مسائل مورفوتکتونیکی منطقه کاشمر، به نقش گسل های امتدادلغز در جابجایی از مسیرهای زهکشی اشاره می کند. اصغری مقدم (۱۳۹۲) به فعالیت گسلها و نقش آنها بر تکامل مخروط افکنه های رودخانه سردر طیس اشاره می کند و اظهار می دارد که مخروط افکنه ی مذکور در دوره ی کواترنر تشکیل شده است. گورابی (۱۳۸۶) به بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه پرداخت و نتایج وی گویای فعال بودن این حوضه می باشد. همچنین بیانی خطیبی (۱۳۸۸) با همین نگاه حوضه آبریز قرنقوچای را بررسی کرد در نهایت ارقام حاصل از به کارگیری شاخص های مختلف، تأییدی بر فعالیت بخش های مختلف حوضه فوق بوده است. اندیسهای

مورفومتری محاسبه شده از سوی شفیعی (۱۳۸۸) در بررسی تکتونیک فعال در رشته کوه بینالود مهر تأییدی بر کاربردی بودن شاخص های مورفوتکتونیک می باشد.

مختاری (۱۳۸۴) در دامنه شمالی میشوداغ، یمانی و همکاران (۱۳۸۹) در حوضه چله زاگرس غربی با استفاده از تحلیل های مورفومتری به ارزیابی تکتونیک فعال در مناطق مختلف کشور پرداختند. پورکرمانی و صدیق (۱۳۸۲) وضعیت سائزمو تکتونیک، شواهد تکتونیک فعال و پدیده های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز را بررسی کردند. برا ساس مطالعات و تحقیقات انجام گرفته مشخص می شود در سال های اخیر شاخص های مورفوتکتونیک به عنوان یک ابزار توانمند و مفید در بررسی پدیده های تکتونیک مورد استفاده قرار گرفته است. از مشهورترین شاخص هایی که اطلاعات مهمی را برای تفسیر تاریخچه مورفوتکتونیک منطقه در اختیار ما قرار می دهند می توان به شاخص پیچ و خم جبهه ی کوهستان در حد فاصل مناطق هموار و نواحی کوهستانی، نسبت کف دره به عمق دره، نسبت عرض دره به ارتفاع دره، مخروط افکنه ها، سطوح مثلثی شکل واقع بر روی اسکارپ های گسلی، جابجایی آبراهه ها و نهشته های کواترنر توسط گسلها و چین خوردگی نهشته های جوان اشاره کرد. گسل جبال بارز یکی از عارضه های تکتونیک عمده در جنوب کرمان است. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی تکتونیک فعال در جنوب رشته کوه جبال بارز است. این ارزیابی از نتایج تحلیل های مورفومتری به دست می آید.

### موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده طول عرض جغرافیایی  $40^{\circ}51'$  غربی تا  $20^{\circ}26'$  شرقی و  $28^{\circ}52'50''$  تا  $28^{\circ}51'54''$  شمالی در جنوب استان کرمان در شمال دشت جیرفت واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه جغرافیایی مورد مطالعه

این محدوده تحت تاثیر رخدادهای زمین ساختی گوناگون، دگرگونی، چین خوردگی و ناپیوستگی های مختلف در سنگ ها و سکانس های رسوبی ایجاد شده است. فرایندهای تکتونیکی به صورت نیروهای کششی و فشاری، چین خوردگی ها، شکستگی ها و گسیختگی های فراوانی در این سنگ ها به وجود آورده است. قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در کمربند ارومیه - دختر، و مجاورت زون سنندج - سیرجان، زون زاگرس و منطقه جازموریان باعث شده که گسل های متعددی در ارتفاع های مختلف در این منطقه و یا در نزدیکی آن وجود داشته باشد. گسل جبال بارز حدود ۱۵۰ کیلومتر طول دارد و از چندین قطعه گسلی به موازات یکدیگر تشکیل شده است. بر اساس مطالعات ژئومورفولوژیکی که صورت گرفت این قطعات عمدتاً دارای مکانیزم راستگرد با مولفه معکوس می باشند. گسل جبال بارز در قسمت غربی خود به محل تلاقی گسل های دلفارد، اسفندقه و سبزواران ختم می شود. این قسمت از منطقه به دلیل وجود شکستگی های مهم، پی سنگ پتانسیل لرزه خیزی بالایی دارد. رشیدی و همکاران (۱۳۹۶).

## روش تحقیق

در این پژوهش به منظور ارزیابی وضعیت تکتونیک فعال در محدوده گسل جبال بارز، نخست نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد و پس از زمین مرجع نمودن، رقومی شدند. سپس محدوده با استفاده از نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای و نیز طی چندین بار بازدید میدانی مشخص گردید. همچنین، اطلاعات مربوط به سنگ شناسی، گسل ها و دیگر

پارامترهای زمین شناسی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ منطقه به دست آمدند. در ادامه، برای دستیابی به هدف پژوهش، شماری از شاخص های زمین ریختی که توانایی بالایی در ارزیابی فعالیت های تکتونیکی دارند برگزیده شدند. شاخص های مورفولوژیکی که مورد استفاده قرار گرفته اند شامل جبهه کوهستان و کوهستان (Vf, S<sub>mf</sub>, %facet, Er) و شاخص های کانال رودخانه (SL, S) در سه بخش شمالی و میانی و جنوبی این گسل انتخاب و تجزیه و تحلیل شده اند. همچنین با تفسیر برخی شواهد ریخت شناسی میزان جابجای یهای افقی و قائم برای گسل تعیین شده است.

