جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱٤۰۲، دوره۵، شماره٤، صص ۵۹۰-۵٦۸

ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نیر)[1]

فریبا اسفندیاری درآباد[1*]، بهروز نظافت تکله[2]

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

esfandyari@uma.ac.ir

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

تاریخ دریافت:۱٤۰۲/۰۱/۰٤ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۱/۳۱

چکیده

ژئومورفولوژی تکتونیک به مطالعه لندفرم های 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. به‌منظور بررسی نئوتکتونیک فعال، از شاخص‌های نئوتکتونیکی حوضه آبریز و توان لرزه‌خیزی استفاده می‌گردد. در این پژوهش فعالیت‌های نئوتکتونیکی 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 ٢٦گانه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع ۱۲ متر استفاده شد. سپس درنهایت برای هریک از شاخص‌ها نقشه پهنه‌بندی حوضه مورد بررسی در پنج رده تهیه شد. در نهایت با توجه مقادیر محاسبه شده هریک 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 نئوتکتونیکی 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 و اشجعی با مقدار ٦/۵ ریشتر و نوروزی ۲/٦۳ ریشتر می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت نئوتکتونیکی 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 چندانی ایجاد نمی‌کند از مهم‌ترین گسل حوضه نیر می‌توان به گسل نیر اشاره کرد که برای مناطق مسکونی در صورت فعال شدن مخاطره آمیز خواهد بود.

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

---

[1] مقاله مستخرج از طرح پژوهشی نوع دوم به شماره قرارداد ۲۵۵۱۱-۹-د-۱٤۰۱ که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفته است. مجری طرح خانم دکتر فریبا اسفندیاری درآباد

DOI: 10.22034/GAHR.2023.393039.1844

شاپا الکترونیکی:3851-645

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 تغییرشکل پوسته زمین بر اثر تنش‌ها و کرنش‌های وارده در طول دوران‌های مختلف زمین‌شناسی می‌پردازد (عابدینی، ۱۳۸۵). نئوتکتونیک به حرکات جدید تکتونیکی اطلاق می‌گردد که عمدتا 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 چین‌خوردهٔ آلپی 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[1]، ١٩٨١)، تکتونیک ژئومورفولوژی مطالعه لندفرم‌های ناشی از تکتونیسم و تعامل بین تکتونیک و فرایندهای ژئومورفیک است (کمیته مطالعات ژئوفیزیک[2]، ١٩٨٦)، تقریبا هیچ منطقه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات نئوتکتونیکی قرار نگرفته باشد (کیلر و پینتر[3]، ٢٠٠٢). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل‌یافته به‌وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند (جیاکونیا[4] و همکاران، ٢٠١٢). 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، ١٣٩۵). 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 نئوتکتونیکی یک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد (کیلر، ١٩٨٦). 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 زمین ساختی ناشی از بالاآمدگی یا فرونشست حاصل شود (الحمدونی[5] و همکاران، ٢٠٠٨)). 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 پینتر، ۲۰۰۲) در ساده‌ترین شکل، لندفرم‌ها و شکل‌های تشکیل‌دهنده زمین با اندازه، ارتفاع، شیب مشخص می شوند. به‌عبارتی 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 (عابدینی، ۱۳۹۵). مطالعات جدیدی در داخل و خارج از ایران صورت گرفته است که شرح ذیل اشاره می‌گردد.

عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی 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 کوزه توپراقی می‌توان به گسل آمین‌آباد و ترکه‌ده اشاره کرد.

خلج (۱۴۰۰)، به ارزیابی فعالیت نئوتکتونیکی حوضه آبریز قروه- دهگلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید فعالیت زمین ساختی بالا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به‌دلیل فعالیت گسل‌های موجود در منطقه است. از مهم‌ترین گسل‌های واقع در منطقه می‌توان گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی، پریشان، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل خلخال را نام برد.

ایلانلو (۱۳۹۹)، به بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید که 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.

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 زمین ساخت(IAT) می‌توان گفت که هر دو منطقه از نظر تکتونیکی فعال هستند ولی میزان فعالیت‌های تکتونیکی 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 شویشه 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 حوضه های آبریز شمال تبریز بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که شاخص های Da و ga کاملا تحت تاثیر کشیدگی حوضه ها که ناشی از اثر تکتونیک فعال می باشد قرار دارند. در ضمن ناهنجاری های شبکه زهکشی تمامی حوضه های شمال تبریز از شاخص تقعر نیمرخ رودخانه نیز متاثر می شوند.

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 بی نظمی‌های موجود در نیمرخ طولی 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 (۱۳۹٤)، به بررسی و تحلیل فعّالیّت نئوتکتونیکی در حوضه آبریز قلعه‌چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان بالای تراکم وVF فعّالیّت زمین ساختی از نوع فعال را نشان می دهند که می توان حوضه ی قلعه چای را با فعالیت های تکتونیکی نسبتا فعال در نظر گرفت.

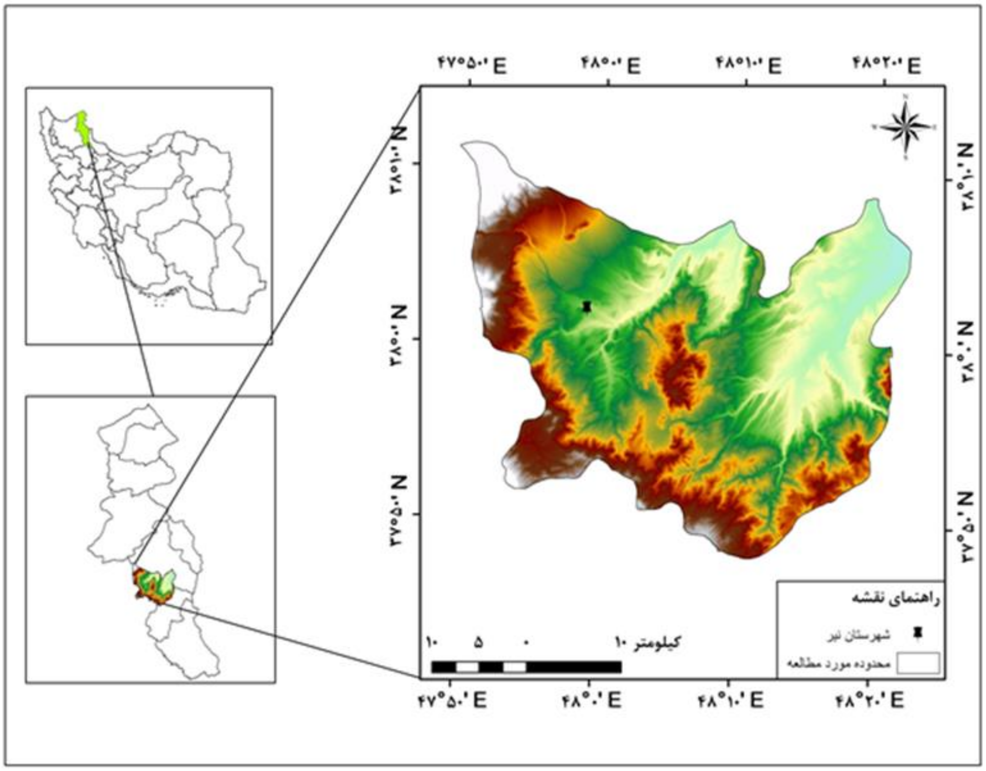
علبدینی و شبرنگ (۱۳۹۳)، به‌بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه آبریز مشکین‌چای را با شاخص‌های ژئومورفولوژی پرداختند. ایشان به نتیجه رسیدند که کل حوضه مورد مطالعه از لحاظ نوتکتونیکی پویا است. نگاپنا و همکاران (۲۰۲۰)، به‌منظور ارزیابی زمین ساخت فعال در منطقه ایدیا اسکا در قسمت جنوب غربی کامرون با استفاده 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 ریخت شناسی و ژئومورفولوژیکی مورد مطالعه قرار دادند .ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین فعالیت زمین ساختی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی – سن بلاس در راستای گسل‌های با روند شمال غرب جنوب شرق و در شمال حوضه فلسطین است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی 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 ٤۷ 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 بولاغلار نیر از مکان‌های مهم گردشگری این شهرستان هستند. این شهر دارای چشمه‌های آب متعدد می‌باشد که معروفترین آن تفرجگاه بولاغلار می‌باشد شکل (۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

