



دوره‌ی ۳۵، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۳۶، پاییز ۱۴۰۱، صفحه‌های ۹۶-۱۱۳
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2022.357444.1453

مقاله‌ی پژوهشی



پژوهش‌های آبخیزداری

تحلیل مکانی زمین لغزش در ارتباط با زمین ساخت فعال بر مبنای شاخص‌های ریخت زمین ساخت در آبخیز رود خیرآباد

حمید بابلی مؤخر

(نویسنده‌ی مسئول) * دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*ایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: h.baboli52@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۲۰ دی ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۷ بهمن ۱۴۰۰

چکیده

فعالیت‌های نوزمین ساخت نقش مهمی در افزایش روی داد زمین لغزش دارد. این پژوهش برای بررسی ارتباط و اندازه‌ی تأثیرپذیری رخ داد زمین لغزش از زمین ساخت فعال در آبخیز رود خیرآباد انجام شد. فعالیت نوزمین ساخت در چهار زیرحوزه‌ی این رود بر پایه‌ی شش شاخص ریخت زمین ساخت (مورفوتکتونیک) V/A ، Bh ، P ، Br ، Ff و Tf محاسبه شد. این شاخص‌ها در هر زیرحوزه با نرم افزار آرک جی‌آی‌اس و مدل رقومی ارتفاعی (DEM10M) و افزونه‌ی Archydro به دست آمد. هر شاخص از دیدگاه فعالیت زمین ساختی به سه رده تقسیم شد، و برپایه‌ی تقسیم بندی هر شاخص، تراز فعالیت زمین ساختی کل بر پایه‌ی شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) منطقه تعیین شد. فعالیت نوزمین ساخت در زیرحوزه‌ی شاه بهرام خیلی زیاد، در زیرحوزه‌های دهدشت و سرپری زیاد، و در زیرحوزه‌ی خیرآباد کم بود. با روی هم گذاشتن نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش با نقشه‌ی پهنه بندی زمین ساخت فعال، درصد تراکم زمین لغزش در پهنه‌های گوناگون زمین ساختی، و نقش زمین ساخت فعال در رخ داد زمین لغزش آشکار شد. نتیجه نشان داد که $587/75$ هکتار از پهنه‌ی زمین لغزش‌ها در محدوده‌ی با فعالیت زمین ساختی خیلی زیاد ($33/13\%$ از پهنه‌ی کل حوزه) بود. بر همین پایه $199/09$ هکتار از وسعت زمین لغزش‌ها در محدوده‌ی با فعالیت زمین ساخت زیاد و کم (بیش از 66% از کل حوزه) روی داده است. این پراکنش نشان دهنده‌ی وابستگی رخ داد زمین لغزش به زمین ساخت فعال و نقش زمین ساخت فعال در روی داد زمین لغزش است.

واژگان کلیدی: آسیب‌های زمین ریختی، خیرآباد، ریخت زمین ساخت، زمین لغزش، زمین ساخت فعال

مقدمه

فعالیت‌های نوزمین‌ساخت مستقیمانه و نامستقیمانه بر شکل‌های سطح زمین تأثیر می‌گذارد و علاوه بر ایجاد شکل‌های گوناگون، شکل و موقعیت آن‌ها را مهار می‌کند (نوویکوف و پوسپووا ۲۰۱۷). بر پایه‌ی تأثیری که عامل‌های نوزمین‌ساخت بر شکل‌گیری سطح زمین دارد، در سال‌های گذشته شاخص‌های ریخت زمین‌ساخت (مورفوتکتونیک) به گونه‌ی چشم‌گیر به یکی از ابزارهای عمده و پایه‌ی در تشخیص چگونگی دگرگونی شکل زمین تبدیل شده است (شهماری ۲۰۱۷). شکل زمین در نتیجه‌ی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت آرام آرام یا به‌سرعت تغییر می‌کند. بسیاری از عارضه‌های زمین‌ریختی در برابر حرکت‌های زمین‌ساخت فعال بسیار حساسیت است (مجیدزاده و همکاران ۲۰۱۱) از جمله‌ی این عارضه‌ها حرکت‌های توده‌یی و زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوزه‌های کوهستانی و دامنه‌های طبیعی ناپایدار است. در منطقه‌های زمین‌ساختی فعال، ناپایداری دامنه‌ها به‌شکل زمین‌لغزش‌های گوناگون مشاهده می‌شود (قاسمیان و همکاران ۲۰۱۸).

در ایران به‌دلیل ناهمواری شدید زمین، بودن منطقه‌های کوهستانی پهناور، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شکستگی‌ها و خردشدگی‌های فراوان، حساس بودن سنگ‌شناختی، و شرایط گوناگون زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط برای ایجاد طیف گسترده‌یی از زمین‌لغزش‌ها فراهم است، و سالانه زیان‌های جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌شود (خدائی-قشلاق و همکاران ۲۰۱۷). موقعیت زمین‌ساختی فلات ایران آن را با ناآرامی‌های زیادی روبه‌رو کرده است. وضعیت ساختمانی و زمین‌ساختی فعال همراه با پستی‌بلندی و شیب‌های تند نقش مهمی در رخداد زمین‌لغزش دارد. فلات ایران که از منطقه‌های چین‌خورده‌ی آلپی است هم‌اکنون نیز از هر سو در فشار است و حرکت‌های زمین‌ساختی هنوز در آن ادامه دارد (جداری‌عیوضی ۲۰۰۲). روی داد زمین‌لرزه‌های پی‌درپی در ایران یکی از پی‌آمدهای فعال بودن جنبش‌های زمین‌ساختی کنونی است. اثرهای سطحی موج‌های کش‌سان زمین‌لرزه ممکن است به‌شکل‌های گوناگون از جمله زمین‌لغزش، گسیختگی دامنه‌یی، و روان‌گرایی نمود یابد (یوسفی ۲۰۱۰).

هم‌بستگی میان تراکم زمین‌لغزش‌ها و شدت زمین‌ساخت فعال بیانگر آن است که شاخص‌های زمین‌ریختی نگرشی سودمند در ادغام کردن زمین‌ساخت فعال در میان عامل‌های تعیین‌کننده‌ی حساسیت زمین‌لغزش است (ال‌همدونی و همکاران ۲۰۰۶). از

طرفی شاخص‌های زمین‌ریختی از ابزارهای پایه‌یی برای پی‌بردن به شدت تأثیر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در سطح زمین است (آندریانی و همکاران ۲۰۱۴). سنجه‌های ریخت‌سنجی و موقعیت زمین‌ساختی به‌طور گسترده در نقشه برداری، شبیه‌سازی، و درک فرآیندهای ناپایداری به‌کار می‌رود (کانفورتی و ایتو ۲۰۲۰). تغییر ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی بر سطح زمین یا از نوع مستقیم است، مانند ترک‌های زمین‌لرزه‌یی و پدیده‌های مربوط به لغزش زمین، یا از نوع نامستقیم مانند پرتگاه‌ها، دره‌های نامتقارن و خمیدگی‌های رودخانه‌یی (برجسته ۲۰۰۵). در نقش زمین‌ساخت فعال بر روی داد زمین‌لغزش پژوهش‌هایی انجام شده است. لهایی و همکاران (۲۰۲۱) در مقایسه‌ی زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و ارزیابی زمین‌ریخت‌شناسی زمین‌لغزش‌های شارلوت، ریجنت و مدینا، منطقه‌ی غربی در سیرالئون نشان دادند که خطواره‌ها بر بدنه‌های زمین‌لغزش و سطح‌های کناری آن با روندهای منطقه‌یی هم‌آهنگی دارد، و حاشیه‌ها و الگوهای شکست هر زمین‌لغزش در تأثیر از الگوی خطی محلی منطقه است. آن‌ها از شکافی به شکاف دیگر از نظر چگالی، ماهیت و ویژگی‌ها متفاوت اند، که نشان‌دهنده‌ی شرایط گوناگون زمین‌شناسی ساختاری است.

ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین فراوانی زمین‌لغزش‌ها در ناحیه‌های با بیش‌ترین شاخص زمین‌ساخت فعال، و کم‌ترین فراوانی در ناحیه‌های با اندازه‌های کم زمین‌ساخت فعال است. مقایسه و روی هم‌گذاری نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال بر پایه‌ی شاخص پیچ‌وخم جبهه‌ی کوهستان (Smf^1) (شریفی و همکاران ۲۰۱۲) نشان داد که حدود ۷۱٪ از منطقه‌ی نسبتاً ناپایدار و مستعد روان‌گرایی در منطقه‌ی A (فعالیت زمین‌ساخت زیاد)، ۱۸٪ در منطقه‌ی B (فعالیت زمین‌ساخت میانه) و ۱۱٪ در منطقه‌ی C (پهنه‌ی نافعال) جا دارد.

نتیجه‌ی بررسی زمین‌ساخت نسبی و خطرهای روانه‌ها با شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی مشتق از DEM (چنگ و همکاران ۲۰۱۶) نشان داد که منطقه‌ی پژوهش از نظر زمین‌ساختی فعال، و در خطر حرکت‌های دامنه‌یی است. بهاروند و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که به‌علت زمین‌ساخت فعال منطقه‌ی پژوهش، ارتباط نزدیکی میان خطواره‌ها و منطقه‌های با خطر لغزش زیاد هست. صفاری و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که حوزه‌ی جاجرود از دیدگاه زمین‌ساختی بسیار فعال

از آن‌ها مانند زلزله‌ها و لغزش‌های بزرگ برای بسیاری از فعالیت‌های انسانی مانند طراحی و ساخت شهرها، نیروگاه‌ها، بندرها و اسکله‌ها، فرودگاه‌ها، ساختارهای نظامی-امنیتی، سدها و مراکزهای صنعتی اهمیت زیادی دارد (گورابی و امامی ۲۰۱۷).

