

تحلیل مقایسه‌ای تحول فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های حبله رود، حاجی عرب و جاجرود با استفاده از روش‌های مورفومتری

زهرا سربازی*

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمدرضا ثروتی

استاد دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

مهران مقصودی

دانشیار دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، تهران، ایران

فاطمه سبک خیز

استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۴

چکیده

مطالعه تکتونیک فعال از نظر ارزیابی خطر زمین‌لرزه در نقاط مختلف اهمیت دارد، مخصوصاً در نواحی‌ای که میزان فعالیت تکتونیکی در هولوسن و پلیستوسن نسبتاً زیاد بوده است. هدف پژوهش حاضر، مقایسه فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌های حبله رود، جاجرود و حاجی عرب از طریق تحلیل‌های مورفومتری می‌باشد. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن Vf سینوزیت جبهه کوهستان S ، شیب طولی رودخانه sl ، شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی Bs ، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس حوضه T ، شاخص تقارن حوضه‌ی زهکشی یا شاخص قرینگی حوضه Af می‌باشند. نتایج حاصل از این ارزیابی به صورت شاخص نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) ارائه گردیده است. این شاخص‌ها فعالیت زمین ساختی یک منطقه را در چهار طبقه فعالیت کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد نشان می‌دهد. برای برآورد تکتونیک فعال از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰۰) و نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۲۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰) و DEM ده متر مناطق مورد مطالعه استفاده شده. برای تشکیل حوضه‌ها بر روی منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار Arc Gis بر پایه داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاعی استفاده شده است. پدیده‌هایی مانند پرتگاه‌های گسلی، مخروط افکنه‌های چند نسلی، دره‌های خطی، از جمله شواهد مورفوتکتونیکی هستند که به‌وفور در حوضه‌های با فعالیت زیاد و متوسط تکتونیکی در سه حوضه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در حوضه‌های مورد مطالعه حوضه جاجرود نسبت به دو حوضه دیگر بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی قرار گرفته است و این به دلیل تأثیر گسل پیشوا و شهرری بر روی این حوضه است.

واژگان کلیدی: تکتونیک فعال، تحلیل‌های مورفومتری، حوضه‌های جاجرود، حبله رود و حاجی عرب، شاخص‌های ژئومورفیک.

مقدمه

بررسی مسائل زمین‌شناختی به‌ویژه زمین‌ساختی یک ناحیه از طریق بررسی پدیده‌های ژئومورفیک متأثر از تکتونیک، موضوعی است که توجه محققین زیادی را به خود جلب نموده است. به عقیده این محققین و بر اساس یافته‌های آن‌ها، وضعیت زمین‌ساخت و چگونگی عملکرد آن در یک ناحیه را می‌توان از طریق بررسی آنومالی حاصل در شکل پدیده‌های ژئومورفولوژیک مانند شکل دره‌ها و مخروط افکنه‌ها، جهت‌گیری آبراهه‌ها و نظایر آن‌ها را باز یافت (پور کرمانی، حسنی و حاجی علی بیگی، ۱۳۸۰). تحول شکل این پدیده‌ها در یک محیط فعال تکتونیکی به‌گونه‌ای است که آن‌ها را به نحو بارزی نسبت به همتایشان که در محیط‌های پایدار شکل گرفته باشند متمایز می‌سازد. به همین دلیل هرگاه در بررسی‌های ژئومورفولوژیکی از یک محیط بتوان به این موضوع پی برد، می‌توان از آن طریق نسبت به ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی آن محیط اقدام نمود. این موضوع باعث شده است تا محققین مختلف در کنار بررسی مسائل ژئومورفولوژیکی کیفی، سعی در کمی نمودن رفتار حرکات تکتونیکی داشته که نتیجه آن ارائه شاخص‌های متعدد تحت عنوان شاخص‌های مورفوتکتونیک بوده است (مقصودی و کامرانی دلیر، ۱۳۸۷، ص ۴۷). شاخص‌های مورفوتکتونیک نتیجه دخالت تکتونیک در دوره کواترنری می‌باشد و از این‌رو به شاخص‌های تئوتکتونیکی نیز معروف شده‌اند. امروزه با استفاده از این شاخص‌ها، فعالیت‌های تکتونیکی در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که مقاله حاضر نمونه دیگری از آن و به‌عنوان هدف این مقاله محسوب می‌شود.

تکتونیک فعال به فرایندهای تکتونیکی اطلاق می‌شود که در یک مقیاس زمانی در پوسته زمین تغییر شکل‌هایی ایجاد کنند که این تغییر شکل‌ها برای جوامع انسانی مهم هستند. اگرچه تکتونیک فعال گسستگی آرام پوسته زمین است که امکان دارد به سازه‌های انسانی صدمه بزند ولی بیشتر فرایندهای تکتونیکی فعالی که قادر هستند رویدادهای ناگهانی به وجود آورند اهمیت دارند بنابراین با شناخت تکتونیک فعال در یک منطقه می‌توان خطرات ناشی از وقوع روی داده‌ای ناگهانی مانند زمین‌لرزه را کاهش داد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

تحلیل‌های مورفومتری که ارزیابی کمی ویژگی‌های ژئومتری اشکال زمینی و چشم‌اندازها می‌باشند، از طریق شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای رتبه‌ای شبکه‌های زهکشی، تکتونیک فعال یک منطقه را بررسی کند (گارنیر و پیروتا، ۲۰۰۸). در این زمینه شاخص‌های ژئومورفیک ابزار سودمندی برای مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف محسوب می‌شوند و به‌وسیله آن‌ها می‌توان اطلاعاتی در مورد نواحی خاصی از یک منطقه که در معرض فعالیت‌های تکتونیکی نسبتاً سریع و حتی کند قرار دارند، به دست آورد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

نیروهای درونی زمین موجبات بالا آمدن زمین و تشکیل ناهمواری‌ها در منطقه‌های وسیع می‌شوند. اثر نیروها در تغییر مورفولوژی زمین در برخی از نواحی بیش از نواحی دیگر ظاهر می‌شود. جبهه‌های کوهستانی یکی از مشخص‌ترین این نواحی به حساب می‌آیند. با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک جبهه‌ی کوهستان می‌توان فعالیت‌های تکتونیکی آن

¹ Keller and Pinter

² Guarnier and Pirrota

ناحیه را ارزیابی کرد (کلر و پینتر، ۱۹۹۶).^۳

در مورد تکتونیک فعال در دنیا مطالعات زیادی صورت گرفته است که از بین آنها می‌توان به مباحث ژئومورفولوژی تکتونیک گسل گارلوک کالیفرنیا به وسیله (بال و مک فادن، ۱۱۵-۱۳۸، ۱۹۷۷)^۴، ژئومورفولوژی تکتونیک مخروط افکنه‌ها و جبهه‌های کوهستانی نزدیک ونتورا در کالیفرنیا توسط (راک ول و همکاران، ۱۸۳-۲۰۷، ۱۹۸۵)^۵ و تکتونیک فعال (کلر و پینتر، ۱۳۶-۱۴۷، ۱۹۸۶) اشاره کرد. کاربرد شاخص‌های مورفومتری در ارزیابی تکتونیک فعال در دنیا توسط بال (۲۰۰۶) در جنوب غرب آمریکا، گومزو گارسیا روز (۲۰۰۷)^۶ در مرکز اسپانیا، رامیرز-هرا (۲۰۰۹)^۷ در گرابن آکامبی مکزیک و ترین و همکاران (۲۰۰۹)^۸ در ایتالیا و غیره مورد استفاده قرار گرفته و به نتایج خوبی دست یافته است.

در ایران نیز شاخص‌های مذکور در بررسی فعالیت‌های تکتونیک کاربرد زیادی داشته است. عقیل مددی و رضایی مقدم (۱۳۸۱، ۵۶-۶۵) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک ثابت کرده‌اند که کوهستان تالش از لحاظ تکتونیک هنوز هم فعال است. رجایی و کرمی (۱۳۸۳، ۷۷-۸۴) ارزیابی نقش تکتونیک در تحول ژئومورفولوژیکی پای کوه‌های شمالی کوه بزقوش، مختاری (۱۳۸۴، ۶۴-۷۷)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶، ۱۷۷-۱۹۶) در حوضه آبخیز درکه در شمال تهران، مقصودی و کامرانی (۱۳۸۷) در مقاله ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها در حوضه رودخانه تجن، خسروی و سیف (۱۳۸۹) بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، یمانی و باقری (۱۳۸۹)، ۸۲-۶۷) در حوضه چله زاگرس غربی با استفاده از تحلیل‌های مورفومتری، روستایی و نیری (۱۳۹۰) در مقاله تحلیل کمی تأثیر لیتولوژی تکتونیک بر پروفیل طولی رودخانه در حوضه آبریز رودخانه مه‌باد، به ارزیابی تکتونیک فعال در مناطق مختلف کشور پرداختند.

مشخصات مناطق مورد مطالعه

در این پژوهش به منظور ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری حوضه‌های حبله رود، جاجرود و حاجی عرب انتخاب شده است.

