

# بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌زایی

## گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه توپراقی)

موسی عابدینی<sup>۱\*</sup>، امیرحسام پاسبان<sup>۲</sup>، بهروز نضافت تکه<sup>۳</sup>، الهامه پورقاسمی<sup>۴</sup>

<sup>۱\*</sup> - استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

<sup>۳</sup> - دانشجوی دکتری، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

<sup>۴</sup> - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

\* ایمیل نویسنده مسئول: abedini@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷

### چکیده

عوامل تکتونیک از جمله عوامل دینامیکی می‌باشند که همواره حوضه‌های آبخیز و مخصوصاً نیم‌رخ طولی رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ریخت زمین‌ساخت، اشکال ایجاد شده بر روی زمین که بر اثر مکانیسم‌های زمین‌ساختی ایجاد شده است را مورد مطالعه قرار می‌دهد. به‌منظور بررسی نئوتکتونیک فعال، از شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی حوضه آبریز استفاده می‌گردد. در این پژوهش فعالیت‌های نئوتکتونیک حوضه آبخیز کوزه توپراقی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Gis10.3 و افزونه Archydro زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد بررسی استخراج گردید. برای محاسبه دقیق در هر زیرحوضه ۱۹ گانه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر استفاده گردید و در نهایت برای هر یک از شاخص‌ها نقشه پهنه‌بندی حوضه مورد بررسی در پنج رده تهیه گردید. در نهایت با توجه مقادیر محاسبه شده هر یک از شاخص‌ها شاخص زمین‌ساخت نسبی فعال برای حوضه استخراج شد. با توجه به شاخص زمین‌ساخت نسبی فعال منطقه مورد مطالعه به پنج رده بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم نئوتکتونیک تقسیم گردید. براساس ارزیابی توان لرزه‌خیزی این نتیجه حاصل گردید رابطه زارع با مقدار ۴/۷ ریشتر، نوروژی و اشجعی با مقدار ۵/۹ ریشتر و نوروژی ۵/۶ ریشتر می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت نئوتکتونیک متوسط را در بیشتر زیرحوضه‌های کوزه توپراقی نشان می‌دهد که در این مناطق فعالیت گسل شدت ندا شته و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات چندانی ایجاد نمی‌کند از مهم‌ترین گسل حوضه کوزه توپراقی می‌توان به گسل آمین‌آباد و ترکده اشاره کرد.

### کلمات کلیدی

"توان لرزه‌زایی"، "حوضه آبخیز"، "شاخص‌های ژئومورفیک"، "کوزه توپراقی"، "نئوتکتونیک".

### ۱- مقدمه

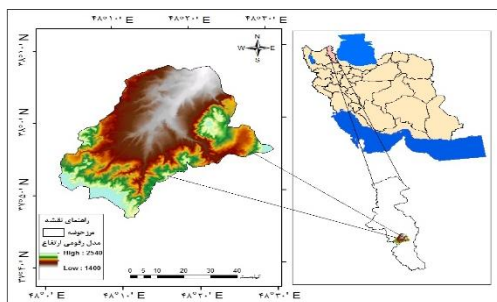
استخراج ویژگی‌های شکلی سطح زمین و عوارض موجود در آن با استفاده از مدل‌های رقومی سطح زمین و نرم‌افزارهای پارامترسازی است (جلالی و هم‌کاران، ۱۳۹۵). به‌عبارتی دیگر می‌توان گفت ژئومورفومتری علم کمی‌سازی عوارض توپوگرافی، با تمرکز بر استخراج پارامترهای عوارض سطح زمین براساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) است. اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه عینی زمین‌ریخت‌های مختلف و محاسبه متغیرهای کمتر قابل فهم را فراهم و شناسایی ویژگی‌های خاص شامل سطح فعالیت نئوتکتونیک یک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد (Keller, 1986). شاخص‌های نئوتکتونیک فعال می‌تواند ناهنجاری‌های موجود در سیستم رودخانه‌ای یا در طول جبهه‌های کوهستان را آشکار سازند. این ناهنجاری‌ها ممکن است در نتیجه تغییرات محلی به واسطه فعالیت‌های زمین‌ساختی ناشی از بالآمدگی یا فرونشست حاصل شود (El Hamdouni et al, 2008). اندازه‌گیری کمی لندفرم‌ها این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد تا با اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی در لندفرم‌های مختلف نقش تکتونیک فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند (Keller & Pinter, 2002). در ساده‌ترین شکل، لندفرم‌ها و شکل‌های تشکیل‌دهنده زمین با اندازه، ارتفاع، شیب مشخص می‌شوند. به‌عبارتی اندازه‌گیری‌های عددی به ژئومورفولوژیست‌ها این امکان را می‌دهد تا به‌طور عینی و ملموس شکل‌های مختلف را مقایسه و ارزیابی

نئوتکتونیک به حرکات جدید تکتونیک اطلاق می‌گردد که عمدتاً در گسل‌ها نمود پیدا می‌کند (رجبی، ۱۳۸۵)، علاوه بر جابجایی گسل‌ها آثار این حرکات را می‌توان در نحوه تحول مخروط‌افکنه‌ها و دشت‌های آبرفتی، نوع نهشته‌گذاری مواد و رفتار سیستم زهکش نیز مشاهده نمود (عابدینی، ۱۳۸۵)، فلات ایران یک منطقه چین‌خورده آلی است. در حال حاضر نیز از هر طرف تحت فشار بوده و حرکات نئوتکتونیک هنوز در آن ادامه دارد. وقوع زمین‌لرزه‌های مکرر در ایران یکی از پیامدهای فعال بودن جنبش‌های نئوتکتونیک در حال حاضر است. واقع شدن کانون اکثر زمین‌لرزه‌های ثبت شده در امتداد دو کمربند چین‌خورده و جوان حاشیه شمالی و جنوبی (البرز و زاگرس)، ایران به خوبی این ارتباط را نشان می‌دهد (Berberian & King, 1981). تکتونیک ژئومورفولوژی مطالعه لندفرم‌های ناشی از تکتونیسم و تعامل بین تکتونیک و فرایندهای ژئومورفیک است (Geophysics study committee, 1986). تقریباً هیچ منطقه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات نئوتکتونیک قرار نگرفته باشد (Keller & Pinter, 2002). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل‌یافته به‌وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Giaconia et al. 2012). هدف ژئومورفومتری،

