

بررسی نرخ فعالیت تکتونیکی گستره گسل دورود (جنوب باختر ایران) بر پایه تحلیل داده‌های ژئومورفولوژیک (مخروط افکنه‌ها، حوضه‌ها و شبکه زهکشی)

زهرا کمالی^(۱)، محمودرضا هیهات^(۲)، حمید نظری^(۳) و محمد مهدی خطیب^(۴)

۱. دانشجوی دکتری بخش علوم زمین، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲. استادیار بخش علوم زمین، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳. دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

۴. استاد بخش علوم زمین، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۲

چکیده

تحلیل مورفوتکتونیکی با کمک شاخص‌های ژئومورفیک ابزاری برای مشخص کردن ساختارهای جدید و فعال متاثر از حرکات تکتونیکی در نواحی ویژه می‌باشد. این تحلیل در بخشی از گستره گسل درود با استفاده از شاخص‌هایی مانند سینوسی جبهه‌ی کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، عامل عدم تقارن حوضه (Af)، گرادیان طولی رودخانه (Sl)، عامل تقارن توپوگرافی (T)، سینوسیته رودخانه (S)، عامل شکل حوضه، فرم حوضه، ضریب کشیدگی و نسبت کشیدگی حوضه و شاخص BS همچنین شاخص‌های در ارتباط با مخروط‌افکنه‌ها شامل: میزان خمیدگی مخروط‌افکنه β ، ضریب مخروط‌گرایی و نیمرخ‌های طولی، انجام شده است. ابزارهای این پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و تصاویر سنجنده IRS منطقه و نرم‌افزارهای GIS و Gelobal Mapper می‌باشد. نتایج داده‌های حاصل از تحلیل‌های توپوگرافی، شواهد زمین‌ریخت ساختی حاصل از مشاهدات میدانی و مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک، همگی نشان از فعال بودن نوزمین ساختی منطقه است. گستره مورد مطالعه براساس طبقه‌بندی LAT در رده یک قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید است. براساس نتایج به‌دست آمده بخش شمالی گسل دورود نسبت به بخش جنوبی از نظر حرکات نوزمین ساختی فعال‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، نوزمین ساخت، مخروط‌افکنه، گسل دورود، گسل جوان زاگرس.

مقدمه

مورفوتکتونیک بیان‌کننده ارتباط بین ژئومورفولوژی و تکتونیک است و در بسیاری از موارد مورفوتکتونیک ژئومورفولوژی در نظر گرفته می‌شود. شاخص‌های ژئومورفیک از ابزارهای مهم برای ارزیابی درجه فعالیت تکتونیکی ناحیه‌ای خاص هستند

ارزیابی اشکال زمین‌ساختی ایجادشده و تغییر یافته با تکتونیک فعال می‌تواند داده‌های کمی مفیدی برای تخمین میزان تغییر شکل و فعالیت تکتونیکی را مهیا سازد. اصطلاح

* نویسنده مرتبط: zahrakamali@birjand.ac.ir

برای تحلیل تحولات لند فرم‌های کواترنری ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی از شاخص‌های ژئومورفیک استفاده نموده‌اند. (Hamdouni et al., 2008) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، تحول شبکه‌های زهکشی و تغییرات جبهه کوهستان بر اثر حرکات تکتونیکی را در سیرانوادا بررسی کردند. (Giano 2011) تأثیرات عوامل آب و هوایی و فعالیت‌های تکتونیکی بر مخروط افکنه‌ها را در یکی از حوضه‌های جنوبی ایتالیا بررسی کرده است.

مطالعات پیشین در منطقه بیشتر در چارچوب فعالیت لرزه‌ای و هیدروژئولوژی به‌خصوص در دشت سیلاخور انجام گرفته است. از میان مطالعات مورفولوژیکی صورت گرفته می‌توان به بررسی تغییرات ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های و شواهد ژئومورفولوژی دشت سیلاخور توسط سپهوند (۱۳۹۴) اشاره کرد. ایشان بیان داشتند که تاثیر گسل در سطح چشم‌گیر نمی‌باشد. زرگرزاده و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای مورفومتریک در محیط GIS تکتونیک فعال در منطقه زاگرس را با شاخص‌های ژئومورفیک در محیط GIS بررسی کرده‌اند. بررسی عوارض و شواهد ژئومورفولوژی ساختمانی و شاخص‌های مورفومتری رودخانه‌ها و پیشانی کوهستان از جمله روش‌های استفاده شده در این مطالعه است. مشاهده آثار و بقایای حرکات تکتونیکی و لرزه‌ها بر روی سطح زمین می‌تواند گامی موثر در تحلیل نئوتکتونیک باشد. تقوی گودرزی (۱۳۹۳)، که به بررسی فرآیندهای ژئومورفولوژیکی (تغییرات الگوی کانال رودخانه و روانه‌های ماسه‌ای) ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی گسل جوان زاگرس در دشت سیلاخور پرداخته است، بیان داشت از جمله فرآیندهای ژئومورفولوژیکی ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی تغییر الگوی کانال رودخانه‌ها و روانه‌های ماسه‌ای می‌باشند که مناطق تحت تاثیر این فرآیندها ممکن است صدمات و خسارات فراوانی ببینند. دشت سیلاخور در شمال شرق استان لرستان با وجود گسل‌های فعال و توان لرزه‌ای بالا قرار گرفته است که تحت تاثیر این فعالیت‌ها احتمال وقوع روان‌گرایی و تغییر الگو و کانال رودخانه‌ی سیلاخور در این دشت دیده می‌شود و نتیجه اینکه وجود نهشته‌های آبرفتی

که با تحلیل آنها می‌توان در مورد وقوع تغییرات مذکور اظهار نظر کرد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۴). تغییرات آب و هوا موجب افزایش یا کاهش پوشش گیاهی، تغییر میزان روان‌آب، بار رسوبی رودخانه‌ها و در نتیجه تغییر فرآیندهای فرسایشی در سطح مخروط افکنه می‌شود و تغییر لند فرم را در پی دارد (Keller and Pinter 1999). در مناطق دارای فعالیت تکتونیکی، اشکال زمین حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیر حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته و فرسایش یا رسوب‌گذاری توسط فرآیندهای سطحی است (Ioannis et al., 2006). تکتونیک با تغییر سطح اساس، موجب تغییر فرآیندهای فعال در سطح مخروط افکنه‌ها شده و روند تکاملی مخروط افکنه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (خیام، و همکاران ۱۳۸۲). مخروط افکنه‌ها اشکال مخروطی یا بادبزی هستند که بیشتر در جبهه کوهستان‌ها و کوهپایه‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند (Barbank and Anderson, 2001). تغییرات آب و هوا و حرکات تکتونیک دو عامل مهم کنترل‌کننده سیستم مخروط افکنه‌ها هستند (Li et al., 1999). وقوع رویدادهای تکتونیکی (گسلش، چین‌خوردگی و فرونشینی یا بالآمدگی) واکنش مخروط افکنه را در پی داشته؛ به‌گونه‌ای که این واکنش می‌تواند در نوع، اندازه، شکل رسوب و مورفولوژی مخروط افکنه ثبت گردد. برخی از این واکنش‌ها به‌صورت تقطیع مخروط افکنه، جابه‌جایی مرکز بیشینه رسوبی و کانون‌های واگرایی شبکه هیدروگرافی روی مخروط‌ها ظاهر می‌شود (تقیان، ۱۳۹۴).