## بحث و نتایج

### شاخص های تکتونیک ژئومورفولوژی

جدیدترین و جامع ترین این پژوهش ها در سیرانودا در جنوب اسپانیا توسط (Hamdouni et al. 2007) صورت گرفته است، که شش شاخص و حد آن ها به دقت تعریف شده و سپس در روشی ابداعی، این شاخص ها با همدیگر ترکیب گردیده و شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص نسبی زمین ساخت فعال (lat) معرفی شده است، که نقص بسیاری از پژوهش های قبلی را که متکی به تعداد معدودی شاخص بوده اند را جبران می کند. از آن جایی که شاخص های زمین ساختی علاوه بر زمین ساخت، تحت تاثیر جنس زمین و لیتولوژی منطقه نیز هستند (Hamdouni et al., 2007)، لذا باید در محاسبات کمی این مقادیر، لیتولوژی نیز لحاظ شود. در این پژوهش رده بندی کمی مقادیر شاخص های مورفولوژیکی (S, Vf, smf) به دست آمده برای گسل جبال بارز بر اساس مقادیر استاندارد شاخص های بدست آمده در جنوب سیرانودا توسط (Hamdouni et al., 2007) جدول ۱-۱ و شاخص های (SL, Er, %facet) بر اساس مقادیر بدست آمده برای گسل کوهبنان توسط رادفر و پور کرمانی در مقاله شماره ۵۷ علوم زمین مقایسه و رده بندی شده اند.

### شاخص مورفولوژیکی کانال رودخانه

#### - نسبت پهنای کف دره به عمق دره

این نسبت از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$V_F = 2 V_{FW} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$$

که در آن  $V_{FW}$  معرف پهنای کف دره،  $E_{sc}$  ارتفاع کف دره،  $E_{ld}$  و  $E_{rd}$  به ترتیب ارتفاع دیواره سمت چپ و راست دره هستند.

مقادیر کوچک  $V_F$ ، در دره های  $V$  شکل که می توانند نتیجه عملکرد تکتونیک فعال باشند، محاسبه شده اند و مقادیر بزرگ  $V_F$ ، نیز در دره های  $U$  شکل که در اثر فرسایش جانبی ناشی از ثبات پیشانی تشکیل می شوند، اندازه گیری گردیده اند. مقادیر کوچک به دست آمده برای نسبت  $V_F$ ، حضور دره های  $V$  شکل را در این منطقه نشان می دهد که این دره های  $V$  شکل، خود معرف عملکرد تکتونیک فعال در منطقه می باشند. میانگین نسبت  $V_F$  در این ایستگاه، تقریباً  $۰/۶۸$  است. قبل از محاسبه مقدار  $V_F$  در این نیمرخ های توپوگرافی (شکل ۳) به یک نکته قابل توجه می رسیم و آن این است که در نیمرخ های  $JJ'$  و  $HH'$  و  $LL'$  شکل کلی نیمرخ تهیه شده از مقاطع عرضی دره ها که همان منطقه جنوبی گسل جبال بارز می باشد بیشتر شبیه شکل  $V$  است تا نسبت به نیمرخ های  $AA'$  تا  $FF'$  که مربوط به قسمت های میانی و شمالی گسل می باشد. که حکایت از فعالیت بالای زمین ساختی در این منطقه از تراست نسبت به قسمت های دیگر دارد. در جدول (۱) مقادیر  $V_F$  برای این گراف ها به دست آمده است. با توجه به این که عمل فرسایش آبهای جاری نقش به سزایی در حفر عمیق دره ها داشته که این امر خود ناشی از عملکرد تکتونیسیم فعال در امتداد این گسله می باشد، کمترین میزان فعالیت در این منطقه مربوط به بخش های شمالی گسل می باشد. البته بر اساس تقسیم بندی (Hamdouni et al, 2007)، که مقادیر کمتر از  $۰/۵$  را جزء مناطق فعال دانسته کل منطقه مورد مطالعه در اثر راندگی گسل فعال می باشد ولی نرخ فعالیت از جنوب به سمت شمال کاسته می شود.

جدول ۱: محاسبه مقادیر  $V_F$  و پارامترهای آن

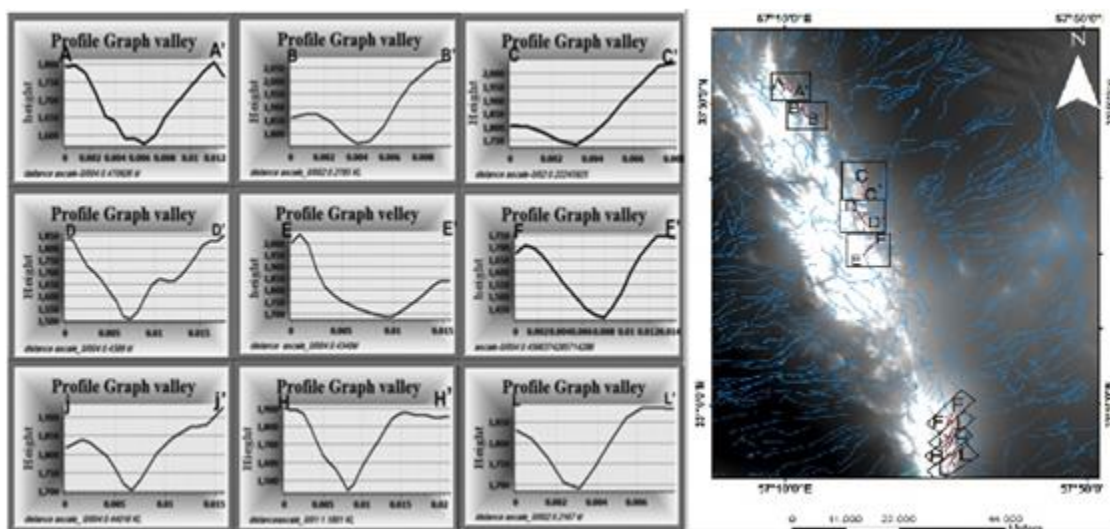
نیمرخ توپوگرافی	Eld	Erd	Esc	Vfw	$V_F$
AA'	۱۸۰۰	۱۸۲۰	۱۵۵۰	۱۲۸	۰,۴۹۲
BB'	۱۸۷۰	۲۰۶۵	۱۷۵۰	۱۱۹	۰,۵۴۷
CC'	۱۸۱۰	۲۰۵۰	۱۷۰۰	۱۰۰	۰,۴۳۴۷
DD'	۱۸۴۰	۱۸۵۰	۱۵۰۰	۸۳	۰,۲۵۰
EE'	۲۰۵۰	۱۸۳۰	۱۷۲۰	۱۴۰	۰,۶۳۶۳
FF'	۱۷۰۰	۱۷۵۰	۱۴۰۰	۷۰	۰,۲۱۵۳
JJ'	۱۸۳۰	۱۸۷۰	۱۷۰۰	۶۵	۰,۴۳۳
HH'	۱۹۰۰	۱۸۸۰	۱۴۵۰	۶۰	۰,۱۳۶
LL'	۱۸۳۰	۱۹۰۰	۱۶۷۰	۵۵	۰,۲۸۲

