

مطالعه اثرات ژئومورفولوژیکی و نئوزمین ساخت با تأکید بر توان لرزه‌خیزی گسل‌ها و مخاطرات ناشی از آنها (مطالعه موردی: نمین، آستارا، تالش)

ویدا ایرانی

دانشجوی دکتری گروه جغرافیایی طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

موسی عابدینی^۱

استاد گروه جغرافیایی طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

فریبا اسفندیاری درآباد

استاد گروه جغرافیایی طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی فعالیت‌های نئوزمین‌ساختی بویژه توان لرزه‌زایی گسل‌ها و مخاطرات ناشی از آن است. منطقه مورد مطالعه منطقه آستارا در شمال غربی گیلان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۰، عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه؛ گسل‌های آستارا، هیر، نئور و سنگور به ترتیب توان لرزه‌زایی برابر با ۶/۰۳۱، ۵/۸۷۷، ۹/۱۰۳؛ ۵/۸۳۴، ۵/۷۰۱، ۷/۰۹۴؛ ۶/۰۳۱، ۵/۸۷۷، ۹/۱۰۳ و ۵/۴۹۷، ۵/۴۰۰ و ۳/۶۶۰ ریشتر را دارند. بر اساس نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، شهرهای نمین، عنبران، لوندویل و اسالم در پهنه خطر بسیار زیاد زمین‌لرزه قرار دارد. هم‌چنین، شهر آستارا در پهنه خطر زمین-لرزه زیاد قرار گرفته است. علاوه بر این، شهر حویق در پهنه خطر متوسط و شهرهای هشتپر، حویق و آبی‌بیگلو در پهنه خطر بسیار کم قرار گرفته است. شهر آستارا در پهنه خطر زیاد حرکات دامنه‌ای و شهرهای هشتپر، حویق و آبی‌بیگلو در پهنه خطر متوسط حرکات دامنه‌ای قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر فرسایش، شهرهای اسالم، لوندویل، عنبران و نمین در پهنه‌های خطر بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، شهر آستارا در پهنه خطر زیاد قرار گرفته است. هم‌چنین، شهر آبی‌بیگلو در پهنه خطر متوسط و شهرهای حویق و هشتپر در پهنه‌های خطر کم قرار گرفته‌اند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب، در محدوده مورد مطالعه شهرهای نمین و عنبران در پهنه خطر بسیار زیاد، شهرهای آستارا، لوندویل و اسالم در پهنه خطر زیاد و شهرهای هشتپر، آبی‌بیگلو و حویق در پهنه خطر متوسط قرار گرفته‌اند.

کلیدواژگان: آستارا، گسل، لرزه‌خیزی، مخاطرات ژئومورفولوژیکی.

مقدمه

ساختمان ژئومورفولوژیکی ایران تحت تأثیر فازهای آلی و فشارهای پلیت‌های شمالی و جنوبی بوده و حالت آنومالی دارد و به پایداری نسبی نرسیده است و تز نظر تکتونیکی ناحیه‌ای فعال است (عابدینی، ۱۳۹۵). البرز به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلی به صورت یک آنتی‌کلیناریوم بزرگ، به طور پیوسته تغییر و تحولات فراوانی را تجربه می‌کند. رشته کوه‌های تالش به عنوان بخشی از چین‌خوردگی البرز غربی است که دارای سیستم گسلی فراوان، لرزه‌های تکتونیکی، رورانندی و بالایی بسیار ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی می‌باشد. فعالیت‌های نئوتکتونیک به حرکات تکتونیکی جدیدی اطلاق می‌شود که عمدتاً به شکل گسل‌ها نمود پیدا می‌کند (رجبی، ۱۳۸۵). محدوده مورد مطالعه بخش‌هایی از رشته کوه‌های تالش، نوار جلگه‌ای و سواحل کم‌عرض جنوب خزر و بخشی از اردبیل را در بر می‌گیرد. وجود گسل‌های مهم و فعالی چون گسل آستارا، نئور، هیر و سنگلور و گسل‌های فرعی دیگر که یک سیستم گسلی متراکم را در منطقه به وجود آورده‌اند، همواره تهدیدی جدی برای ساکنین این مناطق بوده و نشان از فعالیت تکتونیکی بالا در این محدوده دارد. زمین‌لرزه‌های تاریخی منطقه مورد مطالعه و ناحی اطراف در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از گسل آستارا نشان می‌دهد که پهنه مذکور از نظر زمین‌ساختی جنبا و به شدت لرزه‌خیز بوده و تاریخچه پر مخاطره‌ای را پشت سر گذاشته است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به سابقه لرزه‌خیزی و وظل گسل آستارا در منطقه، این گسل را می‌توان عامل اصلی فعالیت‌های لرزه‌ای در منطقه به شمار آورد و نیز با در نظر گرفتن زمین‌لرزه‌های تاریخی و دوره‌ی بازگشت زلزله‌ها، احتمال وقوع زلزله‌هایی با شدت بیش‌تر بسیار محتمل است.