اولین مطالعه ژئومورفولوژیک در زمینه دانه سنجی مخروط افکنه‌ها توسط ابوریحان بیرونی انجام شده است. وی با مطالعه عوامل تشکیل دهنده جلگه هند نتیجه می‌گیرد که قله‌سنگ‌ها از بالا به پایین دارای جورشدگی است. آرام (۱۳۶۶) و رامشت و همکاران، (۱۳۸۷) با ارائه مجموعه‌ای از نقشه‌های مخروط افکنه‌ها در دره مرگ در کالیفرنیا اختلافات ژئومورفولوژیک را نشان داده‌اند. یمانی و همکاران، (۱۳۸۷) و (Bull and MC Fadden, 1977) و (Keller et al., 2002) Ramirrez and Herrera, 1988) رفتار متقابل حرکات تکتونیک و ساختارهای ژئومورفولوژیک در مناطق مختلف را با استفاده از روش‌های تجربی آزموده و

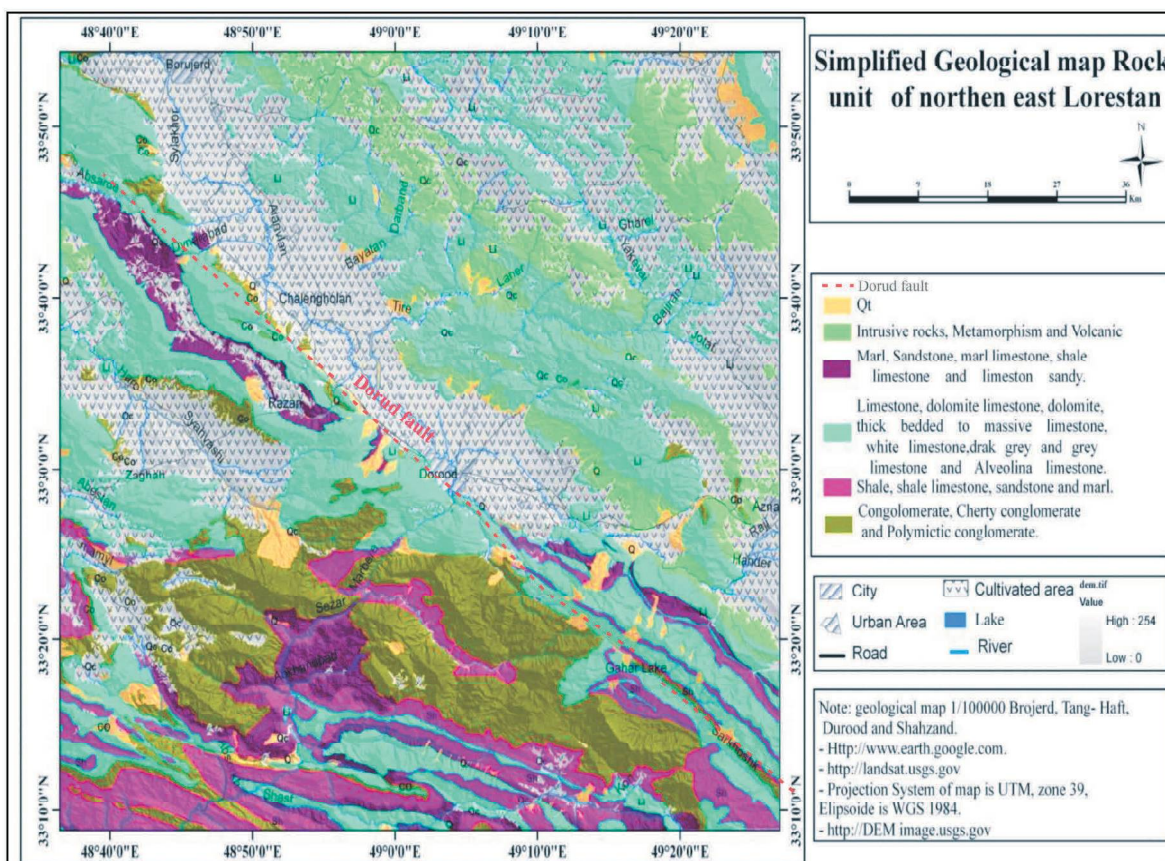
باختر شامل: گسل نهاوند، گسل گارون، گسل صحنه و گسل مروارید می‌باشد (Tchalenko and Braud, 1974). محدوده مورد بررسی دشت سیلاخور و بخش جنوبی شهرستان دورود تا روستای ارجنک را شامل می‌شود، که در موقعیت جغرافیایی ۳۳° تا ۳۴° درجه طول شرقی تا ۴۸° ۳۰' تا ۴۹° ۴۵' درجه عرض شمالی مابین زون دگرگونه طول در امتداد زون سندج-سیرجان در شمال و زاگرس مرتفع در جنوب واقع شده است. این گسل با درازای نزدیک به ۱۰۰ کیلومتر توان ایجاد زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۷/۱ درجه ریشتر را دارا می‌باشد (Tchalenko and Braud, 1974). Bachmanov et al., (2004) رویداد زمین‌لرزه ویرانگر سوم بهمن ماه ۱۲۸۷ سیلاخور با بزرگای ۷/۴ با جابجایی ۰/۸ تا ۱ متر مولفه راستالغز راستبر و حدوداً ۰/۲۵ تا ۰/۴ متر مولفه قائم را احتمالاً در ارتباط با این گسل دانسته‌اند. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه در شکل آورده شده است.

در دشت سیلاخور و اطراف شهرستان دورود، پتانسیل بالایی برای بروز روان‌گرایی دارد.

هدف از این پژوهش بررسی نرخ فعالیت تکتونیکی منطقه مورد مطالعه و اثبات وجود حرکات تکتونیکی در دوران کواترنری و ادامه‌ی آنها در عهد حاضر می‌باشد.