موقعیت حوضه حبله رود

قسمت‌های شمالی حوضه آبخیز حبله رود در کمربند کوهستانی البرز جنوبی با دره‌های پرشیب و دشت‌های سیلابی باریک است، در این محدوده به جز دشت مرتفع فیروزکوه باقی قسمت‌های منطقه کوهستانی می‌باشد. رودخانه حبله رود در محل خروج از پیشانی کوهستان مخروط افکنه وسیع گرمسار را تشکیل می‌دهد که با وسعت تقریبی ۴۸۳ کیلومتر مربع

^۳ Keller and Pinter

^۴ Bull and Macfaden

^۵ Rocwell and etal

^۶ Gomez and Garcia- Ruiz

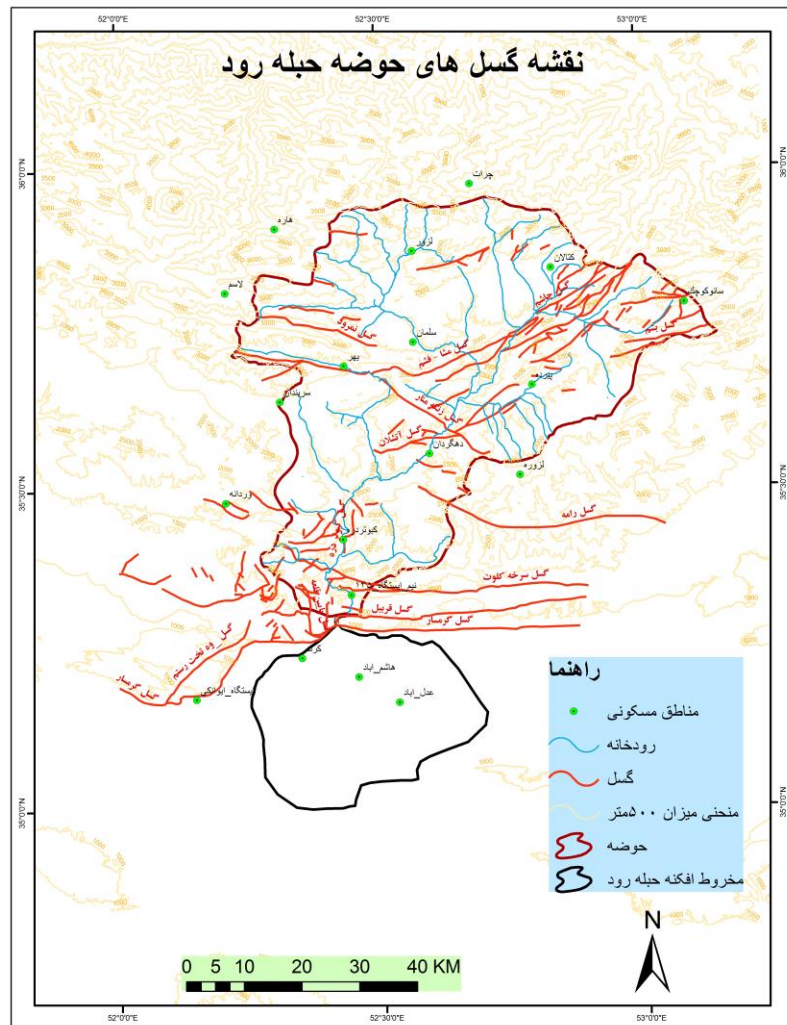
^۷ Ramirz and Herra

^۸ Terrin and etal

یکی از بزرگ‌ترین مخروط افکنه‌های ایران محسوب می‌گردد، ادامه آن دشت شور کویر مرکزی ایران است که نهایتاً به دریاچه نمک منتهی می‌شود که از این نظر دریاچه نمک را می‌توان سطح اساس محلی رودخانه حبله رود در نظر گرفت. از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز حبله رود بین ۳۵ دقیقه و ۶ درجه و ۱۶ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه و ۲۲ ثانیه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه و ۴۳ ثانیه ۵۳ درجه و ۸ دقیقه و ۵۳ ثانیه طول شرقی در مرز بین استان‌های سمنان و تهران واقع شده است (شکل ۱).

مهم‌ترین خطوط ارتباطی به منطقه در جنوب به‌وسیله جاده گرمسار و خط راه‌آهن تهران-سمنان و در شمال به‌وسیله جاده فیروزکوه (جهت عمومی غرب به شرق) می‌باشد. راه‌آهن تهران-گرگان تنها مسیر جنوبی-شمالی منطقه می‌باشد و دسترسی به سایر نقاط حوضه عمدتاً توسط جاده‌های خاکی و بعضاً آسفالتی صورت می‌پذیرد.

رودخانه حبله رود از دامنه کوه‌های سائو و شاه محمد قله و هما در ۳۰ کیلومتری خاور شمالی فیروزکوه سرچشمه می‌گیرد و بنام رودخانه گور سفیدرو سوی دامنه شمالی کوه ماراب روان می‌شود. در این محل به‌سوی باختر جریان و ضمن سیراب ساختن چندین روستا، در روستای امیریه رو به جنوب باختری تغییر مسیر می‌دهد و در شهر فیروزکوه با رودخانه ساواشی مخلوط می‌شود و به رودخانه فیروزکوه تغییر نام می‌دهد و پس از پیوستن با جریان نمرود به حبله رود تبدیل می‌گردد و از دهستان حبله رود عبور می‌کند و به جنوب باختری روان می‌گردد. نخست در جنوب روستای فرح‌آباد با آب دره مخلوط می‌شود ضمن عبور از چند روستا با جذب چند ریزابه از جمله دلیچای، با دور زدن کوه مقصود آباد، با رودخانه شاه بلاغی می‌ریزد. از این نقطه رو به جنوب تغییر مسیر می‌دهد با آب کبوتر دره و آب دره شور مخلوط شده و وارد شهرستان گرمسار می‌گردد. سرانجام در ۴۶ کیلومتری جنوب خاوری گرمسار به رودخانه گلو می‌ریزد. مرتفع‌ترین قسمت منطقه در خط الراس‌های شمالی حد فاصل دره گسلی مشاء و دره گسلی نمرود در ارتفاعات کوه سفیدآب (غرب منطقه) با ارتفاع ۴۰۵۰ متر قرار دارد و در قسمت خروج رودخانه حبله رود از پیشانی گسل گرمسار به ۹۸۰ متر و در قسمت قاعده مخروط افکنه گرمسار به ۷۷۶ متر می‌رسد (شکل ۱). مهم‌ترین گسل‌های منطقه شامل گسل‌های مشاء، نمرود، فیروزکوه، چاشم، سفیدکوه و باشم در شمال و گسل‌های سرخه کلوت، قریبک و گرمسار در جنوب می‌باشد.



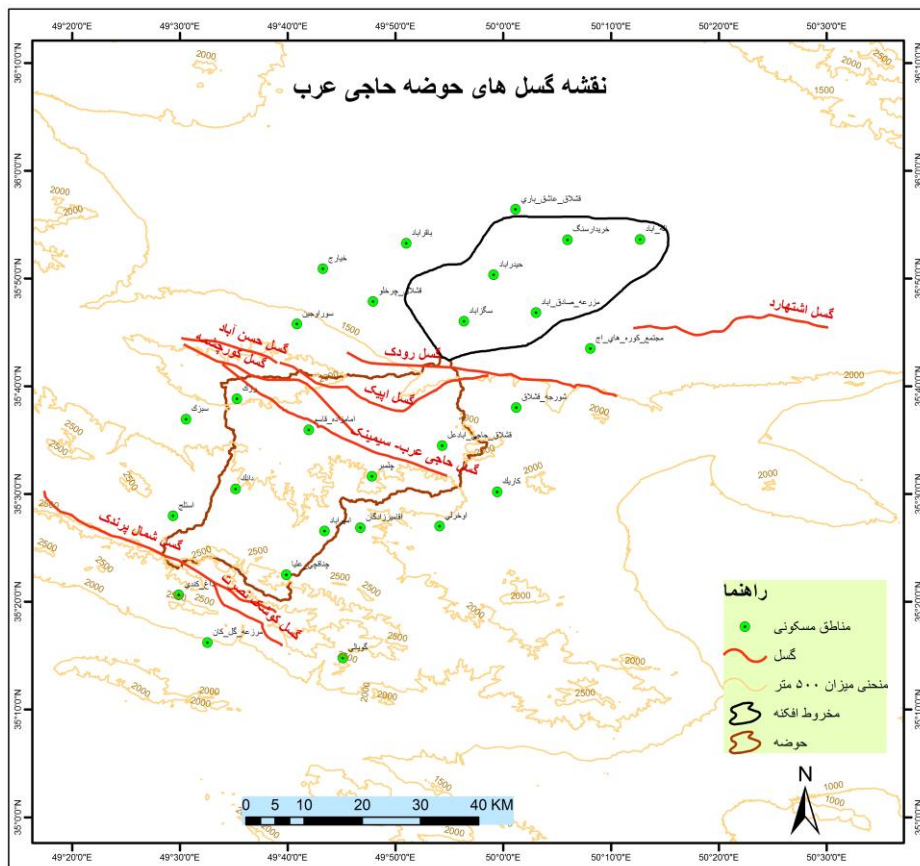
شکل ۱: نقشه گسل های حوضه حبله رود

موقعیت حوضه حاجی عرب

این حوضه در زون ارومیه - دختر واقع شده و از مشخصات اصلی آن، وجود سنگ های آذرین و آتشفشانی در سطح آن است. حوضه رودخانه حاجی عرب در ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه الی ۴۹ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).