منطقه‌ی پژوهشی از جمله منطقه‌های مهم از دید تراکم سکونتگاه‌های انسانی و عمدتاً روستایی، با اتکای بر فعالیت کشاورزی به‌ویژه باغداری است، که به‌دلیل کوهستانی‌بودن بخش عمده‌ی منطقه، و پستی‌بلندی‌های فراوان معمولاً بر دامنه‌ها و بخش‌های شیب‌دار انجام می‌شود. از این‌رو شناخت استعداد نوزمین ساخت و افزایش احتمال روی‌داد زمین لغزش ناشی از آن در منطقه، و آگاهی‌بخشی به آن ممکن است روستاییان را از پی‌آمدهای آسیب‌ها محفوظ دارد. به‌علت پراکندگی و مکان‌گزینی سکونتگاه‌ها در دامنه‌های کوهستانی، شناخت حساسیت‌ها و آسیب‌های محیطی (نوزمین ساخت و زمین لغزش)، امکان تصمیم‌گیری دقیق تصمیم‌گیرندگان را در کنش‌های ساخت‌وسازی و خدماتی، از جمله راه‌سازی ممکن می‌کند. مهم‌تر این‌که این محدوده آبخیز بالادست سد کوثر است، که تشدید روی‌داد زمین لغزش و بی‌توجهی به مدیریت درست آن نقش مؤثری در تولید و انتقال مواد معلق، و در نتیجه کاهش عمر مفید سد دارد. به‌دلیل اهمیت این موضوع، این پژوهش برای آگاهی‌بخشی عمومی در مدیریت درست حرکت‌های توده‌یی انجام شد و امید آن است که مقدمه‌یی برای انجام پژوهش‌های دقیق‌تر در این باره و در تراز حوزه باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

آبخیز رود خیرآباد (۳۰۹۵/۵۶ کیلومتر مربع) در دامنه‌ی غربی و جنوب‌غربی رشته‌کوه زاگرس چین‌خورده است. بخش بزرگ حوزه در استان کهگیلویه و بویراحمد، بخش کمی از آن در استان خوزستان، و پهنه‌ی اندکی از آن در استان فارس است. چشم‌انداز منطقه کوهستانی و با شکل‌های پیچیده‌ی زمین‌ریخت‌شناسی است. این حوزه برپایه‌ی تقسیم‌های درجه‌ی ۱ آبخیزها در آبخیز خلیج فارس و دریای عمان، و در تقسیم‌های درجه‌ی ۲ جزوی از آبخیز زهره است. محدوده برپایه‌ی تقسیم‌های تمام شامل زیرحوزه‌های ده‌دشت، سرپری، شاه‌بهرام و خیرآباد است. بیشینه‌ی ارتفاع آن ۳۴۹۴ متر و کمینه‌ی آن ۱۹۷ متر است (شکل ۱).

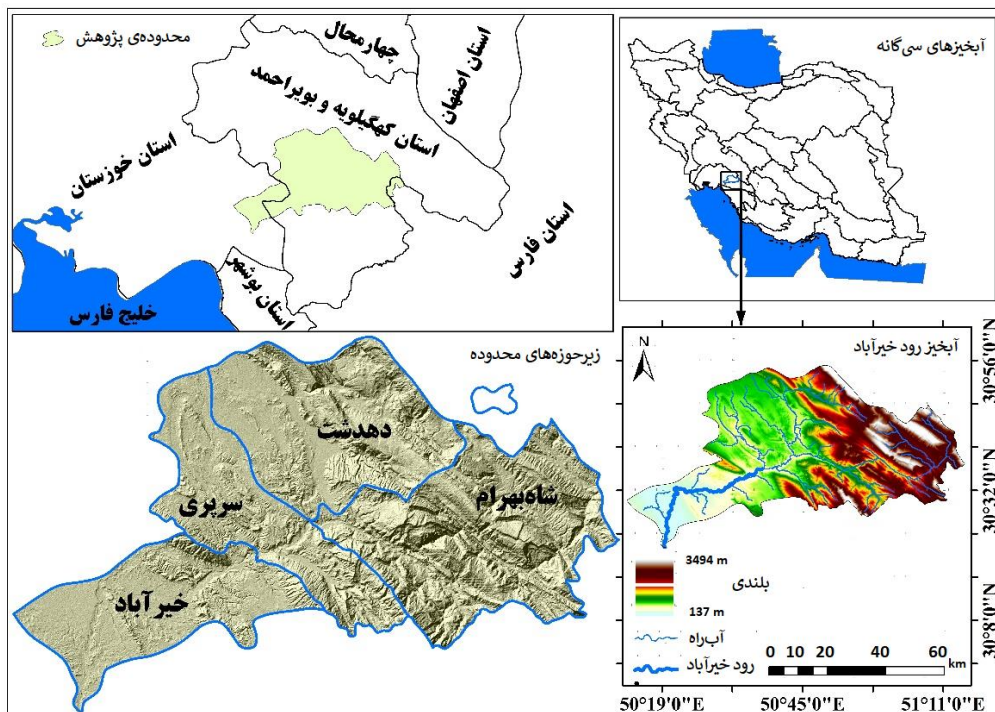
است، و این یافته احتمال روان‌گرایی دامنه‌یی و زمین لغزش را به نسبت افزایش داده است. حبیبی (۲۰۱۴) اندازه‌ی همبستگی زمین لغزش‌ها با زمین ساخت را در چند حوزه در استان خوزستان بررسی کرد و به این نتیجه رسید که ۸۸/۸٪ از لغزش‌ها در منطقه‌های شدید و بسیار شدید زمین ساختی است، و فقط ۱۱/۲٪ در رده‌ی میانی است. ارزیابی نسبی وضعیت زمین ساخت و ارتباط آن با زمین لغزش در راه‌آهن ناحیه‌ی لرستان (افشاری و همکاران ۲۰۱۹) نشان داد که بیش از ۸۰٪ از کل زمین لغزش‌های منطقه میان ایستگاه درود تا تنگ هفت، در محدوده‌ی با فعالیت زمین ساختی زیاد تا بسیار زیاد است.

کیانی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که زمین لغزش‌های فتلک، لویه، رودبار، و فیله در منطقه‌ی رودبار در پهنه‌های زمین ساختی با فعالیت شدید، و زمین لغزش‌های دشتگان، طلاپر، تکلیم، نصفی، دولت‌آباد، و هرزویل در پهنه‌های زمین ساختی با فعالیت میانه است. بررسی موقعیت زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیش‌تر آن‌ها در کنار گسل‌های فعال منطقه است. صبوری و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی ارتباط فراوانی رخ‌داد زمین لغزش با پهنه‌ی گسلی در شمال قزوین به این نتیجه رسیدند که ۳۴٪ از کل زمین لغزش‌های شناسایی شده در پهنه‌ی گسلی گسل‌های منطقه است. از این‌رو به‌دلیل این که مساحت پهنه‌های گسلی ۵٪ بود، درصد زیاد رخ‌داد زمین لغزش‌ها نشان‌دهنده‌ی ارتباط فعالیت زمین ساختی و زمین لغزش است. در پژوهش شانکار و همکاران (۲۰۲۱) مهار ویژگی‌های گوناگون زمین‌ریخت‌شناسی از جمله تراکم زه‌کشی در فراوانی زمین لغزش تحلیل شد. نتیجه نشان داد که حدود ۹۱٪ از زمین لغزش‌ها در محدوده‌ی با تراکم زه‌کشی ۱/۲ تا ۲/۱ کیلومتر بر کیلومتر مربع رخ داده است. در مجموع نتیجه نشان‌دهنده‌ی همبستگی زیاد زمین لغزش با زمین ساخت فعال است.

خلج (۲۰۲۱) در آبخیز قروه-دهگلان و گنجیان و همکاران (۲۰۲۰) در حوزه‌های سیروان و قره‌سو زمین ساخت فعال را با کاربرد شاخص‌های ریخت زمین ساختی ارزیابی کردند. لنگ‌کومر و همکاران (۲۰۱۹) نیز فعالیت نوزمین ساختی کمر بند اسچوپن را در هندوستان، و دوسانتس و همکاران (۲۰۱۹) وضعیت ریخت زمین ساختی رودهای لاواتودو و پلاتوس را در برزیل ارزیابی کردند. ارزیابی فرآیندهای زمین ساختی فعال و آسیب‌های ناشی

ارتفاع‌ها تا 25°C در تغییر است. میانگین بارش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال ۴۸-۱۳۴۷ به $438/4$ میلی‌متر در سال ۹۴-۹۵ رسید، که احتمالاً نتیجه‌ی فراگیربودن خشک‌سالی در دو دهه‌ی پیشین در پیکره‌ی ایران است (لیانی و همکاران ۲۰۲۰). پوشش جنگلی منطقه اغلب بلوط، بنه، و بادام کوهی به‌شکل پراکنده، و در منطقه‌های گرمسیری کنار است. جنگل‌های بلوط عمدتاً در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر است، و پوشش زمین در ارتفاع‌های بیش از ۲۲۰۰ متر عموماً مرتعی است. چشم‌انداز جنگلی حوزه را درخت بلوط تشکیل داده است.