- سینوسیته پیشانی کوهستان (smf):

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان براساس رابطه زیر بدست می آید: (Bull and Mcfaden, 1977).

$$Smf=Lmf/Ls$$

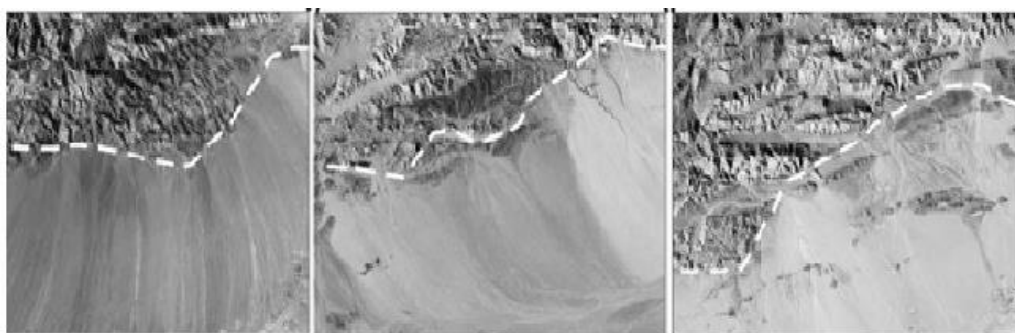
که در این رابطه  $Lmf$  طول پیشانی کوه در دامنه آن، یعنی جایی که دامنه کوه به دشت برخورد می کند و  $Ls$  معادل طول خط مستقیم در بخش پیشانی کوه است. این شاخص انعکاس دهنده توازن نیروی های فرسایشی است که تمایل به ایجاد ساخت سینوسی دارند در حالی که نیروهای زمین ساختی تمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم همراه با یک گسل احاطه کننده آن هستند براساس بررسی های (Bull and Mcfaden, 1977) پیشانی کوه های محدود به گسل های فعال دارای  $Smf$  بین ۱ تا ۱/۶، پیشانی کوه های با جنبایی کمتر دارای  $smf$  ۱/۴ تا ۳ هستند و پیشانی های نفعال اعداد ۱/۸ تا ۵ را برای این شاخص نشان می دهند.



شکل ۲: نقشه DEM منطقه و محل های توپوگرافی های انتخاب شده برای محاسبه  $VF$  دره و نیمرخ های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

در گستره مطالعاتی و در طول گسل جبال بارز، محاسبه این شاخص با استفاده از تصاویر ماهواره ای ناحیه از صورت گرفته (شکل ۳) که نتایج آن به شرح جداول (۲-۵) می باشد. که به ترتیب شماره های ۱ تا ۳ مربوط به قسمت جنوبی گسل و ۴ تا ۶ مربوط به قسمت های میانی و ۷ تا ۹ مربوط به قسمت های شمالی می باشد. در

قسمت‌ها جنوبی، تقریباً Lmf نسبت به قسمت‌های میانی و شمالی مستقیم‌تر است. یعنی مقدار SMf پایین‌تر بوده و به یک نزدیک‌تر است، که نشان از فعالیت زمین‌ساختی در این قسمت می‌باشد.



شکل ۳: موقعیت مناطقی که اندازه‌گیری SMf در طول گسل جبال بارز محاسبه شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقایسه smf اندازه‌گیری شده در قسمت جنوبی گسل جبال بارز

شماره	نام پیشانی	Ls	Lmf	smf
۱	جبال بارز ۱	۵۰۱۱,۹	۵۹۴۳,۸۳	۱,۱۸۵
۲	جبال بارز ۲	۵۱۸۸,۹۵	۵۲۸۱,۳۶	۱,۰۱۷
۳	جبال بارز ۳	۴۳۰۸,۸۳	۴۳۲۲,۷۳	۱,۰۰۳

جدول ۳: مقایسه smf اندازه‌گیری شده در قسمت میانی گسل جبال بارز

شماره	نام پیشانی	Ls	Lmf	smf
۴	جبال بارز ۴	۵۲۳۵,۰۶	۵۹۳۷,۸	۱,۱۳۴۲
۵	جبال بارز ۵	۵۱۹۴,۳۳	۶۲۵۵,۳۳	۱,۲۰۴



۶	جبال بارز ۶	۵۰۷۲,۷۶	۵۶۷۵,۱۴	۱,۱۱۸
---	-------------	---------	---------	-------

جدول ۴- مقایر smf اندازه گیری شده در قسمت شمالی گسل جبال بارز

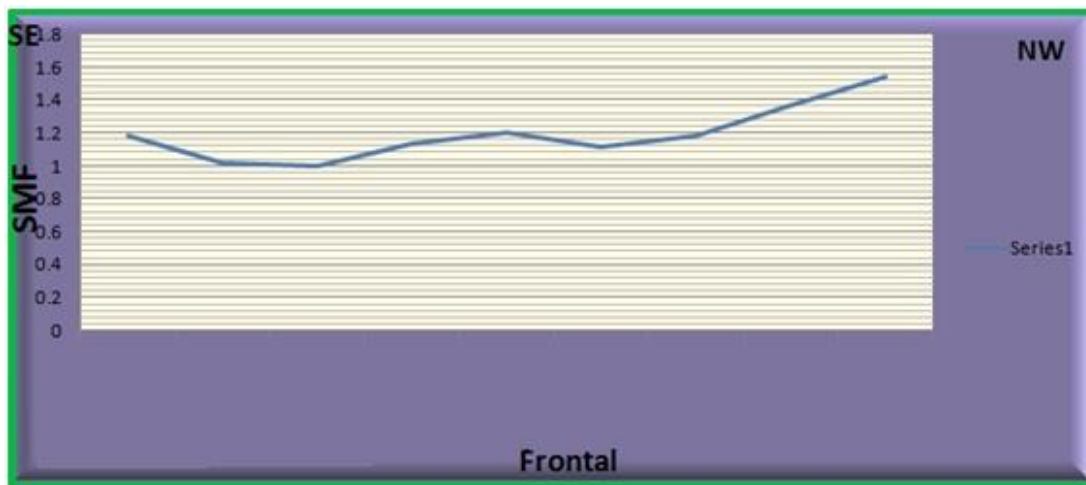
شماره	پیشانی	Ls	Lmf	smf
۷	جبال بارز ۶	۵۲۹۳,۵۹	۶۲۶۹,۲۳	۱,۱۸۴
۸	جبال بارز ۶	۳۵۱۶,۰۸	۴۷۹۷,۷۶	۱,۳۶۴
۹	جبال بارز ۶	۳۳۳۹,۲۹	۵۱۳۶,۲۴	۱,۵۳۸