زمین‌شناسی

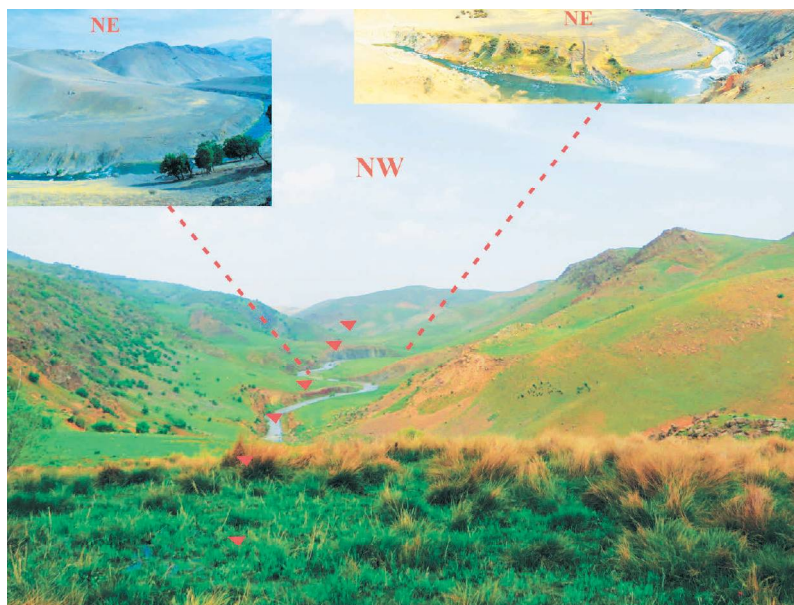
منطقه مورد مطالعه در پهنه چین‌خورده-رانده زاگرس واقع شده است. گسل اصلی عهد حاضر زاگرس یک گسل کواترنری با عملکرد راستالغز راست‌بر است که نخستین بار از سوی Tchalenko and Braud, (1974) معرفی شد. Hessami (2001) گسل اصلی عهد حاضر زاگرس را در نقشه گسل‌های فعال ایران به‌عنوان گسل کواترنری معرفی کردند و دلیل آن را جابه‌جایی عوارض سطحی کواترنری بیان داشتند. قطعات گسل اصلی عهد حاضر زاگرس در ۳۳ تا ۳۵ درجه عرض شمالی واقع شده است و از جنوب‌خاور به سمت شمال



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، گسل دورود که با خط قرمز مشخص شده است



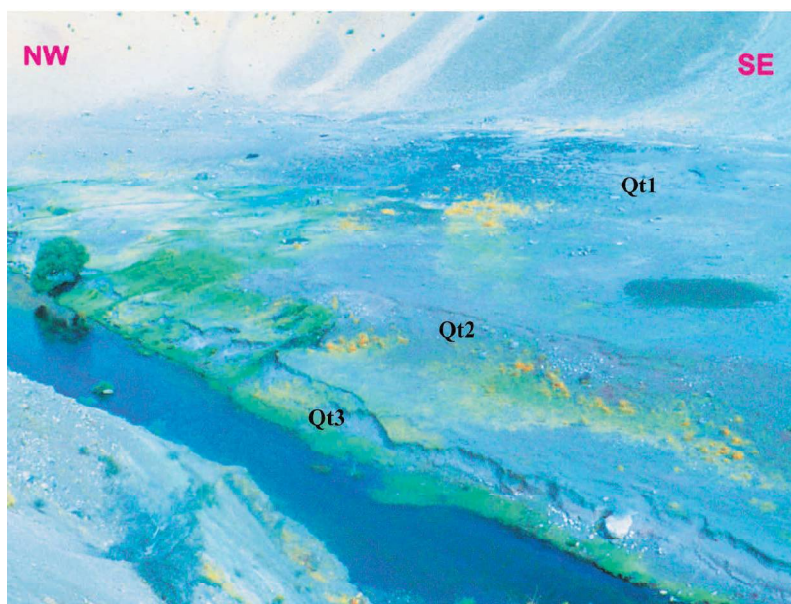
شکل ۲. مسیر عبور گسل در جنوب شهرستان دورود



شکل ۳. پادگانه‌های رودخانه‌ای و پیچان رودخانه سزار در مسیر گسل دورود که با مثلث قرمز مشخص شده است



شکل ۴. دره گسلی حاصل از عملکرد گسل و مخروط افکنه‌های با خطچین زرد تشکیل شده در مسیر گسل است



شکل ۵. یادگانه‌های رودخانه‌ای در مسیر گسل

مدل ارتفاعی DEM 10m به‌عنوان ابزار اصلی تحقیق استفاده شده‌اند. ابتدا داده‌های نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان داده‌های پایه به نرم‌افزار GIS انتقال داده شده و اندازه‌گیری و سنجش‌های لازم انجام شد. نتایج حاصل به‌صورت تصاویر کمی، نقشه و نمودار استخراج است. سپس طی بازدیدهای میدانی و مشاهده شواهد ژئومورفولوژی، نتایج حاصل تصحیح شد و تحلیل لازم صورت پذیرفته است. پس از محاسبه شاخص‌های موردنظر، با استفاده از شاخص LAT فعالیت نسبی تکتونیک محدوده مورد مطالعه ارزیابی شد.

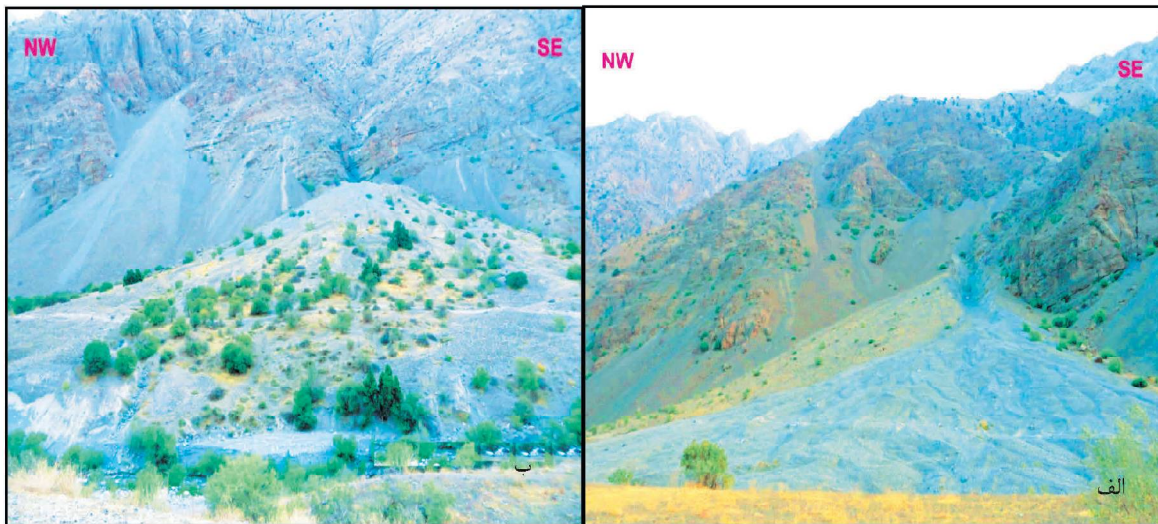
بحث

پارامترهای کمی حوضه‌های زهکشی و مخروط افکنه‌های وابسته به آن‌ها، می‌توانند اطلاعات با ارزشی در مورد نوزمین ساخت و در نتیجه ارزیابی پتانسیل لرزه‌خیزی مناطق در اختیار کارشناسان قرار دهند (Hermas et al., 2010). شاخص‌های بسیاری برای ارزیابی نوزمین ساخت منطقه، بر اساس ویژگی‌های ژئومورفومتری مخروط افکنه‌ها و حوضه‌ها استوار است (گورابی، ۱۳۶۷). شاخص‌های ژئومورفولوژیک در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک ابزاری مفید و قابل اطمینان هستند (Ramirez and Herrera, 1998). این شاخص‌ها می‌توانند ناهنجاری‌های موجود در سیستم‌های

