فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۴، شماره ۵۳، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۱۷-۳۰

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

زهرا کمالی[۱و*]، محمودرضا هیهات[۲]، حمید نظری[۳] و محمدمهدی 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 Gelobal Mapper و GIS 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 نوزمین‌ساختی 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 نوزمین‌ساختی فعال‌تر می‌باشد.

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

مقدمه

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

* نویسنده مرتبط: zahrakamali@birjand.ac.ir

کـــه با تحلیل آنها می‌تـــوان در مورد وقـــوع تغییرات مذکور اظهار نظر کرد (روســـتایی و همکاران، ۱۳۹۴). تغییرات آب و هوا موجب افزایش یا کاهش پوشـــش گیاهی، تغییر میزان روان آب، بار رســـوبی رودخانه‌ها و در نتیجه تغییر فرآیندهای فرسایشـــی در سطح مخروط افکنه می‌شود و تغییر لندفرم را در پـــی دارد (Keller and Pinter 1999). در مناطق دارای فعالیت تکتونیکی، اشـــکال زمین حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیر حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوســـته و فرسایش یا رســـوب‌گذاری توسط فرآیندهای سطحی است (Ioannis et al., 2006). تکتونیک با تغییر ســـطح اساس، موجب تغییر فرآیندهای فعال در سطح مخروط افکنه‌ها شده و روند تکاملی مخروط افکنه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (خیام، و همـــکاران ۱۳۸۲). مخروط افکنه‌ها اشـــکال مخروطی یا بادبزنی هستند که بیشتر در جبهه کوهستان‌ها و کوهپایه‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند (Barbank and Anderson, 2001). تغییـــرات آب و هوا و حرکات تکتونیک دو عامل مهم کنترل‌کننده سیستم مخروط افکنه‌ها هستند (Li et al., 1999). وقوع رویدادهای تکتونیکی (گســـلش، چین‌خوردگی و فرونشـــینی یا بالاآمدگـــی) واکنش مخروط افکنه را در پی داشـــته؛ به‌گونه‌ای که این واکنش می‌تواند در نوع، اندازه، شکل رســـوب و مورفولوژی مخروط افکنه ثبت گردد. برخی از این واکنش‌ها به‌صورت تقطیع مخروط افکنه، جابه‌جایی مرکز بیشینه رســـوبی و کانون‌های واگرای شبکه هیدروگرافی روی مخروط‌ها ظاهر می‌شود (تقیان، ۱۳۹۴).

اولیـــن مطالعـــه ژئومورفولوژیک در زمینه دانه ســـنجی مخروط افکنه‌ها توســـط ابوریحان بیرونی انجام شده است. وی بـــا مطالعه عوامل تشـــکیل‌دهنده جلگـــه هند نتیجه می‌گیرد که قلوه‌ســـنگ‌ها از بالا به پایین دارای جورشـــدگی اســـت. آرام (۱۳۶۶) و رامشـــت و همکاران، (۱۳۸۷) با ارائه مجموعه‌ای از نقشـــه‌های مخروط افکنه‌هـــا در دره مرگ در کالیفرنیا اختلافات ژئومورفولوژیک را نشان داده‌اند. یمانی و همـــکاران، (۱۳۸۷) و (Bull and MC Fadden, 1977; Ramirrez and Herrera, 1988) Keller et al, 2002. رفتار متقابل حرکات تکتونیک و ساختارهای ژئومورفولوژیک در مناطق مختلف را با استفاده از روش‌های تجربی آزموده و برای تحلیل تحولات لندفرم‌های کواترنری ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی از شـــاخص‌های ژئومورفیک اســـتفاده نموده‌اند. Hamdouni et al., (2008) بـــا اســـتفاده از شـــاخص‌های ژئومورفیک، تحول شـــبکه‌های زهکشـــی و تغییرات جبهه کوهستان بر اثر حرکات تکتونیکی را در سیرانوادا بررسی کردند. Giano (2011) تأثیرات عوامـــل آب و هوایی و فعالیت‌های تکتونیکی بر مخروط افکنه‌ها را در یکی از حوضه‌های جنوبی ایتالیا بررسی کرده است.

مطالعات پیشـــین در منطقه بیشتر در چارچوب فعالیت لرزه‌ای و هیدروژئولوژی به‌خصوص در دشت سیلاخور انجام گرفته اســـت. از میان مطالعات مورفولوژیکی صورت گرفته می‌توان به بررســـی تغییرات ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در مخروط افکنه‌ها با اســـتفاده از شـــاخص‌های و شـــواهد ژئومورفولوژی دشت سیلاخور توسط سپهوند (۱۳۹۴) اشاره کرد. ایشـــان بیان داشتند که تاثیر گسل در سطح چشم‌گیر نمی‌باشـــد. زرگـــرزاده و همـــکاران (۱۳۸۶) با اســـتفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای مورفومتریک در محیط GIS تکتونیـــک فعال در منطقه زاگرس را با شـــاخص‌های ژئومورفیک در محیط GIS بررســـی 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 ســـطح زمین می‌تواند گامی موثر در تحلیل نئوتکتونیک باشـــد. تقوی گودرزی (۱۳۹۳)، که به بررســـی فرآیندهای ژئومورفولوژیکـــی (تغییرات الگوی کانال رودخانه وروانه‌های ماسه‌ای) ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی گسل جوان زاگرس در دشت سیلاخور پرداخته است، بیان داشت از جملـــه فرآیندهای ژئومورفولوژیکی ناشـــی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی تغییر الگوی کانال رودخانه‌ها و روانه‌های ماسه‌ای می‌باشـــند که مناطق تحت تاثیر این فرآیندها ممکن است صدمات و خسارات فراوانی ببینند. دشت سیلاخور در شمال شرق استان لرستان باوجود گسل‌های فعال وتوان لرزه‌ای بالا قرار گرفته اســـت که تحت تاثیر این فعالیت‌ها احتمال وقوع روان‌گرایی و تغییر الگو و کانال رودخانه‌ی ســـیلاخور در این دشت دیده می‌شود و نتیجه اینکه وجود نهشته‌های آبرفتی