جدول ۵: مقایر میانگین smf در سه بخش جنوبی، میانی، بالایی

بخش	مقادیر میانگین Smf
شمالی	۱,۳۶۲
میانی	۱,۱۵۲
جنوبی	۱,۰۶۸

نتایج حاصله از محاسبات smf در جداول بالا و با توجه به رده بندی (Bull and Mcfaden, 1977)، که smf بین ۱/۶ تا ۱ را جزء مناطق با فعالیت زمین ساختی بالا دانسته، همگی نمایانگر فعالیت زمین ساختی بالا در کل منطقه مطالعاتی است. هم چنین با در نظر گرفتن روند مطالعه از جنوب به شمال در امتداد گسل متوجه شدیم

که مقادیر smf در بخش جنوبی (جدول ۲) کمتر از قسمت های میانی (جدول ۳) و شمالی (جدول ۴) است، یعنی فعالیت زمین ساختی از قسمت جنوبی به سمت شمال کاهش می یابد. در این منطقه نیروی تکتونیکی با غلبه بر نیروی فرسایش، اجازه فرسایش را به پیشانی کوه و ایجاد یک پیشانی پریچ و خم را نداده و موجبات تشکیل پیشانی منظم را فراهم آورده است.



شکل ۴: پروفیل طولی تهیه شده از پیشانی کوه ها در طول گسل جبال بارز با روند SE-NW

با توجه به اینکه سینوسیته پیشانی کوه در بخش میانی گسل بیشتر از بخش های شمالی و جنوبی است، پس میزان فعالیت تکتونیکی در این ناحیه کمتر از دو بخش دیگر می باشد. در ادامه می بینیم که پیچ و خم پیشانی کوهستان در بخش جنوبی نیز از بخش شمالی بیشتر است، پس می توان برای نواحی شمالی گسل در مقایسه با جنوب آن، فعالیت تکتونیکی بیشتری در نظر گرفت.

#### - شاخص سینوسیتهی کانال رودخانه

سینوسیتهی یک آبراهه به تغییرات شیب بسیار حساس است (Anderson et al, 1942)، و این تغییر شیب نشانگر تغییر و افزایش یا کاهش در نرخ فعالیت زمین ساختی می باشد. با افزایش شیب، مورفولوژی کانال رود به صورت مستقیم و با کاهش شیب، رودخانه به حالت مائندری نزدیک می شود. سینوسیتهی کانال رودخانه عبارت است از طول کانال رود به طول خط مستقیم در کف دره و از رابطه  $S=V/C$  به دست می آید. که در این رابطه  $S$  سینوسیتهی رودخانه،  $V$  طول کانال رود و  $C$  طول خط مستقیم رودخانه می باشد.

$$S = C / V$$

جهت بررسی این شاخص مورفومتریکی در پهنه مطالعاتی گسل جبال بارز، تعدادی از مهمترین رودهای منطقه که شاخص SL نیز در بالا برای آن ها محاسبه شد انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر سینوسیتهی برای قسمت های مختلف گسل با استفاده از تصاویر ماهواره ای به دست آمده است که طبق جداول ۶ تا ۹ می باشد.

جدول ۶: مقادیر سینوسیتی برای قسمت شمالی گسل

رودخانه	V	c	S
۱	۳۸۵۱,۴۶	۲۸۴۸,۲۱	۱,۳۵۲۳۳۹
۲	۵۷۰۲,۲۷	۳۸۹۱,۶۳	۱,۴۶۵۲۶۵
۳	۱۰۴۸۶,۱۴	۶۲۵۲۰,۷	۱,۶۷۷۲۲۷

جدول ۷: مقادیر سینوسیتی برای قسمت میانی گسل

رودخانه	V	c	S
۴	۹۵۵,۴	۸۲۸۳,۴۵	۱,۱۵۳۵۵
۵	۸۲۶۵,۵۵	۷۴۱۰,۴	۱,۱۱۵۳۹۹
۶	۴۹۳۷,۶۴	۴۰۶۵,۴۱	۱,۲۱۴۵۴۹

جدول ۸: مقادیر سینوسیتی برای قسمت جنوبی گسل

رودخانه	V	c	S
۷	۵۳۲۶	۵۰۳۸,۹۴	۱,۰۵۶۶۸
۸	۲۸۶۴	۲۷۲۸,۲۴	۱,۰۴۹۷۶۱
۹	۴۴۲۰	۴۳۲۲,۷۶	۱,۰۲۲۶۷۱

جدول ۹: مقادیر سینوسیتی میانگین در سه بخش شمالی - میانی - جنوبی گسل

بخش	S mean
-----	--------

شمالی	۱,۴۹۱۲۴۴
میانی	۱,۱۶۱۱۶۷
جنوبی	۱,۰۴۳۱۳۳

با توجه به جدول میانگین سینوسیته (جدول ۶-۹)، مشاهده می شود که مقادیر به دست آمده حکایت از افزایش سینوسیته در طول گسل از جنوب خاور به سمت شمال باختر می باشد. همان گونه که در بالا ذکر شد با افزایش فعالیت زمین ساختی و بالا آمدگی، رودخانه ها مسیر مستقیم تری داشته در نتیجه مقدار سینوسیته به دست آمده کمتر خواهد بود، بنابراین، رودخانه های قسمت شمالی گسل حالت مئاندردی و پریچ و خمی داشته (S بالا)، در حالی که رودهای قسمت های جنوبی گسل دارای مسیری مستقیم می باشند (S پایین)، یعنی در قسمت های جنوبی تراست مقادیر S نسبت به بخش های میانی و شمالی کمتر بوده که حکایت از بالا بودن فعالیت زمین ساختی در این قسمت از گسل می باشد و در قسمت های میانی نیز نسبت به قسمت های شمالی این مقدار کمتر می باشد یعنی در قسمت میانی نسبت به شمالی فعالیت زمین ساختی بالا می باشد. بنابراین در طول گسل از جنوب به شمال کاهش فعالیت زمین ساختی را داریم.

