

بررسی فعالیت‌های نئوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (حوضه آبخیز خیابوچای)^۱

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

*۱- استاد دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، (گرایش ژئومورفولوژی)، اردبیل، ایران
۲- دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)، اردبیل، ایران
ایمیل نویسنده مسئول: esfandyari@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۴

چکیده

نئوزمین‌ساختی به مطالعه آن دسته از حرکت‌ها، جنبش‌ها و تغییر شکل‌های پوسته زمین (از دید فرایندهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی) می‌پردازد که در دوره زمین‌شناختی کنونی نیز ادامه دارد. برای بررسی فعالیت‌های نئوزمین‌ساختی فعال، از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه آبخیز و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها استفاده شد. در این تحقیق فعالیت‌های نئوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها در حوضه خیابوچای مورد تحلیل قرار گرفته است. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰٫۳ و افزونه Archydro زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه استخراج شد. برای محاسبه دقیق در هر زیرحوضه ۱۵ 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 خیابوچای در پنج رده تهیه شد. در نهایت با توجه مقادیر برآورد شده هر یک از شاخص‌ها شاخص زمین‌ساخت نسبی فعال برای حوضه خیابوچای استخراج شد. با توجه به شاخص زمین‌ساخت نسبی فعال حوضه خیابوچای به پنج رده بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم نئوتکتونیکی تقسیم شد. براساس نتایج بیشترین میزان فعالیت تکتونیک مربوط به زیرحوضه‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ می‌باشد. براساس ارزیابی توان لرزه‌خیزی این نتیجه حاصل شد رابطه زارع با مقدار $4/41$ ریشتر، نوروزی و اشجعی با مقدار $5/76$ ریشتر و نوروزی $1/71$ ریشتر می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت نئوتکتونیکی متوسط و بالا را در بیشتر زیرحوضه‌های خیابوچای نشان می‌دهد که در این مناطق فعالیت گسل خیابو موثر بوده و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات زیادی دربرخواهد داشت. از مهم‌ترین گسل حوضه خیابوچای می‌توان به گسل خیابو اشاره کرد که برای مناطق مسکونی در صورت فعال شدن مخاطره آمیز خواهد بود.

کلمات کلیدی: "بررسی"، "فعالیت نئوزمین‌ساختی"، "شاخص‌های ژئومورفیک"، "گسل"، "حوضه خیابوچای".

^۱ - مقاله مستخرج از طرح پژوهشی نوع دوم به شماره قرارداد ۲۵۵۱۰-۹-۱۴۰۱ که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفته است. مجری طرح دکتر فریبا اسفندیاری درآباد می‌باشد.

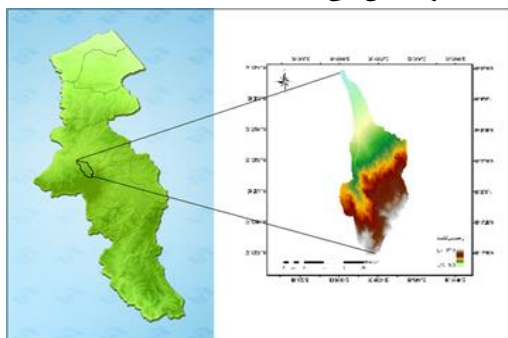
۱- مقدمه

گسل‌ها از عناصر مهم تکتونیکی هستند که با قطعه قطعه کردن پوسته زمین و جابه‌جا نمودن عمودی و افقی قطعات پوسته، ضمن ایجاد زمین‌لرزه، به‌طور مستقیم در ایجاد انواع لندفرم‌های اولیه، شرکت دارند که اشکال ساختمانی اولیه برای عملکرد عوامل دینامیکی و ایجاد اشکال ثانویه هستند. از طرف دیگر، گسل‌ها در امتداد خود نقاط ضعیفی در پوسته زمین ایجاد می‌کنند و بدین ترتیب، شرایط لازم برای ماگماتیسم، دیاپیریسم نمکی، چشمه‌های آبگرم و غیره را به وجود می‌آورند. گسل‌ها هم‌چنین می‌توانند در ایجاد بعضی مآندرها، تندآب‌ها، انحراف، اسارت آبراهه‌ها و نیز تشکیل دریاچه‌ها و تالاب‌ها دخالت داشته باشند (۲۹ و ۳۱). 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 (۳۲). یکی از شاخه‌های زمین‌شناسی است که به مطالعه تغییر شکل پوسته زمین بر اثر تنش‌ها و کرنش‌های وارده در طول دوران‌های مختلف زمین‌شناسی می‌پردازد (۱). نئوتکتونیک به حرکات جدید تکتونیکی اطلاق می‌گردد که عمدتاً در گسل‌ها نمود پیدا می‌کند (۳۰). 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 (۱). فلات ایران یک منطقه چین‌خورده آلیپی 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.

تکتونیک ژئومورفولوژی مطالعه لندفرم‌های ناشی از تکتونیسم و تعامل بین تکتونیک و فرایندهای ژئومورفیک است (۱۱). تقریباً هیچ منطقه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات نئوتکتونیک قرار نگرفته باشد (۲۱). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل‌یافته

به‌وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۲). هدف ژئومورفومتری، استخراج ویژگی‌های شکلی سطح زمین و عوارض موجود در آن با استفاده از مدل‌های رقومی سطح زمین و نرم‌افزارهای پارامترسازی است (۱۸). 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 (۲۲). شاخص‌های نئوتکتونیک فعال می‌توانند 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 (۸). 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 (۲۲). 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 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 (۲). مطالعات جدیدی در داخل و خارج از ایران صورت گرفته است که شرح ذیل اشاره می‌گردد. (۳). 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. (۲۳). 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 به‌دلیل فعالیت گسل‌های موجود در منطقه است. از مهم‌ترین گسل‌های واقع در منطقه می‌توان گسل‌های بنه‌آباد، سورمه