مواد و روش

پژوهش فوق به‌منظور 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، گسترهٔ 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 ۲٦ 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 گسترهٔ 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 نشان‌دهندۀ شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است. این شاخص، نشان‌دهندۀ ارتفاع نسبی یک حوضه است و مقدار بالای برجستگی نسبی، بیانگر نرخ باالآمدگی بیش‌تر است که به‌دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیش‌تر است.

شاخص تراکم زهکشی (Dd)

تراکم زهکشی یک شاخص ژئومورفولوژی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، منعکس کنندۀ فرایندهای حاکم بر چشم‌اندازها است (استوارت، ۲۰۱۳). این شاخص می‌تواند نشان‌دهندۀ تأثیر نئوتکتونیک فعال در منطقه باشد (دیوی و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می‌گردد (هورتون، ۱۹٤٥، ۲۷۰-۲۷٥).

$$Dd = Lu/A$$ رابطه ۲

در رابطه بالا Lu مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و A مساحت حوضه است. میزان تراکم آبراهه در یک حوضه، می‌تواند نشان‌دهندۀ وضعیت شدت و ضعف آبراهه‌ها و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن مقدار باشد (کاتز و هممااران، 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 نئوتکتونیکی عهد حاضر هستند، کم‌تر است. مقادیر بالای شاخص تراکم زهکشی بیانگر این است که منطقه شامل مواد زیرسطحی ضعیف یا نفوذناپذیر، با پوشش‌گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است (کیلر و همککاران، 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 نیر محاسبه شد.

شاخص ضریب شکل (Ff)

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون هستند. به‌طوری‌که با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی دبی اوج حوضه‌های گرد بیش‌تر از حوضه‌های کشیده خواهد بود. به‌دلیل 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، ۱۹٤۵).

رابطه ۳

$$Pf = A/L2$$

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 درمناطق فعال از نظر نئوتکتونیکی، 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 فرسایش‌نیافته حوضه است (پینتر و کیلر، ۲۰۰۲). مقادیر بالای این شاخص مربوط به‌نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است، درصورتی 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.

رابطه ٤

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

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 ۲٦ زیرحوضه در حوضه مورد بررسی محاسبه شد. منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم گردید. براساس ترسیم مساحت تجمعی در محور x و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت منحتب به‌دست آمد.

شاخص گرادیان طولی رود (SL)

شاخص گرادیان طولی رود از جمله شاخص‌های مهم تفکیک مناطق فعال و غیرفعال نئوتکتونیکی 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 بالاآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد. این شاخص براساس رابطه (۵) به‌دست می‌آید.

$$SL = (\Delta H/\Delta L)\,L$$

رابطه ۵

در رابطه بالا SL گرادیان طولی رود، (ΔH) اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، (ΔL) فاصله افقی همان محل، (ΔH /LΔ) 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. بـه‌طور معمول این تغییرات تحت‌تأثیر سه عامل که شامل: فعالیت نوتکتونیکی باعث ایجاد باالآمدگی 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 تـراز 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 تکتونیکی در هر منطقه کوهستانی شاخص پهنای کف دره به ارتفاع دامنه‌های آن است (بول و مکفادن، ۱۹۷۷). براساس رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

رابطه ٦

در این رابطه Vf 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} ارتفاعع 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 می آید (بول، ۲۰۰۷).

$$V = \frac{2V_W}{(Eld - Esc) + (Erd - Esc)}$$

رابطه ۷

به عبارتی این شاخص برای تشخیص بالاآمدگی‌ها 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 ٦ در این شاخص نشان دهنده مناطق در حال بالاآمدن و مقدار ۷ مناطق با بالاآمدگی 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.

رابطه ۸
$$Bs = Bi/Bw$$

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 ساخت ی 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 به‌منظور بررسی گسترۀ مورد مطالعه از لحاظ فعالیت نئوتکتونیکی 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 کف‌دره (Vf)، شاخص گرادیان طولی رود (Sl)، نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)، نسبت عرض دره به ارتفاع دره (V) هستند.

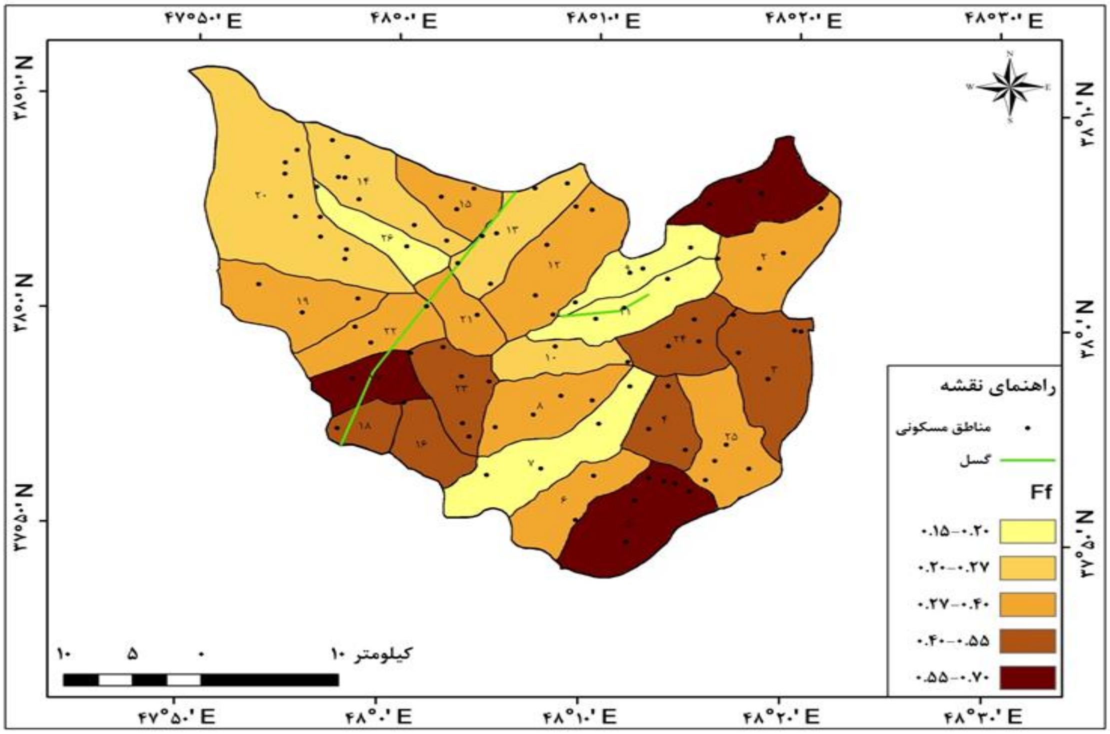
هر شاخص به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رتبه تقسیم شد و در نهایت با میانگین‌گیری از ردۀ کل شاخص‌ها شاخص نئوتکتونیک فعال نسبی (Lat) برای ٢٦ حوضه در گسترۀ مورد مطالعه حوضه نیر محاسبه شد.