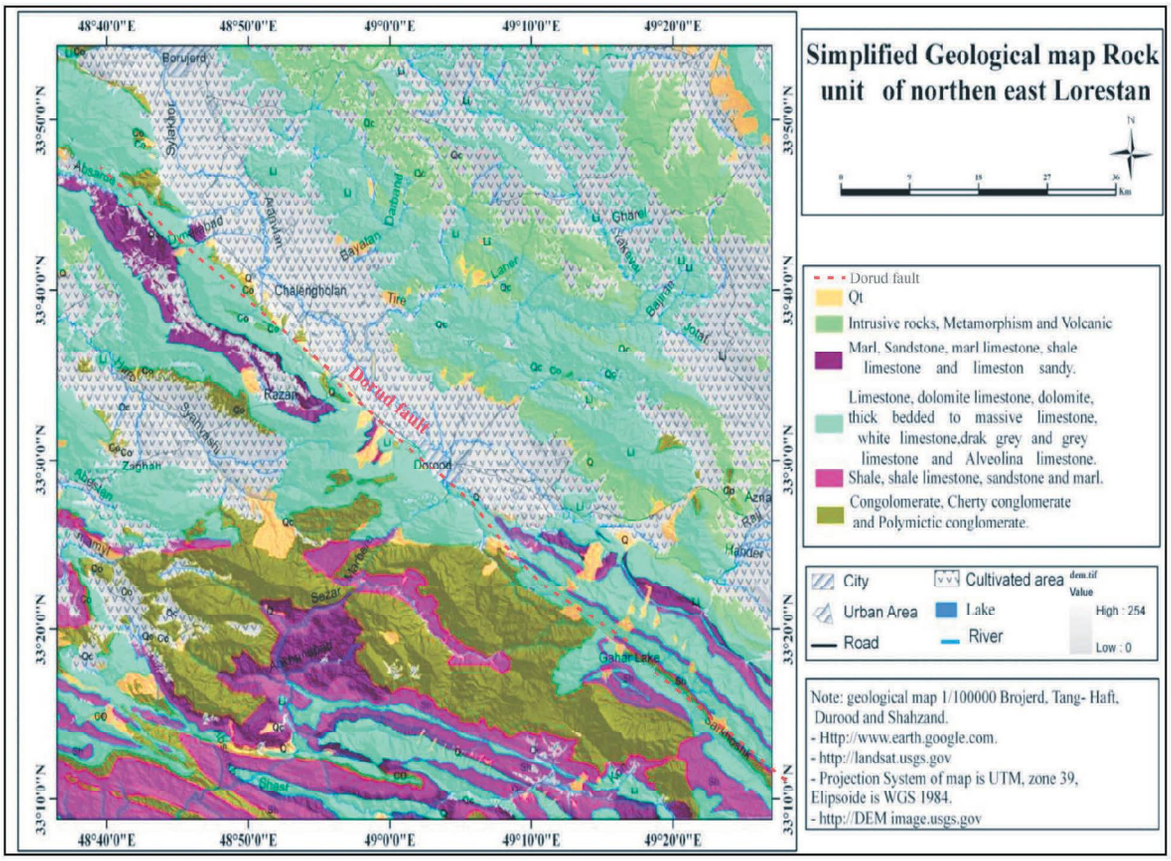
در دشت سیلاخور و اطراف شهرستان درود، پتانسیل بالایی برای بروز روان‌گرایی دارد.

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

زمین‌شناسی

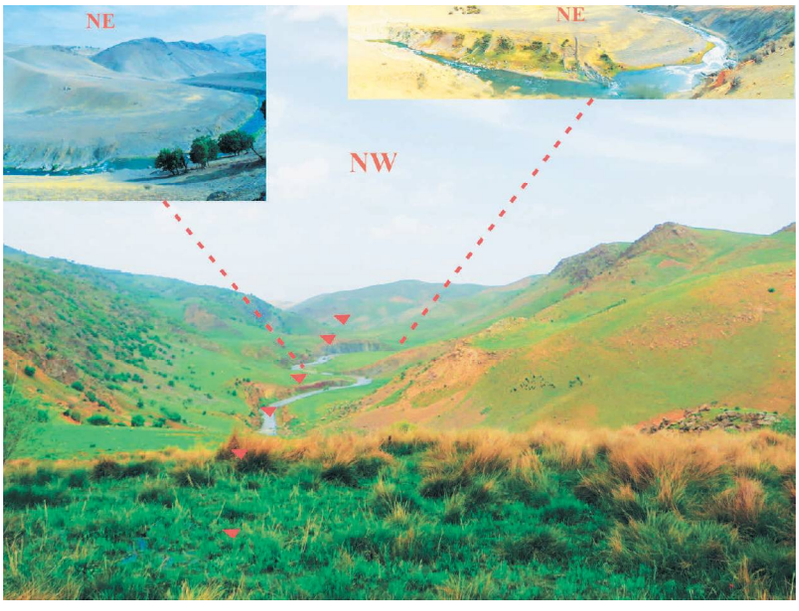
منطقه مورد مطالعه در پهنه چین‌خورده-رانده زاگرس واقع شده است. گسل اصلی عهد حاضر زاگرس یک گسل کواترنری با عملکرد راستالغز راست‌بر است که نخستین بار از سوی Tchalenko and Braud، (1974) معرفی شد. Hessami (2001) گسل اصلی عهد حاضر زاگرس را در نقشه گسل‌های فعال ایران به‌عنوان گسل کواترنری معرفی کردند و دلیل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