وسعت حوضه حدوداً ۹۷۰ کیلومتر مربع می باشد. بلندترین ارتفاع آن حدود ۲۸۸۰ متر و کمترین آن در خروجی حوضه ۱۳۶۰ متر است. قسمت اعظم این حوضه در جنوب استان قزوین و در شهرستان بوئین زهرا قرار دارد و بخش هایی از آن نیز در استان مرکزی، شهرستان ساوه و همچنین استان همدان، شهرستان رزن قرار گرفته است. رودهای مهم منطقه عبارتند از رود خر رود که مخروط افکنه بزرگ خر رود را در غرب حوضه حاجی عرب ایجاد کرده و رودخانه حاجی عرب که حوضه مورد مطالعه را تشکیل داده است. چهار شیت از نقشه های توپوگرافی (چسکین، رزک، نهاوند، کهن آباد) تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی ارتش، محدوده مورد مطالعه را پوشش می دهد.

دسترسی به منطقه مورد مطالعه از چند طریق امکان‌پذیر است. مسیر اول مسیر اتوبان تهران - قزوین و در ادامه جاده قزوین به بوئین‌زهرا است. مسیر دوم، مسیر تهران - کرج - ماهدشت - اشتهارد به بوئین‌زهرا است و مسیر سوم، جاده تهران - شهریار - ماهدشت - اشتهارد - بوئین‌زهرا زهراست.



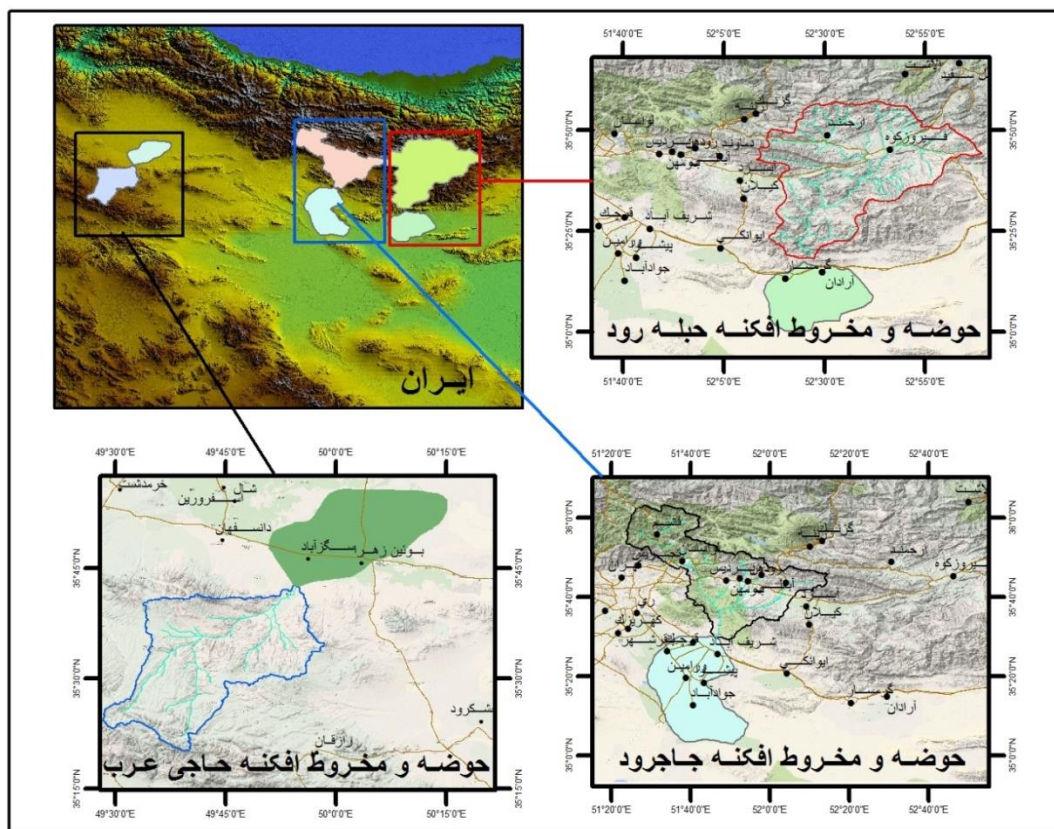
شکل (۲) نقشه گسل‌های حوضه حاجی عرب

موقعیت حوضه جاجرود

حوضه آبریز جاجرود در شمال شرقی شهرستان تهران، بین طول ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه الی ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). حوضه کلی آبخیز جاجرود با مساحتی در حدود ۱۸۹۰ کیلومتر مربع در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز مرکزی قرار گرفته است از مساحت فوق‌الذکر، حدود ۷۱۰ کیلومتر مربع در بالادست سد لتیان و ۱۱۸۰ کیلومتر مربع در پائین‌دست سد لتیان قرار دارد. این حوضه از شمال و شمال خاوری به حوضه رودخانه لار، از خاور به حوضه رودخانه حبله رود، از خاور و جنوب خاوری به حوضه نمرود و از شمال باختری به حوضه رود کرج و از باختر به رودهای کوچک جنوب تهران و کویر نمک محدود می‌گردد.



شکل ۳: نقشه گسل های حوضه جاجرود



شکل ۴: موقعیت حوضه های مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

به‌منظور تعیین تکتونیک فعال در مقیاس حوضه زهکشی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری بر روی حوضه‌های مورد مطالعه، در ابتدا حوضه‌های مورد مطالعه توسط نرم‌افزار Arc Gis10.1 استخراج شد.

در این پژوهش مقادیر کمی به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفیک شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی Bs، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس حوضه T، شاخص سینوزیته یا پیچ‌وخم کانال رودخانه S، شاخص تقارن حوضه‌ی زهکشی یا شاخص قرینگی حوضه Af، شاخص Vf یا نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شاخص Smf یا شاخص سینوسی پیشانی کوهستان، شاخص شیب طولی رودخانه یا شاخص گرادیان طولی رودخانه sl و بررسی‌های میدانی لند فرم‌های ژئومورفولوژیک متأثر از تکتونیک جدید استفاده شده است. برای برآورد تکتونیک فعال از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰۰) و نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰) و DEM ده متر مناطق مورد مطالعه استفاده شده است. پس از آن، اندازه‌گیری‌های لازم انجام شد و سپس نقشه‌ها و نمودارهای لازم ترسیم گردید. برای انتخاب محدوده مناسب برای پژوهش، سعی شده است ساختمان سنگ‌شناسی حوضه بیشتر از واحدهای سنگ چینه‌ای مقاوم باشد، زیرا واحدهای سنگ چینه‌ای نا مقاوم به‌خوبی نمی‌تواند منعکس‌کننده شرایط تکتونیک فعال منطقه باشند.

(جدول ۱ و ۲)

جدول ۱: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک بر اساس فعالیت‌های تکتونیکی

Hamdouni et al(2008)	Class
$Smf < 1.1$ $Vf < 0.5$ <i>Sl: Highanomalousvalues</i> $[Af - 50] > 15$	کلاس ۱ فعال
$Smf : 1.1 - 1.5$ $Vf : 0.5 - 1$ <i>Sl: Low..anomalousvalues</i> $[Af - 50] : 7 - 15$	کلاس ۲ متوسط
$Smf > 2.5$ $Vf > 1$ <i>Sl: No..anomalousvalues</i> $[Af - 50] < 7$	کلاس ۳ نیمه فعال

جدول ۲: شاخص‌های فعالیت‌های تکتونیکی در مناطق مورد مطالعه

شاخص تقارن حوضه زهکشی	$AF = 100(Ar / At)$	که در آن Ar مساحت حوضه آبریز در سمت راست جریان رودخانه می‌باشد و At مساحت کل حوضه آبخیز زهکشی است. مقادیر AF بیشتر یا کمتر از ۵۰ نشان‌دهنده شیب می‌باشند.	Salvany 2004
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن	$Vf = \frac{2vfw}{(Eld - Esc) + (Erd - Esc)}$	که در آن V_{fw} عرض کف دره است، E_{rd} و E_{ld} به ترتیب ارتفاع بخش‌بندی‌های چپ و راست دره هستند؛ و E_{sc} ارتفاع کف دره می‌باشد.	Hamdouni et al 2008
شاخص شیب طول رودخانه	$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right) \times L$	که در آن $\Delta H / \Delta L$ نرزش زهکشی با شیب یک بخش می‌باشد. ΔH اختلاف ارتفاع این بخش است. ΔL طول شاخه است. L مجموع کل طول زهکشی می‌باشد.	Keller and pinter 2002
شاخص سینوزیته جبهه کوهستان	$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$	که در آن Lmf طول جبهه کوهستان در راستای محل تلاقی کوهپایه با کوه است و Ls طول خط مستقیم جبهه کوهستان می‌باشد.	Bulland Mcfadden 2004
شاخص نسبت شکل حوضه زهکش	$BS=BL / BW$	BL طول حوضه از خط‌الرأس تا نقطه‌ی خروجی BW عرض حوضه در عریض‌ترین قسمت آن	Keller and pinter 2002
شاخص نسبت فعالیت‌های تکتونیکی	$Iat = \frac{s}{n}$	S کل طبقات شاخص‌های ژئومورفیک اندازه‌گیری شده N تعداد شاخص‌های اندازه‌گیری شده.	Hamdouni et al 2008