## ۲- روش انجام تحقیق

### • محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز کوزه توپراقی به ترتیب با مساحت و محیط ۸۰۵/۷۰ کیلومتر مربع و ۱۴۸/۹۸ کیلومتر در قسمت جنوبی استان اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر و در مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 48' 00''$  تا  $38^{\circ} 07' 30''$  عرض شمالی و  $48^{\circ} 30'$  طول شرقی و  $35^{\circ} 46'$  تا  $37^{\circ} 30'$  واقع شده است. ضریب فشردگی برای حوضه آبخیز کوزه توپراقی ۱/۴۷ می باشد که نشان دهنده کشیده بودن حوضه است. مناطق مسکونی حوضه آبخیز کوزه توپراقی را ۶۵ روستا تشکیل می دهد که روستاهای مهم منطقه قلعه جوق، خان قشلاقی، جعفرلو و مولان هستند. پایین ترین و بالاترین ارتفاع حوضه به ترتیب برابر با ۱۳۷۸ و ۲۵۴۹ متر نسبت به سطح دریا است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

تحقیق حاضر به منظور ارزیابی میزان نسبی فعالیت زمین ساختی در حوضه آبخیز کوزه توپراقی انجام شده است. در ابتدا برای انجام محاسبات مربوط به هر شاخص و امکان مقایسه نتایج حاصل از محاسبات شاخص ها، گستره مورد بررسی به زیرحوضه هایی تقسیم شد. با استفاده از افزونه Archydro در نرم افزار GIS 10.3 و مدل رقومی ارتفاعی DEM ۱۲ متر، زیرحوضه ها، شبکه های آبراه های و آبراهه های اصلی استخراج شد و منطقه مورد مطالعه به ۱۹ زیرحوضه تقسیم شد شکل (۳). سپس به محاسبه شاخص ها پرداخته شد. در مرحله بعد، با استفاده از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور در گستره مورد بررسی، ساختارهای اصلی منطقه مانند گسل ها تعیین شد. تمامی گسل های اصلی و گسل های فرعی واقع در منطقه شناسایی شد. در مرحله پایانی، نتایج حاصل از اندازه گیری شاخص های ژئومورفولوژی و ساختارهای اصلی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شاخص های مورد بررسی در منطقه عبارتند از: شاخص ضریب شکل (Pf)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص برجستگی نسبی (Bh)، شاخص گرادیان طولی رود (SL)، شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi)، شاخص پهنای کف دره به ارتفاع (Vf)، می باشند.

### • شاخص ضریب شکل (Ff)

حوضه های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل های گوناگون هستند. به طوری که با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی دبی اوج حوضه های

کرده و با محاسبه الگوها و شاخص ها به تشخیص و تبیین تفاوت ها و تشابهات ژئومورفولوژیکی یک منطقه معین را از یک ناحیه دیگر مبادرت ورزند (عابدینی، ۱۳۹۵). پژوهش های زیادی در ارتباط با بررسی های ژئومورفیک در مناطق مختلف با استفاده از شاخص های ژئومورفومتریک انجام شده که در منابع انگلیسی و منابع داخلی می توان به مطالعات زیر اشاره کرد. خلیج (۱۴۰۰)، به ارزیابی فعالیت تکتونیکی حوضه آبریز قروه- دهکلان با استفاده از شاخص های ژئومورفیک پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید فعالیت زمین ساختی بالا را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که به دلیل فعالیت گسل های موجود در منطقه است. از مهم ترین گسل های واقع در منطقه می توان گسل های بنه آباد، سورمه علی، پریشان، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل خلخال را نام برد. مقصدی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه های حبله رود و کردان بر اساس شاخص های ژئومورفیک پرداختند. این محققین به این نتیجه رسیدند حوضه کردان در کلاس ۱ و حوضه حبله رود در کلاس ۲ قرار دارد. طبق طبقه بندی از شاخص IAT می توان گفت که هر دو منطقه از نظر تکتونیکی فعال هستند ولی میزان فعالیت های تکتونیکی در حوضه کردان نسبت به حوضه حبله رود بیش تر است. نگهبان و درتاج (۱۳۹۸)، به ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص های ژئومورفیک پرداختند ایشان به این نتیجه رسیدند نتایج حاصل از این شاخص بیانگر این است که در بین زیرحوضه های مطالعاتی، زیرحوضه شویشه با میانگین کلاس ۲، دارای وضعیت فعال تری نسبت به سایر زیرحوضه ها است. دزفولی کلونی و ایلانلو (۱۳۹۷)، ارزیابی فعالیت های تکتونیکی در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص های ژئومورفیک پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند در حوضه دالکی، بریدگی نسبتاً زیاد جبهه کوهستانی، موجب سینوسی زیاد آن شده است. شکل حوضه نیمه کشیده و از نظر تقارن توپوگرافی، نیمه متقارن است، ولی بی نظمی های موجود در نیمرخ طولی رودخانه به دلیل واحدهای لیتولوژی مختلف و ساختارهای گسلی متعدد، زیاد است. به این ترتیب، مجموع داده ها و شواهد زمینی در حوضه آبریز دالکی نیمه فعال بودن آن را از نظر دینامیک نیروهای درونی زمین نشان می دهد. عابدینی و شبرنگ (۱۳۹۳)، به بررسی فعالیت های تکتونیکی حوضه آبریز مشکین چای را با شاخص های ژئومورفولوژی پرداختند. ایشان به نتیجه رسیدند که کل حوضه مورد مطالعه از لحاظ تکتونیکی پویاست. نگاپنا و همکاران (۲۰۲۰)، به منظور ارزیابی زمین ساخت فعال در منطقه ایدیا اسکا در قسمت جنوب غربی کامرون با استفاده از شاخص های ژئومورفیکی پرداختند. نتایج کار این محققین نشان داد که فعالیت مجدد گسل های که در این منطقه قرار دارند عامل ایجاد زلزله های شدید هستند. گارسیا و والدیا (۲۰۲۰)، فعالیت های تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی را در منطقه سن لو کاس در کوردیلرای مرکزی با استفاده از شاخص های ریخت شناسی و ژئومورفولوژیکی مورد مطالعه قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش ترین فعالیت زمین ساختی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل های سیمیتی - سن بلاس در راستای گسل های با روند شمال غرب جنوب شرق و در شمال حوضه فله سطین است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی فعالیت تکتونیکی حوضه آبخیز کوزه توپراقی استان اردبیل با استفاده از شاخص های ژئومورفیک می باشد.

$$Bh = Hmax - Hmin \quad (۳)$$

در این رابطه Hmax مقدار ارتفاع بیشینه و Hmin مقدار ارتفاع کمینه حوضه است. مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه در هر حوضه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به دست می‌آید. برجستگی نسبی نقش مهمی در توسعه شبکه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، توسعه اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد و مقدار بالای آن نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است. این شاخص، نشان‌دهنده ارتفاع نسبی یک حوضه است و مقدار بالای برجستگی نسبی، بیانگر نرخ بالآمدگی بیش‌تر است که به دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیش‌تر است.