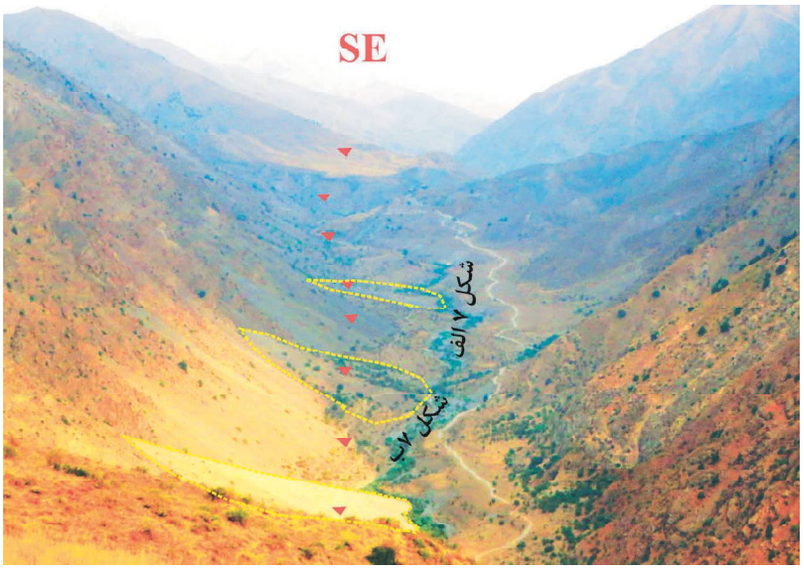


شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، گسل دورود که با خط قرمز مشخص شده است

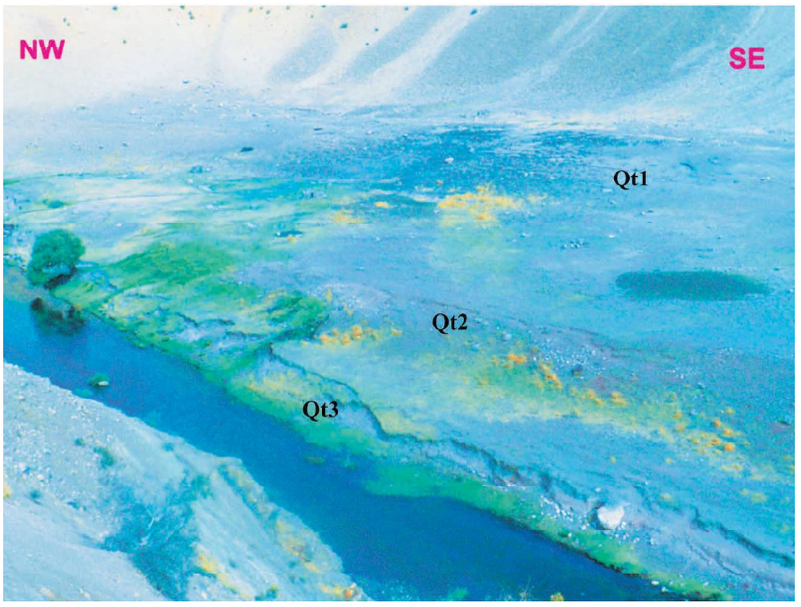
شکل ۲. مسیر عبور گسل در جنوب شهرستان دورود



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. پادگانه‌های رودخانه‌ای در مسیر گسل

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 °۵۰ تا "۳۰ °۴۸ طول خاوری و °۳۳ تا °۳۴ عرض شمالی قرار دارد. شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ ساختارهای حاصل از عملکرد گسل، مانند دره گسلی، پادگانه‌های رودخانه‌ای، پیچان‌ها رودخانه و مانند آنها را نشان می‌دهند.

