

ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نیر)^۱

فریبا اسفندیاری درآباد^{۱*}، بهروز نظافت تکل^۲

۱- استاد دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران

esfandvari@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)،

اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۴

چکیده

ژئومورفولوژی تکتونیک به مطالعه لندفرم‌های ناشی از تکتونیسم و تعامل بین تکتونیک و فرایندهای ژئومورفیک می‌پردازد. نئوتکتونیک اشکال ایجاد شده بر روی زمین که بر اثر مکانیسم‌های زمین‌ساختی ایجاد شده است را مورد مطالعه قرار می‌دهد. به منظور بررسی نئوتکتونیک فعال، از شاخص‌های نئوتکتونیک حوضه آبریز و توان لرزه‌خیزی استفاده می‌گردد. در این پژوهش فعالیت‌های نئوتکتونیک حوضه آبخیز نیر با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک مورد تحلیل قرار گرفته است. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Gis10.3 و افزونه Archydro زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه استخراج شد. برای محاسبه دقیق در هر زیرحوضه ۲۶ گانه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع ۱۲ متر استفاده شد. سپس در نهایت برای هر یک از شاخص‌ها نقشه پهنه‌بندی حوضه مورد بررسی در پنج رده تهیه شد. در نهایت با توجه مقادیر محاسبه شده هر یک از شاخص‌ها ساخت 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 شد. براساس نتایج بیشترین میزان فعالیت تکتونیک مربوط به زیرحوضه‌های ۹، ۱۱، ۱۷، ۱۸، ۲۲ می‌باشد. براساس ارزیابی توان لرزه‌خیزی این نتیجه حاصل شد رابطه زارع با مقدار ۵/۹۸ ریشتر، نوروزی با شیبی با مقدار ۶/۵ ریشتر و نوروزی ۲/۶۳ ریشتر می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت نئوتکتونیک متوسط را در بیش‌تر زیرحوضه‌های نیر نشان می‌دهد که در این مناطق فعالیت گسل شدت نداشته و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات چندان ایجاد نمی‌کند از مهم‌ترین گسل حوضه نیر می‌توان به گسل نیر اشاره کرد که برای مناطق مسکونی در صورت فعال شدن مخاطره‌آمیز خواهد بود.

واژگان کلیدی: "ارزیابی"، "فعالیت نئوتکتونیک"، "شاخص‌های ژئومورفیک"، "گسل"، "حوضه نیر".

^۱ مقاله مستخرج از طرح پژوهشی نوع دوم به شماره قرارداد ۲۵۵۱۱-۹-۱۴۰۱ که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفته است. مجری طرح خانم

دکتر فریبا اسفندیاری درآباد

مقدمه

سطح زمین متشکل از عارضه‌ها و اشکال مختلفی است که این اشکال دائماً در حال تغییر و تحول می‌باشند. در تغییر و تحول شکل زمین دو دسته عوامل بیرونی و درونی نقش دارند. عوامل درونی سبب شکل‌گیری ساختار اولیه و عوامل بیرونی سبب فرسایش، تغییر شکل و تخریب این اشکال می‌گردد که تحت تأثیر این فعالیت‌ها اشکال گوناگون ژئومورفولوژیکی به وجود می‌آیند (روستایی و همکاران، ۱۳۸۸). یکی از شاخه‌های زمین‌شناسی است که به مطالعه تغییر شکل پوسته زمین بر اثر تنش‌ها و کرنش‌های وارده در طول دوران‌های مختلف زمین‌شناسی می‌پردازد (عابدینی، ۱۳۸۵). نئوتکتونیک به حرکات جدید تکتونیکی 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 نئوتکتونیکی هنوز در آن ادامه دارد. وقوع زمین‌لرزه‌های مکرر در ایران یکی از پیامدهای فعال بودن جنبش‌های نئوتکتونیکی 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.

(بربریان و کینگ^۱، ۱۹۸۱)، تکتونیک ژئومورفولوژی مطالعه لندفرم‌های ناشی از تکتونیک سم و تعامل بین تکتونیک و فرایندهای ژئومورفیک است (کمیته مطالعات ژئوفیزیک^۲، ۱۹۸۶)، تقریباً هیچ منطقه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات نئوتکتونیکی قرار نگرفته باشد (کیلر و پینتر^۳، ۲۰۰۲). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل یافته به‌وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند (جیاکونیا^۴ و همکاران، ۲۰۱۲). هدف ژئومورفومتری، 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 کمی سازی عوارض توپوگرافی، با تمرکز بر استخراج پارامترهای عوارض سطح زمین بر اساس 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 نئوتکتونیکی یک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد (کیلر، ۱۹۸۶). 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 فروزش حاصل شود (الحمودنی^۵ و همکاران، ۲۰۰۸). اندازه‌گیری کمی لندفرم‌ها این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد تا با اندازه‌گیری

¹ -Berberian and King

² -Geophysics study committee

³ - Keller and Pinter

⁴ - Giaconia

⁵ -El Hamdouni

شاخص‌های ژئومورفولوژی در لندفرم‌های مختلف نقش تکتونیک فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند (کیلر و پیتر، ۲۰۰۲) در ساده‌ترین شکل، لندفرم‌ها و شکل‌های تشکیل‌دهنده زمین با اندازه، ارتفاع، شیب مشخص می‌شوند. به عبارتی اندازه‌گیری‌های عددی به ژئومورفولوژیست‌ها این امکان را می‌دهد تا به‌طور عینی و ملموس شکل‌های مختلف را مقایسه و ارزیابی کرده و با محاسبه الگوها و شاخص‌ها به تشخیص و تبیین تفاوت‌ها و تشابهات ژئومورفولوژیکی یک منطقه معین را از یک ناحیه دیگر مبادرت ورزند (علبدینی، ۱۳۹۵). مطالعات جدیدی در داخل و خارج از ایران صورت گرفته است که شرح ذیل اشاره می‌گردد.

عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان‌لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی) پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که در این مناطق فعالیت گسل شدت نداشته و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات چندانی ایجاد نمی‌کند از مهم‌ترین گسل حوضه کوزه‌توپراقی می‌توان به گسل آمین‌آباد و ترکه‌ده اشاره کرد.

خلج (۱۴۰۰)، به ارزیابی فعالیت نئوتکتونیک حوضه آبریز قروه-دهکلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید فعالیت زمین‌ساختی بالا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به دلیل فعالیت گسل‌های موجود در منطقه است. از مهم‌ترین گسل‌های واقع در منطقه می‌توان گسل‌های بنه‌آباد، سورمه‌علی، پریشان، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل خلخال را نام برد.

ایلانو (۱۳۹۹)، به بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید که شکل حوضه نیمه‌کشیده و از نظر تقارن توپوگرافی، نیمه‌متقارن است، ولی بی‌نظمی‌های موجود در نیمرخ طولی رودخانه به دلیل واحدهای لیتولوژی مختلف و ساختارهای گسلی متعدد، زیاد است.

مقصودی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های حبله‌رود و کردان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. این محققین به این نتیجه رسیدند حوضه کردان در کلاس ۱ و حوضه حبله‌رود در کلاس ۲ قرار دارد. طبق طبقه‌بندی از شاخص زمین‌ساخت (IAT) می‌توان گفت که هر دو منطقه از نظر تکتونیک فعال هستند ولی میزان فعالیت‌های تکتونیک در حوضه کردان نسبت به حوضه حبله‌رود بیشتر است. نگهبان و درتاج (۱۳۹۸)، به ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند ایشان به این نتیجه رسیدند نتایج حاصله از این شاخص بیانگر این است که در بین زیرحوضه‌های مطالعاتی، زیرحوضه شویسه با میانگین کلاس ۲، دارای وضعیت فعال‌تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها است. کرمی و همکاران (۱۳۹۷)، به منظور تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه‌های آبریز شمال تبریز بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های Da و ga کاملاً تحت تاثیر کشیدگی حوضه‌ها که ناشی از اثر تکتونیک فعال می‌باشد قرار دارند. در ضمن ناهنجاری‌های شبکه زهکشی تمامی حوضه‌های شمال تبریز از شاخص تقعر نیمرخ رودخانه نیز متأثر می‌شوند.