استان اردبیل و از لحاظ تقسیمات جاماب از زیر حوضه‌های آبخیز بزرگ خزر محسوب می‌شود؛ که با هشت زیر حوضه در محدوده جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه ۲۳ دقیقه عرض شمالی، با بیشینه ارتفاع ۴۵۶۰ متر از سطح دریا در محل قله کسری در ارتفاعات جنوبی حوضه و کمینه ارتفاع ۱۳۷۵ متر در محل خروجی حوضه در محل ایستگاه هیدرومتری پل سلطان واقع شده است. از لحاظ زمین ساخت صفحه‌ای، حوضه آبریز خیاوچای در قسمتی از پهنه خرد شده بین صفحه‌های عربستان و ایران و ریز صفحه‌های ایران و ترکیه قرار گرفته است. بخش بزرگی از لایه‌های رسوبی چین‌خورده تحت تاثیر رخدادهای آتشفشانی و فعالیت‌های ماگمایی دچار دگرذیسی شده‌اند. در طول دوران سنوزوئیک زون البرز-آذربایجان به شدت تحت تاثیر فازهای کوهزایی آلپ قرار داشته است و فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن در تمام طول آن دیده می‌شود. وجود توده‌های نفوذی و آتشفشان‌های عظیم سه‌پند و سبلان در این حوضه نشانه‌ای از ادامه آخرین فعالیت ماگماتیسم فاز آلپی در این زون است {۲}. شکل (۱)، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

• مواد و روش

تحقیق حاضر به بررسی و تحلیل ارزیابی میزان نسبی فعالیت زمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در حوضه آبخیز خیاوچای 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 GIS ۱۰٫۳ و مدل رقومی ارتفاعی DEM ۱۲ متر، زیرحوضه‌ها، شبکه‌های آبراهه‌های اصلی استخراج شد و منطقه مورد مطالعه به ۱۵ 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

علی، پریشان، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل خلخال را نام برد. {۱۷}، به بررسی تکنیک فعال حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید که شکل حوضه نیمه کشیده و از نظر تقارن توپوگرافی، نیمه متقارن است. ولی بی‌نظمی‌های موجود در نیمرخ طولی رودخانه به دلیل واحدهای لیتولوژی مختلف و ساختارهای گسلی متعدد زیاد است. {۲۴ و ۲۵}، به بررسی ارزیابی تکنیک 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 تکنونیک فعال هستند ولی میزان فعالیت‌های تکنونیک در حوضه کردان نسبت به حوضه حبله‌رود بیش‌تر است. {۲۷}، به ارزیابی تکنونیک 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. {۲۸}، به منظور ارزیابی زمین‌ساخت فعال در منطقه ایدیا اسکا در قسمت جنوب غربی کامرون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. نتایج کار این محققین نشان داد که فعالیت مجدد گسل‌های که در این منطقه قرار دارند عامل ایجاد زلزله‌های شدید هستند. {۱۰}، فعالیت‌های تکنونیک 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 سیمیتی‌سن بالاس در راستای گسل‌های با روند شمال غرب جنوب شرق و در شمال حوضه فلسطین است. {۳۸، ۲۶، ۱۹، ۱۴، ۱۶، ۴}.

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خیاوچای) می‌باشد.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز خیاوچای به وسعت تقریبی ۱۳۰۰ هکتار، در حاشیه غربی کوه سبلان، در جنوب شهرستان مشگین شهر قرار گرفته است، از نظر تقسیمات سیاسی بخشی از

{۱۵}، 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 {۲۲}. این شاخص بر اساس مساحت و مجموع طول آبراه‌ها برای هر حوضه با استفاده از نرم افزار GIS^{۱۰،۳} محاسبه گردید و نقشه پهنه‌بندی تراکم زهکشی زیرحوضه‌های خیاوچای 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 {۱۵}

$$\text{رابطه ۳ } Pf = A/L^2$$

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 {۵}. برای زیر حوضه‌های واقع در منطقه خیاوچای، مقادیر شاخص مذکور محاسبه و نقشه پهنه‌بندی ترسیم شد.

شاخص انتگرال (Hi)

انتگرال هیپسومترى بیان‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه به‌ویژه حوضه آبریز است وضعیت تشخیص {۳۷}، فرسایش برای تمام حوضه‌های زهکشی اصلی مهم و ضروری است. تحلیل فرازسنجی به‌عنوان یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به‌کار برده می‌شود {۳۵}. این شاخص به‌عنوان مساحت نسبی زیر منحنی فرازسنجی تعریف شده که بیانگر حجم فرسایش‌نیافته حوضه است {۲۱}. مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است،

اکتشافات معدنی کشور در محدوده مورد مطالعه، 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.

$$\text{رابطه ۱ } Bh = H_{max} - H_{min}$$

در این رابطه H_{max} مقدار ارتفاع بیشینه و H_{min} 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 آبراهه‌های آن، منعکس کنند [فرایندهای حاکم بر چشم‌اندازها است {۳۶}]. این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر نئوتکتونیک فعال در منطقه باشد. شاخص تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می‌گردد {۱۵}.

$$\text{رابطه ۲ } Dd = Lu/A$$

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

مرتفع ترین 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 {۵} براساس رابطه زیر به دست می‌آید.

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

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.

$$V = \frac{V_W}{(E_{id} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}$$

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.

$$BS = B_i / B_w$$

B_s نشان دهنده شکل حوضه (متر)، B_i طول حوضه: فاصله پایین ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه آن B_w نشان دهنده عرض حوضه است (۶).

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 {۸ و ۹}.

در صورتی که مقادیر پایین آن مربوط به نواحی قدیمی است که دچار فرسایش شده و کم تر تحت تأثیر زمین ساخت گرفته‌اند {۸}. براساس رابطه زیر شاخص انتگرال و هیپسومتری محاسبه می‌شود.

$$Hi = \frac{\text{average elevation} - \text{min elevation}}{\text{max elevation} - \text{min elevation}}$$

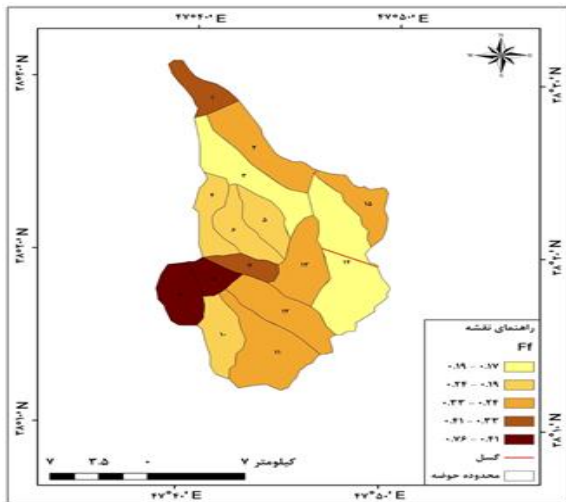
استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲ متر، ارتفاع کمینه، بیشینه و میانگین برای هر زیرحوضه به دست آمد و با توجه به رابطه بالا شاخص هیپسومتری برای ۱۵ زیرحوضه در حوضه مورد بررسی محاسبه شد. منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم گردید. براساس ترسیم مساحت تجمعی در محور x و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت منتخب به دست 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 زمین ساخت فعال نسبی است {۲۱}. هنگامی که رودخانه و آبراه‌ها در نواحی با نرخ بالآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد. این شاخص براساس رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} L$$