طول گسل آستارا حدود ۴۰۰ کیلومتر برآورد شده است که حدود ۱۶۶ کیلومتر آن در خاک ایران قابل پیگیری است (بربریان، ۱۹۸۳). تقریباً همه مناطق شهری و روستایی که در سواحل خزر و در محدوده مورد مطالعه واقع شده‌اند به تبعیت از توپوگرافی کوهستان و دریا در حریم گسل و در فاصله بسیار اندکی از آن در دامنه کوهستان قرار دارند. علاوه بر قسمت باریک جلگه‌ای و ساحلی خزر، بخش اعظم منطقه مورد مطالعه را کوهستان تشکیل می‌دهد و معمولاً در کوهستان‌ها شبکه‌های هیدرولوژیکی مشخصی جریان دارند و حوضه‌های آبریز متنوعی را ایجاد می‌کنند (کرمی، ۱۳۸۸). این مناطق به شدت تحت تأثیر عملکرد سیستم‌های مورفوژنز بوده و به طور پیوسته در حال تغییر و تحول به ویژه در سطوح شیب‌دار و دامنه‌ها هستند و پدیده‌های فرسایش و سیلاب را به دنبال دارند و بسیار آسیب پذیرند. بنابراین، بیش‌تر در معرض خطرات ناشی از زلزله و انواع حرکات دامنه‌ای مانند لغزش و رانش، سقوط قطعات سنگی و واریزه‌ها نیز قرار دارند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

در قسمتی از منطقه به ویژه از شهرستان نمین تا آستارا و بخش‌هایی از دامنه خاوری کوه‌های تالش، اغلب دامنه‌ها حساس و مستعد زمین‌لغزش هستند. اگرچه مهم‌ترین عامل وقوع زمین‌لغزش، نیروهای ثقلی هستند، اما در بیش‌تر موارد لغزش‌ها معلول فشارهای تکتونیکی و زمین‌لرزه‌ها و فعالیت گسل‌ها می‌باشند و به همین دلیل مناطقی که پراکنندگی گسل‌ها در آن بیش‌تر از سایر نقاط باشد می‌توان شاهد تعدد وقوع حرکات توده‌ای مخصوص زمین‌لغزش بود (اسفندیاری، ۱۳۸۵). در محدوده مورد مطالعه به دلیل تعدد گسل‌ها و فعال بودن منطقه از نظر زمین‌ساخت و

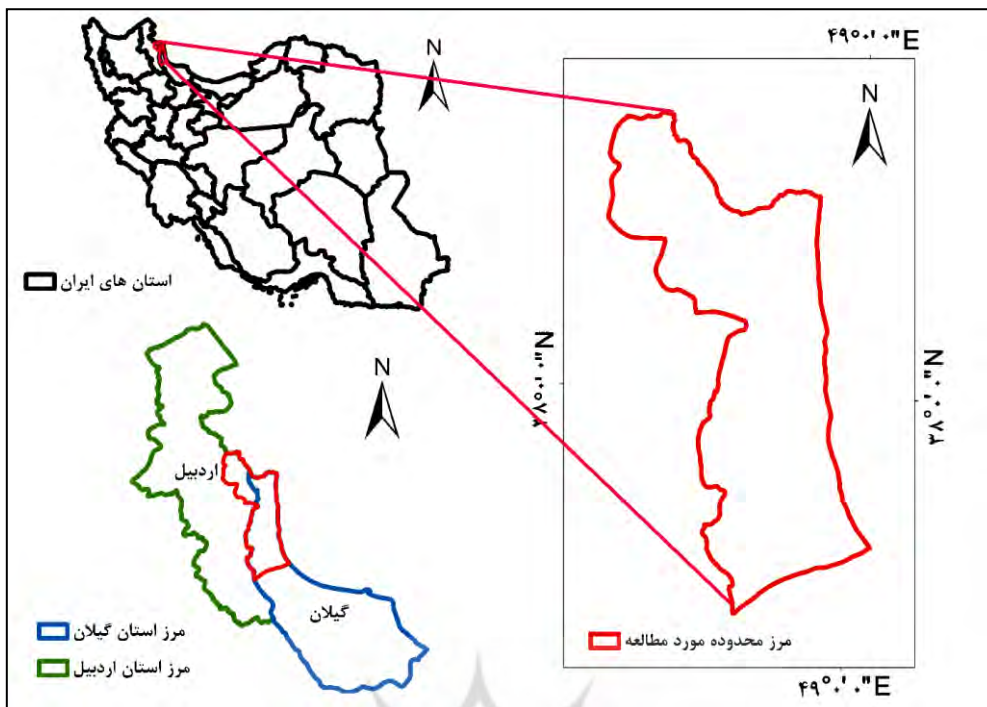
مهیا بودن عوامل مؤثر بر زمین لغزش به ویژه محدوده مابین نمین تا آستارا در گردنه معروف حیران اکثر لغزش‌ها در فاصله ۵۰۰ متری از گسل‌های احتمالی به وقوع پیوسته است (اسفندیاری، ۱۳۸۵).