رود خیرآباد زه‌کش اصلی حوزه با سازگان (رزیم) نامنظم و طغیان‌های فصلی است. اقلیم منطقه در رده‌بندی دومارتن در گروه اقلیمی مدیترانه‌یی، در سامانه‌ی رده‌بندی کوپن با اقلیم نیمه‌خشک تا بیابانی، و در رده‌بندی آمبرژه در رده‌ی نیمه مرطوب معتدل است، که نمایان‌گر زمینه‌ی مساعد فعالیت آب و شکل زمین در حوزه است (عزتیان و دانش‌آموز ۲۰۱۲). میانگین بارندگی سالانه‌ی حوزه بسته به ارتفاع از تراز دریا از کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر تا بیش‌تر از ۸۰۰ میلی‌متر متغیر است، و سازگان بارندگی حوزه، مدیترانه‌یی (با فصل خشک و مرطوب) است. میانگین سالانه‌ی دما از 12°C در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی پژوهش.

غالب حوزه در چارچوب رده‌بندی کلی سنگ‌های رسوبی در سه دسته‌ی اصلی کربناته، تخریبی، و تبخیری است. سنگ‌های کربناته که غالباً سازنده‌های مقاوم به فرسایش است و بیش‌تر شکل کوهستان را تشکیل می‌دهد، عمدتاً از آهک و دولومیت ساخته شده، و سنگ‌های تخریبی شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، پلمه‌سنگ و آهک‌رس است، که بارزترین پستی‌بلندی شکل گرفته با آن‌ها شکل‌های پست و تپه‌ماهوری است. سنگ‌های تبخیری ساخته شده از آهک‌رس گچ‌دار است، که به دلیل ماهیت سنگ‌شناسی در برابر فرسایش

زمین‌شناسی منطقه

محدوده‌ی پژوهش در قلمروی پهنه‌ی ساختاری زاگرس چین‌خورده است، که از ویژگی‌های آن بودن تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منظم با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق، و رخساره‌های کربناته است. در نگاهی کلی، واحدهای ساختمانی و چین‌خوردگی‌های منطقه روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق را نشان می‌دهد، و همه‌ی چین‌خوردگی‌ها و روند ساختاری گسل‌های اصلی، و شمار اندکی گسل‌راندگی‌های جنوب و جنوب‌غرب منطقه در این راستا است. رده‌بندی سنگ‌های

زمین لغزش‌ها تهیه شد. با توجه به ویژگی‌های زمین لغزش‌های مشاهده شده در منطقه، در این پژوهش تعریف ترزاقی (۱۹۵۰) ملاک بود. این تعریف نوع‌های حرکت‌های توده‌یی مانند ریزش، لغزش، افتان‌ها، واژگونی‌ها و سیلاب واریزه‌یی را شامل می‌شود (شکل ۲).

برای ارزیابی فعالیت نوزمین‌ساختی شاخص‌های ریخت زمین‌ساخت در هر زیرحوزه پس از بازدیدهای میدانی، اندازه‌گیری، و محاسبه شد. برای محاسبه‌ی شاخص‌ها از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس ۱۰/۴ و مدل رقومی بلندی (DEM) ۱۰ متر، و برای به‌دست‌آوردن شبکه‌های آبراه افزونه‌ی Archydro به‌کار برده شد. هر شاخص از دیدگاه فعالیت زمین‌ساختی به سه رده‌ی زیاد (۱)، میانه (۲)، و کم (۳) تقسیم شد.

تراز فعالیت زمین‌ساختی کل بر مبنای شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) منطقه تعیین، محدوده‌ی پژوهش به ۳ رده‌ی فعالیت زمین‌ساختی خیلی زیاد، زیاد و کم تقسیم، و نقشه‌ی پهنه‌بندی تراز فعالیت زمین‌ساختی ترسیم شد. برای بررسی وضعیت زمین‌شناسی، واحدهای ساختمانی، چین‌خوردگی‌ها، و به‌ویژه شکل‌های زمین‌ریخت‌شناسی ناشی از زمین‌ساخت فعال، علاوه بر کاربرد نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، بازدیدهای میدانی نیز انجام شد. با روی هم گذاشتن نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش با نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال، درصد تراکم زمین لغزش در پهنه‌های گوناگون زمین‌ساختی مشخص و نتیجه‌گیری نهایی انجام شد (شکل ۳).

به‌ویژه فرسایش آبی حساس است، و انحلال بخشی از آن‌ها سبب ایجاد نقطه‌های ضعف در ساختار سنگ و پیش‌برد آن به‌سوی ازهم‌پاشیدگی و سرانجام جابه‌جایی می‌شود. برپایه‌ی پژوهش‌های زمین‌شناسی، سازندهای گوناگون حوزه‌ی پژوهشی از دیدگاه حساسیت به فرسایش به پنج رده‌ی کلی خیلی حساس تا مقاوم رده‌بندی شده است. بر همین پایه، سازندهای سروک، داریان، آسماری، فهلیان و سورمه که همگی کربناته است در گروه سنگ‌های مقاوم به فرسایش است. پیشینه‌ترین چینه‌های منطقه دولومیت‌های ژوراسیک پایینی است، که می‌توان آن‌ها را هم‌ارز سازند نیریز دانست، و دوره‌ی کرتاسه طولانی‌ترین دوره‌ی زمین‌شناسی در منطقه شامل سازندهای سروک، داریان، کژدمی، ایلام-سروک و گورپی است (عزتیان و دانش‌آموز ۲۰۱۲).

روش تحقیق

نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌ها که مبنای تجزیه و تحلیل موضوع است تهیه شد. زمین لغزش‌های منطقه به کمک تصویرهای ماهواره‌یی گوگل ارث، تصویرهای ماهواره‌یی لندست -۸، و عکس‌های هوایی برداشته و ذخیره شد. تصویرهای ماهواره‌یی نیازداشته با نرم‌افزار انوی ۴/۵ پردازش شد. برای شناسایی و برداشت زمین لغزش‌های رخ داده با جی‌پی‌اس، و بررسی دقت مکانی لایه‌های اطلاعاتی با مشاهده‌های سطح زمین و زمین لغزش‌های رخ داده در حوزه بازدیدهای میدانی انجام شد. بیش از ۷۸۷ هکتار پهنه‌ی لغزشی در حوزه شناسایی، و وارد محیط آرک جی‌آی‌اس 10.4 کرده شد، و نقشه‌ی پراکنش





شکل ۲- نمونه‌بی از زمین لغزش‌های منطقه.

تراکم بیش‌تر باشد بیانگر فعال‌تربودن زمین‌ساخت و حساس‌تر بودن سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی، و نشان‌دهنده‌ی جوان‌تربودن و نرسیدن به مرحله‌ی تعادل حوزه‌ی زه‌کشی است (نگهبان و درتاج ۲۰۱۹).

$$P = \frac{\sum Li}{A}$$

۱

شاخص‌های ریخت زمین‌ساخت

شاخص تراکم سطحی آبراهه‌ها P^2

این شاخص از تقسیم طول شبکه‌ی آب‌شناسی حوزه (شبکه‌های اصلی و فرعی) به مساحت حوزه به‌دست‌آمد (رابطه‌ی ۱)، و شاخص مفیدی برای ارزیابی و شناسایی نوزمین‌ساخت در حوزه‌های زه‌کشی است. هرچه ضریب

$$V/A = \frac{V_i}{A_i} \quad 4$$

V/A اندازه‌ی عددی شاخص حجم به سطح، V_i حجم حوزه، و A_i مساحت حوزه است.

فرازنمایی (هیپسومتری) حوزه و نسبت‌های حجم به سطح (V/A) شکل سه‌بعدی حوزه را توصیف می‌کند و بازتابی از درجه‌ی نسبی برش آبراه در کل آبخیز است. نسبت‌های V/A بازتابی از ژرفای میانگین حوزه از سطح حوزه است (خبازی و شهبازی ۲۰۱۵). برای محاسبه‌ی حجم حوزه ابزارهای ArcMap، گزینه‌ی جست‌وجو، و ابزار Surface Volume TIN برای حساب کردن مساحت و حجم لایه‌ی رستری، یا Terrain در بالا یا پایین بلندی به کار برده شد، و حجم زیرحوزه‌های گوناگون به دست آمد.

ضریب شکل (Ff)^۵

شاخص ضریب شکل از رابطه‌ی ۵ محاسبه شد (هورتن ۱۹۴۵).

$$F_f = A / L^2 \quad 5$$

F_f ضریب شکل، A مساحت حوزه، و L مجذور طول حوزه است.

درازای حوزه از جای خروج آبراه اصلی تا بلندترین جا در حوزه محاسبه شد. ضریب شکل نشان‌دهنده‌ی شدت جریان حوزه برای مساحت معین است. اندازه‌ی این شاخص معمولاً باید کم‌تر از ۰/۷۸۵۴ باشد، و اندازه‌های کم‌تر نشان‌دهنده‌ی حوزه‌هایی با شکل کشیده‌تر است. آب‌دهی اوج در حوزه‌های با ضریب شکل بزرگ‌تر زیاد است (سینگ و همکاران ۲۰۱۴). مساحت و طول هر حوزه از مدل رقومی بلندی منطقه و آبراه اصلی هر حوزه به دست آمد، و شاخص ریخت‌زمین ساخت در

هر چهار زیرحوزه‌ی زه‌کشی اندازه گرفته شد. نتیجه‌ی شاخص ریخت‌زمین ساخت به دست آمده به سه رده‌ی فعالیت زمین‌ساختی یک (اندازه‌های کم‌تر از ۰/۲)، دو (۰/۲ تا ۰/۲۵)، و سه (بیش‌تر از ۰/۲۵) تقسیم شد (بابایی و همکاران ۲۰۱۷).