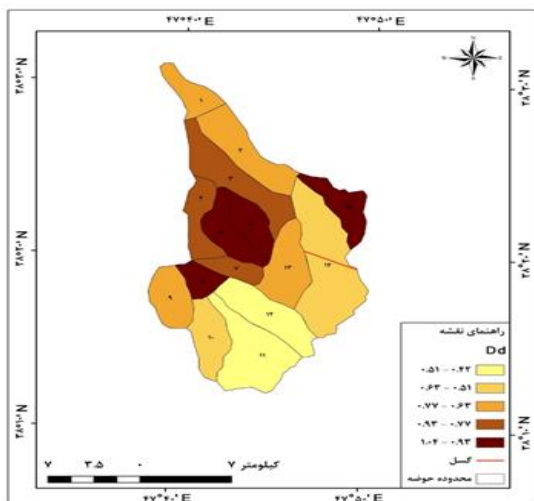
در رابطه بالا SL گرادیان طولی رود، (ΔH) اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، (ΔL) فاصله افقی همان محل، $(\Delta H / \Delta L)$ گرادیان مسیر کانال رود و L طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه است. شاخص گرادیان طولی رود منعکس کننده تغییرات توپوگرافیکی در امتداد یک رودخانه است. به طور معمول این تغییرات تحت تأثیر سه عامل که شامل: فعالیت نوتکتونیکی باعث ایجاد بالآمدگی می‌گردد، تفاوت سنگ‌شناسی و فراوانی زیاد تغییرات سطح اساس دریا طی دوره چهارم زمین‌شناسی هستند {۹}. در مناطقی که غسل آبراهه را قطع می‌کند، بیشترین مقدار شاخص گرادیان طولی مشاهده می‌شود و این مناطق فعال هستند {۸}. 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



شکل (۲): نقشه پراکندگی شاخص ضریب شکل در حوضه خیاوچای

تحلیل شاخص تراکم زهکشی

نتایج حاصله (شکل ۳)، از شاخص تراکم زهکشی به پنج رده فعالیت نئوتکتونیک تقسیم شد. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0.51 < Dd < 0.42$)، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($0.63 < Dd < 0.51$)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($0.77 < Dd < 0.63$)، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم ($0.93 < Dd < 0.77$)، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($1.04 < Dd < 0.93$) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله از رده بندی فعالیت نئوتکتونیک در زیرحوضه‌های خیاوچای بیشترین فعالیت نئوتکتونیک مربوط به زیرحوضه ۱۱ و ۱۲ است که ناشی از وجود گسل در زیرحوضه‌های اطراف است. همچنین کمترین فعالیت نئوتکتونیک نیز مربوط به زیرحوضه‌های ۱۵، ۵، ۶ و ۸ می‌باشد.



شکل (۳): نقشه پراکندگی شاخص تراکم زهکشی در حوضه خیاوچای

تحلیل شاخص برجستگی نسبی

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۴)، شاخص برجستگی نسبی به لحاظ فعالیت نئوتکتونیک به پنج رده تقسیم شد. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($2.19 < Bh$)

شاخص نئوتکتونیک فعال نسبی (LAT)

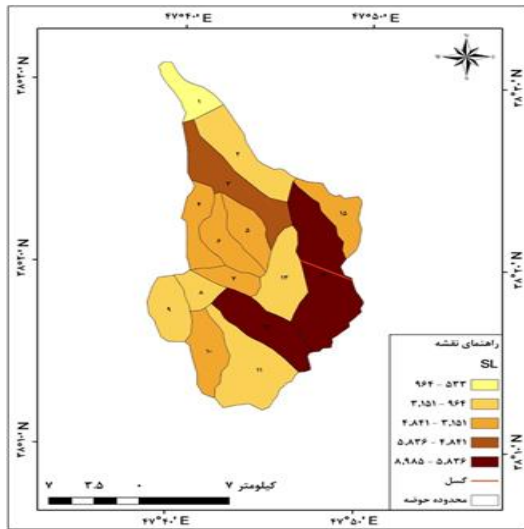
در این پژوهش از شاخص‌های مورفومتری به منظور بررسی گستره مورد مطالعه از لحاظ فعالیت نئوتکتونیک استفاده شده است که شامل شاخص برجستگی نسبی (Bh)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص ضریب شکل (Pf)، شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi)، شاخص پهنای کف دره (Vf)، شاخص گرادیان طولی رود (SI)، نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)، نسبت عرض دره به ارتفاع دره (V) هستند. هر شاخص به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده تقسیم شد و در نهایت با میانگین‌گیری از رد کل شاخص‌ها شاخص نئوتکتونیک فعال نسبی (Lat) برای ۱۵ حوضه در گستره مورد مطالعه حوضه خیاوچای محاسبه شد.

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.