بحث و نتایج

در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی، روش‌های کمی متداولی وجود دارد. جهت بررسی و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی منطقه از شاخص‌های ژئومورفیک مختلفی از جمله:

- شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی Bs

به‌طور کلی، شکل حوضه‌های زهکشی در نواحی فعال تکتونیکی کشیده است، درحالی‌که با گذشت زمان با کاهش فعالیت تکتونیکی، شکل حوضه شکل دایره‌ای می‌شود (مقصودی و محمد نژاد، ۱۳۹۰). نسبت شکل حوضه زهکشی شاخصی است که در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی به کار می‌رود این شاخص به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (بول و مک‌فادن، ۱۹۷۷):

$$BS=BL / BW$$

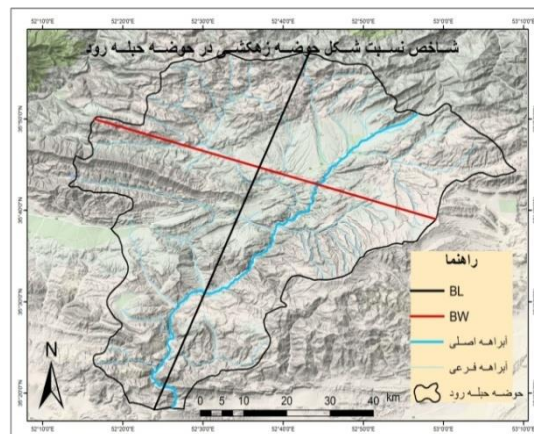
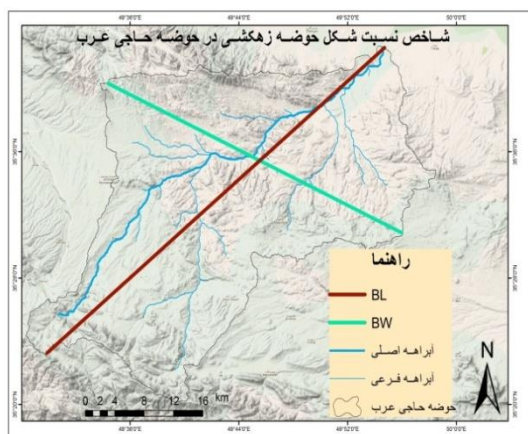
در این رابطه:

$BS =$ شاخص نسبت شکل حوضه و $BL =$ طول حوضه از خط‌الرأس تا نقطه‌ی خروجی و $BW =$ عرض حوضه در عرض‌ترین قسمت آن. همچنین در حوضه‌هایی که میزان فعالیت‌های تکتونیکی کم است شکل حوضه به دایره نزدیک‌تر می‌شود در نتیجه شاخص BS در این حوضه‌ها ارقام پایینی را نشان می‌دهد.

مقادیر شاخص BS برای حوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۳). همان‌طور که مشاهده می‌نمایید حوضه جاجرود دارای بیشترین مقدار BS از میان سه حوضه مورد مطالعه و گرمسار کمترین مقدار را دارا می‌باشد. در یک تقسیم‌بندی کلی شاخص BS برای حوضه‌های مورد مطالعه مقادیر بالایی را نشان نمی‌دهد و نشانگر این است که منطقه از نظر تکتونیکی فعالیت زیادی ندارد البته باید در این مورد باید به نتایج دیگر شاخص‌های ژئومورفولوژیکی نیز توجه کرد.

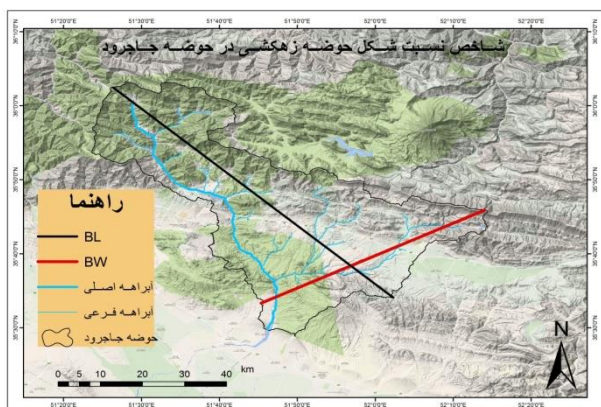
جدول ۳: شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی BS

نام حوضه	BL (متر)	BW (متر)	BS
جاجرود	۷۵۳۹۵.۱۱۳۴۶	۴۹۱۱۵.۹۲۰۷۳	۱.۵۴
حاجی عرب	۵۱۸۰۶.۵۸۳۹	۳۷۰۰۲.۶۸۸۴۷	۱.۴۰
گرمسار	۷۷۷۶۲.۰۴۲۰۲	۶۷۳۷۴.۴۳۶۵	۱.۱۵



شکل ۶: نسبت شکل حوضه زهکشی در حاجی عرب

شکل ۵: نسبت شکل حوضه زهکشی در حبله رود



شکل ۷: نسبت شکل حوضه زهکشی در جاجرود

– شاخص تقارن حوضه‌ی زهکشی یا شاخص قرینگی حوضه (Af)

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، کج شدگی جانبی حوضه را نسبت به مسیر اصلی رودخانه در اثر نیروهای تکتونیکی، نشان می‌دهد (همدونی، ۲۰۰۸) و این شاخص مذکور عبارت است از:

$$AF = 100(Ar / At)$$

Ar = قسمتی از حوضه است که در سمت چپ جریان اصلی قرار دارد.

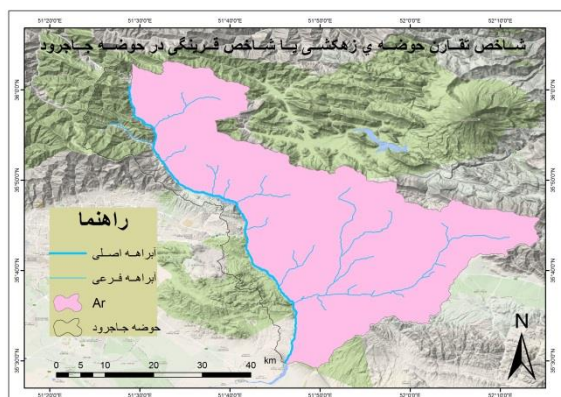
At = مساحت کل حوضه‌ی آبریز

برای رودخانه‌های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثابتی وجود دارد، Ar باید برابر ۵۰ باشد که بیانگر وجود تقارن زهکشی‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم کج شدگی بر اثر بالا آمدگی خواهد بود هر چه مقدار به دست آمده از عدد ۵۰ فاصله بگیرد، بیانگر کج شدگی بیشتر حوضه است. مقادیر بیش از ۵۰ بیانگر عمل بالا آمدگی در ساحل راست و کمتر از ۵۰ بیانگر بالا آمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی است.

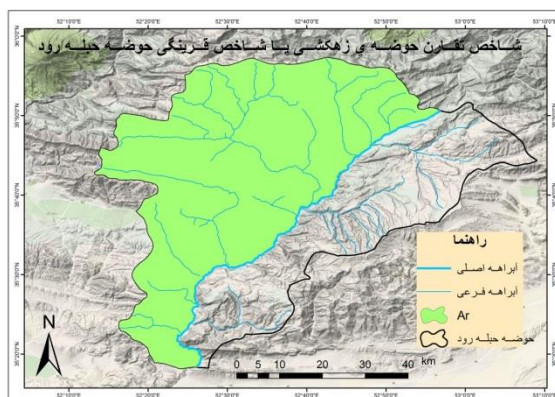
مقادیر Ar در مناطق مورد مطالعه محاسبه گردید و سپس میانگین این شاخص را در حوضه‌های مذکور محاسبه شده است. مقادیر محاسبه شده (جدول ۴) شاخص Ar در حوضه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که حوضه‌های مورد مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی حاکم می‌باشد و باعث ایجاد عدم تقارن در حوضه نموده است (شکل ۵)، (شکل ۶) و (شکل ۷). مقدار به دست آمده از شاخص مذکور در حوضه جاجرود نشان می‌دهد که این حوضه نسبت به دو حوضه حاجی عرب و حبله رود بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های نئوتکتونیکی قرار دارد. همچنین حوضه حبله رود با مقدار عددی ۳۵٫۷۳ کمتر تحت تأثیر فعالیت نئوتکتونیکی قرار دارد.