سطح‌های مثلثی شکل (TF)^۶

شکل زمین‌های مثلثی ممکن است چند مثلث پشت‌سرهم باشد، و پیشینه‌تر و جوان‌تر شناخته می‌شود. شکل‌های مثلثی جوان‌تر به جبهه‌ی کوهستان نزدیک‌تر است (زوولی و همکاران ۲۰۰۴)، و از شاخص‌های تعیین‌کننده‌ی فعالیت زمین‌ساختی

P تراکم زه‌کشی، L_i طول آبراه‌ها (کیلومتر) و A مساحت حوزه (کیلومتر مربع) است (یمانی و علمیزاده ۲۰۱۴).

نسبت انشعاب‌پذیری (Br)^۳

انشعاب‌پذیری به نسبت تعداد قطعه‌های رده به تعداد قطعه‌های مرتبه‌ی بالاتر گفته می‌شود (رابطه‌ی ۲). این شاخص به علت تغییر تصادفی در هندسه‌ی آبخیز از مرتبه‌ی به مرتبه‌ی دیگر یکسان نیست، اما تمایل دارد که در هم‌همی مجموعه‌ها ثابت باشد (یمانی و علمیزاده ۲۰۱۴). هر اندازه نسبت انشعاب‌ها بزرگ‌تر باشد بیانگر فعالیت‌های زمین‌ساختی بیش‌تر و جوان‌بودن حوزه است. این شرایط باعث افزایش آبراه‌های رتبه‌ی کم می‌شود. کم بودن نسبت انشعاب از ویژگی‌های حوزه‌هایی است که آشفتگی‌های ساختاری کم‌تری دارند و الگوی زه‌کشی در آن‌ها ناطبیعی نیست.

$$BR = \left[\frac{N_1}{N_2} + \frac{N_2}{N_3} + \dots + \frac{N_{n-1}}{N_n} \right] \left[\frac{1}{N-1} \right]$$

N_1 تعداد شاخه‌های رده‌ی یکم، N_2 تعداد شاخه‌های رده‌ی دوم، N_3 : تعداد شاخه‌های رده‌ی سوم، و n تعداد شاخه‌های رده‌ی n ام است (یمانی و علمیزاده ۲۰۱۴).

این شاخص و نقشه‌های مربوط به پنج زیرحوزه‌ی پژوهش با مدل رقومی بلندی (DEM) و با بهره‌گیری از ابزارهای نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس ۱۰/۴ به دست آمد.

شاخص برجستگی نسبی (Bh)^۴

شاخص برجستگی نسبی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقاط حوضه به دست می‌آید و از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$Bh = H_{max} - H_{min}$$

H_{max} اندازه‌ی ارتفاع بیشینه و H_{min} اندازه‌ی ارتفاع کمینه حوزه است.

بلندترین و پست‌ترین جا در هر حوزه با مدل رقومی بلندی (DEM) به دست آمد (خلج ۲۰۲۱). برای بررسی بهتر، شاخص برجستگی نسبی در سه رده از دید فعالیت زمین‌ساختی رده‌بندی شد: اندازه‌های بیش از ۲۰۰۰ متر ($Bh < 2000$)، رده‌ی ۱، ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر ($1000 < Bh < 2000$) رده‌ی ۲، و کم‌تر از ۱۰۰۰ ($Bh < 1000$) رده‌ی ۳ را نشان می‌دهد.

شاخص حجم به سطح حوضه (V/A)^۵

شاخص حجم به سطح حوزه از رابطه‌ی ۴ محاسبه شد.

- 3 - Bifurcation ratio
- 4 - Relative relief
- 5 - volume/area
- 6 - Form factor
- 7 - Triangular facets

۲/۵ کم.

شاخص زبری سطح زمین (LSRI)^۹

برای ارزیابی وضعیت زمین‌ساخت فعال منطقه شاخص زبری سطح نیز به کار برده‌شد، که در جاهای زیادی از جمله برای شبیه‌سازی یا مدیریت پایدار آبخیز در مقیاس‌های گوناگون، و برای شبیه‌سازی آسیب‌های طبیعی مانند سیل و نوع زمین لغزش‌ها به کار می‌رود (اولیایی و همکاران ۲۰۱۴). شاخص زبری سطح ممکن است معیاری برای ارزیابی شدت فعالیت زمین‌ساختی باشد. در این شاخص فرض بر این است که زبری تابعی از طول کل خط‌های تراز است. بنابراین زبری زمین با چگالی خط‌های هم‌تراز در منطقه‌ی شاخص به‌دست آمد (سپینگتون و همکاران ۲۰۰۷). هر جا چگالی خط‌های هم‌تراز بیشتر باشد زبری سطح بیشتر و در نتیجه فعالیت نوزمین‌ساخت در آن منطقه بیشتر است. فرض این شاخص این است که زبری تابعی از چگالی خط‌های تراز است. هر جا چگالی خط‌های هم‌تراز بیشتر باشد زبری بیشتر، و در نتیجه فعالیت نوزمین‌ساخت آن منطقه بیشتر است.

نسبی جبهه‌ی کوهستان است. این شکل‌ها جبهه‌های کوهستانی فعال زمین‌ساختی را نشان می‌دهند، و هر چه گسل فعال تر باشد آن‌ها واضح تر اند. در نقطه‌هایی که زمان زیادی از فعالیت گسل می‌گذرد و نرخ فرسایش از نرخ حرکت گسل بیش تر است، دره‌ها وسیع تر می‌شود (ولز و همکاران ۱۹۸۸).

ارزیابی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat)^۸

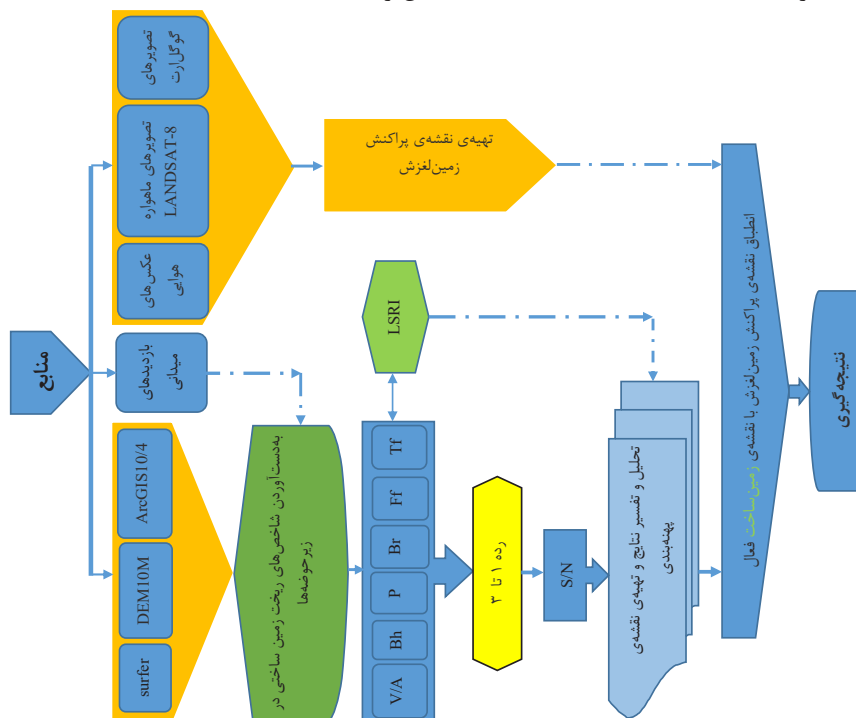
شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی بر پایه‌ی رده‌بندی ال‌همدونی به‌دست آمد، و برپایه‌ی آن نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال منطقه تهیه شد.

شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساخت از رابطه‌ی ۶ به‌دست آمد.

$$Iat = S / N \quad 6$$

S مجموع رده‌های شاخص‌های زمین‌ریختی محاسبه‌شده، و N تعداد شاخص‌های محاسبه شده است.

پس از محاسبه‌ی میانگین رده‌ی شاخص‌ها (S/n) در هر حوزه و ارزیابی آن، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) به چهار رده رده‌بندی شد (ال‌همدونی و همکاران ۲۰۰۸): $1 \leq Iat < 1/2$: خیلی زیاد؛ $1/5 \leq Iat < 2$: زیاد؛ $2 \leq Iat < 5$: میانه؛ $Iat \geq 5$: خیلی زیاد.



شکل ۲- نمودار روش پژوهش.

حوزه‌هایی است که آبراه‌های آن بازتاب کننده‌ی فرآیندهای آن است. این شاخص برای بررسی کردن اندازه‌ی تراکم آبراه در واحد سطح به کار می‌رود که ارتباط مستقیمی با وضعیت

نتایج و بحث

شاخص تراکم سطحی آبراهه‌ها (P)

تراکم زه‌کشی شاخص زمین‌ریخت‌شناسی مهمی برای

8 -Relative tectonic activity index

9 -Land surface ruggedness index

است. این توضیح نشان دهندهی ضعف شاخص BR در ارزیابی زمین ساخت فعال در منطقه است.