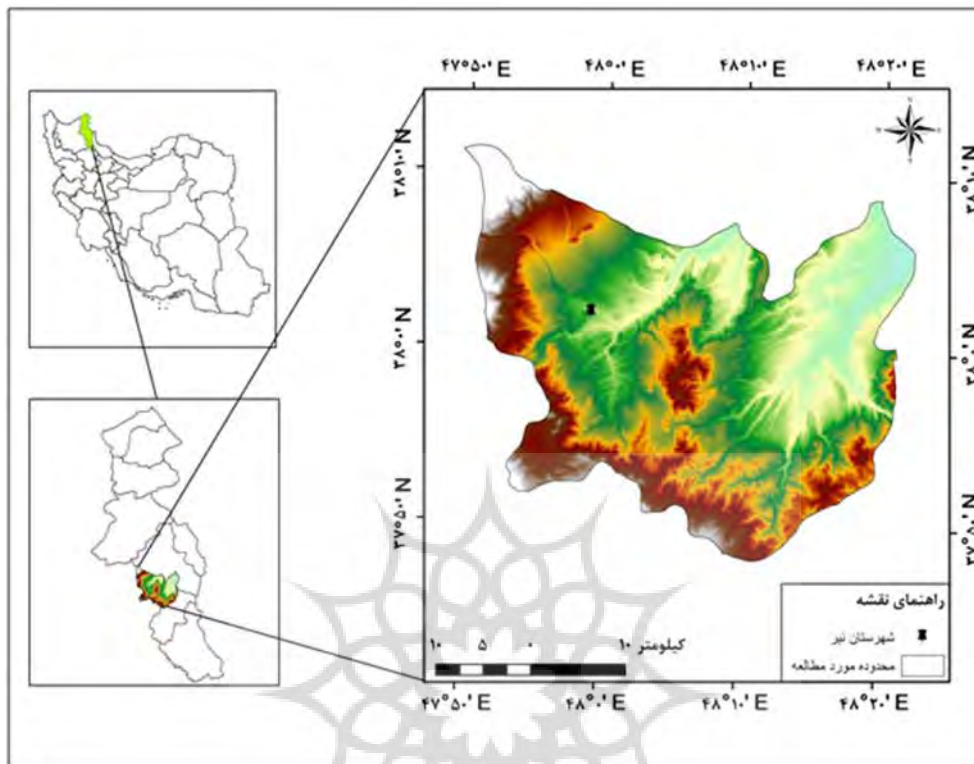
دزفولی کلونی و ایلانلو (۱۳۹۷)، ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند در حوضه دالکی، بریدگی نسبتاً زیاد جبهه کوهستانی، موجب سینوسی زیاد آن شده است. شکل حوضه نیمه کشیده و از نظر تقارن توپوگرافی، نیمه متقارن است، ولی بی‌نظمی‌های موجود در نیمه غربی رودخانه به دلیل واحدهای لیتولوژی مختلف و ساختارهای گسلی متعدد، زیاد است. به این ترتیب، مجموع داده‌ها و شواهد زمینی در حوضه آبریز دالکی نیمه فعال بودن آن را از نظر دینامیک نیروهای درونی زمین نشان می‌دهد. رجبی و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی و تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز قلعه‌چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان بالای تراکم و فعالیت زمین‌ساختی از نوع فعال را نشان می‌دهند که می‌توان حوضه ی قلعه‌چای را با فعالیت‌های تکتونیکی نسبتاً فعال در نظر گرفت. علی‌دینی و شبرنگ (۱۳۹۳)، به بررسی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه آبریز مَشکین‌چای را با شاخص‌های ژئومورفولوژی پرداختند. ایشان به نتیجه رسیدند که کل حوضه مورد مطالعه از لحاظ تکتونیکی پویا است. نگاپنا و همکاران (۲۰۲۰)، به منظور ارزیابی زمین‌ساخت فعال در منطقه ایدیا اسکا در قسمت جنوب غربی کامرون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی پرداختند. نتایج کار این محققین نشان داد که فعالیت مجدد گسل‌های که در این منطقه قرار دارند عامل ایجاد زلزله‌های شدید هستند. گارسیا و والدیا (۲۰۲۰)، فعالیت‌های تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی را در منطقه سن‌لوکاس در کوردیرلای مرکزی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مورد مطالعه قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین فعالیت زمین‌ساختی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی - سن‌بلاس در راستای گسل‌های با روند شمال غرب جنوب شرق و در شمال حوضه فلسطین است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نیر) می‌باشد.

روش‌شناسی

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز نیر در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و دو دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی استقرار یافته و متوسط ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۵۰ متر می‌باشد و جزء شهرهای مرتفع کشور محسوب می‌گردد. بر اساس سرماری سال ۱۳۹۵ تعداد جمعیت شهرستان نیر بالغ بر ۵۸۷۳ نفر بود. این شهر در فاصله ۳۵ کیلومتری از اردبیل واقع گردیده و در کنار جاده اصلی ارتباطی اردبیل به سراب مستقر می‌باشد. مساحت شهر حدود ۱۶۸ هکتار بوده و بخش‌هایی از شمال و غرب آن به ارتفاعات محدود می‌باشد. رودخانه آغلاغان از داخل شهر عبور نموده و شهر را به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم نموده است. شهرستان نیر یکی از شهرهای استان اردبیل ایران است. مجموعه

های گردشگری بولاغلاز نیر از مکان‌های مهم گردشگری این شهرستان هستند. این شهر دارای چشمه‌های آب متعدد می‌باشد که معروفترین آن تفرجگاه بولاغلاز می‌باشد شکل (۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

مواد و روش

پژوهش فوق به منظور ارزیابی میزان نسبی فعالیت زمین‌ساختی در حوضه آبخیز نیر انجام شده است. در مرحله اول برای انجام محاسبات مربوط به هر شاخص و امکان مقایسه نتایج حاصل از محاسبات شاخص‌ها، گستره مورد مطالعه به زیرحوضه‌هایی تقسیم شد. با استفاده از افزونه Archydro در نرم‌افزار GIS10.3 و مدل رقومی ارتفاعی DEM ۱۲ متر، زیرحوضه‌ها، شبکه‌های آبراهه‌های اصلی استخراج شد و منطقه مورد مطالعه به ۲۶ زیرحوضه تقسیم شد. سپس در مرحله بعدی به محاسبه شاخص‌ها پرداخته شد. در مرحله بعد، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در گستره مورد بررسی، ساختارهای اصلی منطقه مانند گسل‌ها تعیین شد. تمامی گسل‌های اصلی و گسل‌های فرعی واقع در منطقه شناسایی شد. در مرحله پایانی، نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی و ساختارهای اصلی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شاخص‌های مورد بررسی در

منطقه عبارت‌اند از: شاخص برجستگی نسبی (Bh)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص ضریب شکل (Pf)، شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi)، شاخص گرادیان طولی رود (SL)، شاخص پهنای کف دره به ارتفاع (Vf)، شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره (V)، شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS)، می‌باشند.

شاخص برجستگی نسبی (Bh)

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

$$Bh = Hmax - Hmin$$

رابطه ۱

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) به‌دست 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 تراکم زهکشی (Dd)

تراکم زهکشی یک شاخص ژئومورفولوژی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراه‌های آن، منعکس‌کننده فرایندهای حاکم بر چشم‌اندازها است (استوارت، ۲۰۱۳). این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر نئوتکتونیک فعال در منطقه باشد (دیوی و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراه‌های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می‌گردد (هورتون، ۱۹۴۵، ۲۷۰-۲۷۵).

$$Dd = Lu/A$$

رابطه ۲

در رابطه بالا Lu مجموع طول تمام آبراه‌های یک حوضه و A مساحت حوضه است. میزان تراکم آبراه در یک حوضه، می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت شدت و ضعف آبراه‌ها و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن مقدار باشد (کاتز و همکاران، ۲۰۰۲). 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 نئوتکتونیک عهده 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 (کیلر و همکاران، ۱۹۹۸). این شاخص بر اساس مساحت و مجموع طول آبراه‌ها برای هر حوضه با استفاده از نرم افزار Gis10.3 محاسبه گردید و نقشه پهنه‌بندی تراکم زهکشی زیرحوضه‌های نیز محاسبه شد.