#### • شاخص گرادیان طولی رود (SL)

شاخص گرادیان طولی رود از جمله شاخص‌های مهم تفکیک مناطق فعال و غیرفعال نتوتکتونیک به حساب می‌آید. این شاخص ابزار مفیدی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی است (Pinter & Keller, 2002). هنگامی که رودخانه و آبراه‌ها در نواحی با نرخ بالآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد. این شاخص براساس رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad (۴)$$

در رابطه بالا SL گرادیان طولی رود،  $(\Delta H)$  اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه،  $(\Delta L)$  فاصله افقی همان محل،  $(\Delta H / \Delta L)$  گرادیان مسیر کانال رود و L طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه است. شاخص گرادیان طولی رود منعکس‌کننده تغییرات توپوگرافیکی در امتداد یک رودخانه است. به‌طور معمول این تغییرات تحت تأثیر سه عامل که شامل: فعالیت نتوتکتونیک باعث ایجاد بالآمدگی می‌گردد، تفاوت سنگ‌شناسی و فراوانی زیاد تغییرات سطح اساس دریا طی دوره چهارم زمین‌شناسی هستند (Font et al., 2010). در مناطقی که گسل آبراهه را قطع می‌کند، بیشترین مقدار شاخص گرادیان طولی مشاهده می‌شود و این مناطق فعال هستند (El Hamdouni et al, 2008). برای شاخص گرادیان طولی رود رده‌بندی خاصی ارائه کرده‌اند که براساس این رده‌بندی و با توجه به میزان شاخص (SL) به هر قطعه آبراهه که شامل فاصله بین نقطه میانی دو خط تراز مجاور با ارتفاع معین تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است، یک رنگ مشخص اختصاص یافته است.

#### • شاخص انتگرال (Hi)

انتگرال هیسومتری بیان‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه به‌ویژه حوضه آبریز است وضعیت تشخیص (Strahler, 1952). فرسایش برای تمام حوضه‌های زهکشی اصلی مهم و ضروری است. تحلیل فراسنجی به‌عنوان یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به‌کار برده می‌شود (Singh, 2009). این شاخص به‌عنوان مساحت نسبی زیر منحنی فراسنجی تعریف شده که بیانگر حجم فرسایش نیافته حوضه است (Keller and pinter, 2002). مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی

گرد بیش‌تر از حوضه‌های کشیده خواهد بود. به دلیل این که شکل حوضه تابعی از پستی و بلندی و محیط آن است گوناگونی زیادی در شکل حوضه‌ها قابل مشاهده است و مقایسه آن‌ها را با یکدیگر دچار مشکل می‌کند. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید (Horton, 1945).

$$Pf = A/L^2 \quad (۱)$$

در این رابطه، A مساحت حوضه و L مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراهه اصلی تا بلندترین نقطه در حوضه محاسبه می‌گردد. هرچه مقدار ضریب فرم به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، حوضه به مربع نزدیک‌تر است و هرچه ضریب فرم کوچک‌تر از ۱ باشد، حوضه کشیده‌تر است. حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر نتوتکتونیک، دارای شکل کشیده‌تری هستند (Bull & Mcfadden, 1977) برای زیر حوضه‌های واقع در منطقه کوزه توپراقی، مقادیر شاخص مذکور محاسبه و نقشه پهنه‌بندی ترسیم گردید.

#### • شاخص تراکم زهکشی (Dd)

تراکم زهکشی یک شاخص ژئومورفولوژی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، منعکس‌کننده فرایندهای حاکم بر چشم‌اندازها است (Stoddart 2013. 31-61). این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر نتوتکتونیک فعال در منطقه باشد (Devi et al., 2011. 14-31). شاخص تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می‌گردد (Horton, 1945: 275-370).

$$Dd = Lu/A \quad (۲)$$

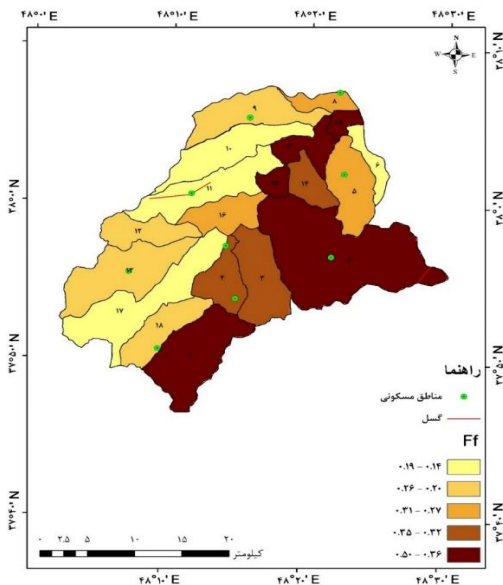
در رابطه بالا Lu مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و A مساحت حوضه است. میزان تراکم آبراهه در یک حوضه، می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت شدت و ضعف آبراهه‌ها و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن مقدار باشد (Katz et al., 2002). اندازه شاخص تراکم زهکشی به فرسایش و میزان برش چشم‌اندازها بستگی دارد. شبکه زهکشی در چشم‌اندازهای قدیمی که در زمان طولانی مدت در سطح زمین قرار دارند، گسترش بیش‌تری پیدا کرده و در نتیجه دارای مقدار تراکم زهکشی زیادتری است. مقدار تراکم زهکشی در حوضه‌هایی که دارای فعالیت نتوتکتونیک عهد حاضر هستند، کم‌تر است. مقادیر بالای شاخص تراکم زهکشی بیانگر این است که منطقه شامل مواد زیرسطحی ضعیف یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است (Keller et al., 1998). این شاخص بر اساس مساحت و مجموع طول آبراهه‌ها برای هر حوضه با استفاده از نرم افزار Gis10.3 محاسبه گردید و نقشه پهنه‌بندی تراکم زهکشی زیرحوضه‌های کوزه توپراقی محاسبه شد.

#### • شاخص برجستگی نسبی (Bh)

شاخص برجستگی نسبی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به دست می‌آید و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

• تحلیل شاخص ضریب شکل

بر اساس شکل (۴)، نقشه پراکندگی ضریب شکل برای پهنه‌بندی فعالیت نئوتکتونیک تهیه گردید. بر اساس نتایج حاصله از ضریب شکل نتایج به‌دست آمده به این صورت است که به پنج رده فعالیت نئوتکتونیک تقسیم گردید. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ( $Ff < 0.19$ )، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ( $0.19 < Ff < 0.26$ )، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ( $0.26 < Ff < 0.31$ )، رده چهار: فعالیت زمین‌ساختی کم ( $0.31 < Ff < 0.37$ )، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ( $0.37 < Ff < 0.50$ )، بر این اساس کم‌ترین مقدار ضریب شکل مربوط به زیر حوضه‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۷ با مقدار ۰/۱۴ است که دارای بیش‌ترین کشیدگی و بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک است و بیش‌ترین مقدار شاخص ضریب شکل مربوط به زیر حوضه‌های ۱، ۲، ۷، ۱۵، ۱۹ با مقدار ۰/۵۰ است که کم‌ترین فعالیت نئوتکتونیک را دارد. به عبارتی می‌توان دلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک بیشتر را در زیر حوضه‌های ۱۰ و ۱۱ در اثر فعالیت گسل باشد.