### - شاخص شیب - طول رودخانه (گرادیان رودخانه)

شاخص شیب رود یکی از شاخص های ارزیابی تکتونیک فعال در ارتباط با کانال رودهاست که توسط (Hack, 1960) به این شکل ارائه گردید:

$$SL = \Delta H / \Delta L \times L$$

در این رابطه  $\Delta H / \Delta L$  بیانگر شیب محلی رود ( $\Delta H$  اختلاف ارتفاع محدوده و  $\Delta L$  طول محدوده) و  $L$  بیانگر طول کانال از خط مستقیم رود تا مرکز بخشی است که شیب آن محاسبه شده است. شاخص  $SL$  با قدرت نیروی آبراهه مطابقت دارد (Keller et al, 1996). مقدار این شاخص در صورتی که سنگ های یک منطقه مقاوم باشند و یا در مناطقی که تکتونیک فعال سبب تغییر شکل قائم زمین گردد زیاد است. بنابراین مقادیر بالای این شاخص در سنگ های کم مقاومت می تواند معرف تکتونیک فعال باشد (پور کرمانی، ۱۳۷۶). بهترین روش برای اندازه گیری شاخص شیب استفاده از پروفیل طولی حوضه هاست (Burbank et al, 2000). برای شروع کار در بریدگی های شیب خطی قائم بر نیمرخ ترسیم می گردد و بدین طریق مقاطع متفاوت بستر آبراهه اصلی از هم تفکیک می شود. سپس با استفاده از فرمول ذکر شده برای  $SL$  مقدار نمایه

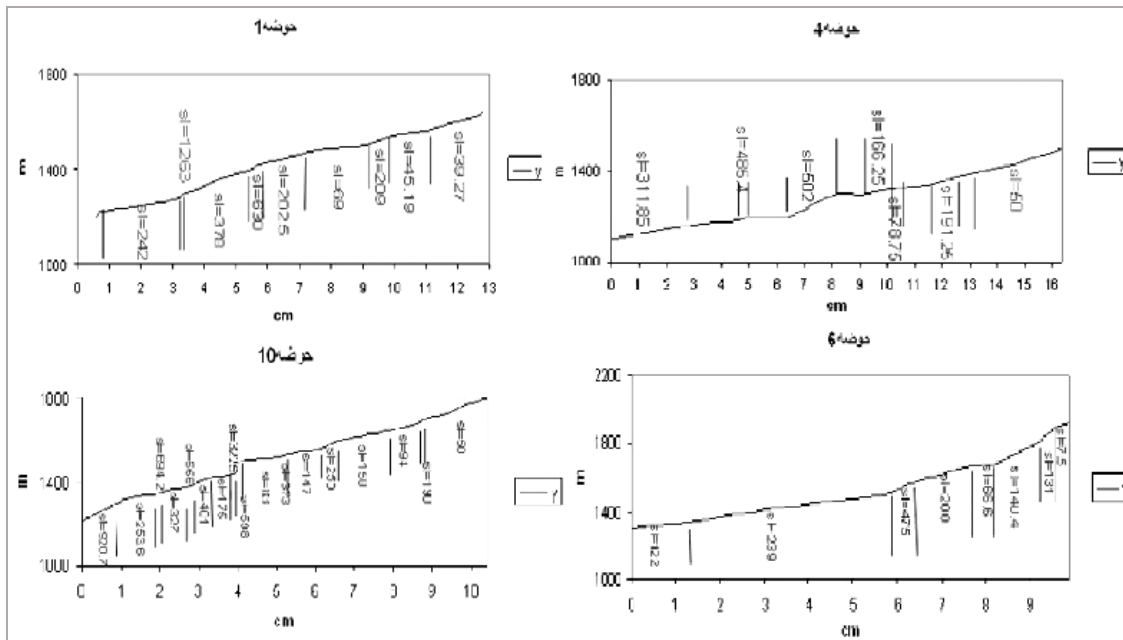
گرادیان ها بدست می آید. سپس بزرگترین عدد بدست آمده برای **SL** را در هر نیمرخ طولی برای هر حوضه به عنوان **SL** آن حوضه انتخاب می شود. با توجه به رابطه فوق چنین مشخص می شود که در حالت عادی مقدار این شاخص ها در یک حوضه از بالا دست به پایین دست رودخانه کاهش می یابد. عکس چنین حالتی نشانه ای از فعالیت رودخانه باشد. یک حوضه با بالآمدگی زیاد دارای شیب در سرتاسر رود و بیشترین مقدار در اواسط و قسمتهای پایین است (Burbank et al, 2000). چون در تمامی حوضه ها شیب های زیاد در اواسط و قسمت های پایین رود هستند پس حوضه ها یا فعال هستند یا نیمه فعال. با توجه به (جدول ۱۰) و با بررسی دقیق تر، حوضه های ۱،۲،۳، ۴، ۸، ۹، ۱۰ و فعال هستند و حوضه های ۵، ۶، ۷ نیمه فعال می باشند. در حوضه های ۱، ۲، ۳ و ۴ بیشترین مقدار **SL** در قسمت های پایین دست است که دلیل آن نزدیکی قسمت های پایین دست این حوضه ها به گسل جبال بارز بوده و نشان می دهد که گسل جبال بارز فعال است.

### - شاخص مسطح شدگی پیشانی کوهستان

درصد مسطح شدگی پیشانی کوهستان از رابطه زیر بدست می آید.

$$\text{Facet\%} = \text{Lf} / \text{Ls}$$

که در آن **Lf** طول سطح پیشانی کوهستان و **Ls** طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است. در این شاخص که توسط ولز و همکاران (۱۹۸۸) ارائه شده است درصد های بالا نشانگر فعال بودن پیشانی کوهستان است (پورکرمانی ۱۳۷۶).