شاخص ضریب شکل (Ff)

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون هستند. به طوری که با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی دبی اوج حوضه‌های 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 (هورتون، ۱۹۴۵).

$$Pf = A/L2 \quad \text{رابطه ۳}$$

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 نئوتکتونیک، دارای شکل کشیده‌تری هستند (بول و مکفادن، ۱۹۷۷). برای زیر حوضه‌های واقع در منطقه نیر، مقادیر شاخص مذکور محاسبه و نقشه پهنه‌بندی ترسیم شد.

شاخص انتگرال (Hi)

انتگرال هیپسومتری بیان‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه به‌ویژه حوضه آبریز است وضعیت تشخیص (استرالر، ۱۹۵۲). فرسایش برای تمام حوضه‌های زهکشی اصلی مهم و ضروری است. تحلیل فرازسنجی به‌عنوان یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به‌کار برده می‌شود (Singh, 2009). این شاخص به‌عنوان مساحت نسبی زیر منحنی فرازسنجی تعریف شده که بیانگر حجم فرسایش نیافته حوضه است (پینتر و کیلر، ۲۰۰۲). مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است، در صورتی که مقادیر پایین آن مربوط به نواحی قدیمی است که دچار فرسایش شده و کم‌تر تحت تأثیر زمین‌ساخت گرفته‌اند (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸). براساس رابطه زیر شاخص انتگرال و هیپسومتری محاسبه می‌شود.

$$Hi = (\text{average elevation} - \text{min elevation}) / (\text{max elevation} - \text{min elevation}) \quad \text{رابطه ۴}$$

استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲ متر، ارتفاع کمینه، بیشینه و میانگین برای هر زیرحوضه به‌دست آمد و با توجه به رابطه بالا شاخص هیپسومتری برای ۲۶ زیرحوضه در حوضه مورد بررسی محاسبه شد. منحنی هیپسومتری یک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم گردید. براساس ترسیم مساحت جمععی در محور X و ارتفاع نسبی در محور Y ، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت منتخب به‌دست آمد.

شاخص گرادیان طولی رود (SL)

شاخص گرادیان طولی رود از جمله شاخص‌های مهم تفکیک مناطق فعال و غیرفعال نئوتکتونیک به حساب می‌آید. این شاخص ابزار مفیدی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی است (پینتر و کیلر، ۲۰۰۲). هنگامی که رودخانه و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد. این شاخص براساس رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه بالا SL گرادیان طولی رود، (ΔH) اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، (ΔL) فاصله افقی همان محل، $(\Delta H / L \Delta)$ 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 نوتکتونیک باعث ایجاد بالآمدگی می‌گردد، تفاوت سنگ‌شناسی و فراوانی زیاد تغییرات سطح اساس دریا طی دوره چهارم زمین‌شناسی هستند (فونت و همکاران، ۲۰۱۰). در مناطقی که گسل آبراهه را قطع می‌کند، بیشترین مقدار شاخص گرادیان طولی مشاهده می‌شود و این مناطق فعال هستند (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸). 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 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 (بول و مکفادن، ۱۹۷۷). براساس رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_f = \frac{2V_{FW}}{E_{id} - E_{sc}} + (E_{rd} - E_{sc}) \quad \text{رابطه ۶}$$

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 نسبت عرض دره به ارتفاع دره (V)

نسبت عرض دره به ارتفاع دره از رابطه (۷) به دست می‌آید (بول، ۲۰۰۷).

$$V = \frac{2V_w}{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})} \quad \text{رابطه ۷}$$

به عبارتی این شاخص برای تشخیص بالآمدگی‌ها در بازه زمانی بلند مدت برای لیتولوژی‌های متنوع و اقلیم‌های متفاوت موثر می‌باشد. این شاخص برای تشخیص مناطق دارای تکتونیک فعال از مناطق غیرفعال مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر پایین تر از ۶ در این شاخص نشان دهنده مناطق در حال بالآمدن و مقدار ۷ مناطق با بالآمدگی غیرفعال را نشان می‌دهد.

شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS)

تجسم افقی یک حوضه بوسیله شاخص شکل یا نسبت کشیدگی حوضه تعریف می‌شود. شاخص نسبت کشیدگی بر اساس رابطه ۸ نشان داده شده است.

$$Bs = Bi/Bw$$

رابطه ۸

BS نشان دهنده شکل حوضه (متر)، Bi طول حوضه: فاصله پایین ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه آن Bw نشان دهنده عرض حوضه است (ده بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰).

مقادیر بزرگ این شاخص مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین ساختی است، در حالیکه مقادیر کوچک آن حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می‌دهند. جبهه‌های کوهستانی که سریع بالا آمده‌اند، حوضه‌های کشیده و تندی را ایجاد می‌کنند و زمانی که فعالیت زمین ساختی کم یا متوقف شود، گستردگی یا پهن شدگی حوضه رخ می‌دهد (الحمدونی، ۲۰۰۸).

شاخص نئوتکتونیک فعال نسبی (LAT)

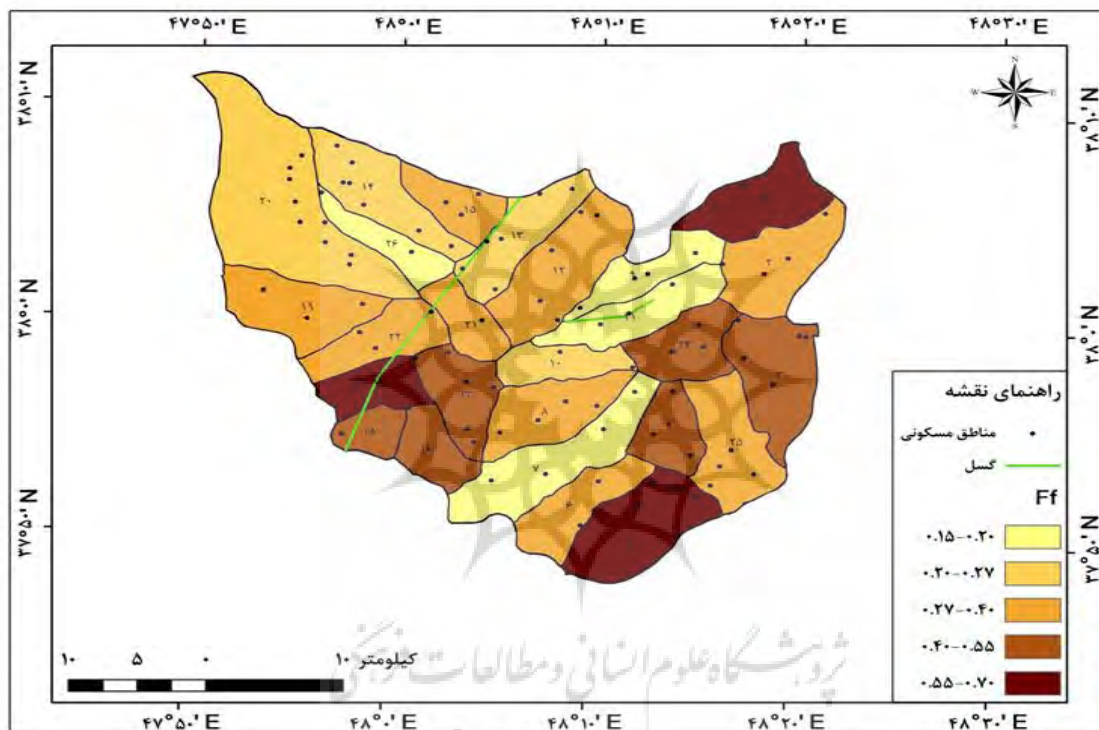
در این پژوهش از شاخص‌های مورفومتری به منظور بررسی گستره مورد مطالعه از لحاظ فعالیت نئوتکتونیک استفاده شده است که شامل شاخص برجستگی نسبی (Bh)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص ضریب شکل (Pf)، شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi)، شاخص پهنای کف دره (Vf)، شاخص گرادیان طولی رود (SI)، نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)، نسبت عرض دره به ارتفاع دره (V) هستند. هر شاخص به لحاظ فعالیت زمین ساختی به پنج رتبه تقسیم شد و در نهایت با میانگین گیری از رده کل شاخص‌ها شاخص نئوتکتونیک فعال نسبی (Lat) برای ۲۶ حوضه در گستره مورد مطالعه حوضه نیر محاسبه شد.