فعالیت‌های روستایی، قطع درختان و از بین رفتن جنگل و پوشش گیاهی به دلیل توسعه سکونت‌گاه‌ها، ویلاسازی‌ها، ساخت مراکز تفریحی و تفرجگاه‌ها، استخراج معادن شن و ماسه و لرزش‌های ناشی از فعالیت معادن و نیز فعالیت گسل‌ها در کنار سایر عوامل مؤثر دامنه‌ها را بیش‌تر از گذشته مستعد حرکات توده‌ای و دامنه‌ای ساخته است. از آنجا که جاده‌سازی سبب تغییر شیب در دامنه است، در منطقه کوهستانی و پر پیچ و خم گردنه حیران که در فاصله ۳۰ کیلومتر بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر اختلاف ارتفاع به چشم می‌خورد خطر زمین‌لغزش تهدیدی جدی برای ساکنین و مسافران این منطقه حساب می‌آید. جاده ترانزیتی و ارتباطی اردبیل-آستارا که به عنوان پل ارتباطی بین استان‌های غرب کشور با شهرهای شمالی می‌باشد و نقش مهمی را در ترانزیت کالا و صادرات و واردات به کشور آذربایجان و سایر کشورهای حاشیه‌ای خزر ایفا می‌کند از این منطقه پر پیچ و خم و پر خطر می‌گذرد. کوهبری‌ها و ترانسه‌هایی که برای این منظور صورت گرفته وضعی تعادل در شیب‌های مشرف به جاده را بر هم زده (اسفندیاری، ۱۳۸۵) به طوری که در طول این مسیر آثار گسیختگی و لغزش فراوان به چشم می‌خورد.

طبق پژوهش انجام شده حدود ۲ درصد از تصادفات جاده‌ای این مسیر در طول مدت ۱۰ سال (از نمین تا آستارا) در ارتباط با حرکات دامنه‌ای، لغزش و سقوط قطعات سنگی رخ داده است (ایرانی، ۱۳۸۹). این جاده در قسمتی از طول خود از خروجی شهرستان نمین تا آق‌چای از یک سمت مشرف به پرتگاه و از سمت دیگر مشرف به دامنه‌های پر شیب و صخره‌های سنگی است. وجودی آثار و شواهدی از فعالیت گسل‌ها و تکتونیک فعال منطقه، اقلیم مرطوب و نوع سازند و رسوبات در کنار سایر عوامل تأثیرگذار این منطقه را تبدیل به یک ناحیه‌ی پر خطر کرده است. بنابراین، بسیار ضروری است که با بررسی شواهد و آثار ژئومورفیک در منطقه و تلفیق شاخص‌های ژئومورفیک در محیط GIS و بررسی ارتباط ساختارهای سطحی و کانون‌های زمین‌لرزه بتوان فعالیت‌های نئو زمین‌ساخت را در منطقه به طور دقیق مورد ارزیابی قرار داد (سانکار، ۲۰۱۱) و مناطق پر خطر تکتونیکی را شناسایی نموده و با مطالعه موقعیت‌های محیطی و آگاهی از توان لرزه‌زایی و خطرآفرینی گسل‌ها و طبقه‌بندی علمی آن‌ها بتوان به مکان‌یابی بهینه و توسعه سکونت‌گاه‌های آتی در مناطق کم‌خطر پرداخت و هر گونه بهره‌برداری از منابع با آگاهی از دینامیک محیط و حفظ پایداری دامنه‌ها در مناطق شناسایی شده و کم‌خطر صورت گیرد تا در نهایت بتوان از سرمایه‌های جانی و مالی انسان‌ها محافظت نمود.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۷ درجه ۳۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۵۹۰ متر از سطح دریا واقع شده است و دارای ۳۸۰ کیلومتر مربع مساحت می‌باشد. عمده مراکز جمعیتی محدوده مورد مطالعه شهرها و روستاهایی هستند که در دامنه‌ی ارتفاعات در استان اردبیل و جلگه ساحلی خزر در استان گیلان واقع شده است. از شهرها و مراکز جمعیتی آن می‌توان تالش، آستارا، نمین، خلخال، لوندویل، حویق، لیسار و روستاهای چوبر، ویزنه، لمیر، چلوندا، حیران، ونه بین، خانقاه، قلعه، ننه کران، نیارق، آق بلاغ، شبلو و ... را نام برد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