شکل ۴- نقشه پراکندگی شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه  
منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

• تحلیل شاخص تراکم زهکشی

بر اساس شکل (۵)، نقشه پهنه‌بندی برای شاخص تراکم زهکشی ترسیم گردید. این شاخص به پنج رده فعالیت نئوتکتونیک تقسیم گردید. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ( $0.18 < Dd < 0.21$ )، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ( $0.21 < Dd < 0.30$ )، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ( $0.30 < Dd < 0.36$ )، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ( $0.36 < Dd < 0.44$ )، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ( $0.44 < Dd < 0.68$ )، در نهایت بر اساس رده‌بندی فعالیت نئوتکتونیک در زیر حوضه‌های کوزه توپراقی بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک مربوط به زیر حوضه‌های ۱ و ۲ است که ناشی از وجود گسل در زیر حوضه ۲ می‌باشد. کم‌ترین فعالیت نئوتکتونیک نیز مربوط به زیر حوضه‌های ۶، ۱۵، ۱۶ و ۱۹ می‌باشد.

است، در صورتی که مقادیر پایین آن مربوط به نواحی قدیمی است که دچار فرسایش شده و کم‌تر تحت تأثیر زمین‌ساخت گرفته‌اند (El Hamdouni et al., 2008). بر اساس رابطه زیر شاخص انتگرال و هیپسومتری محاسبه می‌گردد.

$$Hi = \frac{\text{(average elevation - min elevation)}}{\text{(max elevation - min elevation)}} \quad (5)$$

استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲ متر، ارتفاع کمینه، بیشینه و میانگین برای هر زیر حوضه به‌دست آمد و با توجه به رابطه بالا شاخص هیپسومتری برای ۱۹ زیر حوضه در حوضه مورد بررسی محاسبه شد. منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم گردید. بر اساس ترسیم مساحت تجمعی در محور X و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت منحنی به‌دست آمد.

• شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)

یکی دیگر از شاخص‌های بسیار معمول ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک در هر منطقه کوهستانی شاخص پهنای کف دره به ارتفاع دامنه‌های آن است (Bull & Mcfadden, 1977). بر اساس رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$V_f = \frac{2V_{FW}}{E_{id} - E_{sc}} + (E_{rd} - E_{sc}) \quad (6)$$

در این رابطه  $V_f$  پهنای دره با ارتفاع آن،  $V_{FW}$  پهنای کف دره،  $E_{rd}$  ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت راست دره،  $E_{sc}$  ارتفاع متوسط از سطح آب‌های آزاد،  $E_{id}$  ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت چپ دره می‌باشد.

• شاخص نئوتکتونیک فعال نسبی (LAT)

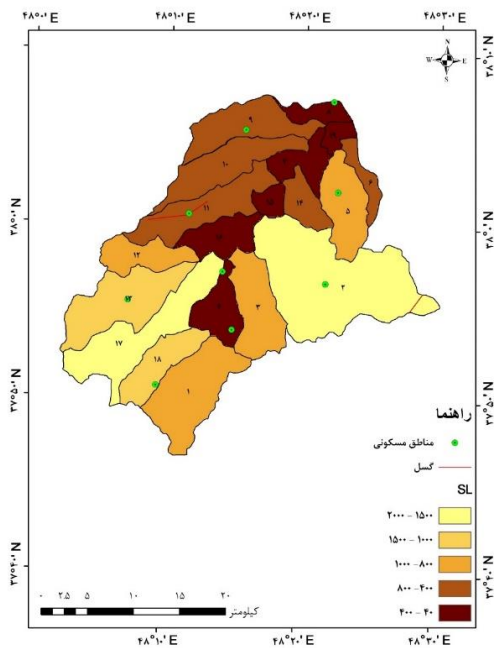
در این پژوهش از شاخص‌های مورفومتری به‌منظور بررسی گستره مورد مطالعه از لحاظ فعالیت نئوتکتونیک استفاده شده است که شامل شاخص برجستگی نسبی (Bh) شاخص تراکم زهکش (Dd) شاخص ضریب شکل (Pf) شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi) شاخص پهنای کف دره (Vf) و شاخص گرادیان طولی رود (SL) هستند. هر شاخص به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده تقسیم شد و در نهایت با میانگین‌گیری از رده کل شاخص‌ها شاخص نئوتکتونیک فعال نسبی (Lat) برای ۱۹ حوضه در گستره مورد مطالعه حوضه کوزه توپراقی محاسبه گردید.

۳- نتایج

با توجه به شاخص‌های ژئومورفیک که در بخش مواد و روش به صورت مختصر توضیح داده شد. در این بخش به بررسی نتایج حاصله هریک از شاخص‌ها را پرداخته شده است.

• شاخص گرادیان طولی رود

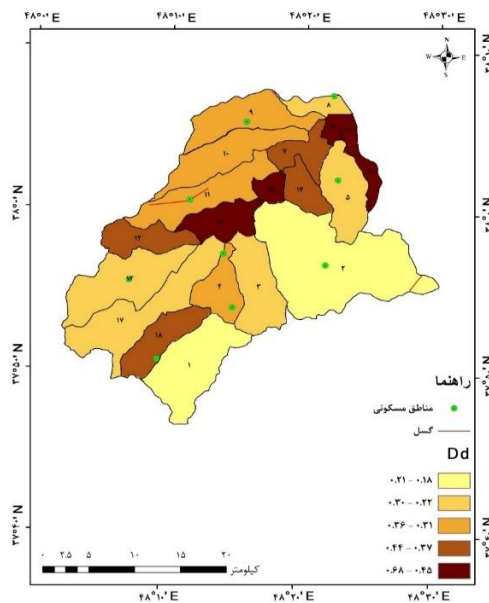
براساس شکل (۷)، شاخص گرادیان طولی رودخانه به پنج رده تقسیم می‌گردد. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ( $SL < 2000$ )، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ( $1500 < SL < 1000$ )، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ( $800 < SL < 400$ )، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ( $400 < SL < 40$ )، بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک مربوط به زیرحوضه‌های ۲ و ۱۷ است و کم‌ترین میزان فعالیت نئوتکتونیک مربوط به زیرحوضه‌های ۴، ۷، ۸، ۱۵، ۱۶ و ۱۹ می‌باشد.