نتایج و یافته‌ها

با توجه به شاخص‌های ژئومورفیکی 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.

تحلیل شاخص ضریب شکل

با توجه به شکل (۲)، نتایج حاصله از شاخص ضریب شکل نشان داد که فعالیت نوزمین ساختی به پنج رتبه تقسیم شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0/15 < Ff < 0/20$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($0/20 < Ff < 0/27$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($0/27 < Ff < 0/40$)، رتبه چهار: فعالیت زمین ساختی کم ($0/40 < Ff < 0/55$)، رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($0/55 < Ff < 0/70$)، با توجه نتایج حاصله از شاخص ضریب شکل کمترین مقدار ضریب شکل مربوط به زیر حوضه‌های ۷، ۹، ۱۱، ۲۶ با مقدار ۰/۱۵ است که دارای بیشترین کشیدگی و بیشترین فعالیت نئوتکتونیک است و بیشترین مقدار شاخص ضریب شکل مربوط به زیرحوضه‌های ۵، ۶ و ۱۷ با مقدار ۰/۷۰ است که کمترین فعالیت نئوتکتونیک را دارد. به عبارتی می‌توان دلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک بیش‌تر را در زیرحوضه‌های ۹ و ۱۱ در اثر فعالیت گسل باشد.



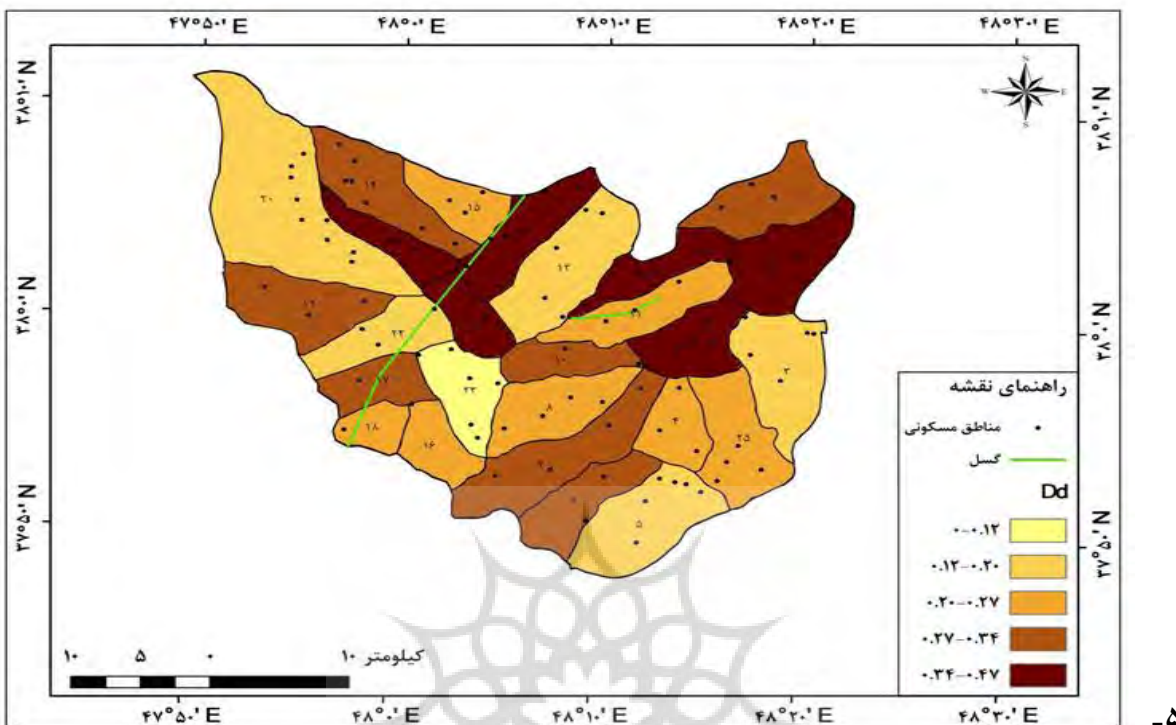
شکل ۲- نقشه پراکندگی شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

تحلیل شاخص تراکم زهکشی

با توجه به شکل (۳)، نتایج حاصله از شاخص تراکم زهکشی به پنج رتبه فعالیت نئوتکتونیک تقسیم شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0 < Dd < 0/12$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($0/12 < Dd < 0/20$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($0/20 < Dd < 0/27$)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($0/27 < Dd < 0/34$)، رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($0/34 < Dd < 0/47$) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله از رتبه‌بندی فعالیت نئوتکتونیک

در زیرحوضه‌های نیر بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکي مربوط به زیرحوضه ۲۳ است که ناشی از وجود گسل در زیرحوضه های اطراف است. هم‌چنین کم‌ترین فعالیت نئوتکتونیکي نیز مربوط به زیرحوضه‌های ۲، ۹، ۱۳، ۲۱، ۲۴، ۲۶، می‌باشد.

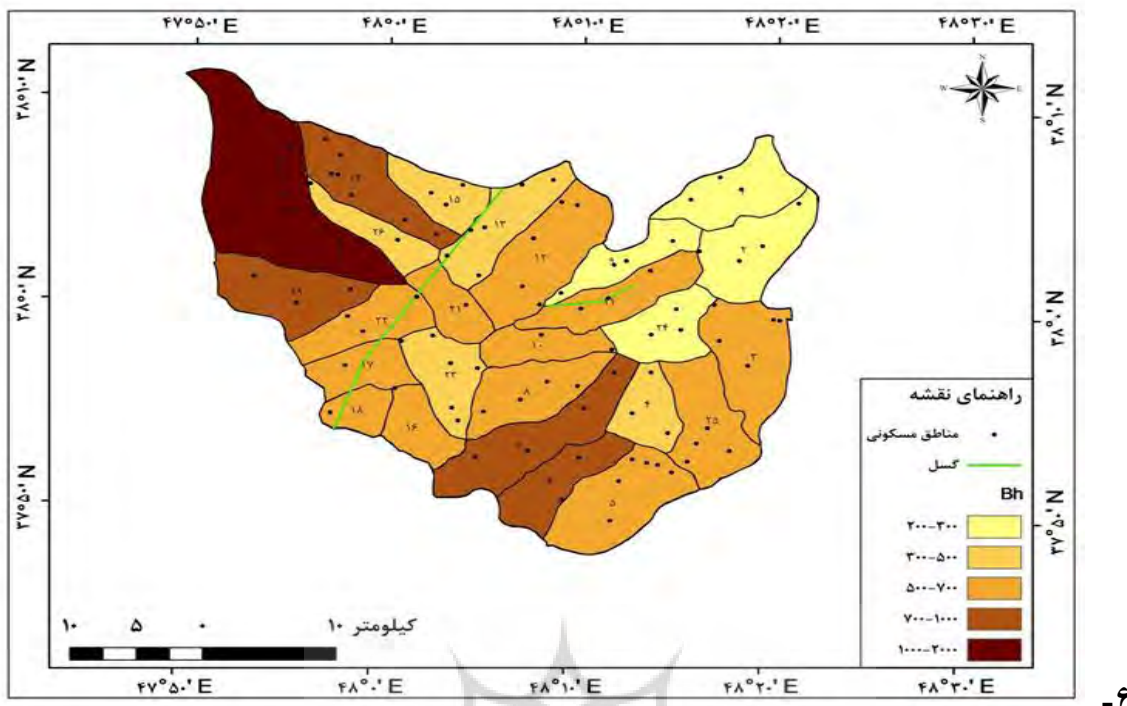


شکل ۳- نقشه پراکندگی شاخص تراکم زهکشی در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