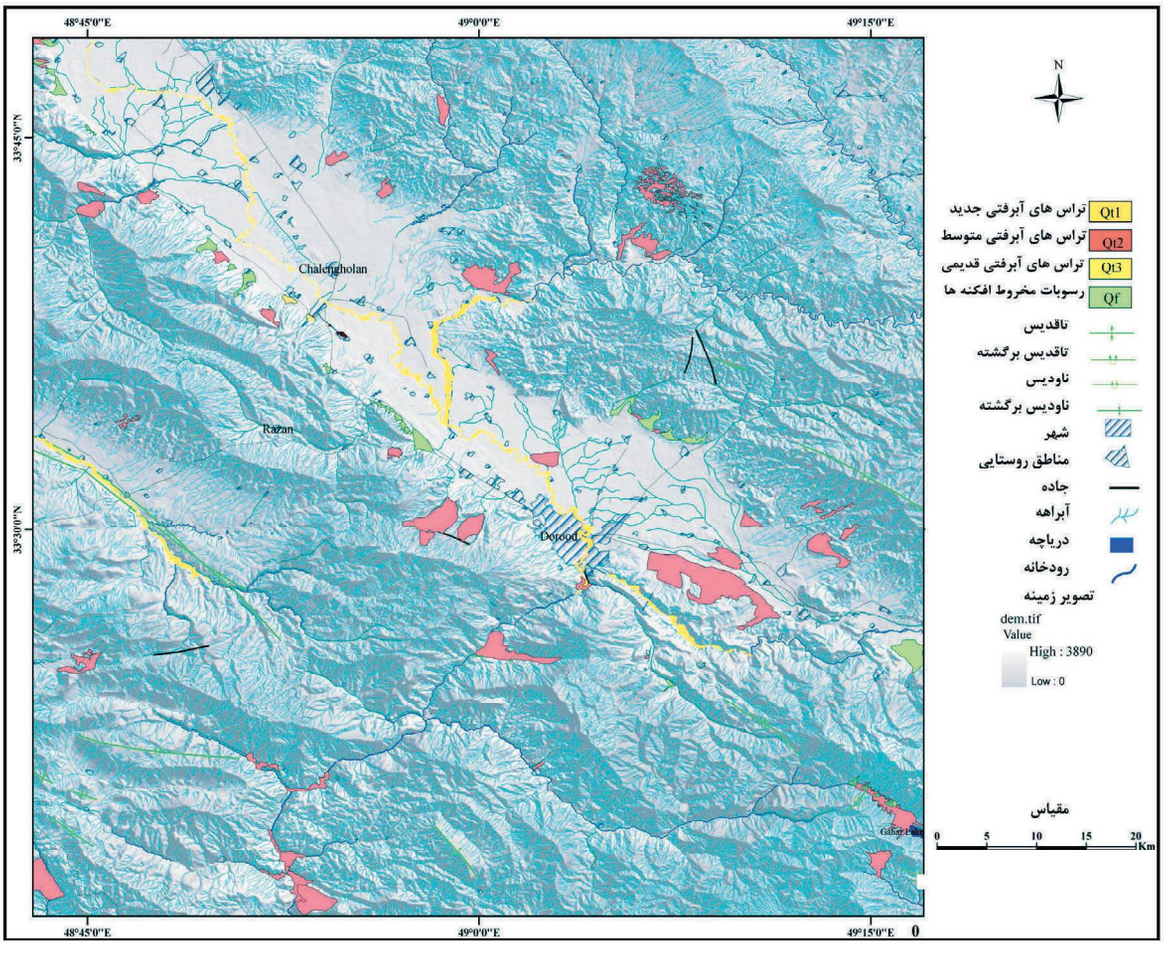
روش پژوهش

در این پژوهش از داده‌های حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیک شامل: پیچ‌وخم کوهستان (smf)، مسطح‌شدگی پیشانی کوهستان، نسبت پهنا به عمق دره (Vf)، پیچ‌وخم رودخانه‌S، 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 مخروط گرایی 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 ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای IRS و مدل ارتفاعی DEM10m 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.

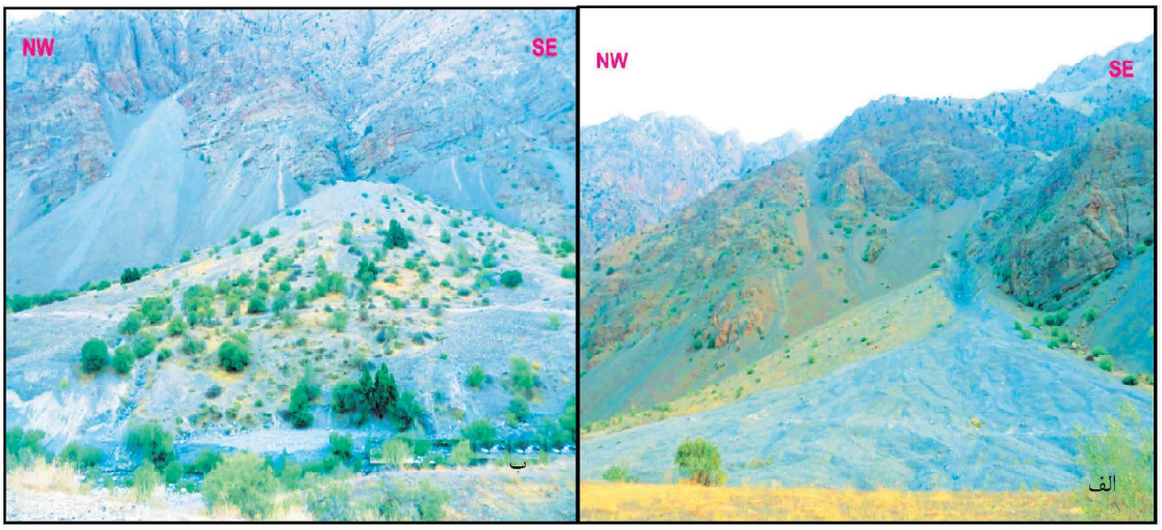
بحث

پارامترهای کمی حوضه‌های زهکشی و مخروط‌افکنه‌های 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 تکتونیکی ابزاری مفید و قابل اطمینان هستند (Ramirez and Herrera, 1998). این شاخص‌ها می‌توانند ناهنجاری‌های موجود در سیستم‌های