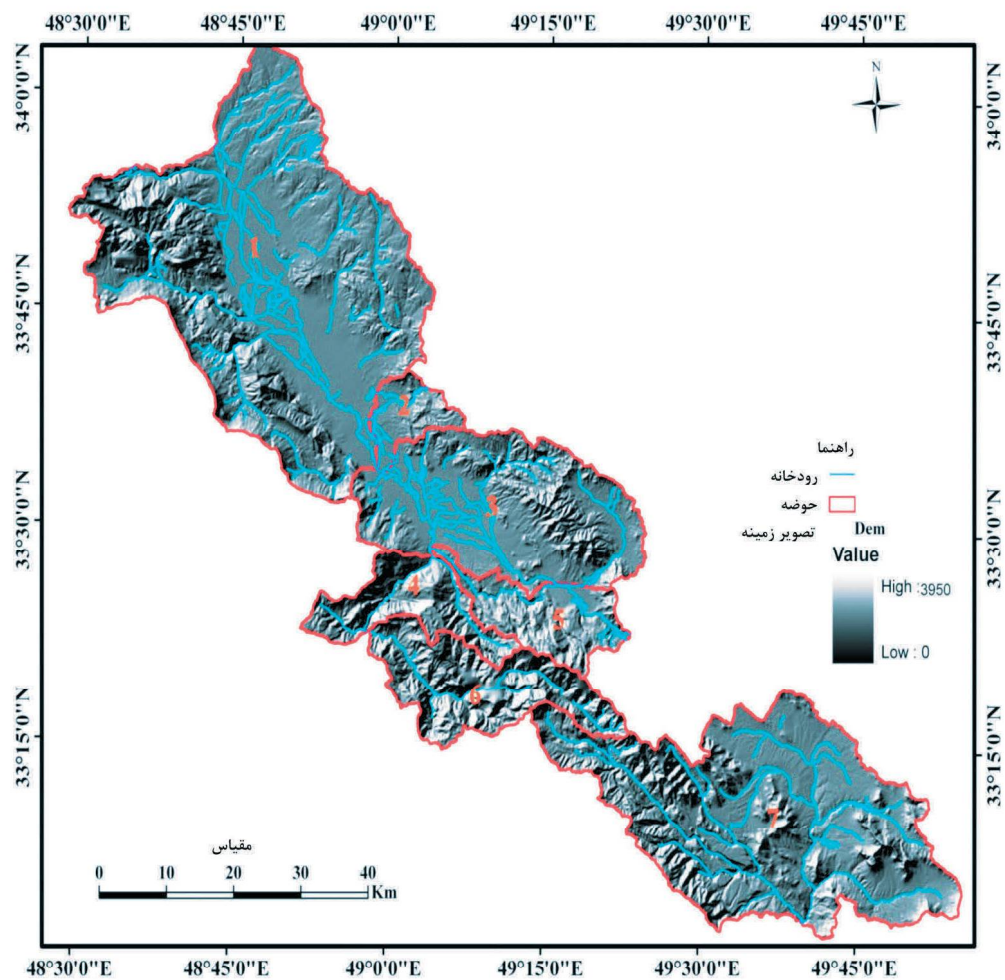
طبق مطالعات اخیر کمالی و همکاران (۱۳۹۶)، گسل دورود دارای طول تقریبی ۱۲۱ کیلومتر در برخی مناطق گسل به‌صورت پنهان در زیر رسوبات آبرفتی کواترنر مدفون شده است، و در موقعیت 50° تا $48^{\circ} 30'$ طول خاوری و 33° تا 34° عرض شمالی قرار دارد. شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ ساختارهای حاصل از عملکرد گسل، مانند دره گسلی، یادگانه‌های رودخانه‌ای، پیچان‌ها رودخانه و مانند آنها را نشان می‌دهند.

روش پژوهش

در این پژوهش از داده‌های حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیک شامل: پیچ‌وخم کوهستان (smf)، مسطح‌شدگی پیشانی کوهستان، نسبت پهنا به عمق دره (Vf)، پیچ‌وخم رودخانه S، گرادیان رودخانه (SL)، میزان تقارن توپوگرافی (T)، عدم تقارن آبراهه (Af)، عامل شکل حوضه، فرم حوضه، ضریب کشیدگی و نسبت کشیدگی حوضه و شاخص BS، همچنین میزان خمیدگی مخروط افکنه β ، ضریب مخروط‌گرایی و نیمرخ‌های طولی، اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، مشاهدات میدانی لندفرم‌ها و اسناد کتابخانه‌ای استفاده شده است (جداول ۳ و ۴ و ۵). نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای IRS و

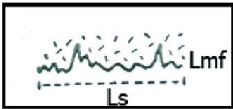
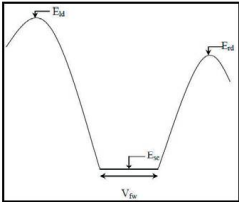
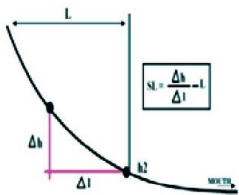
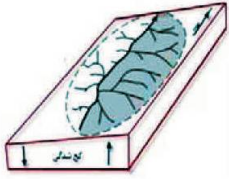
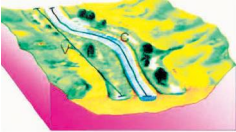




شکل ۷. نمونه‌های از مخروط افکنه‌های تشکیل شده در مسیر گسل



شکل ۸. تصویر مدل ارتفاعی STRM زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

جدول ۱. شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی تکتونیک فعال در گستره مورد مطالعه

معنی‌داری	روش اندازه‌گیری	تعریف اجزای معادله	شاخص‌های کمی
مقادیر عددی نزدیک به یک شاخص فوق بیانگر مناطق دارای حرکات تکتونیک فعال و جبهه کوهستان دارای نرخ بالآمدگی زیاد است (Kellar and pinter, 1999)		شاخص سینوسیته جبهه کوهستان، Lmf طول جبهه کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه و Ls طول مستقیم جبهه کوهستان است.	سینوسیته جبهه کوهستان $Smf = Lmf/Ls$
هر چه میزان این شاخص کوچکتر باشد، نشان دهنده فعال‌تر بودن ناحیه از نظر تکتونیک است (Kellar and pinter, 1996) $Vf < 0/5$ بسیار فعال $0/5 < Vf < 1$ با فعالیت متوسط $Vf > 1$ غیرفعال (Hamdouni et al., 2008)		ارتفاع ESC ارتفاع مطلق، ERD ارتفاع دیواره سمت راست دره و vfw عرض بستر دره و Eld ارتفاع دیواره سمت چپ بستر دره است.	شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره $Vf = 2 \cdot vfw / [(Eld - ESC) + (ERD - ESC)]$
مقادیر بالای بی‌نظمی، گویای کلاس ۱ فعالیت‌های تکتونیک است و میزان کم آنومالی در نم‌یخ طولی رودخانه، کلاس ۲ حرکات تکتونیک را نشان می‌دهد (Hamdouni et al., 2008)		اختلاف ارتفاع در مقطعی خاص از رودخانه Δh فاصله افقی همان مقطع L طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه است.	شاخص گرادیان رودخانه $SI = \Delta h / \Delta l$
اگر مقادیر عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن زهکشی‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی آن در نتیجه وجود کج‌شدگی بر اثر فرایش خواهد بود. (Hamdouni et al., 2008) $Af - 50 > 15$ بسیار فعال $7 < Af - 50 < 15$ با فعالیت متوسط $Af - 50 < 7$ غیرفعال		Af مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل سمت راست آبراهه مساحت کل حوضه At و زهکشی است.	شاخص عدم تقارن آبراهه $(AF = 100 (Af/At))$
مقادیر بالای S حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است و هر چه کمتر باشد، دلیل فعال بودن تکتونیک در منطقه است.		C طول رودخانه و V طول دره در خط مستقیم است.	پیچ‌وخم رودخانه $S = c/v$
در مناطق دارای فعالیت تکتونیک زیاد مقدار این شاخص به ۱۰۰ نزدیک می‌شود. (Kellar and Pinter, 2002)		Ls طول سطح در پیشانی کوهستان و Lf طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است.	شاخص درصد رخ‌دار شدن پیشانی کوهستان $Facet\% = (Ls/Lf)$
مقدار عددی این شاخص در حوضه‌های متقارن صفر و با کاهش تقارن مقدار T به عدد یک نزدیک می‌شود.		Da فاصله نوار مناندری فعال از خط میانی حوضه آبریز و Dd فاصله خط میانی حوضه آبریز از خط مرز حوضه است.	شاخص تقارن توپوگرافی عرضی $T = Da/Dd$