تحلیل شاخص ضریب شکل

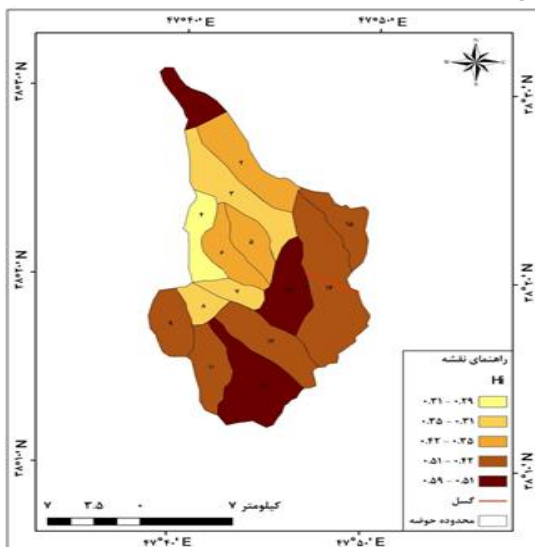
بر اساس نتایج حاصله (شکل ۲)، از شاخص ضریب شکل نشان داد که فعالیت نوزمین‌ساختی به پنج رده تقسیم شد. رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا ($0.19 < Ff$)، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا ($0.24 < Ff < 0.19$)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط ($0.33 < Ff < 0.24$)، رده چهار: فعالیت زمین‌ساختی کم ($0.41 < Ff < 0.33$)، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم ($0.76 < Ff < 0.41$)، با توجه نتایج حاصله از شاخص ضریب شکل کمترین مقدار ضریب شکل مربوط به زیر حوضه‌های ۱۴ و ۳ با مقدار 0.17 است که دارای بیشترین کشیدگی و بیشترین فعالیت نئوتکتونیک است و بیشترین مقدار شاخص ضریب شکل مربوط به زیرحوضه‌های ۸ و ۹ با مقدار 0.76 است که کمترین فعالیت نئوتکتونیک را دارد. به عبارتی می‌توان دلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک بیش‌تر را در زیرحوضه ۱۴ در اثر فعالیت گسل خیاو بائسد.



شکل (۵): نقشه پراکندگی مقادیر شاخص گرادیان طولی رود در حوضه خیاوچای

شاخص انتگرال فرارسنجی

براساس شکل (۶)، شاخص فرارسنجی به لحاظ فعالیت نئوتکتونیکی پنج رده گروه بندی شد. رده یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار بالا ($0 < Hi < 0.31$)، رده دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا ($0.31 < Hi < 0.42$)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط ($0.42 < Hi < 0.51$)، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم ($0.51 < Hi < 0.45$)، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم ($0.51 < Hi < 0.59$) را نشان می دهد. بیش ترین میزان فعالیت نئوتکتونیکی به زیرحوضه ۴ که نشان از فعالیت های نئوتکتونیکی بالا و در نهایت مخاطره آمیز بودن را نشان می دهد. کم ترین میزان فعالیت تکتونیکی آن مرتبط به زیرحوضه های ۱۱، ۱۳ و ۱ می باشد.

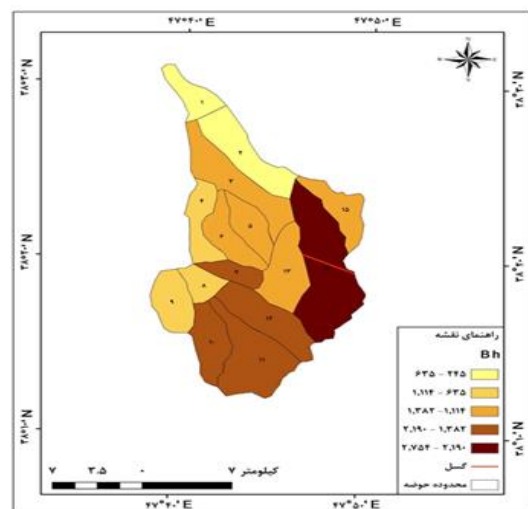


شکل (۶): نقشه پراکندگی شاخص انتگرال فرارسنجی در حوضه خیاوچای

شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن

براساس نتایج به دست آمده از شکل (۷)، مشاهده می گردد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن به پنج

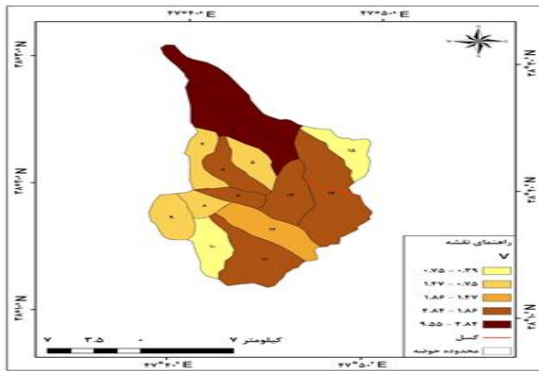
رده دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا ($Bh < 1382$)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط ($1114 < Bh < 2190$)، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم ($Bh < 635$)، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم ($1114 < Bh < 245$)، را نشان می دهد. براساس شاخص برجستگی نسبی هرچقدر میزان ارتفاع بیش تر باشد فرسایش حاصله کم تر خواهد بود و در نتیجه فعالیت های نئوتکتونیکی بیش تر خواهد بود. به عبارتی بیش ترین مقدار شاخص برجستگی نسبی با ۲۷۵۴ مربوط به زیرحوضه ۱۴ است که به دلیل فعالیت گسلی بیش ترین فعالیت نئوتکتونیکی را دارا می باشد. کم ترین مقدار این شاخص نیز در زیرحوضه ۱ و ۲ است که هیچ مورد گسلی در این زیرحوضه ها وجود ندارد.



شکل (۷): نقشه پراکندگی شاخص برجستگی نسبی در حوضه خیاوچای

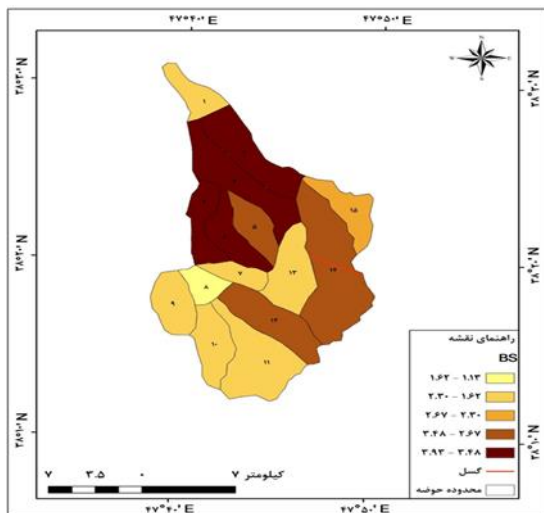
شاخص گرادیان طولی رود

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۵)، شاخص گرادیان طولی رود به لحاظ فعالیت نئوتکتونیکی به پنج رده تقسیم شد. رده یک: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار بالا ($SL < 8/985$)، رده دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا ($5/836 < SL < 4/841$)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط ($4/841 < SL < 3/151$)، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم ($3/151 < SL < 964$)، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیکی بسیار کم ($532 < SL < 964$)، را نشان می دهد. بر اساس رده های به دست آمده از شاخص گرادیان طولی بیش ترین فعالیت نئوتکتونیکی مربوط به زیرحوضه های ۱۴ و ۱۲ است و کم ترین میزان فعالیت تکتونیکی مربوط به زیرحوضه ۱ می باشد.