تحلیل شاخص برجستگی نسبی

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۴)، شاخص برجستگی نسبی به لحاظ فعالیت نئوتکتونیکي به پنج رتبه تقسیم شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکي بسیار بالا ($2000 < Bh < 1000$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکي بالا ($1000 < Bh < 700$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکي متوسط ($700 < Bh < 500$)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکي کم ($500 < Bh < 300$)، رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکي بسیار کم ($300 < Bh < 200$)، را نشان می‌دهد. براساس شاخص برجستگی نسبی هرچقدر میزان ارتفاع بیش‌تر باشد فرسایش حاصله کم‌تر خواهد بود و در نتیجه فعالیت‌های نئوتکتونیکي بیش‌تر خواهد بود. به عبارتی بیش‌ترین مقدار شاخص برجستگی نسبی با ۱۱۰۰ مربوط به زیرحوضه ۱، ۲، ۲۴، ۹ است که به دلیل فعالیت گسلی بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکي را دارا می‌باشد. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در زیرحوضه ۲۰ است که هیچ مورد گسلی در این زیرحوضه‌ها وجود ندارد.

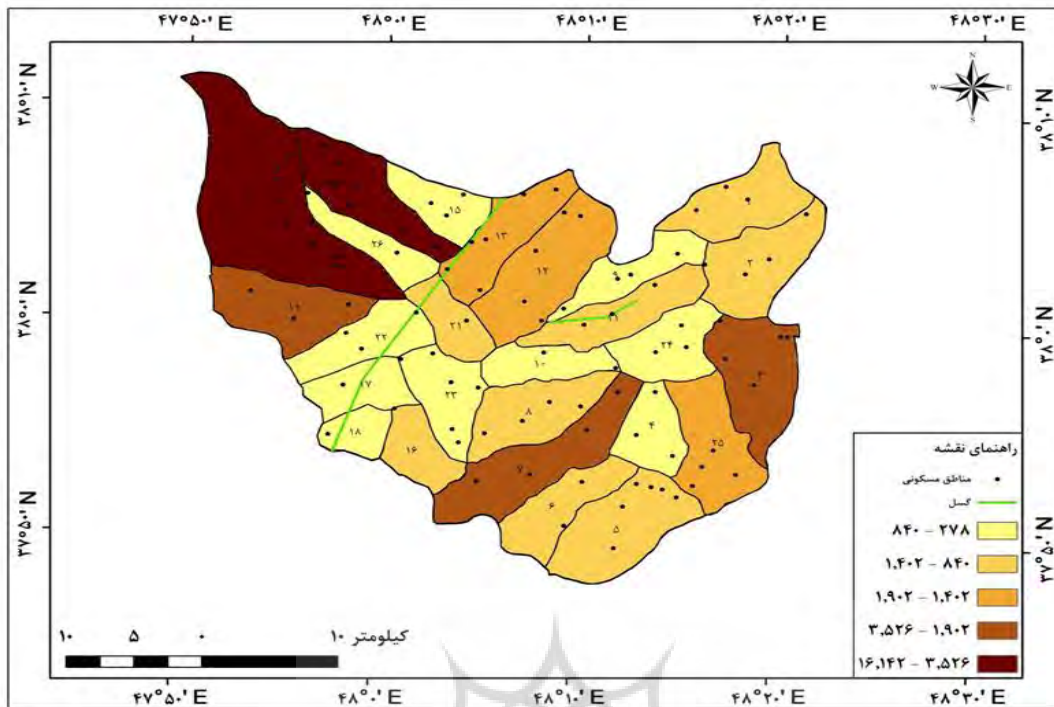


شکل ۷- نقشه پراکندگی شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

شاخص گرادیان طولی رود

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۵)، شاخص گرادیان طولی رود به لحاظ فعالیت نئوتکتونیک به پنج رتبه تقسیم شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($16/142 < SL < 3/526$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($3/526 < SL < 1/402$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($1/902 < SL < 1/402$)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($1/402 < SL < 840$)، رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($840 < SL < 278$)، را نشان می‌دهد. بر اساس رتبه‌های به دست آمده از شاخص گرادیان طولی بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک مربوط به زیرحوضه‌های ۱۴ و ۲۰ است و کم‌ترین میزان فعالیت تکتونیک مربوط به زیرحوضه‌های ۴، ۱۰، ۲۳، ۲۴ می‌باشد.



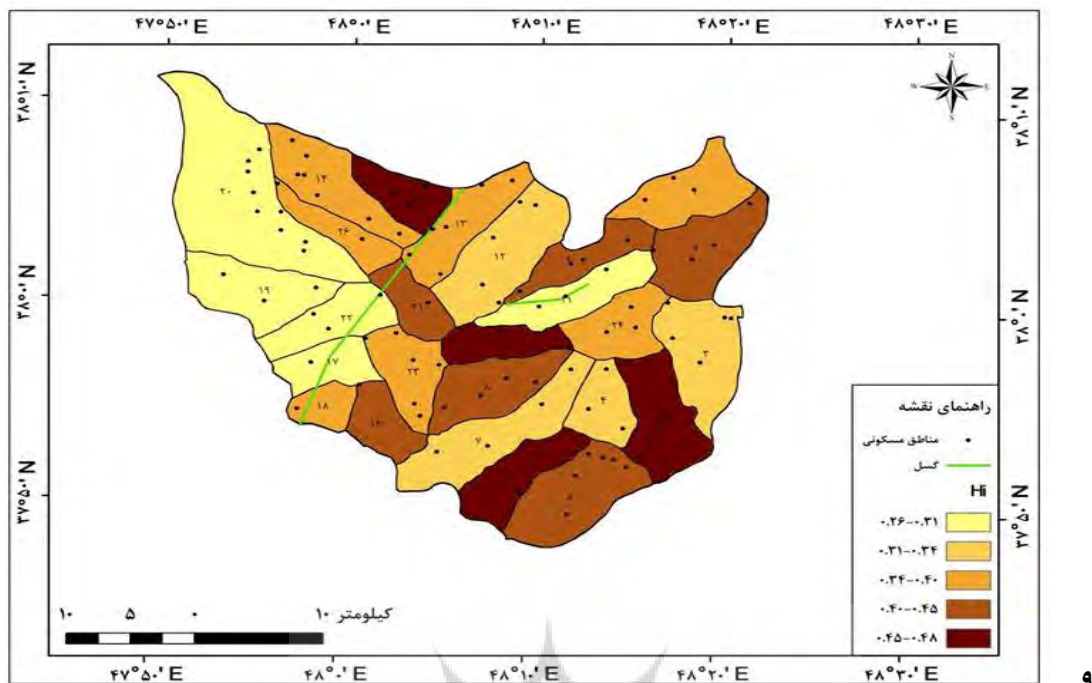
-۸

شکل ۵- نقشه پراکندگی مقادیر شاخص گرادیان طولی رود در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

شاخص انتگرال فراسنجی

براساس شکل (۶)، شاخص فراسنجی به لحاظ فعالیت نئوتکتونیک پنج رتبه گروه‌بندی شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0/31 < Hi < 0/26$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($0/34 < Hi < 0/31$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($0/40 < Hi < 0/34$)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($0/45 < Hi < 0/40$)، رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($0/48 < Hi < 0/45$) را نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان فعالیت نئوتکتونیک به زیرحوضه‌های ۱۱، ۱۷، ۲۲ که نشان از فعالیت‌های نئوتکتونیک بالا و در نهایت مخاطره‌آمیز بودن را نشان می‌دهد. کم‌ترین میزان فعالیت تکتونیک آن مرتبط به زیرحوضه‌های ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۵ می‌باشد.