جدول ۲. پارامترهای مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل ارتباط مورفومتریک مخروط افکنه‌ها-حوضه‌های زهکشی

معنی‌داری	تعریف اجزای معادله	شاخص‌های کمی
در حوضه‌های غیرفعال مقدار نسبت شکل حوضه کمتر از ۱ و در حوضه‌های فعال از نظر تکتونیک این مقدار بیشتر از ۱ است.	BL طول حوضه، از مجرای خروجی تا بالاترین نقطه آن و BW عرض حوضه	شاخص Bs (نسبت شکل حوضه) $Bs=BL/Bw$
در حوضه‌ای که از نظر تکتونیک فعال تر باشد این شاخص از ۱ بیشتر و حوضه‌های غیرفعال این شاخص ۱ می‌باشد.	L طول حوضه S مساحت حوضه است.	عامل شکل حوضه $SF=L^2/S$
در حوضه‌های غیرفعال از نظر تکتونیک، مقدار نسبت این شاخص ۱ و در حوضه‌های فعال تکتونیک این مقدار بیشتر از ۱ می‌باشد.	P محیط حوضه و L طول حوضه است.	عامل فرم حوضه $FF=P/L^2$
هرچه حوضه از نظر تکتونیک فعال تر باشد مقدار این اندیس از ۱ بیشتر می‌شود. در حوضه‌های غیرفعال مقدار این اندیس ۱ است.	P محیط حوضه و S مساحت حوضه است.	ضریب فشردگی $C=P \times 0.28/\sqrt{S}$
هرچه منطقه از نظر تکتونیک فعال تر باشد مقدار این شاخص از ۱ کوچک‌تر می‌شود.	L طول حوضه و L قطر دایره هم مساحت است.	نسبت کشیدگی $R=L/L$

جدول ۳. نتایج بررسی شاخص‌های مورفومتری شبکه‌های زهکشی در طول گسل دورود

شماره حوضه‌ها	نام محدوده	حوضه آبریز	SL	S	Smf	Vf	Af	%Facet	Lat
۱	دورود-بروجرد	رودخانه چالانچولان	۲۲۸/۱	۱/۷۵	۱/۵۵	۱۰/۷۱	۷۴/۸۵	۹۰/۴	۱/۱۲۵
۲	دورود-بروجرد	تیره	۶۷/۹	-۰/۶۸۲	۱/۶۵	۱/۱۴۳	۳۰/۷۹	۸۸	۱/۱۲۵
۳	دورود-بروجرد	تیره	۱۹۸/۸۵	۱/۶۱	۱/۴۲	۲/۷	۱۵/۳۱	۹۴/۲	۱/۲۵
۴	سراب جلدون (سزار)	رودخانه گهر	۹۰/۶۸	۱/۱۲	-	-	۴۱/۴۸	-	۱/۱۲۵
۵	دورود-بروجرد	ماربره	۴۶۱	۱/۳۸	۱/۴۲	-۰/۵۴	۲۷/۸۹	۸۱/۳	۱/۱۲۵
۶	سراب جلدون (سزار)	رودخانه گهر	۵۹۹۱	۱/۲	-	-	۵۱/۰۳	-	۱/۱۲۵
۷	انوج	بختیاری	۱۸۹۷	۰/۶۷	-	-	۲۲/۶۹	-	۱/۱۲۵

جدول ۴. نتایج بررسی شاخص‌های مورفومتری حوضه‌ها در طول گسل دورود

شماره حوضه‌ها	حوضه آبریز	نام محدوده	Bs	T	SF	C	FF	Re	Lat
۱	رودخانه چالانچولان	دورود-بروجرد	۷۱۸	-۰/۲۶۶	۱/۴۴	۱/۴۸	-۰/۶۹۳	۰/۰۴	۱
۲	تیره	دورود-بروجرد	۱/۴۳	-۰/۵۳۸	۱/۹۸	۱/۴۲۷	-۰/۵۰۴	۰/۱۴۸	۱
۳	تیره	دورود-بروجرد	۲/۰۲	-۰/۳۲۵	۳/۰۱	۱/۴۲۱	-۰/۳۳۱	۰/۰۴۶	۱
۴	رودخانه گهر	سراب جلدون (سزار)	۲/۸۵	-۰/۳۶۷	۵/۴۳	۱/۷۶۷	۰/۱۹	۰/۰۶۲	۱
۵	ماربره	دورود-بروجرد	۲/۷۲	-۰/۷۲۷	۵/۲۴	۱/۸۶۱	۰/۱۸۳	۰/۰۶	۱
۶	رودخانه گهر	سراب جلدون (سزار)	۲/۶۹	-۰/۳۲۷	۵/۲۷	۱/۸۰۳	۰/۱۸۹	۰/۰۴۸	۱
۷	بختیاری	انوج	۲/۱۱	-۰/۵۸	۴/۳۱	۱/۷۵۵	-۰/۲۳۱	۰/۰۲۹	۱

ضریب مخروط‌گرایی از دیگر شاخص‌ها در بررسی‌های تکتونیک جوان می‌باشد. از آنجایی که شکل یک مخروط افکنه ساده شبیه یک مخروط است، فاصله گرفتن از این حالت نشان تغییرات محیطی و مخصوصاً تکتونیک منطقه می‌باشد (عباس نژاد، ۱۳۷۵).

$$\beta = \arcsin \left(\frac{(b/a)^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{0.5} \right)$$

در رابطه فوق α شیب مخروط در امتداد محور کوچک می‌باشد (Kellar and Pinter, 1999)، a قطر بزرگ و

تنها دارای یک آبراهه‌ی اصلی تغذیه کننده‌اند (Harvey, 1997). به نقل از عباس‌نژاد (۱۳۷۵) در نواحی دارای حرکات تکتونیکی فعال نهشته‌گذاری در راس مخروط‌افکنه‌ها صورت می‌گیرد. که باعث پرشدن جبهه کوهستان (راس مخروط‌افکنه) توسط رسوب می‌شود. پرشدن جبهه کوهستان باعث کاهش رده شاخه‌های کانال‌های تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه می‌شود و علت آن هم پرشدن کانال‌های تغذیه‌کننده قدیمی با رده‌های بالا، به وسیله‌ی رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه‌ها است که در نتیجه مخروط‌افکنه مستقیماً با رده‌های جدیدتر برخورد می‌کند (Sorriso-Valvo et al., 1998). چنانچه در جدول ۵ آورده شده اکثراً مخروط‌افکنه‌ها از یک آبراهه تغذیه‌کننده تشکیل شده‌اند که می‌تواند دال بر نقش گسل و فعالیت تکتونیکی منطقه باشد.