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 نئوتکتونیکی بسیاربالا (۰/۱۵< Ff <۰/۲۰)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۰/۲۰< Ff <۰/۲۷)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۰/۲۷< Ff <۰/۴۰)، رتبه چهار: فعالیت زمین‌ساختی کم (۰/۴۰< Ff <۰/۵۵)، رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۰/۵۵< Ff <۰/۷۰)، با توجه نتایج حاصله از شاخص ضریب شکل کم‌ترین مقدار ضریب شکل مربوط به زیر حوضه‌های ۷، ۹، ۱۱، ۲٦ با مقدار ۰/۱۵ است که دارای بیش‌ترین کشیدگی و بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی است و بیش‌ترین مقدار شاخص ضریب شکل مربوط به زیرحوضه‌های ۵، ٦ و ۱۷ با مقدار ۰/۷۰ است که کم‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی را دارد. به عبارتی می‌توان دلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی بیش‌تر را در زیرحوضه‌های ۹ و ۱۱ در اثر فعالیت گسل باشد.



۴-

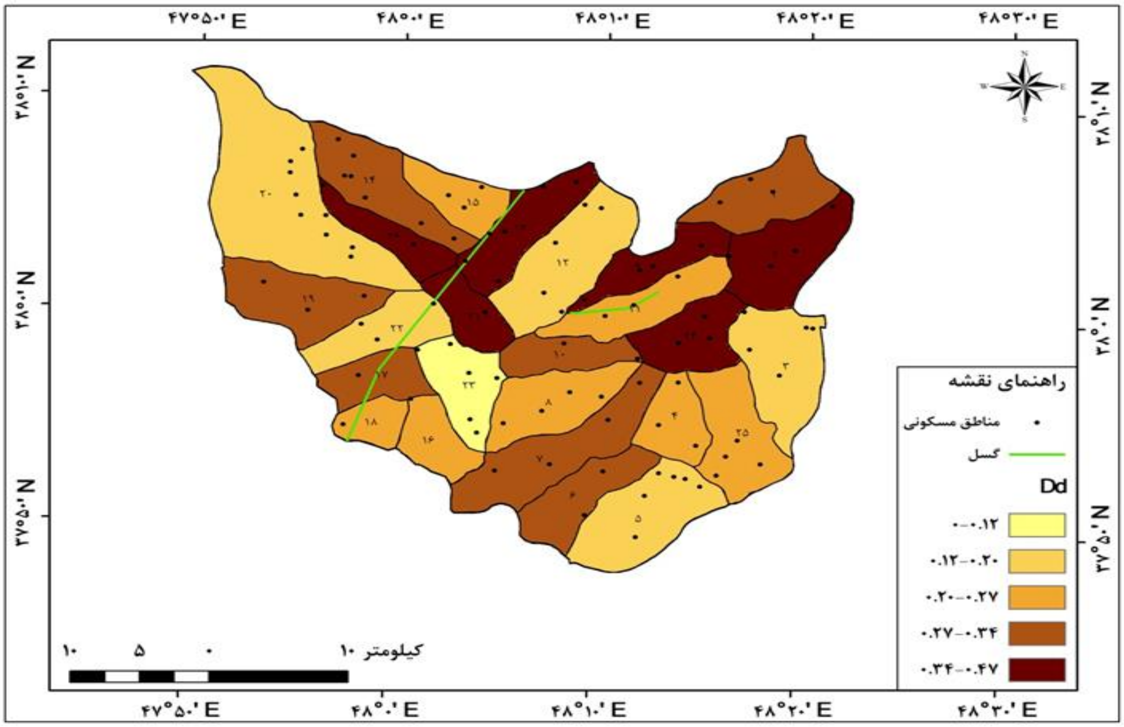
شکل ۲- نقشه پراکندگی شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

تحلیل شاخص تراکم زهکشی

با توجه شکل (۳)، نتایج حاصله از شاخص تراکم زهکسی به پنج رتبه فعالیت نئوتکتونیکی تقسیم شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۰< Dd <۰/۱۲)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۰/۱۲< Dd <۰/۲۰)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۰/۲۰< Dd <۰/۲۷)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (۰/۲۷< Dd <۰/۳٤) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۰/۳٤< Dd <۰/٤۷) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله از رتبه‌بندی فعالیت نئوتکتونیکی

در زیرحوضه‌های نیر بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی مربوط به زیرحوضه ۲۳ است که ناشی از وجود گسل در زیرحوضه های اطراف است. هم‌چنین کم‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی نیز مربوط به زیرحوضه‌های ۲، ۹، ۱۳، ۲۱، ۲٤، ۲٦، می‌باشد.


۴۷°۵۰' E
۴۸°۰' E
۴۸°۱۰' E
۴۸°۲۰' E
۴۸°۳۰' E
۳۸°۱۰' N
۳۸°۰' N
۳۷°۵۰' N
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
Dd
۰-۰.۱۲
۰.۱۲-۰.۲۰
۰.۲۰-۰.۲۷
۰.۲۷-۰.۳۴
۰.۳۴-۰.۴۷
۱۰ ۵ ۰ کیلومتر ۱۰

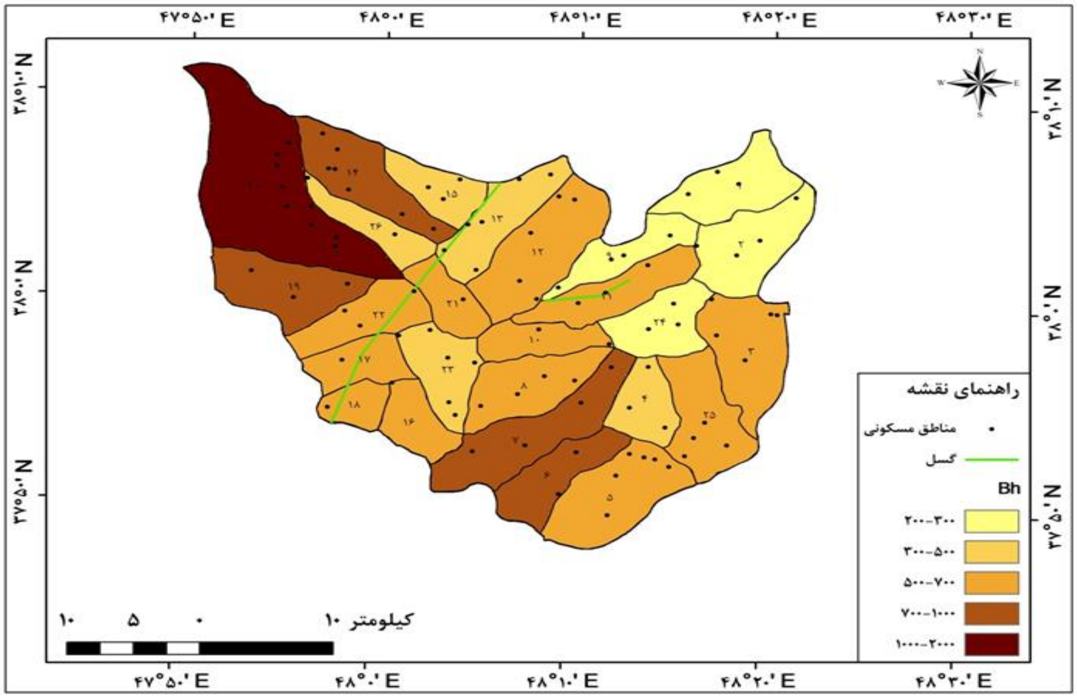
۵-

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

(منبع: نگارندگان، ١٤٠٢)