شکل ۵: SI های به دست آمده برای حوضه های ۱، ۴، ۶، و ۱۰

در غالب موارد فرض بر این است که عملکرد تکتونیک در جبهه کوهستان در صورت جوان بودن دارای پیچ و خم خیلی کمی خواهد بود و آرامش در فعالیت تکتونیکی افزایش پیچ و خم جبهه کوهستان را به همراه خواهد داشت. در نتیجه وجود حالت مستقیم در جبهه کوهستان دلیلی بر جوان بودن فعالیت گسل می باشد زیرا بعد از فعالیت تکتونیکی جریان های آبراهه ای فرصت کافی برای پس راندن جبهه کوهستان را پیدا ننموده اند. در این روش ابتدا منحنی مربوط به جبهه کوهستان بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ ترسیم شد و سپس خط مستقیمی را از ابتدا تا انتهای جبهه کوهستان ترسیم کردیم و طول خط مستقیم اندازه گیری گردید  $LS$  سپس فاصله بین دو برجستگی را که تقریباً در طول پیشانی تکرار شده جدا کرده و طول خط مستقیم آن را اندازه گرفتیم  $Lf$ . با قرار دادن مقادیر عددی بدست آمده در رابطه شاخص فوق مسطح شدگی پیشانی کوهستان به دست آمد. با توجه به جدول (۱۱) و شکل گسل جبال بارز را با توجه به عملکردش به سه قسمت می توان تقسیم کرد: منطقه بسیار فعال در قطعه ۲ و منطقه فعال قطعه ۳ و منطقه با فعالیت کم قطعه ۱ اعداد به دست آمده برای  $Facet$  و  $smf$  بیانگر فعال بودن گسل جالبارز است چرا که  $Smf$  بدست آمده به غیر از چند استثنا نزدیک عدد یک و  $Facet$  به دست آمده اعداد بالایی را نشان می دهد.

جدول ۱۰: slهای به دست آمده برای نیمرخ طولی هر حوضه

۱	۲۴۲	۱۲۶۳	۳۷۸	۶۳۰	۲۰۲	۶۹	۲۰۹	۴۵	۳۹,۲		
۲	۹۶۵	۴۰۷	۳۶۰	۷۵۱	۵۵۱	۳۲۴	۴۸	۴۰۵	۲۳		
۳	۷۱۲	۱۵۳	۲۹۳	۶۸۷۰	۹۱	۵۳۰	۲۸۰	۱۷۸	۲۶۶		
۴	۳۱۱	۴۸۵	۵۰۲	۱۶۶	۷۸	۱۹۱	۵۰				
۵	۳۹۴	۱۵۴	۲۳۴	۵۴۳	۳۵۸	۱۰۶	۲۳۸	۱۰۷	۸۵		
۶	۱۲۲	۲۳۹	۴۷۵	۲۰۰	۶۶	۱۰۴	۱۳۱	۷,۵			
۷	۱۳۲	۴۹۰	۱۰۲	۴۷۲	۴۷	۷۶	۱۰				
۸	۳۰۶	۹۴۲	۴۰۰	۶۲۷	۲۱۰	۴۴۱	۱۲۹	۱۷۳۶	۷۵	۱۲۷	۵۰
۹	۱۵۳	۱۰۳	۱۹۲	۸۸۶	۱۶۸	۴۳۸	۲۰۰	۴۵۰	۴۷	۵۷	۱۸
۱۰	۹۲۰	۶۹۴	۵۵۶	۴۰۱	۳۲۲۵	۵۹۸	۳۷۳	۲۵۰	۱۵۰	۱۹۰	۵۰

جدول ۱۱: تقسیم بندی گسل جبال بارز

۱	قطعه ۱					قطعه ۲					قطعه ۳				
	ls	lm	lf	smf	facet	ls	lm	lf	smf	facet	ls	lm	lf	smf	facet
۲	۲,۸	۳,۶	۲,۲	۱,۲۸	۷۸	۱۹	۲۴,۱	۱۵,۹	۱,۲۶	۸۲	۱۷,۱	۵۳,۳	۵,۸	۳,۱	۳۶
۳	۷,۲	۸,۶	۵,۹	۱,۱۹	۸۰	۴,۱	۷,۱	۳,۲	۱,۶	۷۰	۱۸,۲	۵۰,۱	۷,۴	۲,۷	۴۱
۴	۴,۸	۶,۶	۳,۶	۱,۳۷	۷۸	۳,۶	۵,۴	۲,۳	۱,۶	۶۰	۷,۶	۱۱,۹	۳,۵	۱,۵۶	۴۶
۵	۳,۲	۶,۱	۲,۴۴	۱,۳۹	۷۲	۷,۱	۸,۹	۵,۵	۲,۱	۷۷	۹,۱	۱۴,۱	۴,۳	۱,۵۴	۴۷
۶	۱۱,۳	۵,۵	۱,۴	۱,۷	۷۵	۶,۹	۸,۱	۵,۵	۱,۱۷	۷۹	۵,۸	۱۰,۱	۲,۵	۱,۷۵	۴۳
۷	۷,۷	۱۴,۲	۹,۴	۱,۲۵	۸۰	۴,۲	۵,۶	۳,۴	۱,۰۱	۸۰	۱۵,۵	۴۴	۵,۶	۲,۹۳	۳۶
۸	۱,۲	۱۱,۲	۵,۵	۱,۴	۷۱	۹,۶	۱۱	۸,۴	۱,۱۴	۸۷	۱۴	۳۷	۵,۸	۲,۶۴	۴۱

## - کلاس بندی شاخص های زمین ریختی و زمین ساخت فعال نسبی در گستره گسل

### جبال بارز

با بررسی شاخص های زمین ریختی (  $SL(smf, vf, S)$  , facet % در گستره گسل جبال بارز و مقایسه آنها با مقادیر استاندارد می توان پی برد که این شاخص ها همگی نمایانگر میزان بالای فعالیت زمین ساختی در این گستره می باشند. لذا گستره گسل جبال بارز را از نظر میزان جنبایی نو زمین ساختی می توان در کلاس ۱ رده بندی فعالیت نسبی زمین ساختی قرار داد و از این رو می توان سه منطقه با فعالیت زمین ساختی بسیار بالا

(قسمت جنوبی)، بالا (قسمت میانی)، و متوسط به بالا (قسمت شمالی) را برای این منطقه معرفی کرد (جدول ۱۰-۱).