برای تعیین میزان فعالیت تکتونیکی منطقه مورد مطالعه از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی استفاده شد. با استفاده از فرمول زیر شاخص Lat برای منطقه محاسبه شد (Hamdouni et al., 2008).

$$Lat = S/N$$

S مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده، N تعداد شاخص‌های محاسبه شده است.

$1.5 < Lat < 2$ فعالیت زمین ساختی شدید $1.5 < Lat < 2$ فعالیت تکتونیکی زیاد.

$2 < Lat < 2.5$ فعالیت زمین ساختی متوسط و $2 < Lat < 2.5$ فعالیت‌های کم و ناچیز.

طبق شواهد و نتایج محاسبات بالا نشان می‌دهد که منطقه از نظر فعالیت تکتونیکی فعال بوده است. همچنین از نتایج بررسی‌های لرزه‌ای و نقشه چگالی رومرکز زمین لرزه‌های گستره گسل، نشان می‌دهد که گسل در تمام طول خود به صورت یکسان عمل نکرده بلکه در بخش شمالی نسبت به بخش جنوبی فعال تر بوده است (شکل ۱۰).

b قطر کوچک بیضی است مقدار β هر چه از یک کمتر باشد، میزان کج شدگی بیشتر است. طبق نتایج بررسی شده این شاخص، (جدول ۵) تمامی مقادیر به دست آمده کمتر از یک بوده که نشانگر کج شدگی زیاد بر اساس حرکات تکتونیکی است.

ضریب مخروط‌گرایی برای یک مخروط‌افکنه ساده برابر با ۱ می‌باشد، به عبارتی این مخروط‌افکنه کمتر تحت تاثیر عوامل مخرب و محدودکننده قرار گرفته است و هرچه این مقدار کمتر شود نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان تاثیر فرآیند فرسایش بر مخروط‌افکنه است که این امر خود در ارتباط با تکتونیک منطقه است. مقادیر به دست آمده همه کمتر از یک بوده که بیانگر تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه است (جدول ۵).

$$\text{ضریب مخروط‌گرایی} = \frac{\text{مساحت مخروط ایده‌آل}}{\text{مساحت مخروط افکنه}}$$

تاثیر تکتونیک بر پروفیل طولی مخروط افکنه

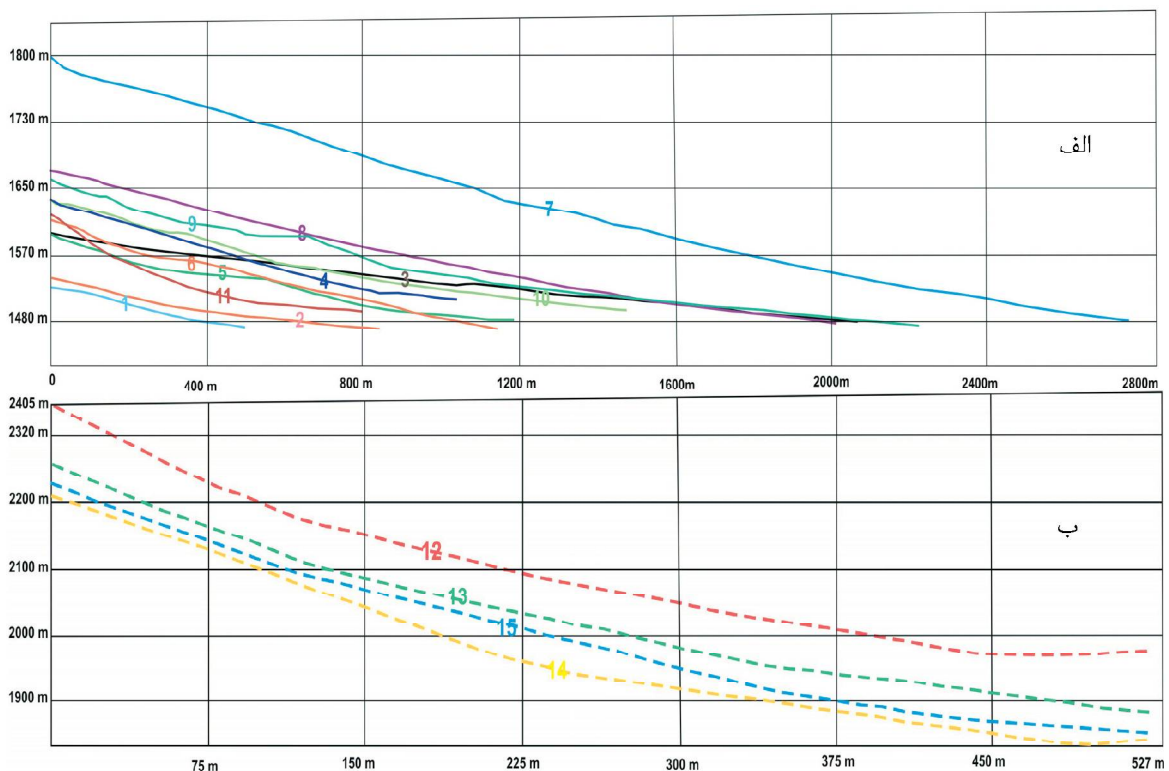
در سیستم‌هایی که ابتدا به وسیله‌ی تکتونیک کنترل می‌شوند، پروفیل طولی مخروط‌افکنه‌ها به صورت مقعر است (Viseras et al., 2003). پروفیل طولی مخروط‌افکنه‌ها برای درک میزان بریدگی و هموارشدگی مخروط‌افکنه‌ها تهیه می‌شود (Vilar and Ruiz, 2000). پروفیل طولی مخروط‌افکنه‌ها عامل موثر و تاثیرگذار در مورفولوژی آنها می‌باشد (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸). پروفیل‌های طولی ترسیم شده از مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی و جنوبی محدوده مورد بررسی به صورت جداگانه آورده شده است. حالت تعقر آنها نشان‌دهنده‌ی تاثیر تکتونیکی بر مخروط‌افکنه‌ها است که همگی در مسیر گسل تشکیل شده‌اند و متاثر از حرکت راست‌گرد گسل می‌باشند (شکل ۹-الف و ب).