جدول ۴: شاخص تقارن حوضه‌ی زهکشی

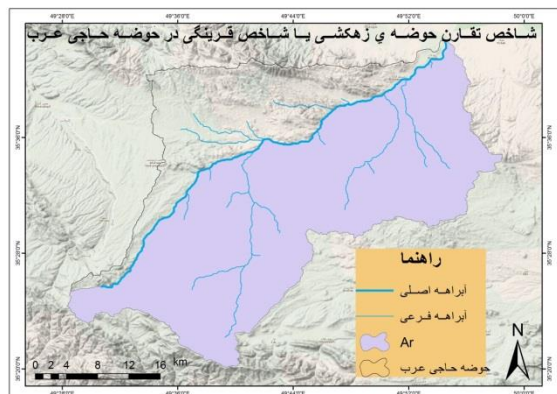
شاخص تقارن حوضه‌ی زهکشی یا شاخص قرینگی حوضه					
نام حوضه	$Ar(km^2)$	$At(km^2)$	(Ar/At)	Ar	$Ar - 50$
جاجرود	۱۵۴۵٫۱۲	۱۸۷۲٫۶۴	۰٫۸۲۵۱	۸۲٫۵۱	۳۲٫۵۱
حاجی عرب	۶۸۶٫۸۲	۹۷۱٫۷۱	۰٫۷۰۶۸	۷۰٫۶۸	۲۰٫۶۸
گرمسار	۲۰۸۳٫۵۲	۳۲۴۱٫۸۵	۰٫۶۴۲۷	۶۴٫۲۷	۱۴٫۲۷



شکل ۹: شاخص تقارن حوضه زهکش جاجرود



شکل ۸: شاخص تقارن حوضه زهکش حبله رود



شکل ۱۰: شاخص تقارن حوضه زهکش حاجی عرب

– شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع آن V_f

روش کمی دیگری که تأثیر تکتونیک را مورد محاسبه قرار می‌دهد شاخص V_f این شاخص توسط بول و مک فادن^۹ در سال ۱۹۷۷ بیان شد.

$$VF = 2vfw / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$$

مقادیر این فرمول شامل:

VF = نسبت پهنای دره به ارتفاع آن؛

VFW = پهنای کف دره برحسب متر؛

E_{ld} = ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت چپ دره از سطح دریا برحسب متر؛

E_{rd} = ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت راست دره از سطح دریا برحسب متر؛

E_{sc} = ارتفاع کف دره از دریای آزاد.

مقادیر کم این نسبت منعکس کننده دره‌های عمیق با جریان‌هایی است که معمولاً قدرت برش آن‌ها بسیار زیاد بوده و نشانگر بالا آمدگی در طول مدت کم می‌باشد. حالت این دره‌ها بیشتر V شکل است (جابری، ۱۳۹۲).

این نمایه در امتداد سراسیبهی تند کوهستان و در دره‌های مختلف محاسبه می‌شود. برای رسیدن به نتیجه مطلوب، محاسبه‌ها در فاصله‌ی یک کیلومتری از سراسیبهی تند کوهستان به طرف بالادست در نظر گرفته شده است. با استفاده از این شاخص می‌توان فعالیت‌های نئوتکتونیکی را در یک منطقه مشخص نمود و متوجه شد که آیا رودخانه فرصت لازم جهت عریض کردن بستر خود را پیدا کرده است، یا اینکه حرکات جوان تکتونیکی مانع این عملکرد شده‌اند. مقدار عددی معمولاً در دره‌های V شکل عمیق کم و در دره‌های U شکل زیاد می‌باشد (سلیمانی ۱۳۷۷، ۵۷). با توجه به اینکه دره‌های V شکل و عمیق از ویژگی‌های کوه‌های جوان و در حال بالا آمدن است بنابراین با اندازه‌گیری این شاخص می‌توان به فعال بودن منطقه مورد نظر از نظر تکتونیک پی برد. برای دستیابی به این هدف، شاخص V_f در فاصله معینی از جبهه کوهستان معمولاً یک کیلومتر از جبهه کوهستان به طرف بالا دست رودخانه محاسبه می‌شود (بال و مک فادن^۹،

⁹ Bull and Mcfaden

فادن (۱۹۷۷، ۱۲۶).

برای محاسبه شاخص Vf در حوضه‌های مورد مطالعه مناطق اندازه‌گیری مشخص گردید (شکل ۸)، (شکل ۹) و (شکل ۱۰). مقادیر محاسبه شده در حوضه جاجرود (جدول ۵) عدد ۰/۵۴ و در حوضه حبله رود (جدول ۶) عدد ۰/۸۶ و همچنین در حوضه حاجی عرب نیز عدد ۰/۷۵ می‌باشد. پس از مقایسه این اعداد معلوم گردید که حوضه جاجرود نسبت به دو حوضه مذکور بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های نئوتکتونیک قرار دارد.

جدول ۵: شاخص نسبت عرض دره‌ها به ارتفاع در حوضه جاجرود

شاخص نسبت عرض دره‌ها به ارتفاع در حوضه جاجرود									
محل بررسی	Vfw(m)	2vfw	Eld(m)	Erd(m)	Esc(m)	Eld - Esc	Erd - Esc	[(Eld-Esc)+(Erd-Esc)]	جواب
۱	۳۴۲	۶۸۴	۱۳۵۶	۱۳۹۱	۱۱۹۳	۱۶۳	۱۹۸	۳۶۱	۱.۸۹
۲	۴۰۰	۸۰۰	۱۶۰۱	۱۶۰۳	۱۲۵۲	۳۴۹	۳۵۱	۷۰۰	۱.۱۴
۳	۱۵۴	۳۰۸	۱۸۳۳	۱۹۰۳	۱۴۱۸	۴۱۵	۴۸۵	۹۰۰	۰.۳۴
۴	۹۵	۱۹۰	۱۹۳۵	۲۴۶۱	۱۵۶۱	۳۷۴	۹۰۰	۱۲۷۴	۰.۱۵
۵	۲۰۰	۴۰۰	۳۰۹۱	۲۶۰۶	۱۸۴۲	۱۲۴۹	۷۶۴	۲۰۱۳	۰.۲۰
۶	۱۵۰	۳۰۰	۲۸۱۸	۲۵۶۵	۲۱۰۸	۷۱۰	۴۵۷	۱۱۶۷	۰.۲۶
۷	۱۰۰	۲۰۰	۳۳۸۸	۳۰۵۰	۲۱۲۰	۱۲۶۸	۹۳۰	۲۱۹۸	۰.۰۹
۸	۱۵۰	۳۰۰	۲۷۹۰	۳۱۵۳	۲۳۰۰	۴۹۰	۸۵۳	۱۳۴۳	۰.۲۲
۷f میانگین ۰.۵۴									

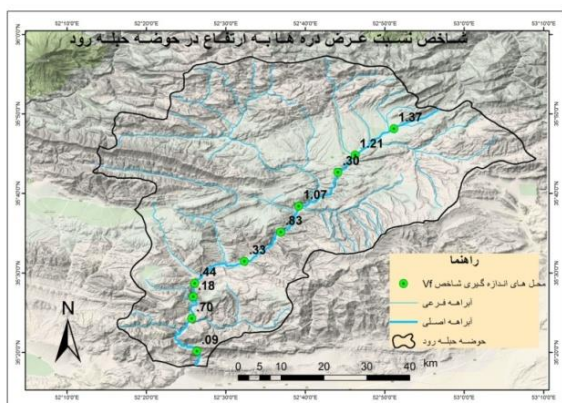
جدول ۶: شاخص نسبت عرض دره‌ها به ارتفاع در حوضه حبله رود

شاخص نسبت عرض دره‌ها به ارتفاع در حوضه حبله رود									
نقاط بررسی	vfw(m)	2vfw	eld(m)	erd(m)	Esc(m)	Eld - Esc	Erd - Esc	[(Eld-Esc)+(Erd-Esc)]	Vf
۱	۸۲.۵	۱۶۵	۲۳۰۰	۱۰۷۵	۱۶۸۰	۱۲۲۵	۶۰۵	۱۸۳۰	۰.۰۹
۲	۳۹.۵	۷۹۰	۱۹۰۰	۱۲۲۰	۱۶۶۰	۶۸۰	۴۴۰	۱۱۲۰	۰.۷۱
۳	۱۰۲.۵	۲۰۵	۲۰۷۰	۱۲۷۰	۱۵۵۰	۸۰۰	۲۸۰	۱۰۸۰	۰.۱۹
۴	۲۴۰	۴۸۰	۱۸۴۰	۱۳۳۰	۱۸۹۵	۵۱۰	۵۶۵	۱۰۷۵	۰.۴۵
۵	۶۲.۵	۱۲۵۰	۱۷۰۰	۱۴۷۰	۱۷۷۵	۲۳۰	۳۰۵	۵۳۵	۲.۳۴
۶	۴۵۰	۹۰۰	۱۹۲۰	۱۵۸۰	۲۳۱۵	۳۴۰	۷۳۵	۱۰۷۵	۰.۸۴
۷	۳۹۰	۷۸۰	۱۹۷۰	۱۶۷۵	۲۱۰۵	۲۹۵	۴۳۰	۷۲۵	۱.۰۸
۸	۱۲۰	۲۴۰	۲۰۷۵	۱۸۲۵	۲۳۶۰	۲۵۰	۵۳۵	۷۸۵	۰.۳۱
۹	۱۸۵	۳۷۰	۲۰۳۵	۱۹۲۰	۲۱۱۰	۱۱۵	۱۹۰	۳۰۵	۱.۲۱
۱۰	۴۲۰	۸۴۰	۲۲۳۰	۲۰۴۰	۲۴۶۰	۱۹۰	۴۲۰	۶۱۰	۱.۳۸
۰.۸۶ میانگین									

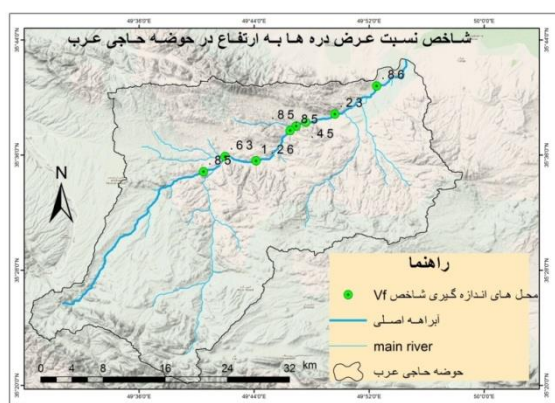
جدول ۷: شاخص نسبت عرض دره‌ها به ارتفاع در حوضه حاجی عرب