جدول ۱۲: کلاس بندی شاخص های زمین ریختی در گستره گسل جبال بارز

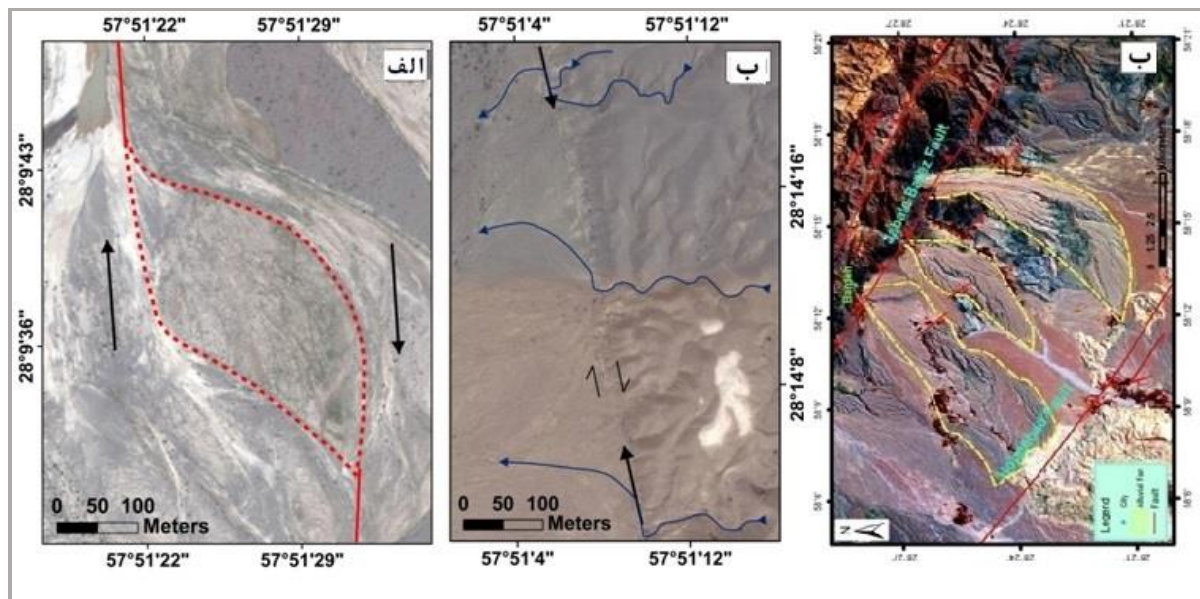
SMF	Er	VF	S	%Facet	SL	فعالیت زمین ساختی	کلاس
<۱,۰۶	جوان با ارتفاعات به هم پیوسته	۰,۲۶	۱,۰۴ <	۸۹,۶ <	>۵۷۴,۸	بسیار بالا	A۱
۱,۳۶-۱,۱۵	جوان	۰,۴۳	۱,۴۹-۱,۱۶	۷۲,۷۲-۷۵,۰۷	۳۱۴,۳-۴۳۲,۵	بالا	B۱
>۱,۳۶	جوان با ارتفاعات پراکنده	۰,۵۳	۱,۴۹ >	۷۲,۷۲	۳۱۴,۳ >	متوسط تا بالا	C۱

به طور قطع، عامل اصلی این جنبایی و فعالیت بالای زمین ساختی در گستره مورد نظر، گسل جبال بارز می باشد زیرا شاخص های بررسی شده چه در محل هایی که گسل جبال بارز رخنمون دارد و چه در نقاطی که با آبرفت پوشیده شده است، اعدادی را نشان می دهد که گویای زمین ساخت فعال است. افزون بر گسل جبال بارز چندین گسل دیگر در دگرریختی حد حاضر منطقه تاثیر گذار می باشند. مطالعات نوزمین ساختی در این پژوهش وجود یک گسل فعال و جنب را در دامنه شرقی را نشان می دهد. اگرچه هیچ زمین لرزه ای مرتبط با این گسل گزارش نشده ولی شواهد مورفولوژیکی مخروط افکنه ها و سایر شواهد ریخت زمین ساختی فعالیت و پویایی آن را نشان می دهد. لذا وقوع زمین لرزه ای مخرب در آینده در اثر فعالیت این گسل دور از انتظار نیست.

### - بررسی علائم و شواهد ژئومورفولوژیکی گسل جبال بارز

همان گونه که در شکل (الف) مشاهده می گردد آثار سطحی گسل جبال بارز باعث جابه جایی بیش از ۵۰ متری آبراهه هادر منطقه گسلی شده است. همچنین منطقه تحت فشار در اثر آرایش پلکانی گسل باعث ایجاد یک پشته فشارشی گردیده است (شکل ب). همچنین در شکل (ب) کج شدگی و برخاستگی مخروط افکنه ها در اثر عملکرد راستگرد گسل جبال بارز مشاهده می گردد.





شکل ۶: منطقه تحت فشار در اثر آرایش پلکانی پله به چپ گسل ب). آثار سطحی گسل جبال بارز و جابجایی بیش از ۵۰ متری آبراهه‌ها. پ). کج شدگی و برخاستگی مخروط افکنه‌ها در اثر عملکرد راست لغز گسل.

### نتیجه گیری

بررسی شاخص‌های زمین ریختی ( $S$ ,  $vf$ ,  $smf$ ,  $SL$ ,  $Er$ ,  $\%facet$ ) در گستره گسل جبال بارز و مقایسه آن‌ها با مقادیر استاندارد می‌توان پی برد که این شاخص‌ها همگی نمایانگر میزان بالای فعالیت زمین ساختی در این گستره می‌باشد. محاسبه شاخص‌های ریخت زمین ساختی نشان دهنده سیر نزولی نرخ فعالیت زمین ساختی از قسمت جنوبی گسل جبال بارز به قسمت شمالی است. نتایج محاسبه شاخص‌های ریخت زمین ساختی و مقایسه آن‌ها با مقادیر استاندارد (Hamdouni et al, 2007) و رادفر و پورکرمانی در گستره گسل جبال بارز نشان داد که این منطقه در رده یک تکتونیکی از نظر نرخ فعالیت قرار دارد زیرا شاخص‌های بررسی شده چه در محل‌هایی که گسل جبال بارز رخمون دارد و چه در نقاطی که با آبرفت پوشیده شده است، اعدادی را نشان می‌دهد که گویای زمین ساخت فعال است. افزون بر گسل جبال بارز چندین گسل دیگر در دگرریختی حد حاضر منطقه تاثیر گذار هستند. یکی از این که سازوکار امتداد لغز راستگرد داشته گسل سورو می‌باشد. این گسل طولی حدود ۳۰ کیلومتر دارد که شواهد مورفولوژی حاصل از این گسل حکایت از سازوکار امتدادلغزی این گسل دارند.