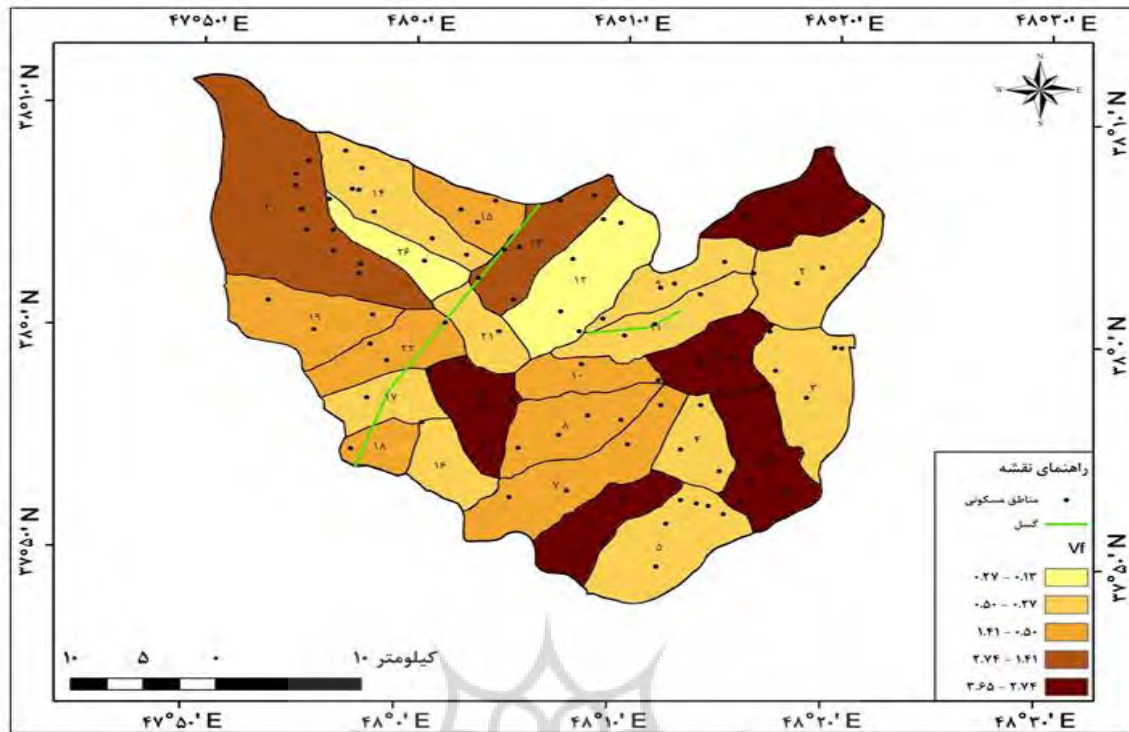
- 9

شکل ۶- نقشه پراکنندگی شاخص انگرال فراژسجی در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن

براساس نتایج به دست آمده از شکل (۷)، مشاهده می‌گردد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن به پنج رتبه: رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0/13 < Vf < 0/27$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($0/27 < Vf < 0/50$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($0/50 < Vf < 1/41$)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($1/41 < Vf < 2/74$) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($2/74 < Vf < 3/65$)، تقسیم شده است. بیشترین فعالیت نئوتکتونیک براساس نتایج شاخص پهنای کف دره مربوط به زیرحوضه‌های ۲ و ۲۶ می‌باشد و کمترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱، ۶، ۲۰، ۲۳، ۲۴، ۲۵ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیک است.

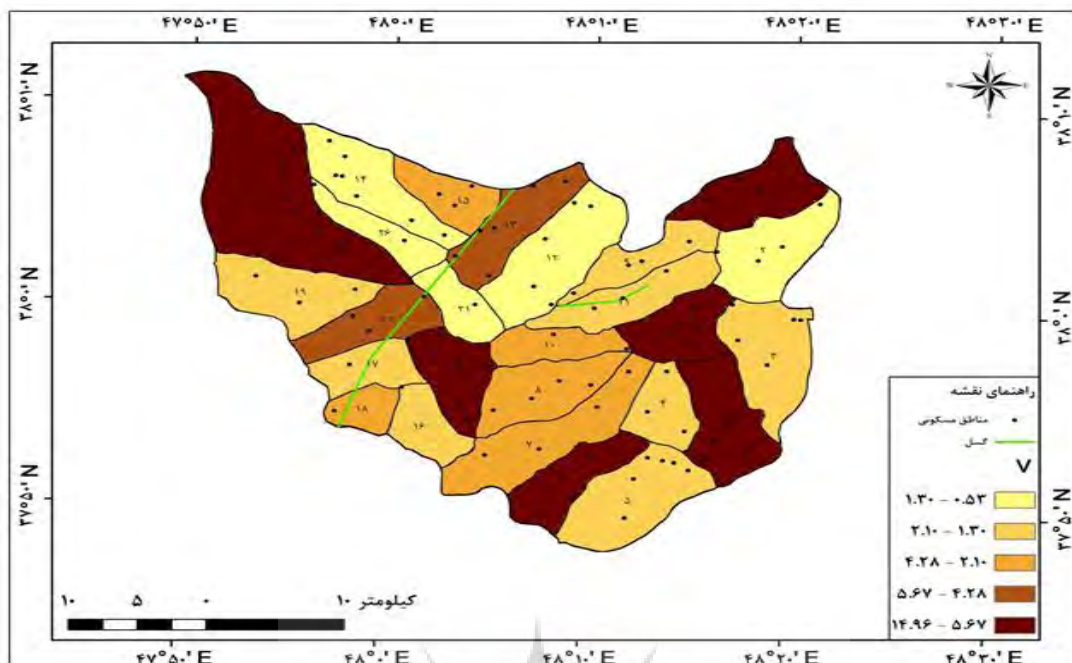


شکل ۷- نقشه پراکنندگی مقادیر شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره (V)

براساس نتایج به دست آمده از شکل (۸)، مشاهده می‌گردد که شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره به پنج رتبه: رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0/53 < V < 1/30$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($1/30 < V < 2/10$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($2/10 < V < 4/28$)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($4/28 < V < 5/67$)، رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($5/67 < V < 14/96$)، تقسیم شده است. بیشترین فعالیت نئوتکتونیک براساس نتایج شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره مربوط به زیرحوضه‌های ۱۲ و ۲۱ می‌باشد و کمترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱، ۶، ۲۳، ۲۴، ۲۵ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیک است.

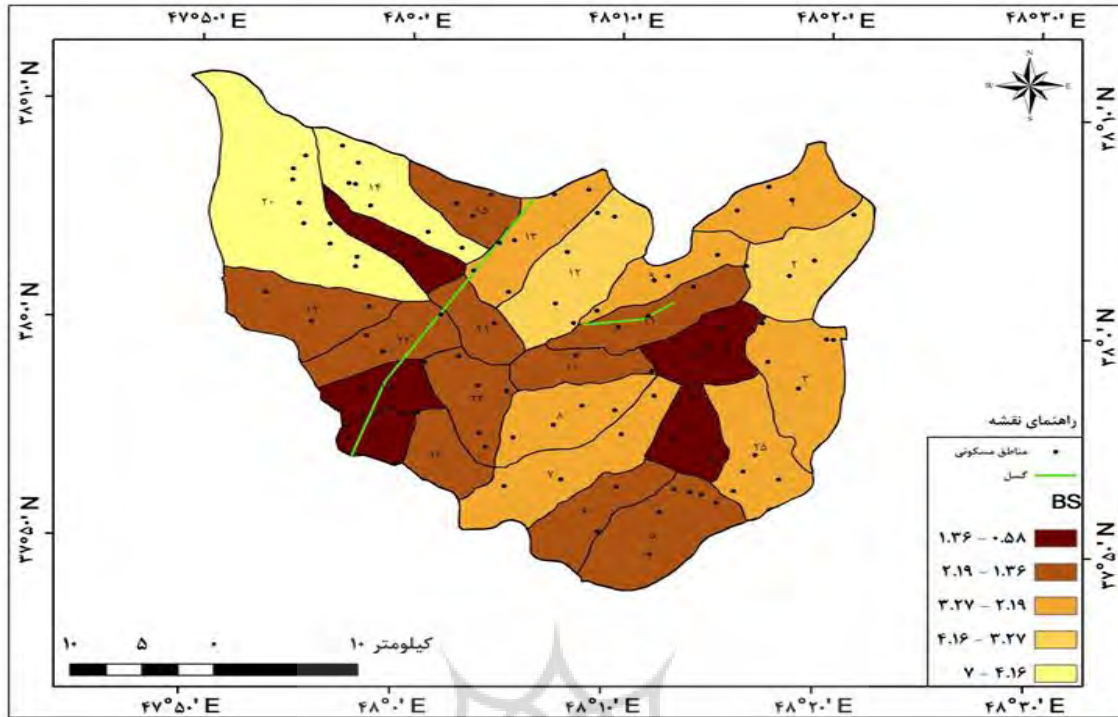


شکل ۸- نقشه پراکندگی مقادیر شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS)