شکل (۸): نقشه پراکندگی مقادیر شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) دره در حوضه خیاوچای

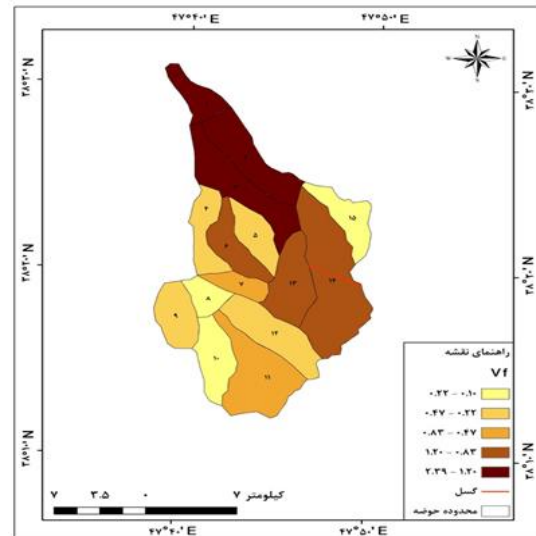
براساس نتایج به دست آمده از شکل (۹)، مشاهده می‌گردد که شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن به پنج رده : رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا $(1/13 < BS < 1/62)$ ، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا $(1/62 < BS < 2/30)$ ، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط $(2/30 < BS < 2/67)$ ، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم $(2/67 < BS < 3/48)$ ، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم $(3/48 < BS < 3/93)$ ، تقسیم شده است. بیشترین فعالیت نئوتکتونیک براساس نتایج نسبت شکل حوضه زهکشی مربوط به زیرحوضه ۸ می‌باشد و کمترین مقدار به زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴ و ۶ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیک در حوضه خیاوچای است



شکل (۹): نقشه پراکندگی مقادیر شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی در حوضه خیاوچای شاخص فعال زمین ساخت نسبی

با توجه به نتایج حاصله از شکل (۱۰)، شاخص زمین ساخت براساس ۸ شاخص بررسی شده ایجاد شده است که بر چهار رده تقسیم شده است. : رده یک: فعالیت

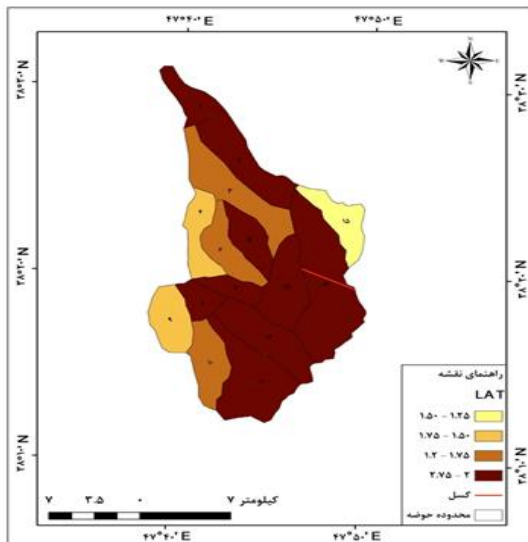
رده : رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا $(0/10 < Vf < 0/22)$ ، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا $(0/22 < Vf < 0/47)$ ، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط $(0/47 < Vf < 0/83)$ ، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم $(0/83 < Vf < 1/20)$ ، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم $(1/20 < Vf < 2/39)$ ، تقسیم شده است. بیشترین فعالیت نئوتکتونیک براساس نتایج شاخص پهنای کف دره مربوط به زیرحوضه‌های ۸ و ۱۰ می‌باشد و کمترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیک است.



شکل (۷): نقشه پراکندگی مقادیر شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن در حوضه خیاوچای

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 رده : رده یک: فعالیت نئوتکتونیک بسیار بالا $(0/39 < V < 0/75)$ ، رده دو: فعالیت نئوتکتونیک بالا $(0/75 < V < 1/47)$ ، رده سه: فعالیت نئوتکتونیک متوسط $(1/47 < V < 1/86)$ ، رده چهار: فعالیت نئوتکتونیک کم $(1/86 < V < 4/84)$ ، رده پنج: فعالیت نئوتکتونیک بسیار کم $(4/84 < V < 9/55)$ ، تقسیم شده است. بیشترین فعالیت نئوتکتونیک براساس نتایج شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع دره مربوط به زیرحوضه‌های ۱۰ می‌باشد و کمترین مقدار به زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت کم نیروهای تکتونیک در محدوده مورد مطالعه است.



شکل (۱۰): نقشه نهایی توزیع سطح فعالیت زمین ساخت نسبی در حوضه خیاوچای

نئوتکتونیکی بسیار بالا ($2 < Lat < 2/75$)، رده دو: فعالیت نئوتکتونیکی بالا ($1/75 < Lat < 2$)، رده سه: فعالیت نئوتکتونیکی متوسط ($1/75 < Lat < 1/50$) رده چهار: فعالیت نئوتکتونیکی کم ($1/50 < Lat < 1/25$)، بر این اساس نقشه پهنه بندی سطح فعالیت نئوتکتونیک نیز برای شاخص (Lat)، ترسیم شد. براساس نتایج حاصل از بررسی نئوتکتونیک فعال نسبی در حوضه خیاوچای می توان نتیجه گرفت بیش تر مساحت حوضه خیاوچای در رده فعالیت بالا قرار گرفته است که بر اساس آن بیش ترین فعالیت تکتونیکی مربوط به زیرحوضه ۴ است. اعداد مربوط به هر شاخص در جدول (۱)، آمده است.