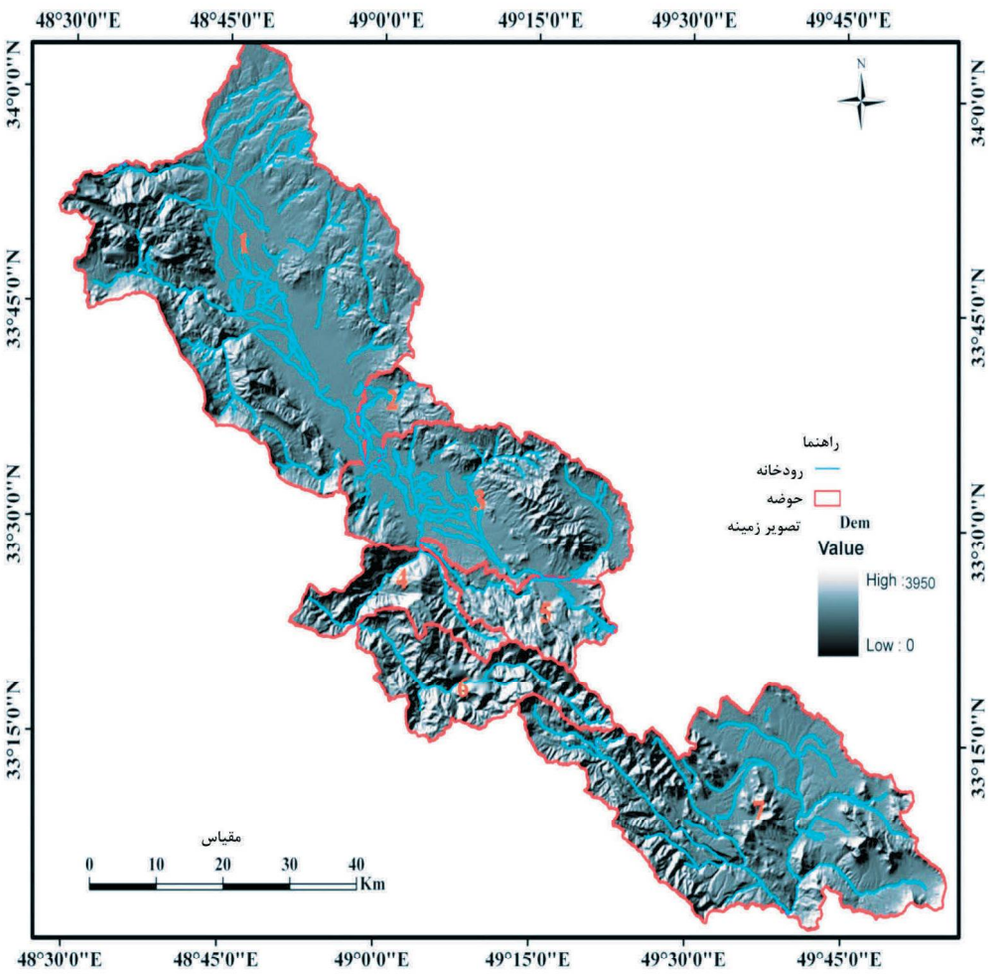
رودخانه‌ای در کوهســـتان و جبهه کوهستان را آشکار کرده و وجود یا نبـــود فعالیت‌های تکتونیکی را مشـــخص کنند (Hamdouni et al., 2008). شـــکل مخـــروط افکنه‌های بررسی شده را نشان می‌دهد. اهمیت مخروط افکنه‌ها در این است که اختلاف فرآیندهای تکتونیکی نظیر بالاآمدگی کوه‌ها در حجم و محل تشـــکیل مخروط افکنه‌ها تاثیر می‌گذارد و بدین‌صورت که وقتی میزان بالاآمدگی پیشانی کوه‌ها نسبت به میزان حفرشدگی به سمت پایین‌رود و رسوب‌گذاری زیاد باشـــد، رسوب‌گذاری در راس مخروط افکنه صورت گرفته و جوان‌ترین بخش‌های مخروط افکنه در نزدیکی راس آن ایجاد می‌شوند. اما اگر میزان بالاآمدگی پیشانی کوه‌ها کمتر یا برابر میزان حفرشدگی به ســـمت پایین‌رود باشد، راس مخروط به‌وسیله رود حفر و رسوب‌گذاری به بخش‌های پایین‌تر منتقل شده و بخش جوان‌تر در فواصل بیشتری از پیشانی کوه تشکیل می‌شـــوند. چند مخروط‌افکنه موجود در محدوده در شکل نشان داده است. اثر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی را می‌توان در محل جای‌گیری مخروط افکنه مشاهده کرد. گسل دورود با جابه‌جایی راست‌بر و انحراف مسیر رودخانه‌های جاری در طول خود تا حدود زیادی در جایگیری مخروط افکنه‌ها نقش ایفا می‌کند. به‌منظور بررسی دقیق نرخ فعالیت تکتونیکی در منطقه بر روی مخروط‌افکنه‌ها با در نظر داشتن وسعت زیاد آن‌ها، محدوده‌موردبررسی‌به‌دوبخش‌شمالی‌وجنوبی‌تقسیم شد. همچنین به‌منظور بررسی شـــاخص‌های ژئومورفیک، منطقه به هفت زیر حوضه آبریز تقســـیم شـــد (شـــکل ۷). برای ارزیابی کمی فعالیت‌هـــای تکتونیکی منطقه از برخی شاخص‌های ژئومورفولوژیک استفاده شده است (جدول‌های ۱ و ۲ برای شاخص‌ها و جدول‌های ۳، ۴ و ۵ برای نتایج).



شکل ۶. مخروط افکنه‌های بررسی شده (به رنگ سبز) در امتداد گسل دورود

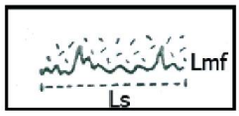
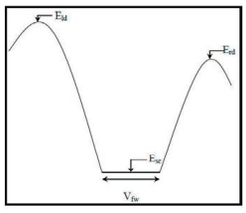
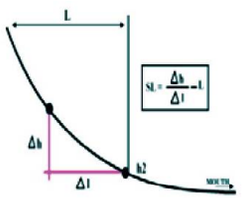
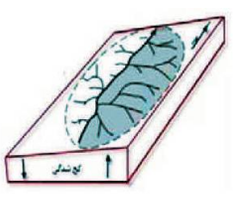
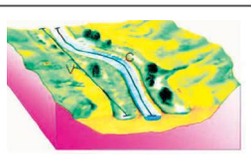
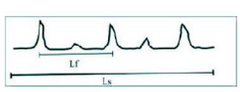


شکل ۷. نمونه‌های از مخروط افکنه‌های تشکیل شده در مسیر گسل



شکل ۸. تصویر مدل ارتفاعی STRM زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه

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

شاخص‌های کمی	تعریف اجزای معادله	روش اندازه‌گیری	معنی‌داری
سینوسیته جبهه کوهستان Smf= Lmf/Ls	smf: شاخص سینوسیته جبهه کوهستان، Lmf طول جبهه کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه و Ls طول مستقیم جبهه کوهستان است.		مقادیر عددی نزدیک به یک شاخص فوق بیانگر مناطق دارای حرکات تکتونیک فعال و جبهه کوهستان دارای نرخ بالاآمدگی زیاد است (Kellar and pinter، 1999)
شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره Vf Vf = 2 vfw/[(Eld-ESC)+(ERD-ESC)]	ESC ارتفاع مطلق، ERD ارتفاع دیواره سمت راست دره و vfw عرض بستر دره و Eld ارتفاع دیواره سمت چپ بستر دره است.		هر چه میزان این شاخص کوچکتر باشد، نشان‌دهنده 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)
شاخص گرادیان رودخانه Sl Sl= Δh/Δl	Δh اختلاف ارتفاع در مقطعی خاص از رودخانه Δl فاصله افقی همان مقطع l طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه است.		مقادیر بالای بی‌نظمی، گویای کلاس ۱ فعالیت‌های تکتونیکی است و میزان کم آنومالی در نمیرخ طولی رودخانه، کلاس ۲ حرکات تکتونیکی را نشان می‌دهد (Hamdouni et al، 2008)
شاخص عدم تقارن آبراهه (AF = 100 (Ar/At	Ar مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل سمت راست آبراهه مساحت کل حوضه At و زهکشی است.		اگر مقادیر عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن زهکشی‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی ئ 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
پیچ‌وخم رودخانه S=c/v	c طول رودخانه و v طول دره در خط مستقیم است.		مقادیر بالای S حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است و هر چه کمتر باشد، دلیل فعال بودن تکتونیک در منطقه است.
شاخص درصد رخدار شدن پیشانی کوهستان Facet%= (Ls/Lf)	Ls طول سطح در پیشانی کوهستان و Lf طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است.		در مناطق دارای فعالیت تکتونیکی زیاد مقدار این شاخص به ۱۰۰ نزدیک می‌شود (Keller and Pinter، 2002).
شاخص تقارن توپوگرافی عرضی T= Da/Dd	Da فاصله نوار مئاندری فعال از خط میانی حوضه آبریز و Dd فاصله خط میانی حوضه آبریز از خط مرز حوضه است.		مقدار عددی این شاخص در حوضه‌های متقارن صفر و با کاهش تقارن مقدار T به عدد یک نزدیک می‌شود.