تحلیل شاخص برجستگی نسبی

با توجه به نتایج حاصله از شکل (٤)، شاخص برجستگی نسبی به لحاظ فعالیت نئوتکتونیکی به پنج رتبه تقسیم شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۱۰۰۰< Bh <۲۰۰۰)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۷۰۰< Bh <۱۰۰۰)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۵۰۰< Bh <۷۰۰)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (۳۰۰< Bh <۵۰۰) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۲۰۰< Bh <۳۰۰)، را نشان می‌دهد. براساس شاخص برجستگی نسبی هرچقدر میزان ارتفاع بیش‌تر باشد فرسایش حاصله کم‌تر خواهد بود و در نتیجه فعالیت‌های نئوتکتونیکی بیش‌تر خواهد بود. به‌عبارتی بیش‌ترین مقدار شاخص برجستگی نسبی با ۱۱۰۰ مربوط به زیرحوضه ۱، ۲، ٢٤، ۹ است که به‌دلیل فعالیت گسلی بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی را دارا می‌باشد. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در زیرحوضه ۲۰ است که هیچ مورد گسلی در این زیرحوضه‌ها وجود ندارد.


۴۷°۵۰' E
۴۸°۰' E
۴۸°۱۰' E
۴۸°۲۰' E
۴۸°۳۰' E
۳۸°۱۰' N
۳۸°۰' N
۳۷°۵۰' N
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
Bh
۲۰۰-۳۰۰
۳۰۰-۵۰۰
۵۰۰-۷۰۰
۷۰۰-۱۰۰۰
۱۰۰۰-۲۰۰۰
کیلومتر ۱۰
۱۰ ۵ ۰

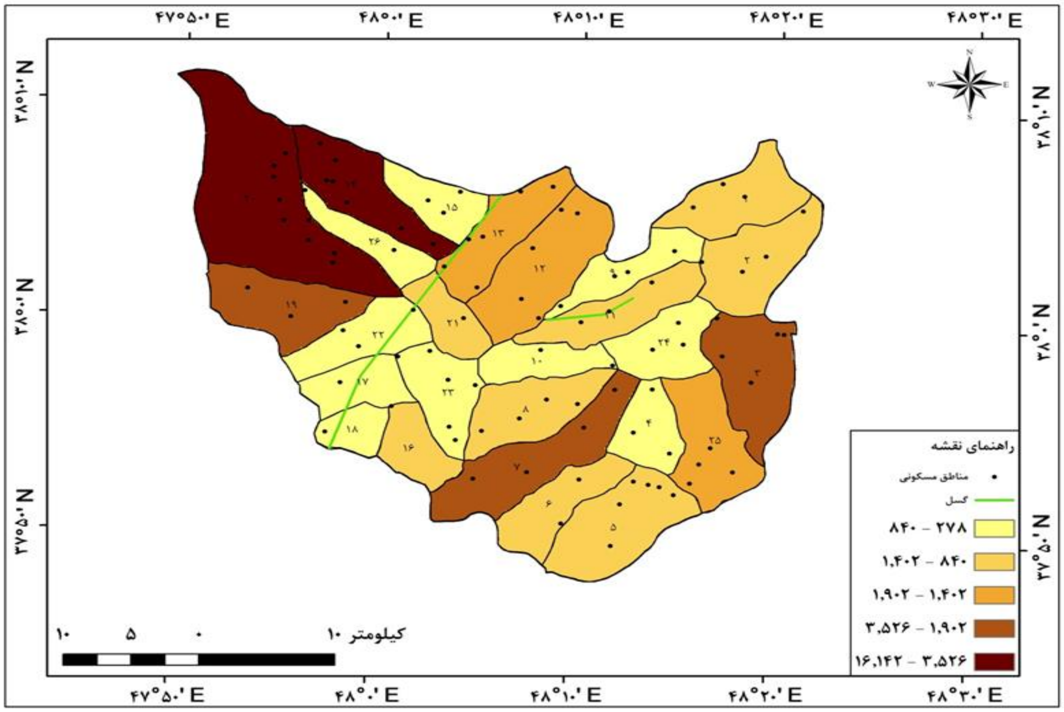
۶-

۷- شکل ٤- نقشه پراکندگی شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۲)

شاخص گرادیان طولی رود

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۵)، شاخص گرادیان طولی رود به لحاظ فعالیت نئوتکتونیکی به پنج رتبه تقسیم شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۱٦/۱٤۲> SL >۳/۵۲٦)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۳/۵۲٦> SL >۱/۹۰۲)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۱/۹۰۲> SL >۱/٤۰۲)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (۱/٤۰۲> SL >۸٤۰) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۸٤۰> SL >۲۷۸)، را نشان می‌دهد. بر اساس رتبه‌های به‌دست آمده از شاخص گرادیان طولی بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی مربوط به زیرحوضه‌های ۱٤ و ۲۰ است و کم‌ترین میزان فعالیت تکتونیکی مربوط به زیرحوضه‌های ٤، ۱۰، ۲۳، ۲٤ می‌باشد.


۴۷°۵۰' E
۴۸°۰' E
۴۸°۱۰' E
۴۸°۲۰' E
۴۸°۳۰' E
۳۸°۱۰' N
۳۸°۰' N
۳۷°۵۰' N
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
۸۴۰ - ۲۷۸
۱,۴۰۲ - ۸۴۰
۱,۹۰۲ - ۱,۴۰۲
۳,۵۲۶ - ۱,۹۰۲
۱۶,۱۴۲ - ۳,۵۲۶
کیلومتر ۱۰
۵
۰
۱۰