نسبت انشعاب پذیری (Br)

شبکه های زه کشی فعال ترین و حساس ترین بخش است، و ممکن است ابزاری قدرتمند برای درک فعالیت های نوزمین ساختی باشد (ایلانلو ۲۰۲۰). با سنجش های رتبه یی شبکه های زه کشی می توان زمین ساخت فعال را بررسی کرد (گورنیر و پیروتا ۲۰۰۸). رده های گوناگون آبراه و نقشه های آن ها در شکل ۴ نشان داده شده است. جدول ۲ اندازه ی شاخص انشعاب پذیری را در زیر حوضه ها نشان می دهد.

جدول ۲- اندازه های شاخص BR در زیر حوضه های منطقه ی پژوهش.

رده ی فعالیت	رتبه ی آبراه						زیر حوضه
	BR	N6	N5	N4	N3	N2	
۲	۱/۸۸	۸۵	۱۴۲	۲۵۶	۴۶۷	۹۷۷	۲۰۰۷
۳	۱/۷۹	۱۰۵	۱۷۱	۱۷۵	۳۹۵	۸۳۴	۱۶۵۱
۲	۱/۹۰	۱۴۰	۱۹۸	۵۳۱	۷۸۶	۱۵۹۴	۳۱۱۹
۱	۱/۹۵	۵۷	۱۴۳	۲۶۲	۲۷۹	۶۷۱	۱۳۴۲

زمین ساخت منطقه دارد، و ممکن است نشان دهندهی تأثیر زمین ساخت فعال در منطقه باشد (جدول ۱).

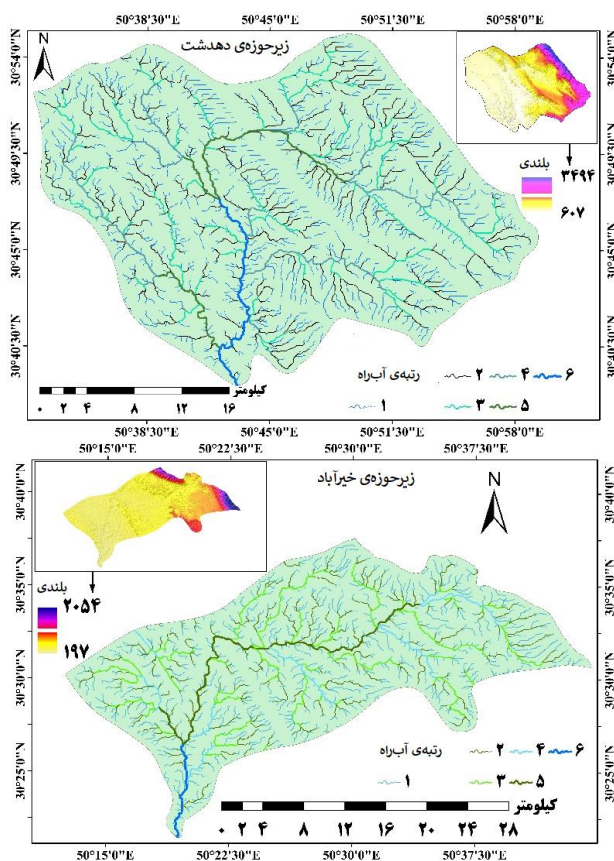
بر پایه ی نتیجه های جدول ۱ و اندازه های شاخص P، فعالیت زمین ساخت زیر حوضه ی سرپری و دهدشت به ترتیب با اندازه های ۰/۲۴۳ و ۰/۲۳۶ بیش تر از دیگر زیر حوضه ها است. اندازه ی تراکم شبکه ی زه کشی ممکن است متأثر از جنس سازندها، اندازه ی شیب و برخی ویژگی های خاک مانند آهک، درصد لای، کربن آلی و نفوذ پذیری نهشته ها و سازندها باشد. بر همین پایه، و به دلیل گسترش سازندهای فرسایش پذیر در زیر حوضه ی دهدشت، می توان گفت اندازه ی بسیار این شاخص در این زیر حوضه ناشی از نوع سازند و جنس خاک

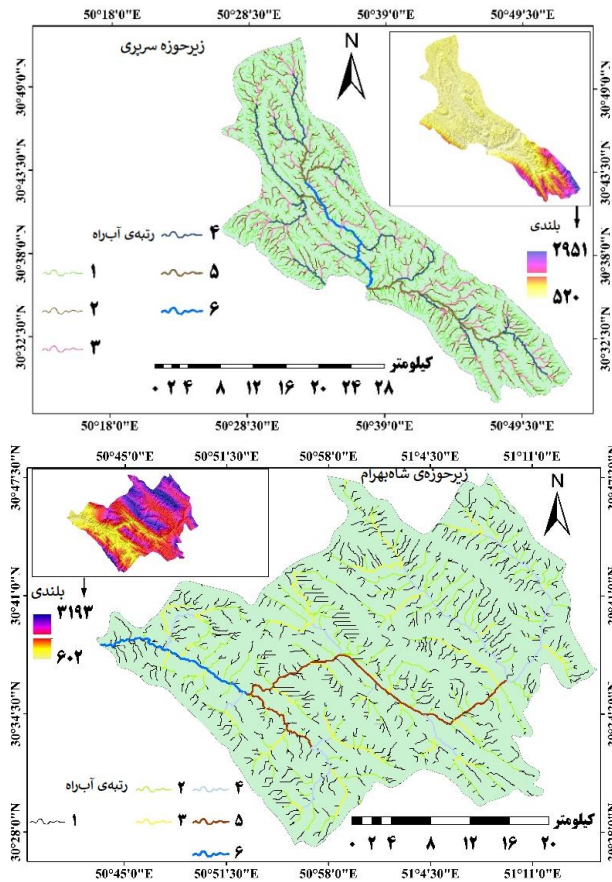
جدول ۱- اندازه های شاخص p در زیر حوضه های منطقه ی پژوهش.

زیر حوضه	P	A(km)	Σ Ii(km)
دهدشت	۰/۲۳۶	۸۲۳/۵۵۱	۱۹۵/۱۴۸
خیرآباد	۰/۲۰۵	۶۴۹/۴۳۹	۱۳۳/۴۵۹
سرپری	۰/۲۴۳	۵۹۷/۵۰۳	۱۴۵/۶۷۶
شاه بهرام	۰/۲۱۶	۱۰۲۵/۰۷۲	۲۲۲/۳۷۳

زیر حوضه ی خیرآباد با نسبت انشعاب ۱/۷۹ بود.

بر پایه ی شاخص BR بیش ترین فعالیت زمین ساختی در زیر حوضه ی شاه بهرام با نسبت انشعاب ۱/۹۵، و کم ترین در





شکل ۴- شبکه‌ی زه‌کشی و رده‌های گوناگون آبراه.

بیش‌ترین اندازه‌ی آن ۲۸۸۷ متر در زیرحوزه‌ی دهدشت بود. اندازه این شاخص برای زیرحوزه‌های شاه‌بهرام و سرپری نیز بیش از ۲۰۰۰ متر بود، که نشان‌دهنده‌ی فعالیت زمین‌ساختی فراوان در این زیرحوزه‌ها است.

شاخص برجستگی نسبی (Bh)

این شاخص نشان‌دهنده‌ی ارتفاع نسبی حوزه است و اندازه‌ی زیاد آن بیانگر نرخ بالاتر به‌دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیشتر است (کلر و پینتر ۲۰۰۲) (جدول ۳).

جدول ۴- اندازه‌های شاخص V/A در زیرحوزه‌های منطقه‌ی پژوهش.

زیرحوزه	کمینه‌ی بلندی (M)	بیشینه‌ی بلندی (M)	حجم حوزه (M ³)	مساحت حوزه (M ²)	شاخص فعالیت Va	رده‌ی فعالیت
دهدشت	۶۰۷	۳۴۹۴	۵۷۵۶۵۰۳۱۲۴۸۴/۶۶	۸۲۱۲۶۷۲۰۴/۱۰۶	۷۰۰/۹۲۹	۲
خیرآباد	۱۹۷	۲۰۵۴	۲۳۶۴۶۰۷۲۷۹۶۰/۲۶	۶۴۶۸۸۸۱۹۴/۴۲۰	۳۶۵/۵۳۵	۳
سرپری	۵۲۰	۲۹۵۱	۲۷۴۰۰۰۴۹۵۵۰۱/۷۱	۵۹۴۶۷۱۴۲۶/۶۵۱	۴۶۰/۷۵۹	۳
شاه‌بهرام	۶۰۲	۳۱۹۳	۱۴۰۱۳۲۷۳۸۴۵۲۲/۴	۱۰۲۱۷۷۹۶۹۳/۲۱۷	۱۳۷۱/۴۵	۱

جدول ۳- اندازه‌های شاخص Bh در زیرحوزه‌های منطقه‌ی پژوهش.

زیرحوزه	بیشینه‌ی بلندی (M)	کمینه‌ی بلندی (M)	شاخص فعالیت Bh	رده‌ی فعالیت
دهدشت	۳۴۹۴	۶۰۷	۲۸۸۷	۱
خیرآباد	۲۰۵۴	۱۹۷	۱۸۵۷	۲
سرپری	۲۹۵۱	۵۲۰	۲۴۳۱	۱
شاه‌بهرام	۳۱۹۳	۶۰۲	۲۵۹۱	۱

نتیجه‌ی محاسبه‌ی V/A (جدول ۴) نشان می‌دهد که برپایه‌ی این شاخص فعالیت نوزمین‌ساختی زیرحوزه‌های شاه‌بهرام و دهدشت به‌ترتیب بیش‌ترین بود.