شکل ۷- نقشه پراکندگی مقادیر شاخص گرادیان طولی رود در منطقه مورد مطالعه  
منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

• شاخص انتگرال فرارسنجی

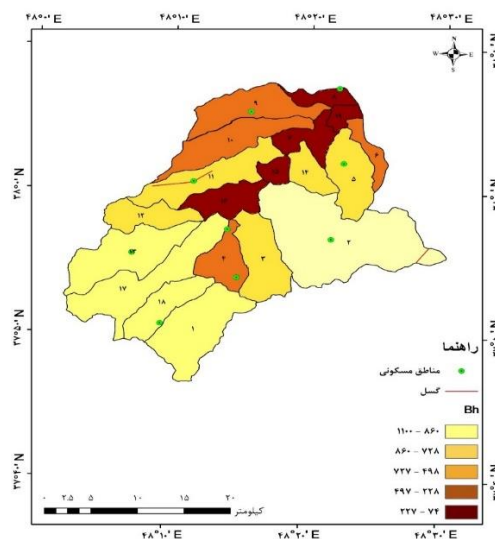
براساس شکل (۸)، شاخص فرارسنجی به لحاظ نئوتکتونیک پنج رده گروه‌بندی گردید. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ( $Hi < 0/38$ )، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ( $0/38 < Hi < 0/48$ )، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ( $0/48 < Hi < 0/50$ )، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ( $0/50 < Hi < 0/51$ )، بیش‌ترین میزان فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ( $0/51 < Hi < 0/58$ )، کم‌ترین آن مرتبط به زیرحوضه‌های ۱۴، ۱۵ و ۷ می‌باشد.



شکل ۵- نقشه پراکندگی شاخص تراکم زهکشی در منطقه مورد مطالعه  
منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

• تحلیل شاخص برجستگی نسبی

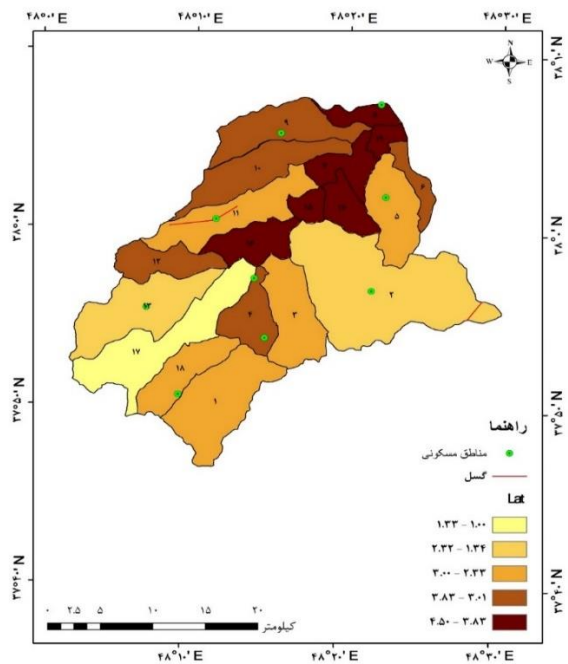
براساس شکل (۶)، شاخص برجستگی نسبی به لحاظ فعالیت نئوتکتونیک به پنج رده تقسیم می‌گردد. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ( $Bh < 860$ )، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ( $860 < Bh < 498$ )، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ( $498 < Bh < 728$ )، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ( $728 < Bh < 227$ )، بیش‌ترین میزان ارتفاع باشد فرسایش حاصله کم‌تر خواهد بود و در نتیجه فعالیت‌های نئوتکتونیک بیش‌تر خواهد بود. به عبارتی بیش‌ترین مقدار شاخص برجستگی نسبی با ۱۱۰۰ مربوط به زیرحوضه ۲ است که به دلیل فعالیت گسلی بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک را دارا می‌باشد. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در زیرحوضه‌های ۷، ۸، ۱۵، ۱۶ و ۱۹ است که هیچ مورد گسلی در این زیرحوضه‌ها وجود ندارد.



شکل ۶- نقشه پراکندگی شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه  
منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

• شاخص فعال زمین ساخت نسبی

شاخص زمین ساخت براساس شش شاخص بررسی شده ایجاد شده است که بر پنج رده تقسیم شده است. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ( $Lat < 2/33$ )، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ( $2/33 < Lat < 1/33$ )، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ( $1/33 < Lat < 3/83$ )، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ( $3/83 < Lat < 3/01$ )، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ( $3/83 < Lat < 4/50$ )، بر این اساس نقشه پهنه بندی سطح فعالیت نئوتکتونیک نیز برای شاخص (Lat)، ترسیم گردید. براساس نتایج حاصل از بررسی نئوتکتونیک فعال نسبی در حوضه کوزه توپراقی می توان نتیجه گرفت بیش تر مساحت حوضه کوزه توپراقی در رده فعالیت متوسط قرار گرفته است زیرا حدود ۷ زیر حوضه در رده سوم (۳)، قرار دارد. اعداد مربوط به هر شاخص در جدول (۱)، آمده است.

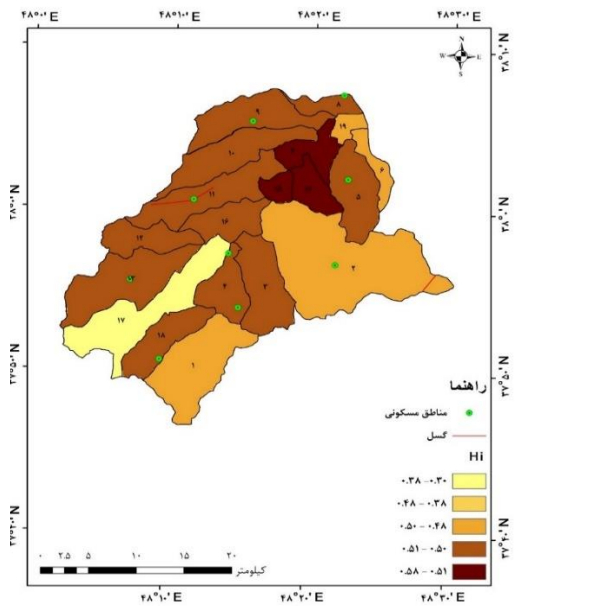


شکل ۱- نقشه توزیع سطح فعالیت زمین ساخت نسبی در منطقه مورد مطالعه

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

جدول ۱- مقادیر شش شاخص اندازه گیری شده و سطح فعالیت نئوتکتونیک در گستره مورد مطالعه