شاخص نسبت عرض دره‌ها به ارتفاع در حوضه حاجی عرب									
نقاط بررسی	vfw(m)	2vfw	eld(m)	erd(m)	Esc(m)	Eld - Esc	Erd - Esc	[(Eld-Esc)+(Erd-Esc)]	جواب
۱	۱۲۵	۲۵۰	۱۵۲۲	۱۶۲۰	۱۴۳۱	۱۰۱	۱۸۹	۲۹۰	۰.۸۶
۲	۵۵	۱۱۰	۱۶۰۰	۱۹۰۰	۱۵۱۳	۸۷	۳۸۷	۴۷۴	۰.۲۳
۳	۶۰	۱۲۰	۱۷۰۹	۱۶۶۰	۱۵۵۲	۱۵۷	۱۰۸	۲۶۵	۰.۴۵
۴	۶۰	۱۲۰	۱۷۰۵	۱۶۰۰	۱۵۸۲	۱۲۳	۱۸	۱۴۱	۰.۸۵
۵	۵۵	۱۱۰	۱۶۴۲	۱۶۶۰	۱۵۸۷	۵۵	۷۳	۱۲۸	۰.۸۶
۶	۴۰	۸۰	۱۷۴۰	۱۷۲۲	۱۷۰۰	۴۰	۲۲	۶۲	۱.۲۹
۷	۵۷	۱۱۴	۱۸۳۲	۱۸۴۲	۱۷۴۷	۸۵	۹۵	۱۸۰	۰.۶۳
۸	۷۴	۱۴۸	۱۷۴۳	۱۷۴۶	۱۶۵۸	۸۵	۸۸	۱۷۳	۰.۸۶

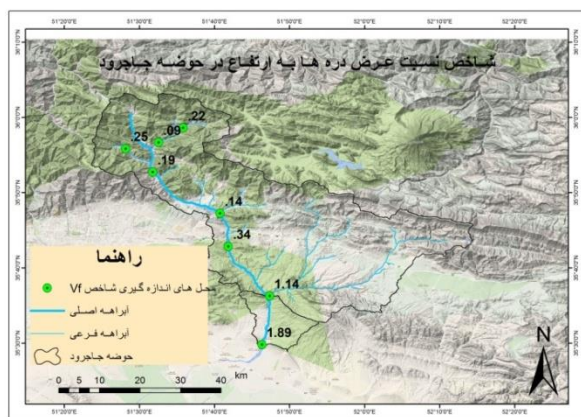
۰.۷۵ میانگین



شکل ۱۲: شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع حبله رود



شکل ۱۱: شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع حاجی عرب



شکل ۱۳: شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع جاجرود

– شاخص Smf

به‌طور معمول پیشانی کوهستان با گذشت زمان، توسط رودخانه فرسایش یافته و شکل موجی پیدا می‌کند. اندازه‌گیری پیچ‌وخم جبهه‌ی کوهستان نیز در پیشانی آن‌ها پهن‌تر می‌گردد. این شاخص بیانگر تعادل بین نیروهای فرسایشی که

تمایل به حفر و ایجاد تورفتگی در پیشانی کوهستان دارند، از یک طرف و نیروهای زمین ساختی که تمایل به ایجاد پیشانی کوهستانی مستقیم دارند، است (محمد نژاد، ۱۳۹۰). به کمک این شاخص می توان فعالیت های جدید تکتونیکی را در یک منطقه ارزیابی کرد (بول و مک فادن، ۱۹۷۷).

$$Smf = IMF / I S$$

در این فرمول:

Smf = شاخص پیچ و خم جبهه ی کوهستان؛

Ls = طول خط مستقیم جبهه کوهستان؛

Lmf = طول جبهه کوهستان در امتداد پای کوه (خط کنیک).

بر اساس طبقه بندی که بول و مک فادن (۱۹۷۷) انجام داده اند:

۱- مناطق بسیار فعال تکتونیکی بین ۱ تا ۱.۶؛

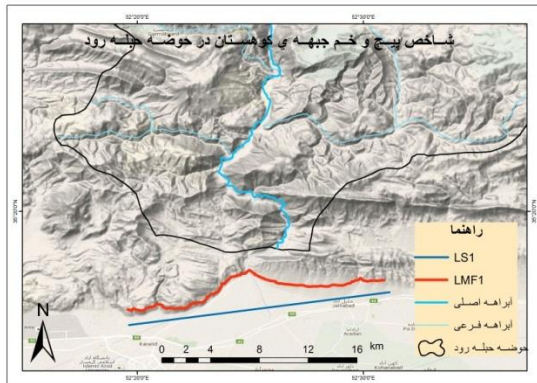
۲- مناطق با فعالیت متوسط تکتونیکی ۱.۶ تا ۱.۸؛

۳- مناطق غیرفعال تکتونیکی ۱.۸ تا ۵.

جهت بررسی شاخص تضاریس جبهه ی کوهستان با استفاده از نقشه های توپوگرافی و اندازه گیری پیچ و خم های ایجاد شده توسط آبراهه ها در جبهه ی کوهستان منطقه و تقسیم آن بر طول افقی در راستای گسل و جبهه ی کوهستان می توان فعال بودن منطقه را از نظر تکتونیکی مشخص نمود. لذا جبهه های کوهستانی که با فرایش فعال همراه اند روی نقشه های توپوگرافی و عکس های هوایی شکل تقریباً مستقیم داشته و در صورت کاهش بالا آمدگی، فرایندهای فرسایشی فعال تر شده و به جبهه های کوهستانی شکل کاملاً نامنظم و سینوسی می بخشد. در این روش ها هر چه مقدار Smf کمتر باشد نشانه فعالیت های تکتونیکی شدید و هر چه مقدار Smf بیشتر باشد، نشانه ی آرامش منطقه از نظر تکتونیک خواهد بود. بر اساس مطالعات بال (به نقل از کرمی، ۱۳۸۱) سینوزیته کوچک تر از $1/3$ از نظر تکتونیکی خیلی فعال، سینوزیته مابین $1/4$ و $1/6$ فعال و سینوزیته مابین $1/6$ - $1/8$ نیمه فعال می باشند. شاخص Smf در مناطق مورد مطالعه محاسبه گردید (شکل ۱۱)، (شکل ۱۲) و (شکل ۱۳). همان طور که در (جدول ۸) قابل مشاهده می باشد مقدار Smf در حوضه جاجرود و گرمسار بر اساس مبانی نظری ذکر شده در رتبه اول قرار می گیرد که در این رتبه میزان فعالیت تکتونیکی بسیار زیاد می باشد. حوضه حاجی عرب نیز در رتبه دوم قرار می گیرد که در این منطقه میزان فعالیت تکتونیکی متوسط می باشد.

جدول ۸: شاخص پیچ و خم جبهه ی کوهستان

شاخص پیچ و خم جبهه ی کوهستان			
نام حوضه	Ls	Lmf	Smf
جاجرود	۶۶۵۲.۷۹	۱۰۳۰۱.۳۳	۱.۵۵
حاجی عرب	۹۸۹۳.۶۹	۱۵۸۹۷.۳۱	۱.۶۱
گرمسار	۱۷۶۸۳.۲۳	۲۰۳۲۸.۶۸	۱.۱۵



شکل ۱۵: شاخص پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان حوضه حبله رود



شکل ۱۴: شاخص پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان حوضه جاجرود



شکل ۱۶: شاخص پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان حوضه حاجی عرب

– شاخص شیب طولی رودخانه یا شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)

این شاخص در برآورد تکتونیک فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) * L$$

در این شاخص:

SL شیب طولی رودخانه؛

ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه‌ی اندازه‌گیری شده؛

ΔL طول رودخانه بین دو نقطه‌ی انتخاب شده؛

L طول رودخانه از وسط منطقه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه رودخانه است.

شاخص SL به ساختمان سنگ‌شناسی بسیار حساس می‌باشد و در تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از مقادیر SL باید تأثیر ساختمان سنگ‌شناسی را به حداقل رساند. میزان SL در مناطق فعال تکتونیکی زیاد است (کلر و پینتر^{۱۱}، ۱۹۹۶).

¹¹ Keller and Pinter

این شاخص به تغییرات شب کانال بسیار حساس می‌باشد و این حساسیت سبب ارزیابی روابط فعالیت‌های تکتونیکی، مقاومت سنگ و توپوگرافی می‌شود.