براساس نتایج به دست آمده از شکل (۹)، مشاهده می‌گردد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن به پنج رتبه: رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0/58 < BS < 1/36$)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($1/36 < BS < 2/19$)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($2/19 < BS < 3/27$)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($3/27 < BS < 4/16$) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($4/16 < BS < 7$)، تقسیم شده است. بیشترین فعالیت نئوتکتونیک براساس نتایج نسبت شکل حوضه زهکشی مربوط به زیرحوضه‌های ۴، ۱۷، ۱۸، ۲۴، ۲۶ می‌باشد و کمترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱۴ و ۲۰ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیک است.

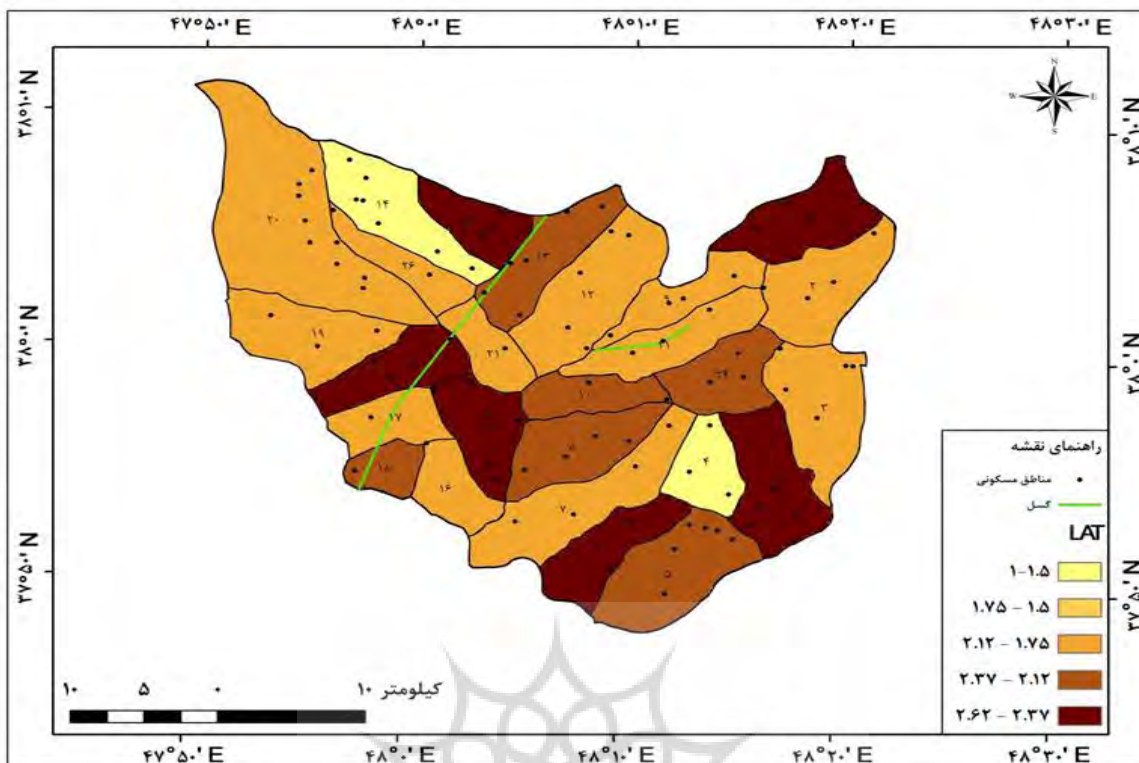


شکل ۹- نقشه پراکندگی مقادیر شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

شاخص فعال زمین ساخت نسبی

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۱۰)، شاخص زمین ساخت بر اساس ۸ شاخص بررسی شده ایجاد شده است که بر پنج رده تقسیم شده است. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($1 < Lat < 1/5$)، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($1/5 < Lat < 1/2$)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($1/2 < Lat < 2/3$)، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($2/3 < Lat < 3/4$)، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($3/4 < Lat < 1$)، بر این اساس نقشه پهنه بندی سطح فعالیت نئوتکتونیک نیز برای شاخص (Lat)، ترسیم شد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی نئوتکتونیک فعال نسبی در حوضه نیر می توان نتیجه گرفت بیش تر مساحت حوضه کوزه توپراقی در رده فعالیت متوسط قرار گرفته است. اعداد مربوط به هر شاخص در جدول (۱)، آمده است.



شکل ۱۰- نقشه توزیع سطح فعالیت زمین ساخت نسبی در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

جدول ۱- مقادیر هشت شاخص اندازه گیری شده و سطح فعالیت نتوتکتونیک در گستره مورد مطالعه

شاخص زمین ساخت	V	BS	Vf	SL	Hi	Ff	Dd	Bh	زیرحوضه ها
۲/۳۷۵	۳	۲	۳	۳	۲	۱	۲	۳	۱
۱/۷۵	۱	۱	۱	۳	۲	۲	۱	۳	۲
۱/۷۵	۱	۲	۱	۳	۱	۱	۳	۲	۳
۱/۵	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۴
۲/۱۲۵	۱	۳	۱	۳	۲	۱	۳	۳	۵
۲/۶۲۵	۳	۳	۳	۳	۳	۱	۲	۳	۶
۲	۲	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۳	۷
۲/۲۵	۲	۳	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۸
۱/۷۵	۱	۲	۱	۳	۲	۱	۱	۳	۹
۲/۲۵	۲	۳	۲	۳	۳	۱	۲	۲	۱۰
۱/۷۵	۱	۳	۱	۳	۱	۱	۲	۲	۱۱
۱/۸۷۵	۱	۱	۱	۳	۲	۲	۳	۲	۱۲
۲/۲۵	۲	۲	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۱۳

۱/۵	۱	۱	۱	۳	۲	۱	۲	۱	۱۴
۲/۳۷۵	۲	۳	۲	۲	۳	۲	۲	۳	۱۵
۱/۸۷۵	۱	۳	۱	۳	۲	۱	۲	۲	۱۶
۱/۷۵	۱	۳	۱	۳	۱	۱	۲	۲	۱۷
۲/۱۲۵	۲	۳	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۱۸
۱/۸۷۵	۱	۲	۲	۳	۱	۲	۲	۱	۱۹
۲	۳	۱	۳	۳	۱	۱	۳	۱	۲۰
۱/۸۷۵	۱	۳	۱	۳	۲	۲	۱	۲	۲۱
۲/۳۷۵	۳	۳	۲	۳	۱	۲	۳	۲	۲۲
۲/۳۷۵	۳	۳	۳	۲	۲	۱	۳	۲	۲۳
۲/۲۵	۳	۳	۳	۲	۲	۱	۱	۳	۲۴
۲/۶۲۵	۳	۲	۳	۳	۳	۲	۳	۲	۲۵
۱/۷۵	۱	۳	۱	۲	۲	۱	۱	۳	۲۶

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

• نتایج ارزیابی توان لرزه‌خیزی گسل‌های گستره 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).

$$M_s = 3.66 + 0.91 \ln L \quad (9)$$

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

$$M_s = 1.259 + 1.244 \log_1 L \quad (10)$$

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

$$M_s = 5.4 + \log_1 L \quad (11)$$

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 بر حسب ریشتر به دست آمد جدول (۲)، مقادیر حداکثر توان لرزه‌زایی گسل نیر حدود ۵/۰۴، در حوضه مورد بررسی را بر حسب ریشتر نشان می‌دهد.