شاخص حجم به سطح حوزه (V/A)

اندازه‌ی زیاد این شاخص نشان‌دهنده‌ی پستی‌بلندی زیاد و فعالیت شدید زمین‌ساختی است (هارکینز و همکاران ۲۰۰۵).

شکل حوزه‌های زه‌کشی در منطقه‌های فعال از دید زمین‌ساختی کشیده‌تر است (بول و مک‌فادن ۱۹۷۷). اندازه‌ی شاخص ضریب شکل در محدوده‌ی پژوهش و در هر زیرحوزه در جدول ۵ آورده شده‌است. فعالیت نوزمین ساخت زیرحوزه‌های خیرآباد و سرپری بیش تر بود.

جدول ۵- اندازه‌های ضریب شکل در منطقه‌ی پژوهش.

زیرحوزه	L^2	A (km)	Ff	رده‌ی فعالیت
دهدشت	۲۶۳۵/۷۹	۸۲۳/۵۵۱	۰/۳۱	۳
خیرآباد	۳۵۷۰/۰۶	۶۴۹/۴۳۹	۰/۱۸	۱
سرپری	۳۶۸۳/۲۷	۵۹۷/۵۰۳	۰/۱۶	۱
شاه‌بهرام	۳۵۱۰/۵۶	۱۰۲۵/۰۷۲	۰/۲۹	۲

می‌شوند (بهرامی و شایان ۲۰۱۳). واضح‌ترین شکل‌های مثلثی در جنوب زیرحوزه‌ی سرپری و بیش‌ترین فراوانی آن‌ها در حوزه‌ی شاه‌بهرام مشاهده شد، که اتفاقاً بیش‌ترین فراوانی و تراکم زمین لغزش‌ها نیز در همین دو منطقه است. (شکل ۵).

سطح‌های مثلثی شکل (TF)

سطح‌های مثلث‌شکل از شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی مهم متأثر از عامل‌های زمین‌ساختی است، که در جبهه‌ی کوهستان‌های متأثر از گسل و فشارهای زمین‌ساختی تشکیل



شکل ۵- شکل‌های مثلثی از شاهد‌های زمین‌ریخت‌شناسی و نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های نوزمین ساخت در تنگ دیل.

زمین ساختی برای منطقه تهیه شد. فعالیت زمین‌ساختی زیرحوزه‌ی خیرآباد کم، دهدشت و سرپری زیاد، و شاه‌بهرام خیلی زیاد بود (جدول ۶ و شکل ۷).

ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی

بر پایه‌ی رده‌بندی ال‌همدونسی و همکاران، و اندازه‌های به‌دست‌آمده از شاخص Iat ، نقشه‌ی پهنه‌بندی تراز فعالیت

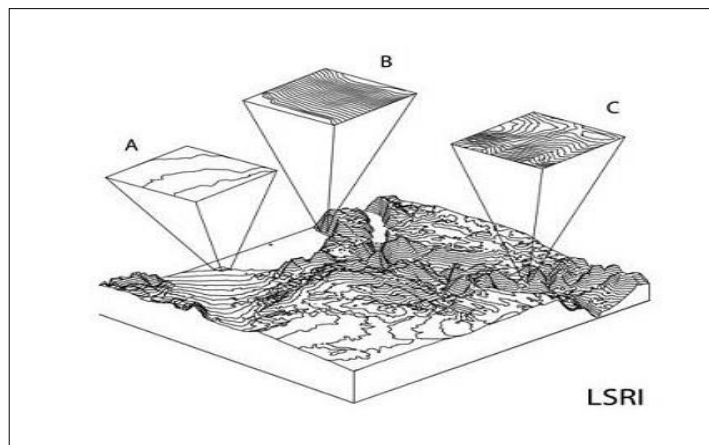
جدول ۶- محاسبه‌ی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای منطقه‌ی پژوهش.

زیرحوزه	V/A	P	BR	Bh	Ff	Iat	رده فعالیت زمین‌ساخت
دهدشت	۲	۱	۲	۱	۳	۱/۸	زیاد
خیرآباد	۳	۳	۳	۲	۱	۲/۴	کم
سرپری	۳	۱	۲	۱	۱	۱/۶	زیاد
شاه‌بهرام	۱	۲	۱	۱	۲	۱/۴	خیلی زیاد

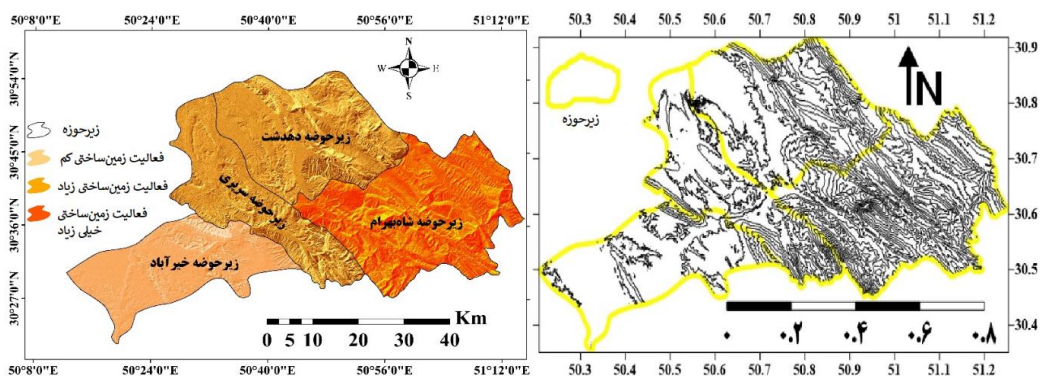
به‌دست‌آمده از شاخص‌های ریخت زمین‌ساخت در منطقه نیز نشان‌دهنده‌ی هم‌سانی زیرحوزه‌ی با فعالیت زمین‌ساختی بیش‌تر (شاه‌بهرام) با منطقه‌های با تراز متراکم‌تر و با چگالی بیش‌تر است (شکل ۷). با این توضیح و برپایه‌ی آن شاخص می‌توان گفت که نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال به‌دست‌آمده از شاخص‌های V/A ، Bh ، P ، Br ، Ff با واقعیت زمین‌ساختی منطقه هم‌آهنگی دارد.

شاخص زبری سطح زمین (LSRI)

در شکل ۶ شاخص زبری سطح زمین با تراکم خط‌های هم‌تراز در منطقه نشان داده شده‌است. هر جا چگالی خط‌های تراز زیاد باشد اندازه‌ی این شاخص نیز بیش‌تر است و هر جا که این شاخص زیاد باشد منطقه شیب‌دار و زمین ناهموار، و نشانه‌ی فعالیت بسیار زمین‌ساخت فعال است. مقایسه و روی هم‌گذاری نقشه‌ی خط‌های تراز با نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال



شکل ۶- نمایش تصویری از توانایی محاسبه‌ی ناهمواری با تراکم خط‌های تراز (سپینگتون و همکاران ۲۰۰۷).

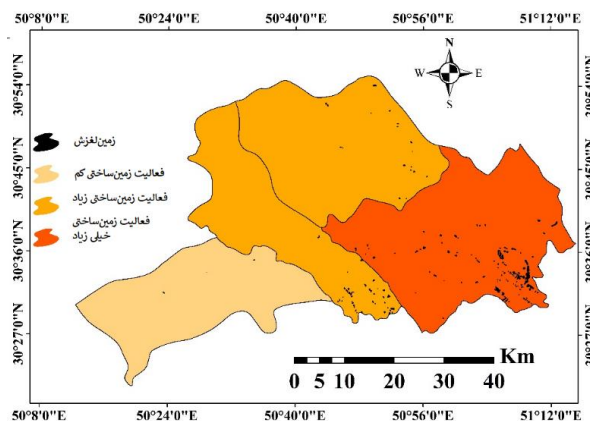


شکل ۷- مقایسه‌ی نقشه‌ی تراکم خط‌های تراز با نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال.

تحلیل مکانی زمین لغزش در ارتباط با زمین ساخت فعال بر مبنای...

زمین لغزش‌ها در پهنه‌های زمین ساختی با فعالیت خیلی زیاد، و تنها ۲۵/۲۹٪ از آن‌ها در پهنه‌های با فعالیت زمین ساختی زیاد و کم روی داده‌است (جدول ۷ و شکل ۹). این نتیجه نشان‌دهنده همبستگی فراوان زمین لغزش‌ها با زمین ساخت فعال، و نقش فعالیت‌های نوزمین ساخت در افزایش رخداد زمین لغزش است.