مقادیر SL در مناطق مورد مطالعه محاسبه گردید (شکل ۱۴)، (شکل ۱۵) و (شکل ۱۶). ارقام به دست آمده از این محاسبه در جدول‌های ۹ و ۱۰ و ۱۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۹: شاخص شیب طولی رودخانه یا شاخص گرادیان طولی رودخانه در حوضه حاجی عرب

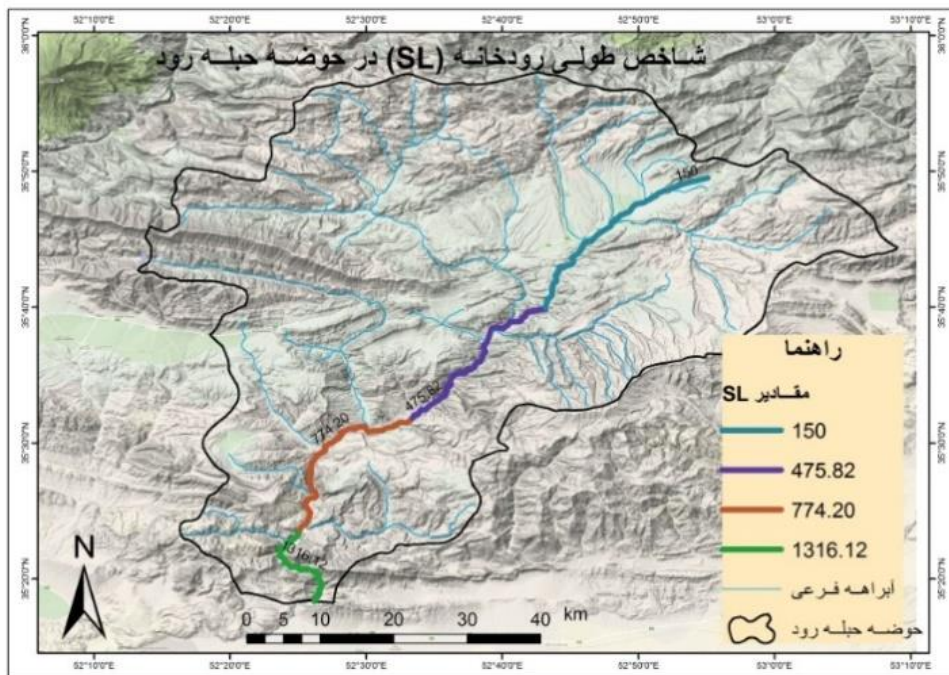
ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)
ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)
۱۴۰۰-۱۶۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰	۲۰۱۹۱.۲۲	۴۹۰۲۳.۷۳	۰.۰۱۰	۴۸۵.۵۹
۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۷۰۰	۲۰۰	۱۵۵۹۰.۷۱	۳۱۱۳۲.۷۶	۰.۰۱۳	۳۹۹.۳۸
۱۸۰۰-۲۰۰۰	۱۹۰۰	۲۰۰	۱۰۵۵۲.۵۹	۱۸۰۶۱.۱۲	۰.۰۱۹	۳۴۲.۳۱
۲۰۰۰-۲۲۰۰	۲۱۰۰	۲۰۰	۱۲۷۸۴.۸۳	۶۳۹۲.۴۱	۰.۰۱۶	۱۰۰

جدول ۱۰: شاخص شیب طولی رودخانه یا شاخص گرادیان طولی رودخانه در حوضه جاجرود

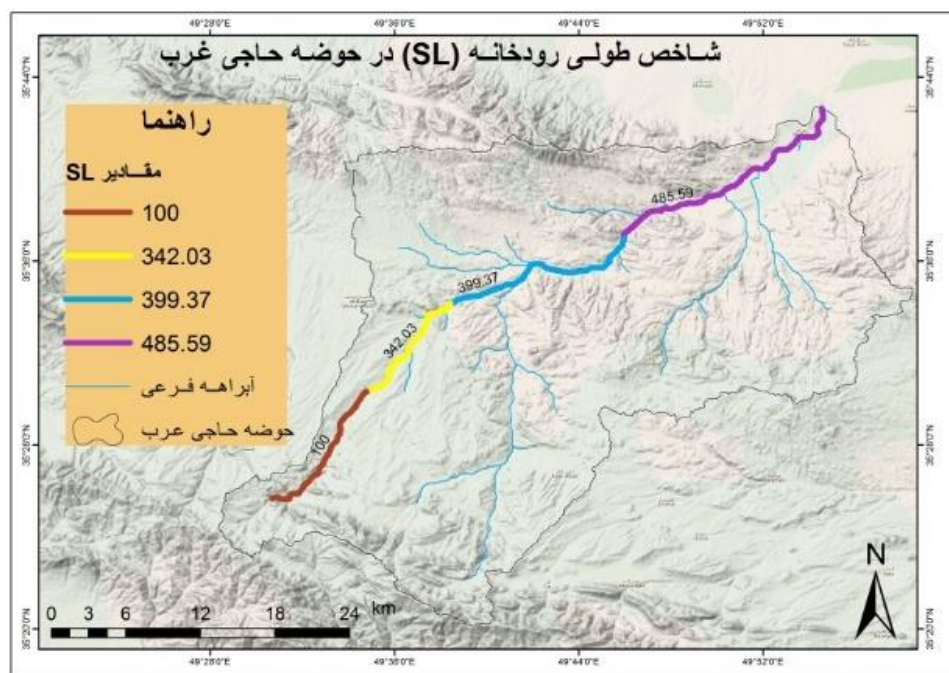
ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)
ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)
۱۲۰۰-۱۵۰۰	۱۳۵۰	۳۰۰	۳۷۸۳۵	۵۸۷۵۲.۲۵	۰.۰۰۸	۴۶۵.۸۶
۱۵۰۰-۱۸۰۰	۱۶۵۰	۳۰۰	۱۹۵۹۰.۱۴	۳۰۰۳۹.۶۱	۰.۰۱۵	۴۶۰.۰۲
۱۸۰۰-۲۱۰۰	۱۹۵۰	۳۰۰	۱۳۸۱۲.۴۵	۱۳۳۳۸.۳۱	۰.۰۲۲	۲۸۹.۷۰
۲۱۰۰-۲۴۰۰	۲۲۵۰	۳۰۰	۶۴۳۲.۰۸	۳۲۱۶.۰۴۲	۰.۰۴۷	۱۵۰.۰۰

جدول ۱۱: شاخص شیب طولی رودخانه یا شاخص گرادیان طولی رودخانه در حوضه حبله رود

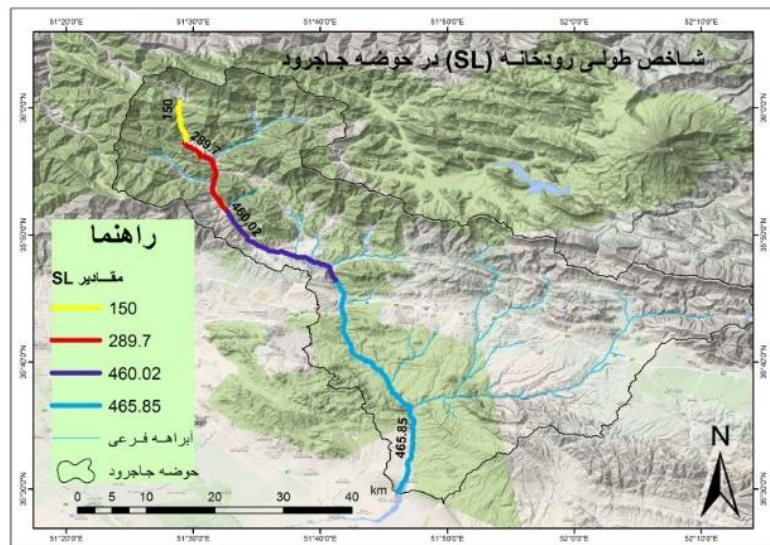
ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)
ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)	ارتفاع (متر)
۹۶۱-۱۲۰۰	۱۰۸۱	۲۳۹	۱۶۱۱۵.۱۵	۸۸۷۴۳.۱۱	۰.۰۱۵	۱۳۱۶.۱۳
۱۲۰۰-۱۵۰۰	۱۳۵۰	۳۰۰	۲۶۱۹۰.۸۲	۶۷۵۹۰.۱۲	۰.۰۱۱	۷۷۴.۲۰
۱۵۰۰-۱۸۰۰	۱۶۵۰	۳۰۰	۲۶۱۲۲.۹۸	۴۱۴۳۳.۲۲	۰.۰۱۱	۴۷۵.۸۳
۱۸۰۰-۲۱۰۰	۱۹۵۰	۳۰۰	۲۸۳۷۱.۷۴	۱۴۱۸۵.۸۷	۰.۰۱۱	۱۵۰



شکل ۱۷: شاخص شیب طولی رودخانه در حوضه حبله رود



شکل ۱۸: شاخص شیب طولی رودخانه در حوضه حاجی عرب



شکل ۱۹: شاخص شیب طولی رودخانه در حوضه جاجرود

شاخص فعالیت نسبی تکتونیک

پس از برآورد شاخص‌های ژئومورفیک مناطق مورد مطالعه و تعیین کلاس آن‌ها بر اساس جدول (۵)، ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق از شاخص I_{at} طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$I_{at} = \frac{S}{n}$$

در این رابطه I_{at} شاخص فعالیت نسبی تکتونیک، S مجموعه کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده و n تعداد شاخص‌های محاسبه شده می‌باشد. طبقه‌های مختلف شاخص I_{at} به صورت زیر است. $I_{at} = 1 - 1/5$ فعالیت‌های تکتونیکی شدید، $2 > I_{at} > 1/5$ فعالیت‌های تکتونیک زیاد، $2/5 > I_{at} > 2$ فعالیت‌های تکتونیکی متوسط و $2/5 > I_{at}$ فعالیت‌های کم و ناچیز (همدونی، ۲۰۰۸، ۱۷۱).