تاثیر تکتونیک بر تعداد آبراهه‌های تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه‌ها

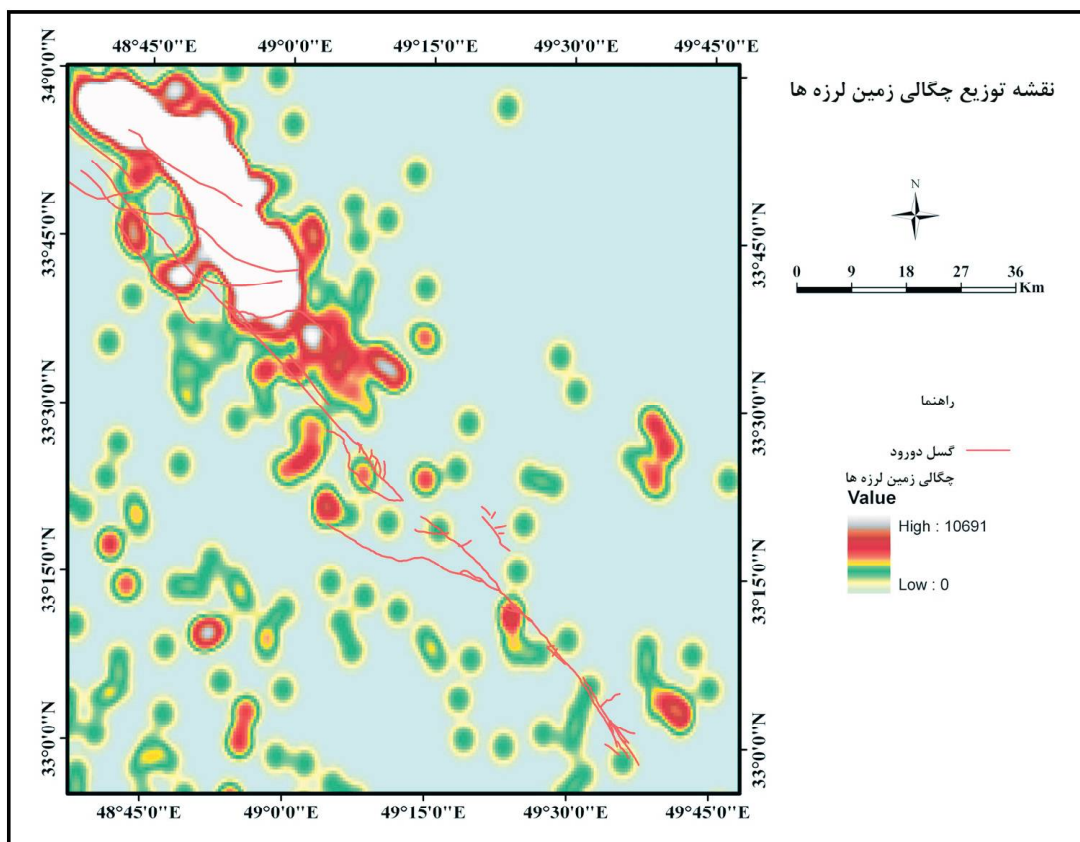
برخی از مخروط‌افکنه‌ها، به‌ویژه آن‌ها که در امتداد گسل‌های فعال تشکیل می‌شوند، اغلب

جدول ۵. نتایج بررسی شاخص‌های مورفومتریک روی مخروط‌افکنه‌های محدوده

شماره	β	α	a	b	مخروط‌گرایی	ارتفاع (متر)	تعداد آبراهه‌های تغذیه‌کننده	Lat
۱	-۰/۴۲۵	۱۳	۲۷۱۹	۵۲۵	-۰/۷۰۹	۱۷۹۴	اصلی ۱ و فرعی ۲	۱
۲	-۰/۴۶۳	۱۲	۲۰۳۸	۱۱۳۱	-۰/۶۱۶	۱۶۷۵	اصلی ۱ و فرعی ۱	۱
۳	-۰/۲۲۵	۹	۲۱۹۸	۱۸۴۹	-۰/۷۲	۱۶۵۴	اصلی ۱ و فرعی ۳	۱
۴	-۰/۵۳۹	۱۱	۵۵۳	۴۷۵	-۰/۷۴۱	۱۵۴۲	اصلی ۱	۱
۵	-۰/۴۱۷	۱۴	۸۹۸	۸۱۲	-۰/۷۹	۱۵۳۶	اصلی ۱	۱
۶	-۰/۵۰۴	۱۲	۲۰۷۱	۸۹۸	-۰/۵۴	۱۶۱۹	اصلی ۱ و فرعی ۲	۱
۷	-۰/۴۱۸	۱۲	۸۵۹	۵۴۲	-۰/۷۳۶	۱۶۳۹	اصلی ۱	۱
۸	-۰/۲۴۳	۱۶	۱۱۳۹	۶۲۸	-۰/۷۸	۱۵۸۹	اصلی ۱	۱
۹	-۰/۴۴۷	۱۳	۱۱۱۰	۵۶۱	-۰/۷۵۵	۱۵۹۴	اصلی ۱	۱
۱۰	-۰/۸۹۶	۱۴	۱۴۸۵	۹۱۴	-۰/۷۵۳	۱۵۹۵	اصلی ۱	۱
۱۱	-۰/۴۵۳	۱۷	۶۳۷	۵۶۷	-۰/۷۳۷	۱۵۹۸	اصلی ۱	۱
۱۲	-۰/۵۲	۱۰	۸۰۵	۳۰۲	-۰/۶۸	۲۲۵۳	اصلی ۱	۱
۱۳	-۰/۷۵	۱۸	۴۲۷	۲۳۷	-۰/۷۹	۲۲۸۱	اصلی ۱	۱
۱۴	-۰/۱۳	۱۶	۳۳۲	۲۹۲	-۰/۷۸	۲۳۰۰	اصلی ۱	۱
۱۵	-۰/۶۷	۱۷	۴۹۰	۲۸۶	-۰/۷۵	۲۴۰۵	اصلی ۱	۱



شکل ۹. الف) نیمرخ‌های طولی بخش شمالی، ب) نیمرخ‌های طولی بخش جنوبی



شکل ۱۰. نقشه تراکم رو به مرکز داده‌های لرزه‌ای حاصل از عملکرد گسل دورود

نتیجه‌گیری

در شکل‌گیری و توسعه مخروط افکنه‌ها بوده است. تکتونیک عامل اصلی تاثیرگذار در وسعت مخروط افکنه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه است و هیچ ارتباط معناداری بین وسعت مخروط افکنه‌ها با مساحت حوضه‌ی آبریز آنها وجود ندارد. بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه چنانچه در نیمرخ‌های طولی مخروط افکنه‌های شکل (۹ الف و ب) نشان داده شده است تقعرشان به سمت بالا است، که بیانگر فعال بودن حرکات زمین‌ساختی در زمان شکل‌گیری مخروط افکنه‌ها در دوران کواترنر است. با توجه به تمام بررسی‌های انجام گرفته، گسل در تمام طول خود از نظر جنبشی یکسان عمل نمی‌کند، بخش شمالی (دشت سیلاخور) در تمام سطح خود از رسوبات آبرفتی پوشیده شده و نسبت به بخش جنوبی که شامل واحدهای سنگی با محدوده سنی پالئوزوئیک بالایی مزوزوئیک و سنوزوئیک است، فعال‌تر است. همچنین داده‌های لرزه‌ای و تراکم بالای زمین لرزه‌ها در این بخش همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود می‌تواند دلیلی بر این