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

شاخص‌های کمی	تعریف اجزای معادله	معنی‌داری
شاخص Bs (نسبت شکل حوضه) $Bs=BL/Bw$	BL طول حوزه، از مجرای خروجی تا بالاترین نقطه آن و BW عرض حوزه	در حوضه‌های غیرفعال مقدار نسبت شکل حوضه کمتر از ۱ و در حوضه‌های فعال از نظر تکتونیکی این مقدار بیشتر از ۱ است.
عامل شکل حوضه $SF=L^2/S$	L طول حوضه S مساحت حوضه است.	در حوضه‌ای که از نظر تکتونیکی فعال‌تر باشد این شاخص از ۱ بیشتر و حوضه‌های غیرفعال این شاخص ۱ می‌باشد.
عامل فرم حوضه $FF=P/L^2$	P محیط حوضه و L طول حوضه است.	در حوضه‌های غیرفعال از نظر تکتونیکی، مقدار نسبت این شاخص ۱ و در حوضه‌های فعال تکتونیکی این مقدار بیشتر از ۱ می‌باشد.
ضریب فشردگی $C=P\times0.28/\sqrt{S}$	P محیط حوضه و S مساحت حوضه است.	هرچه حوضه از نظر تکتونیکی فعال‌تر باشد مقدار این اندیس از ۱ بیشتر می‌شود. در حوضه‌های غیرفعال مقدار این اندیس ۱ است.
نسبت کشیدگی $R=L'/L$	L طول حوضه و L' قطر دایره هم مساحت است.	هرچه منطقه از نظر تکتونیکی فعال‌تر باشد مقدار این شاخص از ۱ کوچک‌تر می‌شود.

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	۷/۱۲	-	۰/۶۳	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	-	۰/۴۳	۵۱/۰۳	-	۱/۱۲۵
۷	انوچ	بختیاری	۱۸۹۷	۰/۶۷	-	۰/۳۶	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	۱/۱۸	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	انوچ	۲/۱۱	۰/۵۸	۴/۳۱	۱/۷۵۵	۰/۲۳۱	۰/۰۲۹	۱

ضریب مخروط‌گرایی از دیگر شاخص‌ها در بررسی‌های تکتونیک جوان می‌باشد. از آنجایی‌که 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).

اگر سطح مخروط افکنه کج شود، منحنی‌های میزان روی مخروط که در حالت عادی به‌صورت متحدالمرکز و شبیه دایره هستند، به بیضی متمایل شده و در این حالت محور بزرگ بیضی در جهت موازی با کج‌شدگی قرار می‌گیرد (Keller and Pinter، 2002) در چنین شرایطی می‌توان مقدار کج‌شدگی را با رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

$$\beta = \arcsin\left(\left((b/a)^2 \sin^2\alpha + \cos^2\alpha\right)0/5\right)$$

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

b قطـر کوچـک بیضی اسـت مقـدار β هر چـه از یک کمتر باشـد، میزان کج شدگی بیشـتر است. طبق نتایج بررسی‌شده این شاخص، (جدول ۵) تمامی مقادیر به‌دست آمده کمتر از یک بوده که نشانگر کج شدگی زیاد بر اساس حرکات تکتونیکی است.

ضریب مخروط گرایی برای یک مخروط افکنه ساده برابر با ۱ می‌باشد، به عبارتی این مخروط‌افکنه کمتر تحت تاثیر عوامل مخرب و محدودکننده قرار گرفته اسـت 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 به‌دست آمده همه کمتر از یک بوده که بیانگر تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه است (جدول ۵).

مساحت مخروط ایده‌آل ÷ مساحت مخروط افکنه = ضریب مخروط گرایی

تاثیر تکتونیک بر پروفیل طولی مخروط افکنه

در سیسـتم‌هایی که ابتدا به‌وسیله‌ی تکتونیک کنترل می‌شوند، پروفیل طولی مخروط‌افکنه‌ها به‌صورت مقعر است (Viseras et al., 2003). پروفیل طولی مخروط افکنه‌ها برای درک میزان بریدگی و هموارشـدگی مخروط‌افکنه‌ها تهیه می‌شـود (Vilar and Ruiz, 2000). پروفیل طولی مخروط‌افکنه‌ها عامل موثـر و تاثیرگذار در مورفولوژی آنها می‌باشد (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸). پروفیل‌های طولی ترسیم شـده از مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه در بخش شـمالی و جنوبی محدوده مورد بررسـی به‌صورت جداگانه آورده شده اسـت. حالت تعقر آنها نشان‌دهنده‌ی تاثیر تکتونیکی بر مخروط‌افکنه‌ها است که همگی در مسیر گسل تشـکیل شـده‌اند و متاثر از حرکت راست‌گرد گسل می‌باشند (شکل ۹-الف و ب).