Basin no	Bh	Dd	Ff	Hi	SL	Vf	Lat	Class Lat
۱	۸۰۷	-۰/۱۸	-۰/۳۸	-۰/۴۹	۸۸۰	-۰/۳۲	۲/۶۷	۳
۲	۱۰۷۴	-۰/۲	-۰/۳۵	-۰/۴۹	۱۸۸۰	-۰/۷۱	۲/۱۷	۲
۳	۵۸۰	-۰/۲۱	-۰/۳۳	-۰/۵	۹۶۱	-۰/۵۶	۲/۶۷	۳
۴	۴۶۰	-۰/۳۳	-۰/۳۱	-۰/۵	۳۶۰	۱/۳۵	۳/۵	۴
۵	۷۲۷	-۰/۲۷	-۰/۲۹	-۰/۵	۱۰۸۰	-۰/۱۹	۲/۳۳	۳
۶	۴۹۷	-۰/۶۸	-۰/۱۴	-۰/۴۹	۷۶۰	۲/۹۲	۳/۵	۴
۷	۲۱۹	-۰/۳۶	-۰/۳۸	-۰/۵۲	۴۰	۳/۶۶	۴/۵	۵
۸	۲۰۰	-۰/۲۶	-۰/۳۱	-۰/۵	۴۰	۹/۸۱	۳/۸۳	۴
۹	۴۰۹	-۰/۳۶	-۰/۱۹	-۰/۵	۷۶۰	۱/۴۶	۳/۱۷	۴
۱۰	۳۸۰	-۰/۳۳	-۰/۱۴	-۰/۵	۵۶۰	۴/۱۶	۳/۳۳	۴
۱۱	۶۵۶	-۰/۳	-۰/۱۷	-۰/۵	۵۶۰	۳/۸۲	۲/۸۳	۳

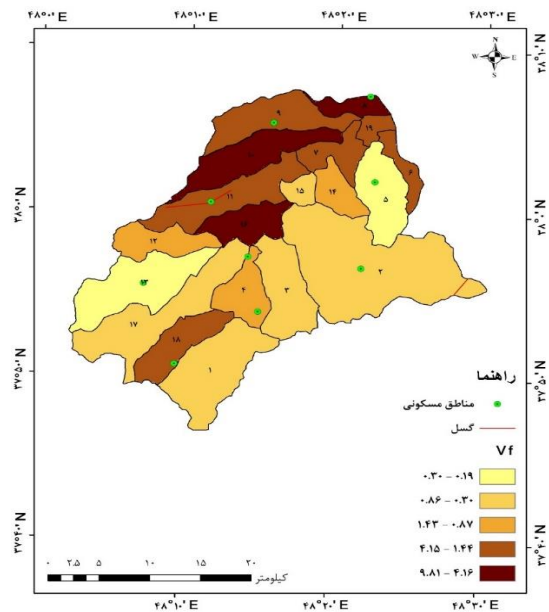


شکل ۸- نقشه پراکندگی شاخص انتگرال فرازسنجی در منطقه مورد مطالعه

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

• شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن

براساس نتایج به دست آمده از شکل (۹)، مشاهده می گردد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن به پنج رده: رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ( $0/19 < Vf < 0/30$ )، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ( $0/30 < Vf < 0/86$ )، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ( $0/86 < Vf < 1/44$ )، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ( $1/44 < Vf < 0/87$ )، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ( $0/87 < Vf < 9/81$ )، تقسیم شده است. بیش ترین فعالیت نئوتکتونیک براساس نتایج شاخص پهنای کف دره مربوط به زیرحوضه ۱۳ می باشد و کم ترین مقدار به زیرحوضه های ۸، ۱۰ و ۱۶ می باشد.



شکل ۹- نقشه پراکندگی مقادیر شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن در منطقه مورد مطالعه

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

گسل ترکه‌ده (۴/۷)، در حوضه مورد بررسی را برحسب ریشتر نشان می‌دهد.

جدول ۲- توان لرزه‌زایی گسل‌های موجود در حوضه کوزه توپراقی بر حسب ریشتر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	زارع	نوروزی	نوروزی و اشجعی	میانگین
امین‌آباد	۳/۴۵	۴/۷	۵/۶	۵/۹	۵/۴
ترکه‌ده	۱/۲۱	۳/۸	۵	۵/۴	۴/۷

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی فعالیت تئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی این نتیجه حاصل گردید که منطقه از نظر فعالیت‌های تکتونیکی در وضعیت متوسط قرار دارد در نهایت براساس شاخص ضریب شکل بیش‌ترین فعالیت تئوتکتونیکی مربوط به زیر حوضه‌های ۱۰، ۱۱، ۱۷، با مقدار ۰/۱۴ است. بیش‌ترین فعالیت تئوتکتونیکی براساس شاخص تراکم زهک‌شی مربوط به زیر حوضه‌های ۱ و ۱۲ است. همچنین زیرحوضه ۲ در شاخص برجستگی از نظر فعالیت تئوتکتونیکی بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است شاخص گرادیان طولی زیر حوضه ۲ و ۱۷، شاخص انتگرال زیرحوضه ۱۷، شاخص پهنای کف دره زیرحوضه ۱۳ بیش‌ترین فعالیت‌های تئوتکتونیکی را به خود اختصاص داده‌اند بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود براساس شاخص فعالیت زمین ساخت نسبی بیش‌ترین مساحت حوضه کوزه توپراقی در رده فعالیت تکتونیکی متوسط قرار گرفته است. براساس ارزیابی توان لرزه‌خیزی این نتیجه حاصل گردید رابطه زارع با مقدار ۴/۷ ریشتر، نوروزی و اشجعی با مقدار ۵/۹ ریشتر و نوروزی ۵/۶ ریشتر می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برای جلوگیری از خسارت‌های جانی و مالی توسط فعالیت‌های تئوتکتونیکی روی گسل‌های امین‌آباد و ترکه‌ده فعالیت‌های پیشگیرانه در جهت جلوگیری از ساخت و سازهای غیرمجاز بر روی گسل‌های مورد مطالعه انجام گیرد.