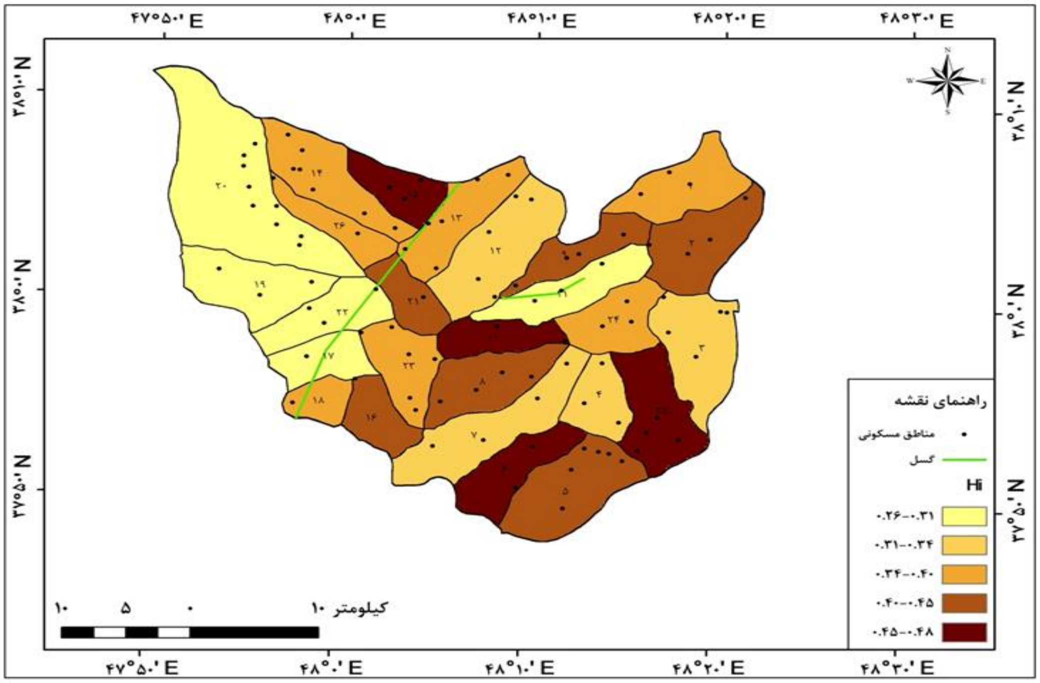
۸-

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

(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۲)

شاخص انتگرال فرارسنجی

براساس شکل (٦)، شاخص فرازسنجی به لحاظ فعالیت نئوتکتونیکی پنج رتبه گروه‌بندی شد. رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۰/۳۱ >Hi >۰/۲٦)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۰/۳٤ >Hi >۰/۳۱)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۰/٤۰ >Hi >۰/۳٤)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (۰/٤٥ >Hi >۰/٤۰) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۰/٤۸ >Hi >۰/٤٥) را نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان فعالیت نئوتکتونیکی به زیرحوضه‌های ۱۱، ۱۷، ۲۲ که نشان از فعالیت های نئوتکتونیکی بالا و در نهایت مخاطره امیز بودن را نشان می‌دهد. کم‌ترین میزان فعالیت تکتونیکی آن مرتبط به زیرحوضه‌های ٦، ۱۰، ۱٥، ۲٥ می‌باشد.


۴۷°۵۰' E
۴۸°۰' E
۴۸°۱۰' E
۴۸°۲۰' E
۴۸°۳۰' E
۳۸°۱۰' N
۳۸°۰' N
۳۷°۵۰' N
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
Hi
۰.۲۶-۰.۳۱
۰.۳۱-۰.۳۴
۰.۳۴-۰.۴۰
۰.۴۰-۰.۴۵
۰.۴۵-۰.۴۸
کیلومتر ۱۰
۱۰ ۵ ۰

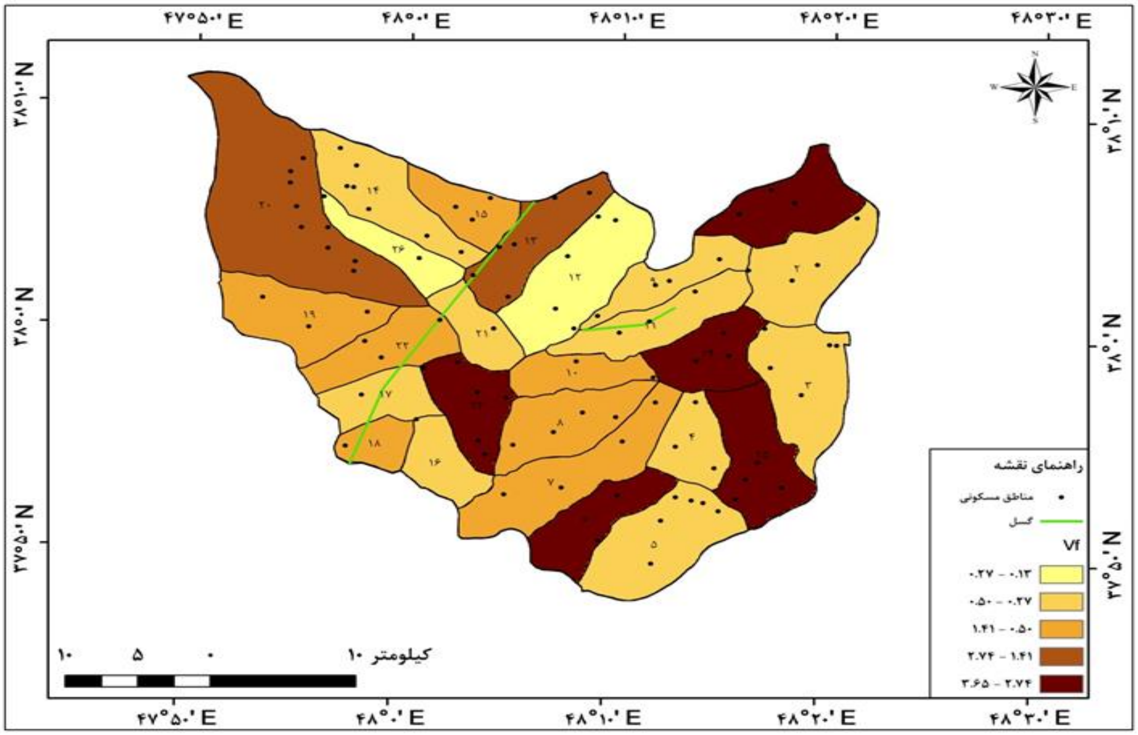
-۹

شکل ٦- نقشه پراکندگی شاخص انتگرال فرازسنجی در منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۲)

شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن

براساس نتایج به‌دست آمده از شکل (۷)، مشاهده می‌گردد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن به پنج رتبه: رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۰/۱۳<Vf<۰/۲۷)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۰/۲۷<Vf<۰/۵۰)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۰/۵۰<Vf<۱/٤۱)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (۱/٤۱<Vf<۲/۷٤) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۲/۷٤<Vf<۳/٦۵)، تقسیم شده است. بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی براساس نتایج شاخص پهنای کف دره مربوط به زیرحوضه‌های ۲ و ۲٦ می‌باشد و کم‌ترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱، ٦، ۲۰، ۲۳، ۲٤، ۲۵ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیکی است.