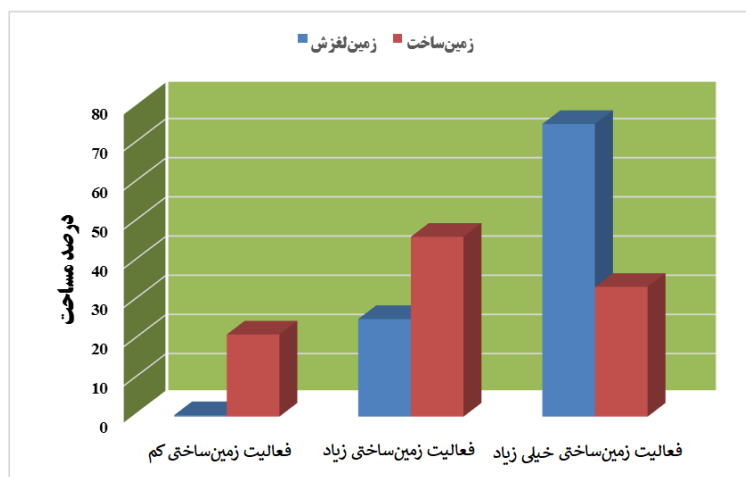
شدت فعالیت زمین ساخت بر پایه‌ی شاخص I_{at} شیوه‌ی توزیع، و درصد زمین لغزش‌ها در پهنه‌های گوناگون زمین ساختی با روی هم گذاشتن و هم‌پوشانی دادن نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌ها بر نقشه‌ی پهنه‌بندی مشخص شد (شکل ۸). با افزایش شدت زمین ساخت فعال نسبی درصد زمین لغزش‌ها نیز افزایش یافت، به طوری که ۷۴/۷۱٪ از



شکل ۸- نقشه‌ی توزیع تراز فعالیت زمین ساخت نسبی و پراکنش زمین لغزش‌ها در آن‌ها.

جدول ۷. توزیع زمین لغزش‌ها در رده‌های گوناگون فعالیت زمین ساخت در حوزه.

درصد زمین لغزش در هر رده	مساحت زمین لغزش‌های رخ داده در هر رده (ha)	درصد مساحت هر رده	مساحت هر رده (km ²)	رده‌ی فعالیت زمین ساخت
۷۴/۷۱	۵۸۷/۷۵	۳۳/۱۳	۱۰۲۵/۰۷	خیلی زیاد
۲۴/۹۱	۱۹۶/۰۹	۴۵/۹	۱۴۲۱/۰۵	زیاد
۰/۳۸	۳	۲۰/۹۷	۶۴۹/۴۳	کم



شکل ۹- نمودار مقایسه‌ی اندازه تراکم زمین لغزش با وسعت پهنه‌های گوناگون زمین ساخت.

نتیجه‌گیری

روی داد زمین لغزش در آبخیزها پاسخ به تغییرهایی است که به‌طور طبیعی یا به‌دست انسان در سامانه‌های طبیعی ایجاد، و موجب تغییر در شدت فشار ورودی به سامانه می‌شود. زمین لغزش از جمله آسیب‌های محیطی است که متأثر از تغییرهای ناشی از فعالیت‌های نوزمین‌ساخت بر سطح زمین است. از طرفی، شاخص‌های ریخت زمین ساخت از ابزارهای پایه‌ی برای پی‌بردن به وضعیت و شدت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساخت در سطح زمین است. به همین دلیل شاخص‌های ریختی-زمین‌ساختی را می‌توان در بررسی زمین لغزش‌ها به‌کار برد. در این پژوهش وابستگی زمین لغزش با زمین‌ساخت فعال، و اندازه‌ی تأثیرپذیری رخداد زمین لغزش از زمین‌ساخت فعال بررسی شد. معیار قضاوت مقایسه‌ی اندازه‌ی تراکم زمین لغزش در پهنه‌های گوناگون زمین‌ساختی است. نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال بر پایه‌ی شش شاخص ریخت زمین ساخت، حجم به سطح حوزه (V/A)، برجستگی نسبی (Bh)، تراکم سطحی آبراه‌ها (P)، شاخص انشعاب‌پذیری (BR)، ضریب شکل (Ff)، و شاخص سطح‌های مثلثی شکل (Tf) در چهار زیرحوزه‌ی آبخیز رود خیرآباد تهیه شد. نتیجه نشان داد که فعالیت زمین‌ساخت در زیرحوزه‌ی شاه‌بهرام خیلی زیاد، در زیرحوزه‌های دهدشت و سرپری زیاد، و در زیرحوزه‌ی خیرآباد کم است. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش در کل حوزه و انطباق آن با پهنه‌های زمین‌ساختی، شیوه‌ی توزیع و درصد تراکم زمین لغزش در پهنه‌های متفاوت زمین‌ساخت فعال در محدوده‌ی منطقه، و ارتباط زمین لغزش با زمین‌ساخت فعال مشخص شد. نتیجه نشان‌دهنده‌ی نقش زمین‌ساخت فعال در افزایش رخداد زمین لغزش بود، به‌طوری که $74/71\%$ از زمین لغزش‌های رخ داده در کل حوزه ($587/75$ هکتار) در محدوده‌ی با فعالیت زمین‌ساختی خیلی زیاد ($33/13$ از پهنه‌ی کل حوزه)، $24/91\%$ ($196/09$ هکتار) در محدوده‌ی با فعالیت

زمین‌ساخت زیاد (بیش از 45% از کل آبخیز) بود. درصد روی داد زمین لغزش در محدوده‌ی با فعالیت زمین‌ساخت کم بسیار کم‌تر بود.

نتیجه‌ی این پژوهش با پژوهش حبیبی (۲۰۱۴) که نشان داد $88/8\%$ از لغزش‌ها در منطقه‌های شدید و بسیار شدید زمین‌ساختی است، و فقط $11/2\%$ از آن در رده‌ی میانه است هم‌خوانی دارد. مقایسه‌ی نتیجه‌ی این پژوهش با یافته‌های ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۶) که نشان دادند بیش‌ترین فراوانی زمین لغزش‌ها در ناحیه‌های با بیش‌ترین شاخص زمین‌ساختی فعال است هم‌آهنگی دارد.

با این حال، برخلاف پژوهش کنونی، نتیجه‌ی سوماریونو و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که زمین لغزش‌های سپتامبر ۲۰۰۹ سوماترای اندونزی از دید تراز فعالیت زمین‌ساخت در رده‌ی میانه بود. بر پایه‌ی موقعیت منطقه این یافته را می‌توان به نقش بارش‌های سنگین در افزایش رخداد زمین لغزش نسبت داد. یافته‌های این پژوهش این پیام را دارد که در بررسی و پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش باید ارزیابی زمین‌ساخت فعال را در کنار دیگر سنجه‌های مؤثر و مرسوم در پهنه‌بندی به‌کار برد. این رویه ممکن است منجر به افزایش درستی نقشه‌ی پهنه‌بندی، و شناسایی دقیق‌تر منطقه‌های درگیر با خطر زمین لغزش شود. علاوه بر آن، دادن نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال و توزیع زمین لغزش‌ها بر تراز آن ممکن است سازمان‌های مربوط در مدیریت و پایداری دامنه‌ها، مجریان طرح‌ها و سازه‌های آبخیزداری و سدسازی، و برنامه‌ها و طرح‌های خدماتی و آمایش سرزمین (از جمله مکان‌گزینی، ساخت، و توسعه‌ی راه‌ها، جاگذاری خط‌های انتقال حامل‌ها، انتخاب مکان‌های مناسب اکتشاف معدن و ...) را یاری کند. از کاربردهای دیگر این پژوهش توصیه به دادن هشدار و مقاوم‌سازی برای افزایش ضریب ایمنی و مکان‌گزینی مناسب واحدهای مسکونی، به‌دلیل پراکندگی روستاهای کوچک در منطقه است.

- Andreyani L, Stanek KP, Gloaguen R, Krentz O, Domínguez LG. 2014. DEM-Based analysis of interactions between tectonics and landscapes in the ore mountains and egger rift (East Germany and NW Czech republic), *Remote Sensing*, 6(9): 7971–8001.
- Afshari A, Ghahroudi M, Sadough H, Ehteshami M, Moinabadi M. 2019. Application of morphotectonic indices in landslide hazard analysis in Lorestan railway, *Natural hazard management (former hazard knowledge)*, 6(1): 66–51. (In Persian).
- Babaei Sh, Dehbozorgi M, Hakimi asyabar S, Hoseyniasl A. 2017. Investigation of active tectonics using geomorphological indicators in Central Alborz, *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1): 56–40. (In Persian).
- Baharvand S, Soori S, RahnamaRad J, Joudaki M. 2018. Tectonic activity analysis and relation with lineaments and the risk of landslide (A case study: Vark Basin, Lorestan). *Journal of Engineering Geology*, 12 (2): 237–258. (In Persian).
- Bahrami Sh, Shayan S. 2013. Investigation of the effect of tectonics on the morphometric features of the drainage network and the triangular surfaces of the dry-bottom anticline, *Quarterly Journal of Geographical Research*, 28)3(: 197–210. (In Persian).
- Barjesteh A. 2005. Investigation of the relationship between hydrographic network and fracture system in Gachsaran Formation in Ramhormoz Region, Office of Water Engineering Research and Standards, Khuzestan Water and Electricity Organization, 137 p. (In Persian).
- Bull WB, McFadden LD. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, pp. 115–138.
- Cheng W, Wang N, Zhao M, Zhao S. 2016. Relative tectonics and debris flow hazards in the Beijing mountain area from DEM-derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geomorphology*, 1257: 134–142.
- Conforti M, Ietto F. 2020. Influence of Tectonics and Morphometric Features on the Landslide Distribution: A case study from the Mesima Basin (Calabria, South Italy), *Journal of Earth Science*, 31(2): 393–409.
- Dos Santos, JM, Salamuni E, Dasilva CL, Sanches E, Gimenez VB, Nascimento ER. 2019. Morphotectonics in the Central-East Region of South Brazil: Implications for Catchments of the Lava-Tudo and Pelotas Rivers, State of Santa Catharina, *Geomorphology*, Vol 328: 138–156.
- EL Hamdouni R, Irigaray C, fernandez T, Chacon J, Keller EA. 2008. Assessment of relative active tectonic, southwest border of sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96: pp. 150–173.
- El Hamdouni R, Irigaray C, Fernandez T, Fernández P, Jiménez J, Chacón J. 2006. Active tectonics as determinant factor in GIS landslides susceptibility mapping: application to the SW border of Sierra Nevada (Granada, Spain), *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 03154.
- Ezzatyan V, Daneshamooz Z. 2012. Investigation of hydro geomorphological characteristics of Kheyabad Watershed, *Journal of Land Management*, 4(2): 113–140. (In Persian).
- Ganjeyan H, Yamani M, Gourabi AB, Maghsoudi M. 2020. Adaptation of morphotectonic indices with seismic centers in the northwest Zagros (Sirvan and Qarasu basins), *Geography and Environmental Planning*, 31(4): 130–113. (In Persian).
- Ghasemyan B, Abedini M, Roustaiei Sh, Shirzadi A. 2018. Comparative study of vector support machine models and tree logistics to assess landslide sensitivity, Case study: Kamyaran city, Kurdistan province, *Quarterly Journal of Natural Geography*, 6(3): 15–36. (In Persian).
- Gourabi A, Emami K. 2017. Effects of Neolithic construction on morphological changes in drainage basins of macron coast, southeastern