۱۲	۶۴۰	۰/۴	۰/۲۵	۰/۵	۹۲۰	۰/۸۹	۳	۳
۱۳	۸۳۰	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۵	۱۱۶۱	۰/۲۹	۲	۲
۱۴	۶۶۰	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۵۶	۵۴۴	۱/۰۹	۳/۸۳	۴
۱۵	۱۴۰	۰/۴۴	۰/۵	۰/۵۸	۴۰	۰/۵۵	۴/۳۳	۵
۱۶	۳۲۷	۰/۵۲	۰/۲۶	۰/۵	۱۲۰	۶/۶۲	۴/۱۷	۵
۱۷	۸۶۰	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۳۸	۱۵۲۰	۰/۶۵	۱/۳۳	۱
۱۸	۸۲۰	۰/۴	۰/۲۱	۰/۵	۱۴۴۰	۲/۶۷	۲/۸۳	۳
۱۹	۷۴	۰/۵	۰/۴۵	۰/۴۹	۱۲۰	۴/۱۲	۴/۵	۵

#### • نتایج ارزیابی توان لرزه‌خیزی گسل‌های گسترده مورد مطالعه

روش بزرگا- طول گسل یکی از معتبرترین روش‌ها در اندازه‌گیری توان لرزه‌زایی گسل می‌باشد (حسین پور، ۱۳۸۶، ۷۹)، برخی روابط کمی تعیین توان لرزه‌زایی گسل‌ها عبارت‌اند از:  
الف: رابطه زارع (۱۳۷۴).

$$M_s = 3.66 + 0.91 \ln L \quad (7)$$

در رابطه بالا  $L$  نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است (حسین پور و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۱).  
ب: رابطه نوروزی (۱۹۸۵).

$$M_s = 1.259 + 1.244 \log_1 L \quad (8)$$

در رابطه بالا  $L$  نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۲۸).  
پ: رابطه نوروزی و مهاجر اشجعی (۱۹۷۸).

$$M_s = 5.4 + \log_1 L \quad (9)$$

که  $M_s$  بزرگی زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر و  $L$  نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است (سادات ریاضی راد، ۱۳۸۸، ۸۱).  
با توجه به این محاسبه‌ها، میانگین لرزه‌زایی برحسب ریشتر به دست آمد جدول (۲)، مقادیر حداکثر توان لرزه‌زایی گسل‌های امین‌آباد (۵/۴) و

#### منابع

- یمانی، م.، کامرانی دلیر، ح.، باقری، س.، ۱۳۸۹. مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز چله زاگرس شمال غربی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره، صص ۲۶-۱.
- مقصودی، م.، کامرانی دلیر، ح.، ۱۳۸۷. ارزیابی نقش تکتونیک فعال تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، صص ۵۵-۳۷.
- مقصودی، م.، جعفری، م.، جعفری، ر.، ۱۳۹۹. ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های حبله رود و کردان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک، دوره ۹، شماره ۳۵، صص ۷۷-۵۵.
- جلالی، س.، صمدی، م.، صمدی قشلاقچانی، م.، کرزادی، آ.، ۱۳۹۵. بررسی شاخص‌های مورفومتری در حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان با استفاده از GIS، مجله علمی ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دوره ۷، شماره ۴، صص ۷۴-۶۷.
- عابدینی، م.، ۱۳۹۵. ژئومورفولوژی تکتونیکی، جلد اول، چاپ اول، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- رجیبی، م.، ۱۳۸۵. تحلیل فعالیت‌های تئوتکتونیکی در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۴، صص ۱۹۱-۱۷۸.
- عابدینی، م.، ۱۳۸۵. نقش عوامل مؤثر در گسترش و تکامل مخروط افکنه‌های ارتفاعات دره دیز دیوان - داغی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های جدید، پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۵۵، صص ۸۹-۷۳.

- عابدینی، م.، شبرنگ، ش.، ۱۳۹۳. ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت در حوضه آبخیز مشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، صص ۴۹-۶۶.
- حسین پور، م.، ۱۳۸۶. بررسی‌های سائزموکتونیک شمال غرب ایران و پهنه‌بندی خطر زمین لرزه در شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی محسن مؤید، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.
- خلج، م.، ۱۴۰۰. ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبریز قروه -دهگلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، جغرافیا و توسعه، سال ۱۹. شماره ۶۲، صص ۱۵۶-۱۳۳.
- سادات ریاضی راد، ز.، کی‌نژاد، آ.، قمی‌اویلی، ج.، ۱۳۸۸. بررسی لرزه زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا، فصلنامه زمین، شماره ۴، صص ۷۷-۸۹.
- دزفولی کلونی، ز.، ایلانلو، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۴۱، صص ۱۴۰-۱۲۳.
- نگهبان، س.، درتاج، د.، ۱۳۹۸. ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۹، صص ۲۰۹-۱۸۷.
- Berberian, M. King, G.C.P. 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences. 18, PP. 210- 265
- Geophysics Study Committee. 1986. Studies in geophysics, active tectonics. National Academy Press. Washington, D.C.
- Keller, E.A. and Pinter, N. 2002. Earthquakes, Uplift, and Landscape. 362.
- Giaconia, F. Booth-Rea, G. Martínez-Martínez, J.M. Azañón, J.M. PérezPeña, J.V. Pérez-Romero, J.Villegas, I. 2012. Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhamila (eastern Betics, SE Spain). Geomorphology. 145-146, PP. 90-106.
- Keller, E.A. Zepeda, R.L. Rockwell, T.K. Ku, T.L. Dinklage, W.S. 1998..Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California, Geological Society of America Bulletin. 110, PP. 298–310.
- El Hamdouni, R. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacón, J. Keller, E.A. 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), Geomorphology. 96, PP.150-73.
- Ngapna, M.N. Owona, S. Owono, F.M. Ateba, C.B. Tsimi, V.M. Ondo, J.M. Ekodeck, G.E. 2020. Assessment of relative active tectonics in Edea–Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). Journal of African Earth Sciences. 164, PP. 103-798.
- García Delgado, H. Velandia, F. 2020. Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the NorthernAndes. Geomorphology. 349,PP.106-914.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, Geological Society of America Bulletin. 56, PP. 275- 370.
- Bull W.B., Mcfadden, L.D. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring", D.O., (Ed.), Geomorphology in arid regions. Proceedings of the 8th Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton. Pp. 115-138.
- Stoddart, D. 2013. Drainage density: problems of prediction and application. In Process and form in geomorphology. PP.31-61.
- Katz, R.W. Parlange, M.B. Naveau, P. 2002. Statistics of extremes in hydrology. Advances in water resources. 25, PP. 1287-1304.
- Font, M. Amorese, D. Lagarde, J.L. 2010. DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France). Geomorphology. 119, PP.172-180.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin. 63, PP.1117- 1142.
- Singh, O.M. 2009. Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser Himalayan Watersheds. Journal of Soil & Water conservation. 8, PP.53-59.
- Hassanzadeh, R., Zorica, N., Alavir, A., Norouzzadeh, M., and Hodhodkian, H. 2013. Interactive approach GIS-based earthquake scenario development and resource estimation, Computers & Geosciences. Vol.51, pp.324-338.



## Investigation of neotectonic activities using geomorphic and seismic potentials of faults (Case study: Pine-basin watershed)

Mousa Abedini<sup>\*1</sup>; Amir Hesam Pasban<sup>2</sup>; Behrouz Nezafat Teklhe<sup>3</sup>; Elhameh Pourghasemi<sup>4</sup>

<sup>\*</sup>1-Professor of geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2-PhD Student of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3- PhD Student of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4- M.Sc., Department of Natural Geography (Climatology), Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran .