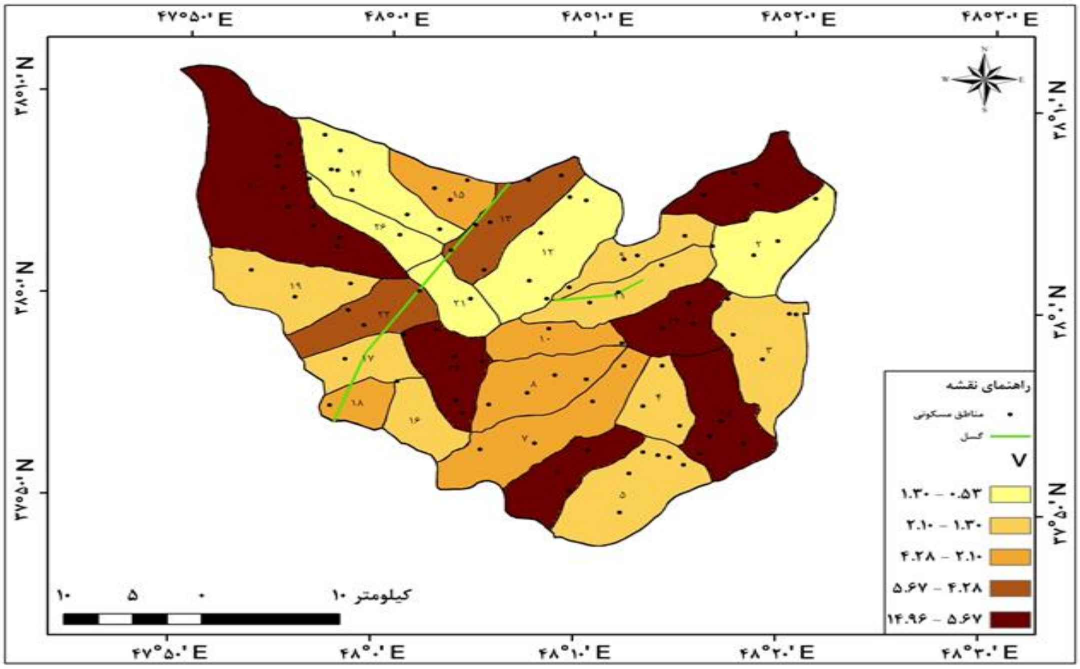

۴۷°۵۰' E
۴۸°۰' E
۴۸°۱۰' E
۴۸°۲۰' E
۴۸°۳۰' E
۳۸°۱۰' N
۳۸°۰' N
۳۷°۵۰' N
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
Vf
۰.۱۳ - ۰.۲۷
۰.۲۷ - ۰.۵۰
۰.۵۰ - ۱.۴۱
۱.۴۱ - ۲.۷۴
۲.۷۴ - ۳.۶۵
کیلومتر ۱۰ ۰ ۵ ۱۰

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

(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۲)

شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره (V)

براساس نتایج به‌دست آمده از شکل (۸)، مشاهده می‌گردد که شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره به پنج رتبه: رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۰/۵۳<V<۱/۳۰)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۱/۳۰<V<۲/۱۰)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۲/۱۰<V<٤/۲۸)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (٤/۲۸<V<۵/٦۷) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۵/٦۷<V<۱٤/۹٦)، تقسیم شده است. بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی براساس نتایج شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره مربوط به زیرحوضه‌های ۱۲ و ۲۱ می‌باشد و کم‌ترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱، ٦، ۲۳، ۲٤، ۲۵ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیکی است.

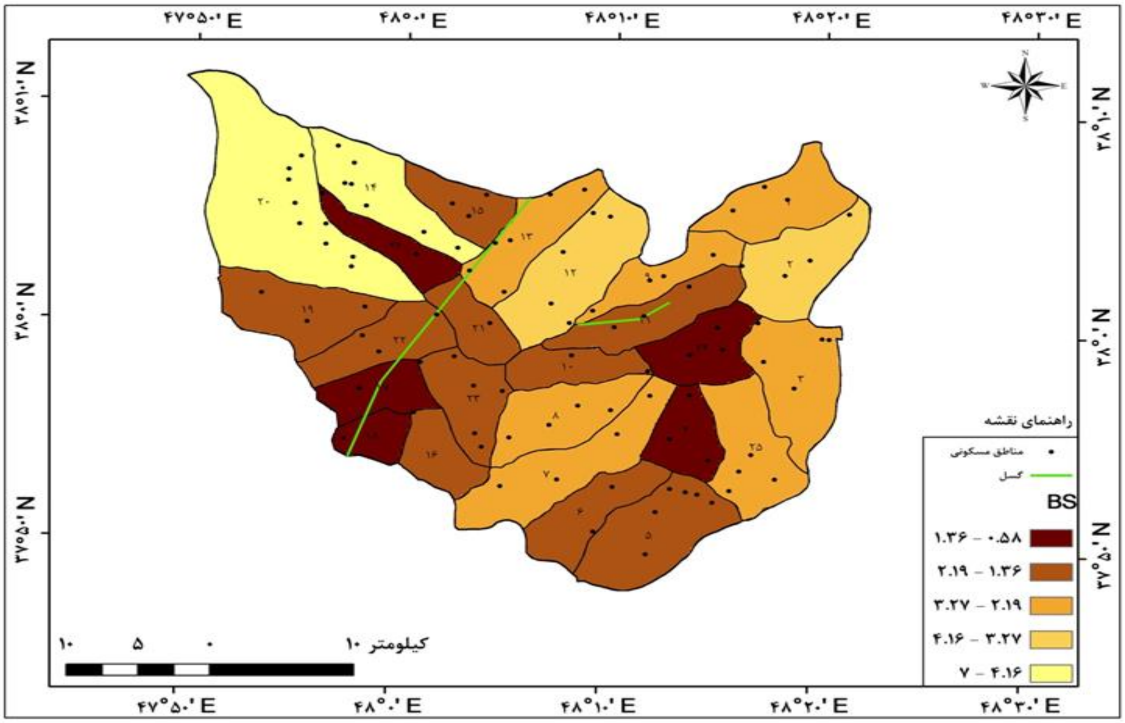

۴۷°۵۰' E
۴۸°۰' E
۴۸°۱۰' E
۴۸°۲۰' E
۴۸°۳۰' E
۳۸°۰' N
۳۷°۵۰' N
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
V
۱.۳۰ - ۰.۵۳
۲.۱۰ - ۱.۳۰
۴.۲۸ - ۲.۱۰
۵.۶۷ - ۴.۲۸
۱۴.۹۶ - ۵.۶۷
کیلومتر ۱۰ ۰ ۵ ۱۰

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

(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۲)

شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS)

براساس نتایج به‌دست آمده از شکل (۹)، مشاهده می‌گردد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن به پنج رتبه: رتبه یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۰/۵۸<BS<۱/۳٦)، رتبه دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۱/۳٦<BS<۲/۱۹)، رتبه سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۲/۱۹<BS<۳/۲۷)، رتبه چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (۳/۲۷<BS<٤/۱٦) رتبه پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (٤/۱٦<BS<۷)، تقسیم شده است. بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی براساس نتایج نسبت شکل حوضه زهکشی مربوط به زیرحوضه‌های ٤، ۱۷، ۱۸، ۲٤، ۲٦ می‌باشد و کم‌ترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱٤ و ۲۰ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیکی است.