جدول ۱۲: مقادیر شاخص I_{at} در منطقه مورد مطالعه

نام حوضه	Sl	Smf	Vf	Bs	Af	S / n	IAT
حوضه حبله رود	۱	۱	۲	۳	۱	۱.۶	۲
حوضه جاجرود	۲	۲	۲	۳	۱	۲	۲
حوضه حاجی عرب	۲	۲	۲	۳	۲	۲.۲	۳

بر اساس تقسیم‌بندی که از شاخص I_{at} شده است، حوضه‌های حبله رود و جاجرود از لحاظ تکتونیک در گروه دوم یعنی از لحاظ فعالیت‌های تکتونیکی در سطح بالایی قرار دارد و حوضه حاجی عرب در گروه سوم یعنی در سطح متوسط از لحاظ فعالیت‌های تکتونیکی قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

شاخص‌های مورفومتری در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی ابزار مفید و قابل اطمینان هستند، زیرا از روی آن‌ها می‌توان نواحی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا حتی کند تکتونیکی را پشت سر گذاشته‌اند، به راحتی شناسایی کرد. هدف این پژوهش تحلیل مقایسه‌ای فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌های حبله رود، جاجرود و حاجی عرب می‌باشد. فعالیت گسل‌ها با تأثیرگذاری در محل استقرار کانون‌های واگرایی مخروط افکنه‌ها، در تحول و تکامل امروزی آن‌ها مؤثر بوده است. از جمله مهم‌ترین شواهد عینی عملکرد تکتونیک در سه حوضه را می‌توان به وجود گسل‌های متعدد در مناطق اشاره کرد مهم‌ترین گسل‌های منطقه در حوضه حبله رود گسل سرخه کلوت، گسل گرمسار و گسل قریبک و مهم‌ترین گسل‌ها در منطقه حاجی عرب گسل رودک و گسل ایپک می‌باشد و گسل پیشوا، گسل شهرری مهم‌ترین گسل حوضه جاجرود است که فعالیت این گسل و دیگر گسل‌های فرعی منطقه در طول کوتاه‌تر نقش اصلی را در ساختار ژئومورفولوژی منطقه ایفا کرده است (شکل ۱، ۲، ۳). ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) در سه حوضه مورد مطالعه این واقعیت را آشکار می‌سازد که همه حوضه‌ها با درجات مختلف از حرکات تکتونیکی متأثر شده‌اند، به طوری که فعالیت تکتونیکی در حوضه جاجرود زیاد و در دو حوضه دیگر متوسط می‌باشد. بر اساس شاخص‌های مورفومتری حوضه جاجرود از نظر فعالیت‌های تکتونیکی بسیار فعال و دو حوضه دیگر از نظر فعالیت‌های تکتونیکی متوسط می‌باشند علت فعالیت متوسط در حوضه گرمسار و حاجی عرب به دلیل دور بودن از گسل اصلی و بیشتر تحت تأثیر گسل‌های فرعی فعال قرار دارند.

مقادیر پایین شاخص vf در منطقه نشانگر تأثیر نقش زمین‌ساخت در مورفولوژی و شکل بودن دره‌ها و همچنین تأثیر گسل در تشکیل این دره‌ها که مشاهدات میدانی این واقعیت را تأیید می‌کند، می‌باشد. مقادیر بالای گرادیان طولی رودخانه‌ها بیانگر فعالیت‌های شدید تکتونیکی مناطق است که این امر به علت تأثیر گسل، مقاوم بودن سنگ‌بستر در مخروط افکنه جاجرود و عبور گسل جاجرود و گسل‌های عمود بر آن و انطباق بستر زهکش اصلی روی گسل طولی در مخروط افکنه جاجرود می‌باشد. این فعالیت تکتونیکی متأثر از تکتونیک پوسته‌ای ایران و وجود گسل‌های فراوان در سه منطقه می‌باشد.

منابع

- ۱- پور کرمانی، محسن، علی ارومیه‌ای، مسعود حسینی و حسین حاجی علی بیگی، (۱۳۸۰): مورفوتکتونیک حوضه تهران، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- ۲- ثروتی، محمدرضا، سید حسن صدوق و حکیمه غلامی، (۱۳۸۷): ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک طاق‌دیس گچ، مجله پژوهش‌های علوم زمین، سال اول، شماره ۱، صص ۵۴-۷۰.

- ۳- روستایی، شهرام، نیری، هادی، (۱۳۹۰): تحلیل کمی تأثیر لیتولوژی و تکتونیک بر پروفیل طولی رودخانه در حوضه آبریز رودخانه مهاباد، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۶، شماره ۲۳، صص ۱۳۷-۱۵۳.
- ۴- سلیمانی، شهریار، (۱۳۷۸): رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان، انتشارات موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، چاپ اول.
- ۵- سیف، عبد...، خسروی، قاسم، (۱۳۸۹): بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴، دوره ۴۲، صص ۱۲۵-۱۴۵.
- ۶- شایان، سیاوش، جابری، مریم، نقش نو زمین‌ساخت در تحولات ژئومورفولوژیک مرز ساختاری البرز جنوبی ایران مرکزی (مطالعه موردی: حوضه حبله رود).
- ۷- کرمی، فریبا، (۱۳۸۸): ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی با استفاده از تحلیل‌های شکل سنجی (حوضه او جان چای شمال- شرقی کوهستان سهند)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.
- ۸- کرمی، فریبا (۱۳۸۸): ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآباد چای، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، صص ۸۲-۶۷.
- ۹- گورابی، ابوالقاسم، نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۶): شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال در حوضه آبخیز درکه، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، ۱۹۶-۱۷۷.
- ۱۰- مختاری، داوود، نقش فعالیت‌های تکتونیکی در تکامل مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشو داغ، شمال غرب ایران، مجله فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اهر.
- ۱۱- مددی، عقیل، محمدحسین رضایی مقدم و عبدالحمید رجایی، (۱۳۸۳): تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژیکی، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، صص ۱۲۳-۱۳۸.
- ۱۲- مقصودی، مهران و حمید کامرانی دلیر، (۱۳۸۷): ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها مطالعه موردی: رودخانه تجن، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، صص ۳۱-۵۵.
- ۱۳- یمانی، مجتبی. باقری، سجاد. جعفری اقدم، مریم (۱۳۸۹): تأثیر نو زمین‌ساخت در مورفولوژی آبراهه‌های حوضه چله (زاگرس غربی)، مجله محیط جغرافیایی، شماره ۱، صص ۸۲-۶۸.

- 14- Bull, William. B. (1984): Tectonic Geomorphology, Journal of Geological Education; pp. 310-324.
- 15- Bull, W.B. and McFadden, L, (1977): Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Dohring, D.O, (ed.), Geomorphology in arid regions publ. In geomorphology, state university of New York, pp.115- 138.
- 16- Burnett, A.W. and schumm, S. A, (1983): Active Tectonic and River Response in Louisiana and Mississipi. Science 222, 49-50.
- 17- Buonasorte, G. Ciccacci, S. De Rita. D. Fredi, p. 8 Lupia Plamien, E. (1995): Some Relations Between Morphological Characteristic and Geological Structure in The Valsini Volcanic Complex (Northern Latium, Italy). Geomorphology. V (16) 127-137.
- 18- Gomez-Villar, A; Garcia-Ruiz, J. M, (2000): Surface Sediment Characteristics and Present Dynamic in Alluvial Fans of The Central Spanish Pyrnees, Geomorphology, Vol 34, p: 2101-2119.
- 20- Guarneri, P. and Pirrota, D, TABassi, H, Shabanian, E, Abbassi, M. R, Fegghi, K, and Solaymani, S, (2007): Paleoearthquakes and Slip Rates of The North Tabriz fault, NW Iran Annals of Geophysics, vol 46, No. 5, pp: 23-29.
- 21- Hamdouni, R. E, Irigaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller E.A, (2008): Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of The Sierra Novada. (Southern Spain). Geomorphology. 96: 150- 173.
- 22- Harvey, A. M. (1997): The Role of Alluvial Fan in Arid Zone Fluvial System. In Thomas. D. S. Ariz Zone Geomorphology Wiley, Chi Chester, pp 231- 259.

- 23- Hook, R.L. and Rohrer, W.L, (1976): Geometry of Alluvial Fans. Earth Surface Process, V4. p146- 166.
- 24- Keller E.A and Pinter N.: (1996): Active Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape, Prentice Hall Publication, London.
- 25- Li, Y. Yang. J. (1997): Response of River Terraces to Holocene Climatic Changes in Hexi Corridor, China, Geogr. Sci. 248- 252.
- 26- Ramirez- Harrera.M.T. (1998): Geomorphic Assessment of Active Tectonic in The Acamby Graben, Mexica Volcanic Belt. EarthS processes and Landform, Vol 23.
- 27- Schum, S. A. Dumont, J. F. Halbrook, J. M. (2000): Active Tectonics and Alluvial Rivers. Cambridge University Press, New York.
- 28- Silva. P.G.J.L. Zazo.C. Bardji, T. (2003): Fault Generated Mountain Fronts in Souttest Spain: Geomorphology Assessment of Tectonic and Seismic Activity, Geomorphology, 203-225.
- 29- Summerfield, M, A. (1985): Active Tectonic and Tectonics and Drainage Development, p 410.