جدول (۱): مقادیر هشت شاخص اندازه گیری شده و سطح فعالیت نئوتکتونیک در حوضه خیاوچای

شاخص زمین ساخت	V	BS	Vf	SL	Hi	Ff	Dd	Bh	زیرحوضه ها
۲/۳۷۵	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۳	۱	۱
۲	۳	۲	۱	۲	۳	۱	۳	۱	۲
۱/۷۵	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۳	۱	۳
۱/۶۲۵	۱	۳	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۴
۲	۱	۳	۳	۱	۳	۱	۳	۱	۵
۱/۸۷۵	۳	۱	۱	۲	۳	۲	۱	۲	۶
۲	۳	۳	۲	۲	۱	۳	۱	۱	۷
۲/۳۷۵	۳	۱	۱	۳	۳	۳	۲	۳	۸
۱/۵	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۳	۹
۱/۸۷۵	۱	۳	۳	۲	۲	۱	۱	۲	۱۰
۲/۳۷۵	۱	۳	۳	۳	۲	۱	۳	۳	۱۱
۲/۷۵	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۱۲
۲	۳	۱	۱	۳	۱	۳	۱	۳	۱۳
۲/۶۲۵	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۱۴
۱/۲۵	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱۵

روش بزرگا- طول گسل یکی از معتبرترین روش ها در اندازه گیری توان لرزه زایی گسل می باشد {۱۶}. برخی روابط کمی تعیین توان لرزه زایی گسل ها عبارتند از:

نتایج ارزیابی توان لرزه خیزی گسل های حوضه خیاوچای

الف: رابطه زارع

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

در رابطه بالا L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است
{۱۶}.

ب: رابطه نوروزی

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

در رابطه بالا L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است
{۱۳}.

پ: رابطه نوروزی و مهاجر اشجعی

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

که M_s بزرگی زمین لرزه در مقیاس ریشتر و L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است {۳۳}.

با توجه به این محاسبه‌ها، میانگین لرزه زایی بر حسب ریشتر به دست آمد جدول (۲)، مقادیر حداکثر توان لرزه‌زایی گسل خیاو حدود ۳/۹۶، در حوضه مورد بررسی را بر حسب ریشتر نشان می‌دهد.

جدول (۲): توان لرزه‌زایی گسل‌های موجود در حوضه خیاوچای بر حسب ریشتر

نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	نیمی از طول گسل (کیلومتر)	زارع	نوروزی	نوروزی و اشجعی	میانگین
خیاو	۴/۶۰	۲/۳۰	۴/۴۱	۱/۷۱	۵/۷۶	۳/۹۶

شاخص نسبت عرض دره به ارتفاع زیرحوضه ۱۰ و در شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی زیر حوضه ۸ بیشترین فعالیت نئوتکتونیک را به خود اختصاص داده است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود براساس شاخص فعالیت زمین ساخت نسبی بیش‌ترین مساحت حوضه خیاوچای در رده فعالیت تکتونیک متوسط و رو بالا قرار گرفته است. براساس ارزیابی توان لرزه‌خیزی این نتیجه حاصل شد رابطه زارع با مقدار ۴/۴۱ ریشتر، نوروزی و اشجعی با مقدار ۵/۷۶ ریشتر و نوروزی ۱/۷۱ ریشتر می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برای جلوگیری از خسارت‌های جانی و مالی توسط فعالیت‌های نئوتکتونیک روی گسل خیاو فعالیت‌های پیشگیرانه در جهت جلوگیری از ساخت و سازهای غیرمجاز بر روی گسل‌های مورد مطالعه انجام گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی فعالیت نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه آبخیز خیاوچای این نتیجه به دست آمد که منطقه از نظر فعالیت‌های تکتونیک در وضعیت نئوزمین‌ساختی بالا قرار دارد در نهایت براساس شاخص ضریب شکل بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک مربوط به زیر حوضه‌های ۳ و ۱۴ است. بیش‌ترین فعالیت نئوتکتونیک براساس شاخص تراکم زهکشی مربوط به زیر حوضه ۱۱ و ۱۲ است. همچنین زیرحوضه ۱۴ در شاخص برجستگی از نظر فعالیت نئوتکتونیک بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است. شاخص گرادیان طولی زیر حوضه ۱۴ و ۱۲، شاخص انتگرال زیرحوضه ۴، شاخص پهنای کف دره زیرحوضه‌های ۸، ۱۰ بیش‌ترین فعالیت‌های نئوتکتونیک را به خود اختصاص داده‌اند.

منابع

- Abedini, M., (۲۰۰۷). The role of effective factors in the expansion and evolution of alluvial cones in the highlands of Divan-Daghi Valley using new methods and techniques, Geographical Research No. ۵۵, ۷۳-۸۹. [in Persian]
- Abedini, M., (۲۰۱۵). Tectonic Geomorphology, first volume, first edition, Ardabil, Mohaghegh Ardabili University. [in Persian]
- Abedini, M., Pasban, A. M., Nezaft Tekle, B., Pourqasmi, A. (۲۰۲۳). Investigating neotectonic activities using geomorphic indicators and fault seismicity (case study: Kozetopraghi watershed). Environmental Science Studies, ۷(۲), ۵۰۴۳-۵۰۵۲. doi: ۱۰.۲۲۰۳۴/jess.۲۰۲۲.۳۳۴۶۰۴.۱۷۵۰. [in Persian]
- Abedini, M., Shebarang, Sh., (۲۰۱۴). Evaluation of new land construction activities in Meshkinchai watershed through geomorphology, geography and development indicators, No. ۳۵, ۶۶-۴۹. [in Persian]
- Bull W.B., Mcfadden, L.D. (۱۹۷۷). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring", D.O., (Ed.), Geomorphology in arid regions. Proceedings of the