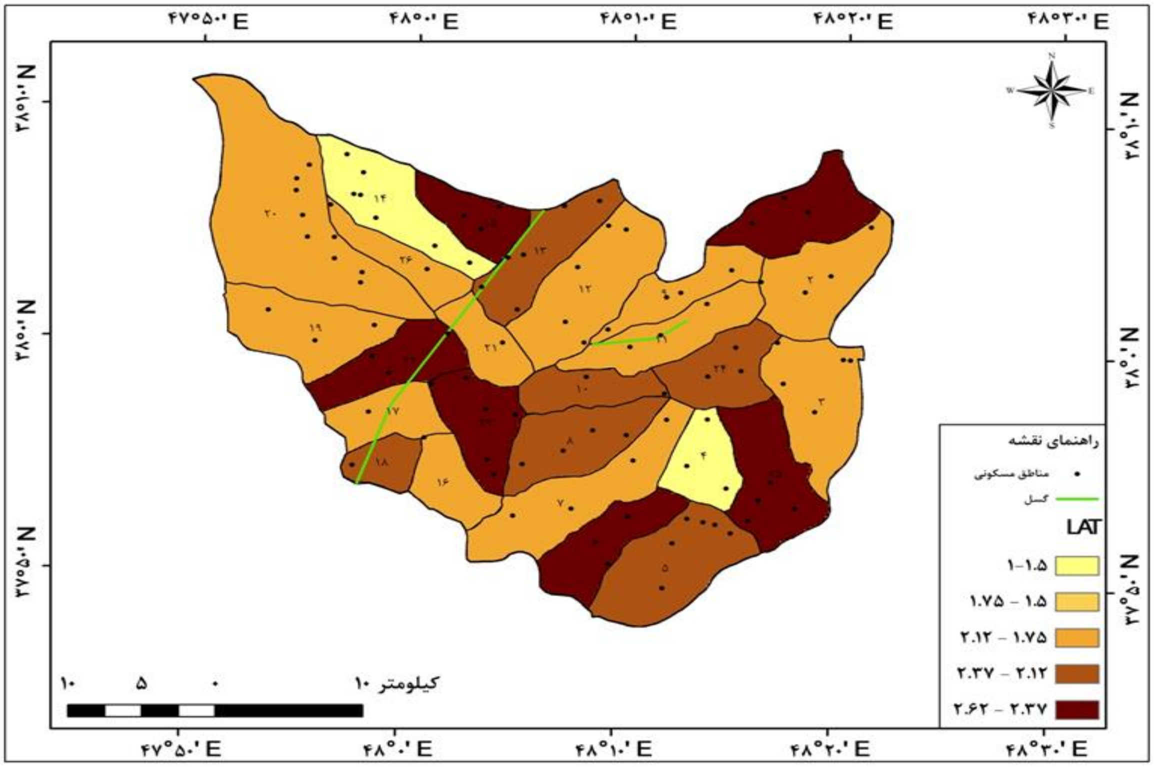

۴۷°۵۰'E
۴۸°۰'E
۴۸°۱۰'E
۴۸°۲۰'E
۴۸°۳۰'E
۳۸°۱۰'N
۳۸°۰'N
۳۷°۵۰'N
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
BS
۰.۵۸ - ۱.۳۶
۱.۳۶ - ۲.۱۹
۲.۱۹ - ۳.۲۷
۳.۲۷ - ۴.۱۶
۴.۱۶ - ۷
کیلومتر ۱۰ ۵ ۰ ۱۰

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

(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۲)

شاخص فعال زمین‌ساخت نسبی

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۱۰)، شاخص زمین‌ساخت براساس ۸ شاخص بررسی شده ایجاد شده است که بر پنج رده تقسیم شده است. : رده یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیاربالا (۱<Lat<۱/۵)، رده دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا (۱/۵<Lat<۱/۷۵)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط (۱/۷۵<Lat<۲/۱۲)، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم (۲/۱۲<Lat<۲/۳۷) رده پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم (۲/۳۷<Lat<۳/۶۲)، بر این اساس نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت نئوتکتونیک نیز برای شاخص (Lat)، ترسیم شد. براساس نتایج حاصل از بررسی نئوتکتونیک فعال نسبی در حوضه نیز می‌توان نتیجه گرفت بیش‌تر مساحت حوضه کوزه توپراقی در رده فعالیت متوسط قرار گرفته است. اعداد مربوط به هر شاخص در جدول (۱)، آمده است.


۴۷°۵۰' E
۴۸°۰' E
۴۸°۱۰' E
۴۸°۲۰' E
۴۸°۳۰' E
۳۸°۱۰' N
۳۸°۰' N
۳۷°۵۰' N
N
S
E
W
راهنمای نقشه
مناطق مسکونی
گسل
LAT
۱-۱.۵
۱.۵ - ۱.۷۵
۱.۷۵ - ۲.۱۲
۲.۱۲ - ۲.۳۷
۲.۳۷ - ۲.۶۲
کیلومتر ۱۰
۱۰ ۵ ۰

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

(منبع: نگارندگان، ١٤٠٢)

جدول ۱- مقادیر هشت شاخص اندازه‌گیری شده و سطح فعالیت نئوتکتونیک در گسترهٔ مورد مطالعه

زیرحوضه‌ها	Bh	Dd	Ff	Hi	SL	Vf	BS	V	شاخص زمین‌ساخت
١	٣	٢	١	٢	٣	٣	٢	٣	٢/٣٧٥
٢	٣	١	٢	٢	٣	١	١	١	١/٧٥
٣	٢	٣	١	١	٣	١	٢	١	١/٧٥
٤	١	٢	١	١	٢	١	٣	١	١/٥
٥	٣	٣	١	٢	٣	١	٣	١	٢/١٢٥
٦	٣	٢	١	٣	٣	٣	٣	٣	٢/٦٢٥
٧	٣	٢	١	١	٣	٢	٢	٢	٢
٨	٢	٢	٢	٢	٣	٢	٣	٢	٢/٢٥
٩	٣	١	١	٢	٣	١	٢	١	١/٧٥
١٠	٢	٢	١	٣	٣	٢	٣	٢	٢/٢٥
١١	٢	٢	١	١	٣	١	٣	١	١/٧٥
١٢	٢	٣	٢	٢	٣	١	١	١	١/٨٧٥
١٣	٣	١	١	٢	٣	٣	٢	٢	٢/٢٥

١٤	١	٢	١	٢	٣	١	١	١	١/٥
١٥	٣	٢	٢	٣	٢	٢	٣	٢	٢/٣٧٥
١٦	٢	٢	١	٢	٣	١	٣	١	١/٨٧٥
١٧	٢	٢	١	١	٣	١	٣	١	١/٧٥
١٨	٢	٢	١	٢	٢	٢	٣	٢	٢/١٢٥
١٩	١	٢	٢	١	٣	٢	٢	١	١/٨٧٥
٢٠	١	٣	١	١	٣	٣	١	٣	٢
٢١	٢	١	٢	٢	٣	١	٣	١	١/٨٧٥
٢٢	٢	٣	٢	١	٣	٢	٣	٣	٢/٣٧٥
٢٣	٢	٣	١	٢	٢	٣	٣	٣	٢/٣٧٥
٢٤	٣	١	١	٢	٢	٣	٣	٣	٢/٢٥
٢٥	٢	٣	٢	٣	٣	٣	٢	٣	٢/٦٢٥
٢٦	٣	١	١	٢	٢	١	٣	١	١/٧٥

(منبع: نگارندگان، ١٤٠٢)

- **نتایج ارزیابی توان لرزه‌خیزی گسل‌های گستره مورد مطالعه**

روش بزرگا- طول گسل یکی از معتبرترین روش‌ها در اندازه‌گیری توان لرزه‌زایی گسل می‌باشد (حسین پور ، ۱۳۸٦، ۷۹)، برخی روابط کمی تعیین توان لرزه‌زایی گسل‌ها عبارت‌اند از:

الف: رابطه زارع (۱۳۷٤).

$$M_s = 3.66 + 0.91 \mathrm{Ln} L \qquad (۹)$$

در رابطه بالا L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۸٦، ۷۱).