\*Email Address: abedini@uma.ac.ir

### Abstract

#### Introduction

Neotectonics refers to new tectonic movements that are mainly manifested in faults (Rajabi, 2006, 178). Abedini, 1385, 74). The Iranian plateau is an alpine fold. It is still under pressure from all sides and neotectonic movements are still going on. Occurrence of repeated earthquakes in Iran is one of the consequences of active neotectonic movements at present. The location of most of the recorded earthquakes along the two folded and young belts of the northern and southern margins (Alborz and Zagros), Iran shows this relationship well: Tectonism and the interaction between tectonics and geomorphic processes (Geophysics study committee, 1986: 25-76) Almost no region in the world can be found that has not been affected by neotectonic changes over the last few thousand years (Keller & Pinter, 2002: 362. Geomorphic indices have been widely used as a tool to identify and characterize deformed parts by active faults (Giaconia et al. 2012: 106-90. The use of digital land surface models and parametricization software (Jalali et al., 2016, 74, 67)., Quantitative measurements make it possible to objectively compare different landslides and calculate less intelligible variables, and to identify specific features including the level of neotectonic activity of an area (Keller, 1986: 136-147). Active neotectonic indices can reveal abnormalities in the river system or along mountain fronts. These anomalies may be the result of local changes due to uplift or subsidence tectonic activity (El Hamdouni et al, 2008: 150-173). Garcia and Valdia (2020) studied tectonic and geomorphological activity in the Senolucas region of Central Corderlai using morphological and geomorphological features. Blas is in the direction of a fault with a trend from northwest to southeast and north of the Palestinian Basin. The aim of the present study is to evaluate the neotectonic activity of the Toprazi Koozeh watershed in Ardabil province using geomorphic indices.

#### Methodology

The present study was conducted to evaluate the relative amount of tectonic activity in the Topraqi Pond watershed. Initially, in order to perform calculations related to each index and the possibility of comparing the results of index calculations, the study area was divided into sub-basins. Using the Archydro plugin in GIS10.3 software and the 12-meter DEM digital elevation model, sub-basins, waterway networks and main waterways were extracted and the study area was divided into 19 sub-basins (Figure 3). Then the indicators were calculated. In the next stage, using the geological maps of 1:100000 geological and mineral exploration organizations of the country in the study area, the main structures of the region such as faults were determined. All major faults and sub-faults located in the area were identified. In the final stage, the results of measuring geomorphological indices and the main structures of the region were reviewed and analyzed. The studied indices in the region are: shape coefficient index (Pf), drainage density index (Dd), relative protrusion index (Bh), longitudinal gradient index (SL), integral index and hypsometric curve (Hi), valley floor width index Are at height (Vf).

#### Discussion

Shape coefficient scattering map was prepared for zoning of neotectonic activity. Based on the results obtained from the shape coefficient, the results are divided into five categories of neotectonic activity. First category: very high neotectonic activity ( $Ff > 0.19$ ), second category: high neotectonic activity ( $Ff > 0.26$ ), third category: moderate neotectonic activity ( $Ff > 0.31$ ) / 0), Category 4: Low tectonic activity ( $Ff > 0.35$ ), Category 5: Very low neotectonic activity ( $Ff > 0.50$ ), based on the lowest value of the coefficient related to the following Basins 10, 11 and 17 with a value of 0.14, which has the highest

elongation and the highest neotectonic activity, and the highest value of the shape coefficient index is related to sub-basins 1, 2, 7, 15, 19 with a value of 0.50, which has the lowest neotectonic activity. has it. In other words, it can be the reason for more neotectonic activity in sub-basins 10 and 11 due to fault activity.. Based on Figure (5), a zoning map was drawn for the drainage density index. This index was divided into five categories of neotectonic activity. First category: very high neotectonic activity ( $Dd > 0.21$ ), second category: high neotectonic activity ( $Dd > 0.30$ ), third category: moderate neotectonic activity ( $Dd > 0.36$ ), Category 4: Low neotectonic activity ( $Dd > 0.44$ ), Category 5: Very low neotectonic activity ( $Dd > 0.45$  to  $0.8$ ), finally based on the classification of neotectonic activity in subterranean pottery basins The highest neotectonic activity is related to sub-basins 1 and 2, which is due to the presence of faults in sub-basin 2. The lowest neotectonic activity is related to sub-basins 6, 15, 16 and 19../ According to Figure (6), the relative protrusion index in terms of neotectonic activity is divided into five categories. First category: very high neotectonic activity ( $860 > Bh > 1100$ ), second category: high neotectonic activity ( $728 > Bh > 860$ ), third category: moderate neotectonic activity ( $498 > Bh > 727$ ), fourth category: low neotectonic activity ( $228 > Bh > 497$ ) Category Five: Very low neotectonic activity ( $Bh > 227 > 74$ ), based on the relative bulge index, the higher the altitude, the less erosion will be and as a result, there will be more neotectonic activity. In other words, the highest value of relative protrusion index with 1100 is related to sub-basin 2, which has the highest neotectonic activity due to fault activity. The lowest value of this index is in sub-basins 7, 8, 15, 16 and 19 that there are no faults in these sub-basins. The tectonic index is based on six indicators that are divided into five categories. : Category 1: Very high neotectonic activity ( $Lat > 1.33$ ), Category 2: High neotectonic activity ( $Lat > 2.34$  to  $2.32$ ), Category 3: Medium neotectonic activity ( $Lat > 2.33$ ) Category 4: Low neotectonic activity ( $Lat > 3.83$  to  $3.01$ ) Category 5: Very low neotectonic activity ( $Lat > 3.50$  to  $4.50$ ). ), Was drawn. According to these calculations, the average seismicity in terms of Richter was obtained. Table (2) shows the maximum seismicity values of Aminebad faults (5.4) and cracked faults (4.7) in the study basin in terms of Richter.

### Conclusion

According to the evaluation of neotectonic activity using geomorphic indices of the pottery basin watershed, it was concluded that the region is in a moderate position in terms of tectonic activity. Is 0.14. The highest neotectonic activity based on drainage density index is related to sub-basins 1 and 2. Also, sub-basin 2 has the highest value in terms of neotectonic activity in the ridge index, longitudinal gradient index of sub-basins 2 and 17, integral index of sub-basin 17, valley floor index of sub-basin 13 have the most neotectonic activities, so it is concluded based on Relative tectonic activity index of the largest area of Topraqi pot basin is in the category of moderate tectonic activity. Based on the evaluation of seismicity, this result was obtained. Therefore, it is suggested to prevent preventive human and financial losses by neotectonic activities on Aminabad and Tarkadeh faults in order to prevent unauthorized constructions on the studied faults.

### Keywords

"Seismicity", "Watershed", "Geomorphic features", "Topraqi pot", "Neotectonic".