- Ath Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton. Pp. ۱۱۵-۱۳۸.
- Deh-Borgi, M., Pourkarmani, M., Arin, M., Metkan, A.A., Motamedi, H. Hosseiniyeha, H., (۲۰۱۱). Quantitative analysis of relative tectonic activity in Sarvostan region, Central Zagros, Iran, *Geomorphology*, Vol. ۱۲۱, ۳۲۹-۳۴۱. [in Persian]
 - Dezfuli Colony, Z., Ilanlo, M., (۲۰۱۷). Evaluation of tectonic activities in Dalki watershed using geomorphic indicators, *Quarterly Journal of Natural Geography*, Vo ۱۱, No ۴۱, ۱۲۳-۱۴۰. [in Persian]
 - El Hamdouni, R. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacón, J. Keller, E.A. (۲۰۰۸). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*. ۹۶, PP. ۱۵۰-۱۷۳.
 - Font, M. Amorese, D. Lagarde, J.L. (۲۰۱۰). DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France). *Geomorphology*. ۱۱۹, PP. ۱۷۲-۱۸۰.
 - García Delgado, H. Velandia, F. (۲۰۲۰). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the NorthernAndes. *Geomorphology*. ۳۴۹, PP. ۱۰۶-۹۱۴.
 - Geophysics Study Committee. (۱۹۸۶). *Studies in geophysics, active tectonics*. National Academy Press. Washington, D.C.
 - Giaconia, F. Booth-Rea, G. Martínez-Martínez, J.M. Azañón, J.M. PérezPeña, J.V. Pérez-Romero, J. Villegas, I. (۲۰۱۲). Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhambra (eastern Betics, SE Spain). *Geomorphology*. ۱۴۵-۱۴۶, PP. ۹۰-۱۰۶.
 - Hassanzadeh, R., Zorica, N., Alavir, A., Norouzzadeh, M., and Hodhodkian, H. (۲۰۱۳). Interactive approach GIS-based earthquake scenario development and resource estimation, *Computers & Geosciences*. Vol. ۵۱, pp. ۳۲۴-۳۳۸.
 - Hijazi, A., Najaf and Vand, S. (۲۰۱۹). Potential measurement of landslide-prone areas in Paveh city using fuzzy logic method. *Geography and Human Relations*, ۲(۴), ۳۷۶-۳۸۵. Berberian, M. King, G.C.P. (۱۹۸۱). *Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran*. *Canadian Journal of Earth Sciences*. ۱۸, PP. ۲۱۰- ۲۶۵. [in Persian]
 - Horton, R.E. (۱۹۴۵). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bulletin*. ۵۶, PP. ۲۷۵- ۳۷۰.
 - Hosseinpour, M., (۲۰۰۸). *Seismotectonic surveys of northwest Iran and earthquake risk zoning in Tabriz city*, Master's thesis under the guidance of Mohsen Moayed, Faculty of Science, Tabriz University. [in Persian]
 - Ilanlu, M. (۲۰۱۹). Investigating the active tectonics of Dalki catchment using geomorphic indicators and geomorphological evidence. *Geography*, ۱۸(۶۶), ۱۶۸-۱۸۵. SID. <https://sid.ir/paper/۹۶۲۳۳۷/fa>. [in Persian]
 - Jalali, S., Samadi, M., Samadi Qashlagchai, M., Karenjadi, A., (۲۰۱۵). Investigating the morphometric indices in Chel Chai watershed of Golestan province using GIS, *Promotional Scientific Journal of Mapping and Spatial Information Engineering*, Volume ۷, Number ۴, ۶۷-۷۴. [in Persian]
 - Karmi, F., Rajabi, M., Abazari, G. (۲۰۱۷), Analysis of drainage network anomalies and its relationship with active tectonics in the watersheds north of Tabriz, *Quantitative Geomorphology Research*, Vo ۷, No ۱, ۴۷-۳۰. [in Persian]
 - Katz, R.W. Parlange, M.B. Naveau, P. (۲۰۰۲). Statistics of extremes in hydrology. *Advances in water resources*. ۲۵, PP. ۱۲۸۷-۱۳۰۴.
 - Keller, E.A. and Pinter, N. (۲۰۰۲). *Earthquakes, Uplift, and Landscape*. ۳۶۲.
 - Keller, E.A. Zepeda, R.L. Rockwell, T.K. Ku, T.L. Dinklage, W.S. (۱۹۹۸). Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California, *Geological Society of America Bulletin*. ۱۱۰, PP. ۳۹۸-۳۱۰.
 - Khalaj, M., (۲۰۲۲). Evaluation of tectonic activity of Qoruh-Dehgolan watershed using geomorphic, geography and development indicators, year ۱۹. No. ۶۲, ۱۳۳-۱۵۶. [in Persian]
 - Maghsoudi, M., Kamrani Delir, H., (۲۰۰۷). Evaluating the active tectonic role of river channel regulation, case study: Tejan River, *Natural Geography Research*, No. ۶۶, ۵۵-۳۷. [in Persian]
 - Maqsoodi, M., Jafarbaglou, M., Jafari, R., (۲۰۱۹). Evaluation of active tectonics in Hableh Rood and Kurdan basins based on geomorphic indicators, Vo ۹, No ۳۵, ۵۵-۷۷. [in Persian]

- Mazreh, A. (۲۰۲۲). Urban development planning of metropolises in line with earthquake crisis management with an emphasis on worn-out fabric. *Geography and Human Relations*, ۴(۱), ۳۹۳-۴۱۰. [in Persian]
- Negahban, S., Dartaj, D., (۲۰۱۸). Active tectonic assessment of Sirvan river basin using geomorphic indicators, *Hydrogeomorphology*, Volume ۵, Number ۱۹, ۲۰۹-۱۸۷. [in Persian]
- Ngapna, M.N. Owona, S. Owono, F.M. Ateba, C.B. Tsimi, V.M. Ondo, J.M. Ekodeck, G.E. (۲۰۲۰). Assessment of relative active tectonics in Edea-Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). *Journal of African Earth Sciences*. ۱۶۴, PP. ۱۰۳-۷۹۸.
- Rajabi, M., (۲۰۰۷). Analysis of neotectonic activities in the southern slopes of Aladagh highlands in northeastern Iran, *Journal of Geography and Development*, No. ۴, ۱۷۸-۱۹۱. [in Persian]
- Rajabi, M., Karmi, F., Ansari, M. (۲۰۱۴). Analysis of neotectonic activity in Qalachai watershed. *Natural Geography*, ۸(۳۰), ۱-۱۴. [in Persian]
- Rajabi, M; Shiri-Tarzam, A. (۱۹۹۹), Neotectonics and geomorphological effects of the Tabriz main fault and related sub-faults, *Geographical Research*, No. ۸۲, pp. ۸۱-۱۹. [in Persian]
- Raushiti, S., Rajabi, M., Zamardian, M. J., Maqmi Moghim, Ghar R. (۲۰۱۰). The role of tectonic activities in the formation and expansion of conifers in the southern slopes of Alada. *Geography and development*. Number ۱۰. Pages ۱۰۷-۱۷۲. [in Persian]
- Sadat Reazi Rad, Z., Keinjad, A., Qomiavili, J., (۲۰۱۰). Earthquake investigation and seismicity in Nowshahr and determination of high risk potential areas, *Zemin Quarterly*, No. ۴, ۷۷-۸۹. [in Persian]
- Sadeghi, A., Pi Souzi, T. (۲۰۱۹). Identifying prone areas for temporary settlement after an earthquake (case study: Sanandaj city). *Geography and Human Relations*, ۲(۴), ۲۰۴-۲۶۳. [in Persian]
- Singh, O.M. (۲۰۰۹). Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser Himalayan Watersheds. *Journal of Soil & Water conservation*. ۸, PP.۵۳-۵۹.
- Stoddart, D. (۲۰۱۳). Drainage density: problems of prediction and application. In *Process and form in geomorphology*. PP.۳۱-۶۱.
- Strahler, A.N. (۱۹۵۲). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*. ۶۳, PP.۱۱۱۷- ۱۱۴۲.
- Yamani, M., Kamrani Delir, H., Bagheri, S., (۱۳۸۹). Morphometry and evaluation of geomorphic indicators to determine the amount of new land construction activity in the northwestern Zagros Chele watershed, *Geographical Research Quarterly*, No., ۱-۲۶. [in Persian]