بر طبق نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک، منطقه مورد مطالعه دارای فعالیت نئوتکتونیکی بالا به‌شکل بالآآمدگی حوضه‌ها و فعالیت گسل‌ها است و براساس طبقه‌بندی LAT در رده ۱ قرار می‌گیرد. براین اساس، شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از فعالیت گسل و سطوح آبرفتی شکل گرفته و تحول یافته توسط حرکات نئوتکتونیکی نشان‌دهنده وجود و ادامه حرکات نئوتکتونیکی فعال در دوران کواترنر و عصر حاضر در حوضه‌های مورد مطالعه است. با توجه به نحوه‌ی پراکندگی مخروط افکنه‌های بزرگ و شاخص منطقه، می‌توان ارتباط مستقیمی بین موقعیت مخروط افکنه‌ها با فعالیت‌های تکتونیکی منطقه در دوران عهد حاضر برقرار کرد به‌طوری‌که تمامی مخروط افکنه‌ها در امتداد گسل فعال تشکیل شده‌اند، و اثرات این فعالیت را می‌توان با جابجایی راست‌بر آبراهه تغذیه‌کننده مخروط مشاهده کرد. همچنین فرآیندهای تکتونیکی به ویژه عملکرد گسل، مهمترین عامل

- گورابی، ا.، ۱۳۸۷. تأثیر نوزمین ساخت بر تحول لندفرم‌های کواترنری در ایران مرکزی، پایان‌نامه دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ۳۷۸.

- مقصودی، م.، باقری، س و مینائی، مسعود، ۱۳۸۸. بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های دامنه تاقدیس قلاجه)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۲، ۹۹-۱۲۴.

- یمانی، م.، مقیمی، ا. و تقیان، ع. ر.، ۱۳۸۷. ارزیابی تأثیرات نوزمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس، با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۸۸، ۱۳۶-۱۱۶.

- Bachmanov, D.M., Trifonov, V.G., Hessami, Kh. T., Kozhurin, T.P., Rogozhin, E.A., Hademi, M.C. and Jamali, F.H., 2004. Active faults in the Zagros and central Iran. *Tectonophysics*, 380, 221-241.

- Barbank, D. W and Anderson, R. S., 2001. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science USA, 274.

- Bull. W.B. and McFadden, L.D. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California: In: Doehring, D, O. *Geomorphology Symposium*. State University of New York, Binghamton, 1,2, 222-270.

- Giano, S. L., 2011. Quaternary alluvial fan systems of the Agri inter muontane basin (southern Italy): Tectonic and climatic controls. *Geological Carpathica*, 50, 65-76.

- Hamdouni, R., E.L., Iriggaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. and Keller, E. A., 2008. Assessment of relative active tectonics, south west border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173.

- Hessami, Kh., 2001. *Active Faults Map in Iran*, International Seismology and Earthquake Engineering Institute, Tehran.

مدعا باشد. در بخش شمالی حتی در سطح دشت، جنس واحدهای آبرفتی متفاوت است و شواهد رشد چین حاصل از عملکرد گسل دورود در بعضی نقاط به چشم می‌خورد. البته در خود این بخش نیز تفاوت در نرخ فعالیت تکتونیکی این گسل مشاهده می‌شود که نشانه آن در مهاجرت لرزه‌ای رخ داده در طول گسل مشهود است.

منابع

- آرام، ا.، ۱۳۶۶. علم در اسلام، تهران، انتشارات سروش، ۶۱-۳۷.

- تقیان، ع.، ۱۳۹۴. بررسی نقش تکتونیک در مورفولوژی، تقطیع و تحول مخروط افکنه موغار (شمال اردستان). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱، ۱۳۴-۱۱۹.

- سپهوند، ا.، ۱۳۹۴. بررسی تغییرات ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در مخروطه افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوضه سیلاخور). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۰۷.

- رامشت، م. ح.، عباسی، ع. ر. و معیری، م.، ۱۳۸۷. تحلیل فضایی و ژنتیکی مخروط افکنه‌های ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۸۸، ۹۷-۱۱۶.

- خیام، م. و مختاری کشکی، د.، ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۴، ۱-۱۰.

- روستایی، ش.، رجبی، م. و سمندر، ن.، ۱۳۹۴. بررسی نقش عوامل در تحول ژئومورفولوژی مخروط افکنه و بستر حوضه اسکوچای. فصلنامه هیدروژئومورفولوژی، ۲، ۴۱-۶۰.

- زرگرزاده، م.، رنگزن، ک.، چرچی، ع. و آبشیرینی، ا.، ۱۳۸۶. مطالعه تکتونیک فعال منطقه زاگرس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای مورفومتریک در محیط GIS. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

- عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۷۵. پژوهش‌های ژئومورفولوژی در دشت رفسنجان. پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، ۴۷۵.

- کمالی، ز.، هیهات، م. م.، نظری، ح. و خطیب، م. م.، ۱۳۹۶. تحلیل ناهمسانی جنبشی گسل دورود (جنوب‌باختر ایران)، با استفاده از فرکتال، کرنل و ریخت‌زمین‌ساختی. پذیرش در فصلنامه علوم زمین، ۱۰۹، ۷-۲۲.

- Hermas, E. A. Abou El-Magd, I. H. and Saleh, A. S. 2010. Monitoring the lateral channel movements on the alluvial fan of Wadi Feiran Drainage Basin, South Sinai, Egypt using Multi Temporal Satellite Imagery, *Journal of African Earth Sciences*, 58,1, 89-96.
- Harvey, A.M., 1997. *The Role of Alluvial Fans in Arid-Zone Fluvial Systems*. Wiley, Chichester, 231-259.
- Ioannis, M. T., Ioannis, K. K. and Pavlides, S., 2006. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf of Corinth (Beotia, central Greece). *Tectonophysics*, 453, 211-232.
- Keller, E. A. and Pinter, N., 1999. *Active Tectonics. Earthquakes Uplift and Landscape*. New Jersey, 338.
- Keller, E. A. and Pinter, N., 2002. *Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape (second edition)*: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 362.
- Li, T., youli. Y., Jingchun, T. L. and Duan, F., 1999. Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. *Geomorphology*, 28, 299-308.
- Ramirez-Herrera, M. T., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23,4, 317-322.
- Tchalenko, J. and Braud, J., 1974. Seismicity and structure of the Zagros (Iran): the Main Recent Fault between 33° and 35°N, *Philos. The Geological Society of London*, 277, 1-25.
- Sarriso-Valvo, M., Antronico, L. and Pera, E., 1998. Controls on modern fan morphology in Calabria, Southern Italy. *Geomorphology*, 24,2,169-187.
- Viserose, C., Calvache, M., Soria, J. and Fernandez, J., 2003. Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space. Examples from the Betic Cordillera, Spain. *Geomorphology*, 50, 181-202.