- Iran, Journal of Quantitative Geomorphological Research, 6(1): 74–89. (In Persian).
- Guarnieri P, Pirrotta C. 2008. The response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95: 260–273.
- Habibi A. 2014. Landslides study using morph tectonic indices, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(1): 98–108. (In Persian).
- Harkins NW, Anastasia DJ, Frank FJ. 2005. Tectonic geomorphology of the red rock fault, insights into segmentation and landscape evolution of a developing range front normal fault. *Journal of Structural Geology*, 27: pp. 1925–1939.
- Horton RE. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro physical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bulletin*, 56 (3): 275–370.
- Ilanloo M. 2020. Investigation of active tectonics of dalaki catchment using geomorphic indices and geo morphological evidences, *Geography. Iranian Journal of Geographical Association*, 18(66):168–185. (In Persian).
- Jedari Eivazi J. 2002. *Geomorphology of Iran*, Payame Noor University Press. (In Persian).
- Khalaj, M. 2021. Evaluation of tectonic activity of Qorveh-dehgolan catchment using geomorphic, geography and development indices, No. 62. (In Persian).
- Keller EA, Pinter N. 2002. *Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2ndEd.)*, Prentice Hall, New Jersey, 338 p.
- Khoudaigheshlagh L, Roustaei, Sh, Hojajizadeh SA. 2017. Evaluation of logistic regression method in investigating landslide potential occurrence case study: Hajiler Chay River Basin, *Quarterly Journal of Natural Geography*, 10 (37): 45–57.
- Khabbazi M, Shahbazi M. 2015. Investigation and analysis of geomorphic indicators and its relationship with active morphotectonics in regions dry (Ardestan playa), *Journal of Geography and Regional Development*, 13 (2): 45–65. (In Persian).
- Kyani T, Hydrad N, Parastoo GA. 2020. Active tectonics of the Roudbar Region: with special reference to the landslides of the area. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7 (1): 65–88. (In Persian).
- Lahai YA, Anderson KF E, Jalloh Y, Rogers I, Kamara M. 2021. A comparative geological, tectonic and geomorphological assessment of the Charlotte, Regent and Madina landslides, Western area, Sierra Leone, *Geo Environmental Disasters*, 8 (16): 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00187-x>.
- Layani GH, Bakhshoodeh M, Zibaei M. 2020. A System dynamics approach for evaluating the impacts of water demand management policies in Kheirabad River Basin, *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 51–52 (2): 195–216.
- Longkumer L, Luirei Kh, Moiya JN, Thong GT. 2019. Morphotectonics and neotectonic activity of the Schuppen Belt of Mokochung, Nagaland, India, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol 170, Pp 138–154.
- Majidzadeh R, Hosaynzadeh MM, Esmaili R. 2011. Proceedings of the 30th Earth Science Conference, March 1st to 3rd, 2011. (In Persian).
- Negahban S, dortaj D. 2019. Active tectonic evaluation of Sirvan River Basin using geomorphic indices, *Hydro Geomorphology*, 5 (19): 209–187. (In Persian).
- Novikov IS, Pospeeva EV. 2017. Neotectonics of eastern Gory Altai: Evidence from Magnetotelluric Data, *Russian Geology and Geophysics*, 58 (7): 769–777.
- Oliaye A, Nazari Samani AA, Teymourian T, Razandi Y. 2014. Researches of the first national conference on natural resources management. Gonbad Kavous University, (In Persian).
- Sabori SM, Hajjalibaygi H, Talebyan M, Fatahi M. 2021. Investigating the frequency of landslide occurrence with active technicians in the northern region of Qazvin. *Journal of Range*

- and Watershed Management, 74(2), 423–436. (In Persian).
- Saffari K, Yamani M, Karam A, Karami P. 2018. Morphogenetic effects of active tectonics on landslides in Jajroud Basin, Quantitative Geomorphology, 7 (3): 135–117. (In Persian).
- Sumaryono S, Dasa Trinana Y, Hidayati S, Wahyudi, DR, Muslim D, Sulaksana N. 2015. Control morphology to the landslide Induced Earthquake: Case Study Padang Pariamana, Sumatra, 10th Asian Regional Conference of IAEG.
- Sappington JM, Longshore KM, Thompson DB. 2007. Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: A case study using big-horn sheep in the Mojave Desert. The Journal of Wildlife Management, 71: 1419–1426.
- Shahmary R. 2017. Evaluation of new construction activities in the western watersheds of Guilan Province, Journal of Quantitative Geomorphological Research, 6 (2): 148–165. (In Persian).
- Shankar R, Prakash Satyam G, Kumar Singh P, Kumar Paswan R. 2021. Impact of geomorphometric parameters on landslide occurrence and distribution in Yamuna river basin, North-Western Himalaya, India, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-404865/v1>.
- Sharifi R, Pourkermani M, Solgi A. 2012. Comparison slide zones by Nilsen method with active tectonic zones produce of Smf index, International Journal of Fundamental physical Sciences, IJFPS, 2 (2): 24–28.
- Singh P, Gupta A, Singh M. 2014. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, pp. 1–11.
- Terzaghi K. 1950. Mechanisms of Landslides, Geotechnical Society of America, Berkeley, pp. 83–125.
- Yousefi T. 2010. Introduction of faults caused by earthquakes in Noorabad Mamasani Region, Geological Survey of Iran, Geological and Mineral Exploration Management of the southern region (Shiraz), 6 p. (In Persian).
- Yamani M, Elmizadeh H. 2014. The effect of neotectonic construction on the morphology of the drainage network of Nachi Watershed using geomorphic and morphometric indices, Quarterly Journal of Geographical Research, 29 (1): 9–22. (In Persian).
- Wells SG, Bullard TF, Menges CM, Drake PG, Karas PA, Kelson KL, Ritter JB, Wesling JR. 1988. Regional variation in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica, Geomorphology, 3 (1): 239–265.
- Zovoili E, Konstantinidi EF, Koukouvelas J. 2004. Tectonic geomorphology of escarpments; the case of Kompotades and Nea Anchialos Faults, Bulletin of the Geological Society of Greece, 36(5): 1716–1725.



Watershed Management Research

VOL. 35, No.3, Ser. No: 136, Autumn 2022, pp. 96 -113

DOI: 10.22092/wmrj.2022.357444.1453

Research Paper



Spatial Analysis of Landslides in Relation to Active Tectonics Based on Morphotectonic Indices in Kheirabad River Basin

Hamid Babolimoakher

(Corresponding Author)* Ph.D. of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Corresponding Author's Email: h.baboli52@yahoo.com

Received: 10 January 2022

Accepted: 06 February 2022

Abstract

Neotectonic activity plays an important role in increasing the occurrence of landslides. The purpose of this study is to investigate the relationship and the extent of landslide occurrence from active tectonics in the Kheirabad River Basin River. For this purpose, neotectonic activity in four sub-basins of this river and based on six morphotectonic indicators; V/A, Bh, P, BR, Ff, and Tf were calculated. The mentioned indices were extracted in each sub-basin using Arc GIS 10.4 software and digital elevation model (DEM 10 M) as well as the Arhydro plugin. Each index was divided into three categories in terms of tectonic activity, and finally, based on the segmentation of each index, the level of tectonic activity of the region was determined on the basis of the index of relative tectonic activity index (Iat). And the area of the study was divided into 3 categories. The results showed that neotectonic activity is very high in Shahbahram sub-basin and high tectonic activity in Dehdasht and Sarpari sub-basins and low tectonic activity in Kheirabad sub-basin., Finally, by cross overlaying of the landslide inventory map to the relatively active tectonic zonation map, the percentage of landslides that occurred in each tectonic region and the role of active tectonics in landslide occurrence was determined. The results showed that 74.69% (587.75 ha) of landslides occurred in the area with high tectonic activity, which covers only 33.11% of the total area of the study basin. Accordingly, 199.09 hectares of landslides occurred in areas with moderate and low tectonic activity, which constitutes more than 66/89% of the total basin. This distribution indicates the dependence of the landslide occurring with active tectonics, in other words, the role of active tectonics in the occurrence of landslides.

■ **Keywords:** Active tectonics, geomorphic hazards, Kheirabad river basin, landslide, morphotectonic indices ■