## منابع

- اصغری مقدم، م. (۱۳۹۲) تاثیر فرازگیری ارتفاعات و فعالیت گسل ها بر روند تکامل مخروط افکنه ها (مخروط افکنه رودخانه سردر طبس) فصلنامه ی جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، سال چهارم، شماره ۴۳، ص. ۲۷
- بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸۸) تشخیص فعالیت های نئوتکتونیکی در حوضه ی آبریز قرقوچای با استفاده از شاخص ها ی ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، فضای جغرافیایی، سال نهم - شماره ۵۵، ص ۵۴.
- پور کرمانی، م. و صدیق، ح. (۱۳۸۲) پدیده های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳، صص ۳۳-۴۷
- ثروتی، م. (۱۳۷۱) ژئومورفولوژی ساختمانی و اقلیمی در منطقه کاشمر، مجموعه مقالات جغرافیایی جشن نامه دکتر محمد حسن گنجی، انتشارات گیتاشناسی، تهران.
- کریمی، ف. (۱۳۹۱). ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روشهای مورفومتری در حوضه های شمالی و شرقی کوه سهند، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۱-۱۸
- گورابی، الف. و نوحه گر، الف. (۱۳۸۶) شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال در حوضه آبخیز درکه، مجله پژوهش های جغرافیایی شماره ۶۰ صص ۱۶۹-۱۷۷
- رشیدی، الف. (۱۳۹۶) برآورد جنبایی گسل های فعال در جنوب و باختر بلوک لوت بر پایه گشتاورهای زمین شناختی و لرزه ای فصلنامه علوم زمین شماره ۱۰۴ صص ۲۱۱-۲۲۲
- شفیعی، الف، علوی، سید الف، و نادری میقان، ن (۱۳۸۸) تکتونیک فعال در رشته کوه بینالود با تکیه بر بررسی های مورفوتکتونیکی، پژوهش های جغرافیایی طبیعی. شماره ۷
- مختاری، د. (۱۳۸۴) کاربرد شاخص های ریخت سنجی در تعیین میزان فعالیت گسلها، نمونه موردی گسل شمالی میشو مجله علوم زمین، شماره ۵۹، صص ۷۰-۸۳
- یمانی، م. باقری، س و جعفری اقدم، م. (۱۳۸۹) تأثیر نوزمین ساخت در مورفولوژی آبراهه های حوضه چله زاگرس غربی.

Anderson, E. M., (1942) The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applicati to Britain: Oliver & Boyd, Edinburgh, 191 P.

Burbank, D.; Anderson, R. (1987). Tectonic Geomorphology. Department of Geosciences, the Pennsylvania State University.

Bull, W. B. and 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 Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton: 115-138

Burbank, D.W, Anderson, R.S., 2000, Tectonic Geomorphology, Blackwell Publisher, Oxford.

Chorowicz, J., Phont, D., and Gundoghu, N., (1999). Neotectonics in the eastern North Anatolian

- fault region (Turkey) advocates crustal extension: Mapping from SAR EAR imagery and Digital Elevation Model, *Journal of Structural Geology*. V. 21. P. 511- 532, doi: 1001016SDI91-8141(99)00022-X.
- EI Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E. A., 2008, Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology*, No. 96, pp. 150-173
- Florinsky, I.V., (1996). Quantitative topographic method of fault morphology recognition. *Geomorphology* 16, 103–119.
- Guarnieri, P., and Pirrotta, C., (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily): *Geomorphology*, v. 95, no. 3, p. 260-273.
- Garrote, J., Heydt, G.G. & Cox, R.T. (2008). Multi-stream order analyses in basin asymmetry: A tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid Basin, Central Spain), *Geomorphology* 102, 130-144.
- 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
- Hack, J.T., (1960). Interpretation of erosional topography in humid temperate regions: *American Journal of Science (Bradley Volume)*, v.258-A, p. 80–97.
- Keller, E.A. (1986), "Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes In: Wallace, R.E. (Ed.), *Active Tectonics, Studies in Geophysics*, National Academy Press Washington, DC, pp. 136-147
- Keller, E.A., Pinter, N., (2002), "Active tectonics : Earthquake uplift, and landscape", Prentice Hall, Newjersey.
- Keller, E.A and Pinter, N., (1996). *Active Tectonics : earthquakes, uplift, and landscape* (1996), pp.121-145. Prentice Hall, Inc. New Jersey, 338.
- Keller, E.A & Pinter, N., 1996, *Active tectonics (Earthquake, uplift and landscape)*.
- Stokes, M., Nash, D.J. & Harvey, A.M., (2007). Calcrete 'fossilisation' of alluvial fans in SE Spain: The roles of groundwater, pedogenic processes and fan dynamics in calcrete development, *Geomorphology* 85: 63–84.
- Walker, R., and Fattahi, M., (2011) A framework of Holocene and Late Pleistocene environmental change in eastern Iran inferred from the dating of periods of alluvial fan abandonment, river terracing, and lake deposition, *Quaternary Science Reviews*, 30, 9-10.
- Walker, R. & Jackson, J., (2004). Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23, TC5010, doi:10.1029/ 2003 TC001529
- Wells, S.G, Bullard, T.F, Menges, C.M, Drake, P.G, Karas, P.A, Kelson, K.L, Ritter, J.B,
- Wesling, J.R, 1988 , Regional variation in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary , Pacific coast of coast Rica. *Geomorphology*, 239 – 265.
- Zamani, A., Hashemi, N., (2004). Computer-based self-organized tectonic zoning: tentative pattern recognition for Iran, *Computers & Geosciences* 30, 705–718.