ب: رابطه نوروزی (۱۹۸۵).

$$M_S = 1.259 + 1.244 \mathrm{Log}_l \qquad (۱۰)$$

در رابطه بالا L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۲۸).

پ: رابطه نوروزی و مهاجر اشجعی (۱۹۷۸).

$$M_s = 5.4 + \mathrm{Log}_l \qquad (۱۱)$$

که Ms بزرگی زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر و L نیمی از طول گسل برحسب کیلومتر است (سادات ریاضی راد، ۱۳۸۸، ۸۱).

با توجه به این محاسبه‌ها، میانگین لرزه زایی برحسب ریشتر به دست آمد جدول (۲)،مقادیر حداکثر توان لرزه‌زایی گسل نیر حدود ۵/۰٤، در حوضه مورد بررسی را برحسب 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	۱۲/۷٦	۵/۹۸	۲/٦۳	٦/۵	۵/۰٤

نتیجه‌گیری و بحث

با توجه به ارزیابی فعالیت نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه آبخیز نیر این نتیجه حاصل شد که منطقه از نظر فعالیت‌های تکتونیکی در وضعیت متوسط قرار دارد در نهایت براساس شاخص ضریب شکل بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی مربوط به زیر حوضه‌های ۷، ۹، ۱۱، ۲٦، با مقدار ۱۰/۱۵ است. بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیکی براساس شاخص تراکم زهکشی مربوط به زیر حوضه ۱۲ است. هم‌چنین زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۹، ۲٤ در شاخص برجستگی از نظر فعالیت نئوتکتونیکی بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است. شاخص گرادیان طولی زیر حوضه ۱٤ و ۲۰، شاخص انتگرال زیرحوضه ۱۱، ۱۷، ۲۲، شاخص پهنای کف دره زیرحوضه‌های ۲، ۲٦ بیش‌ترین فعالیت‌های نئوتکتونیکی را به خود اختصاص داده‌اند. شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع زیرحوضه‌های ۱۲، ۲۱، شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی زیرحوضه‌ها ۳، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲٦ به خود اختصاص داده است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود براساس شاخص فعالیت زمین ساخت نسبی بیش‌ترین مساحت حوضه نیر در رده فعالیت تکتونیکی متوسط قرار گرفته است. براساس ارزیابی توان لرزه‌خیزی این نتیجه حاصل شد رابطه زارع با مقدار ۵/۹۸ ریشتر، نوروزی و اشجعی با مقدار ٦/۵ ریشتر و نوروزی ۲/٦۳ ریشتر می‌باشد. کرمی و همکاران (۱۳۹۷)، به منظور تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه های آبریز شمال تبریز براساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که شاخص های Da وga کاملا تحت تاثیر کشیدگی حوضه ها که ناشی از اثر تکتونیک فعال می باشد قرار دارند. در ضمن ناهنجاری های شبکه زهکشی تمامی حوضه های شمال تبریز از شاخص تقعر نیمرخ رودخانه نیز متاثر می شوند. عابدینی و همکاران (۱٤۰۱)، بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی 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 کوزه توپراقی می‌توان به گسل آمین‌آباد و ترکه‌ده اشاره کرد. 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–سن بلاس 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 نئوتکتونیکی روی گسل‌های نیز 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 شاخص های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی. جغرافیا، ۱۸(٦٦)، ۱۸٥-۱٦۸. SID. https://sid.ir/paper/962337/fa

-جلالی، س.، صمدی، م.، صمدی قشلاقچائی، م.، کرنژادی، آ.، (۱۳۹٥). بررسی شاخص‌های مورفومتری در حوضهٔ آبخیز چهل چای استان گلستان با استفاده از GIS ، مجلهٔ علمی ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دورهٔ ۷، شماره٤، ۷٤-٦۷.

-حجازی، ا، نجف وند، س. (۱۳۹۹). پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان پاوه با استفاده از روش منطق Fuzzy. جغرافیا و روابط انسانی، ۲(٤)، ۳۸٥-۳۷٦.

-حسین پور، م.، (۱۳۸٦). بررسی‌های سایزموتکتونیکی شمال‌غرب ایران و پهنه‌بندی خطر زمین لرزه در شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی محسن مؤید، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.

-خلج، م.، (۱٤۰۰). ارزیابی فعالیت زمین ساختی حوضهٔ آبریز قروه- دهگلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، جغرافیا و توسعه، سال ۱۹. شماره ٦۲، ۱٥٦-۱۳۳.

-دزفولی کلونی، ز.، ایلانلو، م.، (۱۳۹۷). ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۱، شماره ٤۱، ۱٤۰-۱۲۳.

-ده بزرگی، م.، پورکرمانی، م.، آرین، م.، متکان، ع.ع.، معتمدی، ح. حسینیه‌ها، ح.، (۱۳۸۹). تجزیه و تحلیل کمی فعالیت تکتونیکی نسبی در منطقه سروستان، زاگرس مرکزی، ایران، ژئومورفولوژی، ش. ۱۲۱، ۳۲۹-۳٤۱.

-رجبی، م.، (۱۳۸٥). تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ٤، ۱۹۱-۱۷۸.

-رجبی، م، کرمی، ف، انصاری، م. (۱۳۹٤). تحلیل فعّالیّت نئوتکتونیکی در حوضه آبریز قلعه‌چای. جغرافیای طبیعی، ۸(۳۰)، ۱-۱٤.

-روستایی، ش، رجبی، م، زمردیان، م ج، مقامی مقیم، غ ر. (۱۳۸۸). نقش فعالیتهای تکتونیکی درشکلگیری و گسترش مخروطافکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلادا . 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 ٤، ۸۹-۷۷.

-صادقی، ع، پی سوزی، ت. (۱۳۹۹). شناسایی مناطق مستعد جهت اسکان موقت بعد از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهر سنندج). جغرافیا و روابط انسانی، ۲(٤)، ۲٥٤-۲٦۳.

-علبدینی، م.، (۱۳۸۵). نقش عوامل مؤثر در گسترش و تکامل مخروط افکنه‌های ارتفاعات درّه 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 فعّالیت‌های نوزمین ساخت در حوضه آبخیز مشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، ٦٦-٤۹.

-عابدینی، م، پاسبان، ا م، نظافت تکله، ب، پورقاسمی، ا. (۱٤۰۱). بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان‌لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی). مطالعات علوم محیط زیست، ۷(۲)، ۵۰٤۳- ۵۰۵۲. doi: 10.22034/jess.2022.334604.1750

-کرمی، ف، رجبی، م، اباذری، گ. (۱۳۹۷)، تحلیل ناهنجاری های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه های آبریز شمال تبریز، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۱، ۳۰-٤۷.

-مزرعه، ا. (۱٤۰۰). برنامه ریزی عمرانی و آبادانی کلانشهرها در راستای مدیریت بحران زلزله با تأکید بر بافت فرسوده. جغرافیا و روابط انسانی، ٤(۱)، ٤۱۰-۳۹۳.

-مقصودی، م.، جعفربگلو، م.، جعفری، ر.، (۱۳۹۹). ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه های 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، مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ٦٦، ۵۵-۳۷.

-مقصودی، م، جعفربگلو، 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 حوضه‌ی 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 نو زمین ساخت در حوضهٔ آبریز چله زاگرس شمال غربی، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، شماره، ۲٦-۱.

–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.