جدول ۲- توان لرزه‌زایی گسل‌های موجود در حوضه نیر بر حسب ریشتر

نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	نیمی از طول گسل (کیلومتر)	زارع	نوروزی	نوروزی و اشجعی	میانگین
نیر	۲۵/۵۲	۱۲/۷۶	۵/۹۸	۲/۶۳	۶/۵	۵/۰۴

نتیجه‌گیری و بحث

با توجه به ارزیابی فعالیت نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه آبخیز نیر این نتیجه حاصل شد که منطقه از نظر فعالیت‌های تکتونیک در وضعیت متوسط قرار دارد در نهایت براساس شاخص ضریب شکل بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک مربوط به زیر حوضه‌های ۷، ۹، ۱۱، ۲۶، با مقدار ۱۰/۱۵ ست. بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک براساس شاخص تراکم زهکشی مربوط به زیر حوضه ۲۲ ست. همچنین زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۹، ۲۴ در شاخص برجستگی از نظر فعالیت نئوتکتونیک بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است. شاخص گرادیان طولی زیر حوضه ۱۴ و ۲۰، شاخص انتگرال زیرحوضه ۱۱، ۱۷، ۲۲، شاخص پهنای کف دره زیرحوضه‌های ۲، ۲۶ بیش‌ترین فعالیت‌های نئوتکتونیک را به خود اختصاص داده‌اند. شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع زیرحوضه‌های ۱۲، ۲۱، شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی زیرحوضه‌ها ۳، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۶ به خود اختصاص داده است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود براساس شاخص فعالیت زمین ساخت نسبی بیش‌ترین مساحت حوضه نیر در رده فعالیت تکتونیک متوسط قرار گرفته است. براساس ارزیابی توان لرزه‌خیزی این نتیجه حاصل شد رابطه زارع با مقدار ۵/۹۸ ریشتر، نوروزی و اشجعی با مقدار ۶/۵ ریشتر و نوروزی ۲/۶۳ ریشتر می‌باشد. کرمی و همکاران (۱۳۹۷)، به منظور تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه‌های آبریز شمال تبریز براساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های Da و ga کاملاً تحت تاثیر کشیدگی حوضه‌ها که ناشی از اثر تکتونیک فعال می‌باشد قرار دارند. در ضمن ناهنجاری‌های شبکه زهکشی تمامی حوضه‌های شمال تبریز از شاخص تقعر نیمرخ رودخانه نیز متاثر می‌شوند. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی) پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که در این مناطق فعالیت گسل شدت نداشته و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات چندانی ایجاد نمی‌کند از مهم‌ترین گسل حوضه کوزه‌توپراقی می‌توان به گسل آمین‌آباد و ترکه‌ده اشاره کرد. گارسیا و والدیا (۲۰۲۰)، فعالیت‌های تکتونیک و ژئومورفولوژیکی را در منطقه سن‌لوکاس در کوردیلرای مرکزی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مورد مطالعه قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین فعالیت زمین‌ساختی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی-سن‌بلاس در راستای گسل‌های با روند شمال غرب جنوب شرق و در شمال حوضه فلسطین است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برای جلوگیری از خسارت‌های جانی و مالی

توسط فعالیت‌های نئوتکتونیک روی گسل‌های نیر فعالیت‌های پیشگیرانه در جهت جلوگیری از ساخت و سازهای غیرمجاز بر روی گسل‌های مورد مطالعه انجام گیرد

منابع

- ایلانلو، م. (۱۳۹۹). بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی. جغرافیا، ۱۸(۶۶)، ۱۸۵-۱۶۸. SID. <https://sid.ir/paper/962337/fa>
- جلالی، س.، صمدی، م.، صمدی قشلاقچائی، م.، کرنزادی، 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، ۷۴-۶۷.
- حجازی، ا.، نجف‌وند، س. (۱۳۹۹). پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان پاره با استفاده از روش منطق Fuzzy. جغرافیا و روابط انسانی، ۲(۴)، ۳۸۵-۳۷۶.
- حسین‌پور، م. (۱۳۸۶). بررسی‌های سائزمو تکتونیک شمال غرب ایران و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی محسن مؤید، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.
- خلج، م. (۱۴۰۰). ارزیابی فعالیت زمین ساختی حوضه آبریز قروه-دهگلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، جغرافیا و توسعه، سال ۱۹، شماره ۶۲، ۱۵۶-۱۳۳.
- 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، ۱۴۰-۱۲۳.
- ده‌بزرگی، م.، پورکرمانی، م.، آرین، م.، متکان، ع.ع.، معتمدی، ح.، حسینی‌ها، ح. (۱۳۸۹). تجزیه و تحلیل کمی فعالیت تکتونیک نسبی در منطقه سروستان، زاگرس مرکزی، ایران، ژئومورفولوژی، ش. ۱۲۱، ۳۲۹-۳۴۱.
- رجبی، م. (۱۳۸۵). تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۴، ۱۹۱-۱۷۸.
- رجبی، م.، کرمی، ف.، از صاری، م. (۱۳۹۴). تحلیل فعالیت نئوتکتونیک در حوضه آبریز قلعه‌چای. جغرافیای طبیعی، ۸(۳۰)، ۱-۱۴.
- روستایی، ش.، رجبی، م.، زمردیان، م.ج.، مقامی مقیم، غ.ر. (۱۳۸۸). نقش فعالیت‌های تکتونیک در شکلگیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۰. صفحات ۱۰۷-۱۷۲.
- سادات ریاضی راد، ز.، کی‌نژاد، آ.، قمی‌اویلی، ج. (۱۳۸۸). بررسی لرزه زمین ساخت و لرزه خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا، فصلنامه زمین، شماره ۴، ۸۹-۷۷.
- صادقی، ع.، پی‌سوزی، ت. (۱۳۹۹). شناسایی مناطق مستعد جهت اسکان موقت بعد از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهر سنندج). جغرافیا و روابط انسانی، ۲(۴)، ۲۵۴-۲۶۳.

- علبدینی، 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، ۸۹-۷۳.
- عابدینی، م.، (۱۳۹۵). ژئومورفولوژی تکتونیکی، جلد اول، چاپ اول، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- عابدینی، م.، شبرنگ، ش.، (۱۳۹۳). ارزیابی فعالیت‌های نوزمین ساخت در حوضه آبخیز مَشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، ۶۶-۴۹.
- عابدینی، م.، پاسبان، ام.، نظافت تکه، ب.، پورقا سمی، ا.، (۱۴۰۱). بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی). مطالعات علوم محیط زیست، ۷(۲)، ۵۰۴۳-۵۰۵۲. doi: 10.22034/jess.2022.334604.1750
- کرمی، ف.، رجبی، م.، اباذری، گ.، (۱۳۹۷). تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه‌های آبریز شمال تبریز، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۱، ۳۰-۴۷.
- مزرعه، ا.، (۱۴۰۰). برنامه ریزی عمرانی و آبادانی کلانشهرها در راستای مدیریت بحران زلزله با تأکید بر بافت فرسوده. جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۱)، ۴۱۰-۳۹۳.
- مقصودی، م.، جعفری، م.، جعفری، ر.، (۱۳۹۹). ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های حبله رود و کردان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک، دوره ۹، شماره ۳۵، ۷۷-۵۵.
- مقصودی، م.، کامرانی دلیر، ح.، (۱۳۸۷). ارزیابی نقش تکتونیک فعال تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ۵۵-۳۷.
- مقصودی، م.، جعفری، م.، جعفری، ر.، (۱۳۹۹). ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های حبله‌رود و کردان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹(۳)، ۷۷-۵۷. doi: 10.22067/geoeh.2020.66963.0
- نگهبان، س.، درتاج، د.، (۱۳۹۸). ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۹، ۲۰۹-۱۸۷.
- یمانی، م.، کامرانی دلیر، ح.، باقری، س.، (۱۳۸۹). مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نوزمین ساخت در حوضه آبریز چله زاگرس شمال غربی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۶، ۱-۲۶.
- 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. Ondoa, 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.