تاثیر تکتونیک بـر تعداد آبراهه‌هـای تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه‌ها

برخـی از مخروط‌افکنه‌هـا، به‌ویـژه آن‌هـا کـه در امتـداد گسـل‌های فعـال تشـکیل می‌شـوند، اغلـب تنهـا دارای یـک آبراهـه‌ی اصلـی تغذیـه کننده‌انـد (Harvey, 1997). بـه نقـل از عباس‌نـژاد (۱۳۷۵) در نواحی دارای حرکات تکتونیکی فعال نهشته‌گذاری در راس مخروط‌افکنه‌ها صورت می‌گیرد. که باعث پرشـدن جبهه کوهسـتان (راس مخروط‌افکنه) توسـط رسوب می‌شود. پر شـدن جبهه کوهسـتان باعث کاهش رده شـاخه‌های کانال‌هـای تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه می‌شـود و علت آن هم پرشـدن کانال‌های تغذیه‌کننده قدیمی با رده‌های بالا، به‌وسیله‌ی رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه‌ها است که در نتیجه مخروط‌افکنه مستقیماً با رده‌های جدیدتر برخورد می‌کند (Sorriso-Valvo et al., 1998). چنانچـه در جدول ۵ آورده شده اکثرا مخروط افکنه‌ها از یک آبراهه تغذیه‌کننده تشکیل شـده‌اند 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 اسـتفاده 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.

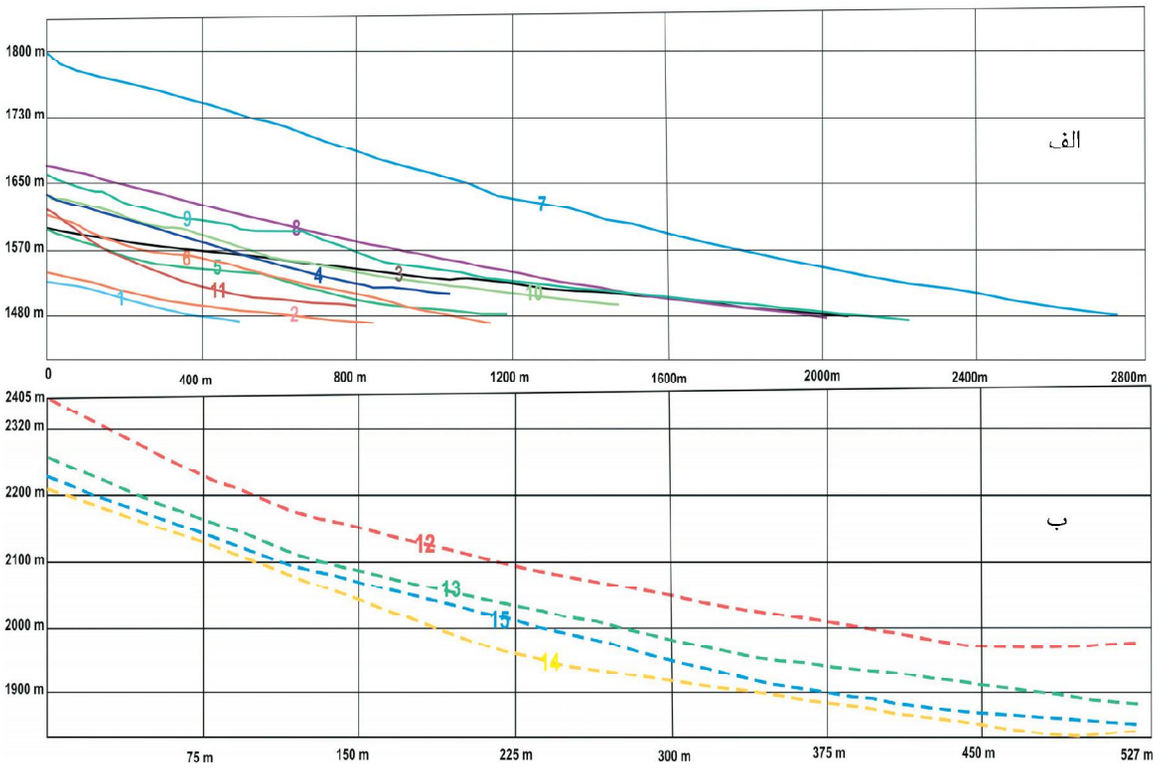
1<Lat<1.5 فعالیت زمین ساختی شدید 1.5<Lat<2 فعالیت تکتونیکی زیاد.