Investigating neogeological activities using geomorphic indicators and seismic power of faults (case study: Khiauchai watershed)

Fariba Esfandyari Darabad *^۱ ; Behrouz nezafat taklhe^۲

^۱ Professor of Mohaghegh Ardabili University, Faculty of Social Sciences, Department of Natural Geography, (geomorphology), Ardabil, Iran

^۲ PhD Student in Natural Geography Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Abstract

Introduction

Faults are one of the important tectonic elements that, by cutting the earth's crust into pieces and moving the crust pieces vertically and horizontally, in addition to causing earthquakes, directly participate in the creation of primary landforms, which are the primary structural forms for the action of dynamic factors and the creation of secondary forms. On the other hand, faults along their length create weak points in the earth's crust and thus create the necessary conditions for magmatism, salt diapirism, hot springs, etc. Faults can also be involved in the creation of some meanders, rapids, deviations, captivity of waterways, as well as the formation of lakes and wetlands. Geomorphological tectonics is the study of landforms caused by tectonism and the interaction between tectonics and geomorphic processes (1). Almost no region in the world can be found that has not been affected by neotectonic changes during the last few thousand years (2). Geomorphic indices have been widely used as a tool for identifying and characterizing parts deformed by active faults (3). The goal of geomorphometry is to extract the shape features of the earth's surface and its complications using digital models of the earth's surface and parameterization software. Quantitative measurement of landforms allows geomorphologists to investigate the role of active tectonics in changing landscapes by measuring geomorphological indicators in different landforms (4). In the simplest form, landforms and shapes that make up the earth are characterized by size, height, slope. In other words, numerical measurements allow geomorphologists to objectively and concretely compare and evaluate different shapes, and by calculating patterns and indices, they can recognize and explain the geomorphological differences and similarities of a certain area from another area (5). New studies have been conducted inside and outside of Iran, which are mentioned below. (6 and 7), investigated active tectonic assessment in Hableroud and Kurdan basins based on geomorphic indicators. These researchers came to the conclusion that Kurdan basin is in class 1 and Hableroud basin is in class 2. According to the classification of tectonic index (IAT), it can be said that both regions are tectonically active, but the amount of tectonic activity in the Kurdan basin is higher than in the Hableroud basin. (8), evaluated the active tectonics of the Sirvan river basin using geomorphic indices, and they came to the conclusion that the results of this index indicate that among the studied sub-basins, the Shuishheh sub-basin with an average of class 3 has a more active condition than the other sub-basins. Is. (9), in order to evaluate the active tectonics in the area of Idia Eska in the southwestern part of Cameroon using geomorphic indicators. The results of the work of these researchers showed that the reactivation of the faults located in this area are the cause of severe earthquakes. (10), they studied the tectonic and geomorphological activities in the San Lucas region in the Central Cordillera using morphological and geomorphological indicators. They came to the conclusion that the most tectonic activity is related to the slopes of Mount Simiti, north of the Simiti San Blas faults, in line with the faults trending northwest-southeast and in the north of Palestine basin. (11, 12, 13, 14). The aim of the current research is to evaluate and analyze the neotectonic activities and seismic power of faults using geomorphic indicators (case study: Khiauchai watershed).

Methodology

The present research has been carried out to investigate and analyze the assessment of the relative amount of land-building activity using zoomorphic indicators in Khiauchai watershed. In the first stage, to perform the calculations related to each index and to compare the results obtained from the

index calculations, the studied area was divided into sub-basins. By using Archydro plugin in GIS software and DEM meters elevation digital model, sub-basins, main waterway networks were extracted and the studied area was divided into sub-basins. Then, in the next step, the indices were calculated. In the next step, using geological maps of geological organization and mineral discoveries in the study area, the main structures of the region such as faults were determined. All main faults and minor faults located in the area were identified. In the final stage, the results of measuring the geomorphological indicators and the main structures of the region were studied and analyzed. The indicators studied in the region are: Relative prominence index (Bh), drainage density index (Dd), shape factor index (Pf), integral and hypsometric curve index (Hi), river longitudinal gradient index (SL), valley floor width to height index (Vf), ratio index The width of the valley to the height of the valley (V) is the index of the ratio of the shape of the drainage basin (BS).

Conclusion

According to the evaluation of neotectonic activity using the geomorphic indicators of the Khiauchai watershed, it was concluded that the region is in a high neogeological state in terms of tectonic activities. Finally, based on the shape factor index, the most neotectonic activity is related to sub-basins ۳ and ۱۴. The most neotectonic activity based on drainage density index is related to sub-basins ۱۱ and ۱۲. Also, sub-basin ۱۴ has the highest value in the salience index in terms of neotectonic activity. Longitudinal gradient index of sub-basins ۱۴ and ۱۲, integral index of sub-basin ۴, valley floor width index of sub-basins ۸, ۱۰ have the most neotectonic activities. The index of the ratio of valley width to the height of the sub-basin is ۱۰, and in the ratio of the shape of the sub-basin, ۸ is the most neotectonic activity. Therefore, it can be concluded that based on the index of relative tectonic activity, the largest area of Khiauchai basin is in the category of medium and high tectonic activity. Based on the evaluation of the seismic power, this result was obtained: Zare has a magnitude of ۴,۴۱, Noorozi and Ashjai have a magnitude of ۵,۷۶ and Noorozi has a magnitude of ۱,۷۱. Therefore, it is suggested to prevent human and financial damages caused by neotectonic activities on the fault, preventive activities should be carried out to prevent unauthorized constructions on the studied faults.

Keywords: survey, " neogeological activity," geomorphic indicators," fault," Khiauchai basin".