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

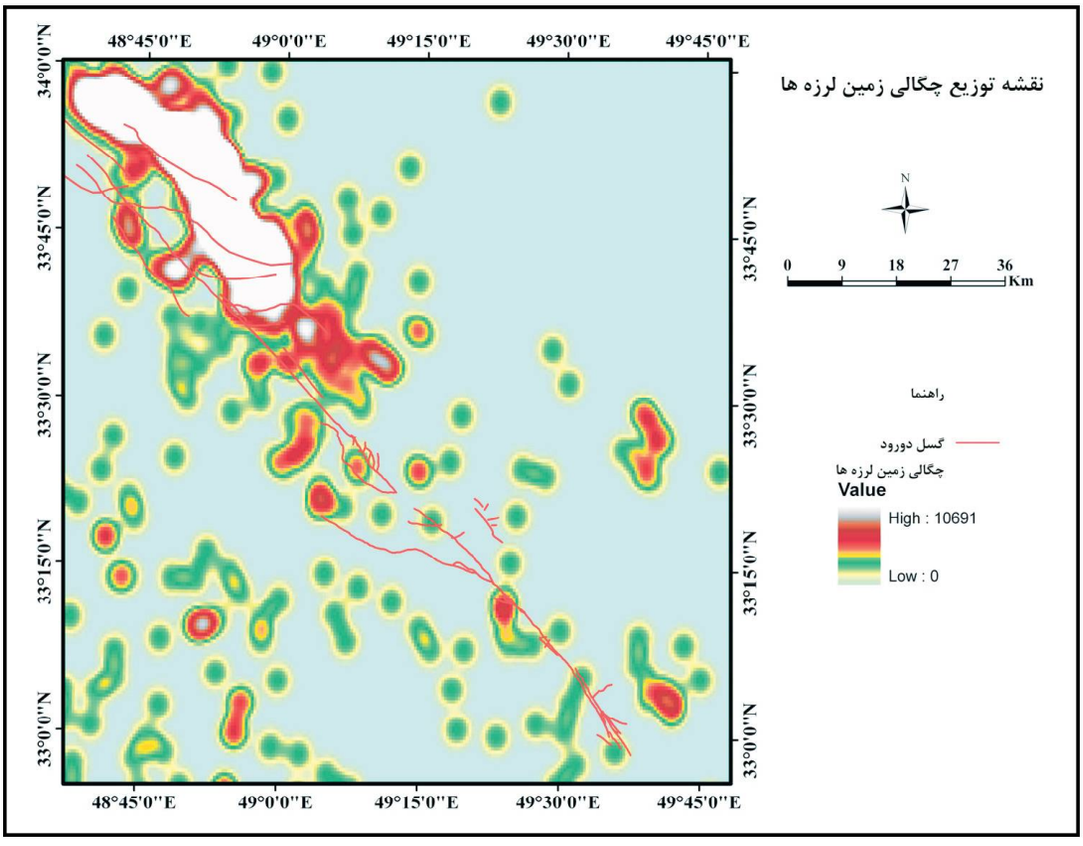
طبق شـواهد و نتایج محاسـبات بالا نشان می‌دهد کـه منطقه از نظـر فعالیت تکتونیکی فعال بوده اسـت. همچنیـن از نتایج بررسـی‌های لرزه‌ای و نقشـه چگالی رومرکز زمین‌لرزه‌های گسـتره گسل، نشـان می‌دهد که گسل در تمام طول خود به‌صورت یکسان عمل نکرده بلکه در بخش شمالی نسبت به بخش جنوبی فعال‌تر بوده است (شکل ۱۰).

جدول ۵. نتایج بررسی شاخص‌های مورفومتریک روی مخروط‌افکنه‌های محدوده

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



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

بر طبق نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک، منطقه مورد مطالعه دارای فعالیت نئوتکتونیکی بالا به‌شکل بالاآمدگی حوضه‌ها و فعالیت گسل‌ها است و براساس طبقه‌بندی LAT در رده۱ 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 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 مخروط‌افکنه‌های شکل (۹ الف و ب) نشان داده شده است تقعرشان به سمت بالا است، که بیانگر فعال بودن حرکات زمین‌ساختی در زمان شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها 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 سنوزونیک است، فعال‌تر است. همچنین داده‌های لرزه‌ای و تراکم بالای زمین‌لرزه‌ها در این بخش همان‌طورکه در شکل ۱۰ دیده می‌شود می‌تواند دلیلی بر این

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

منابع

- آرام، ا.، ۱۳۶۶. علم در اســـلام، تهران، انتشارات سروش، ۶۱-۳۷.
- تقیـــان. ع.، ۱۳۹۴. بررســـی نقـــش تکتونیک در مورفولوژی، تقطیع و تحول مخروط افکنه موغار (شـــمال اردستان). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱، ۱۳۴-۱۱۹.
- ســـپهوند، ا.، ۱۳۹۴. بررســـی تغییرات ناشـــی از فعالیت‌های تکتونیکی در مخروطه افکنه‌ها با اســـتفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژی (مطالعه‌ی موردی: حوضه سیلاخور). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۰۷.
- رامشـــت، م. ح.، عباســـی، ع. ر. و معیری، م.، ۱۳۸۷. تحلیـــل فضایی و ژنتیکی مخروط افکنه‌های ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۸۸، ۱۱۶-۹۷.
- خیام، م. و مختاری کشـــکی، د.، ۱۳۸۲. ارزیابی عملکـــرد فعالیت‌های تکتونیکـــی بر اســـاس مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۴، ۱۰-۱.
- روســـتایی، ش.، رجبی، م. و سمندر، ن.، ۱۳۹۴. بررسی نقش عوامل در تحول ژئومورفولوژی مخروط افکنه و بستر حوضه اسکوچای. فصلنامه هیدروژئومورفولوژی، ۲، ۶۰-۴۱.
- زرگـــرزاده، م.، رنگـــزن، ک.، چرچـــی، ع. و آبشـــیرینی، ا.، ۱۳۸۶. مطالعـــه تکتونیـــک 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 دشـــت رفســـنجان. پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، ۴۷۵.
- کمالی، ز.، هیهات، م. م.، نظری، ح. و خطیب، م.م.، ۱۳۹۶. تحلیل ناهمســـانی جنبشـــی گسل دورود (جنوب‌باختـــر ایـــران)، با اســـتفاده از فرکتـــال، کرنل و ریخت‌زمین‌ساختی. پذیریش در فصلنامه علوم زمین، ۱۰۹، ۲۲-۷.
- گورابی، ا.، ۱۳۸۷. تأثیر نوزمین ســـاخت بر تحول لندفرم‌های کواترنری در ایـــران مرکزی، پایان‌نامه دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ۳۷۸.
- مقصـــودی، م.، باقـــری، س و مینائی، مســـعود، ۱۳۸۸. بررســـی نقـــش تکتونیک در شـــکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های دامنه تاقدیس قلاچه)، مجله جغرافیا و توســـعه‌ی ناحیه‌ای، ۱۲، ۹۹-۱۲۴.
- یمانـــی، م.، مقیمی، ا. و تقیـــان، ع. ر.، ۱۳۸۷. ارزیابی تأثیرات نوزمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس، با اســـتفاده 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. Tectenophysics, 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.

- 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, centeral 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., Jingchum, 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.

- Viserase, 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.