روش تحقیق

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق از داده‌های نقشه‌توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری، نقشه‌زمینشناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰، ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۴۰۰۰۰ منطقه، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۰ و همچنین نقشه مدل رقومی ارتفاعی استفاده شد. با استفاده از روابط موجود، شاخص-های ژئومورفولوژیکی محاسبه و تحلیل‌های لازم صورت گرفت. توان لرزه‌ای گسل‌های فعال منطقه با استفاده از فرمول-های زارع (۱۹۹۵)، اشجعی و وروزی (۱۹۷۸) و ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) محاسبه شد. شناسایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی مرتبط با گسل نیز از روش روی هم‌گذاری لایه‌ها با وزن دهی به روش تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده شد. در مطالعه حاضر استخراج خطواره‌های گسلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شامل مراحل زیر بود:

الف) انجام تصحیحات هندسی و اتمسفری (ب) پردازش تصاویر ماهواره‌ای (ج) انتخاب ترکیب باندهای مناسب (د) تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (ه) روش فیلترگذاری (و) اجرای تکنیک Hillshade بر روی تصویر (ن) شناسایی خطواره‌های گسلی (ی) رسم نمودار گلسرخی خطواره‌های گسلی (م) صحت‌سنجی.

شاخص‌های ژئومورفولوژیکی مورد استفاده در این مطالعه شامل موارد زیر می‌باشد: بعد از استخراج و شناسایی خطوط گسلی از تصویر لندست ۸، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی فعالیت‌های زمین ساختی در محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های ژئومورفولوژیکی مورد استفاده در این مطالعه شامل موارد زیر می‌باشد:

شاخص برجستگی نسبی (Bh)

شاخص برجستگی نسبی براساس اختلاف میان پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقطه در یک حوضه زهکشی محاسبه می‌شود و فرمول آن به صورت زیر می‌باشد:

$$Bh = h_{max} - h_{min} \quad (\text{رابطه ۳-۱})$$

شاخص برجستگی نسبی نقش با اهمیتی در توسعه شبکه زهکشی حوضه، جابه‌جایی آب‌های سطحی و زیرزمینی و توسعه شکل‌های سطح زمین دارد. مقدار بالای این شاخص نشان‌دهنده شدت جریان آب‌های سطحی، نفوذ پایین و مقدار زیاد رواناب می‌باشد (رابطی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شگری و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص تراکم زهکشی (Dd)

شاخص تراکم زهکشی شاخصی ژئومورفولوژیکی می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده تاثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی فعال در منطقه باشد. شاخص تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه آبخیز به مساحت آن محاسبه می‌شود. که رابطه آن به صورت زیر می‌باشد:

$$D_d = L_u / A \quad (\text{رابطه ۳-۲})$$

که در آن:

(Dd) تراکم زهکشی،

L_u مجموع طول آبراهه به کیلومتر

و A مساحت حوضه زهکشی به کیلومتر می‌باشد. مقدار شاخص تراکم زهکشی در حوضه‌هایی که دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشند، بیش‌تر است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴). در شاخص تراکم زهکشی هر چه مقدار ضریب تراکم بالا باشد، نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی فعال و حساسیت بالای سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی موجود در حوضه‌های آبریز می‌باشد (کرمی و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان (Smf)

شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان منعکس‌کننده تعادل میان نیروهای فرسایش‌دهنده و تکتونیکی می‌باشد. به طور معمول سینوسیته پایین در یک جبهه کوهستانی مستقیم و صاف با یک گسل مرزی فعال مشاهده می‌شود. اگر بر اثر کاهش فعالیت‌های تکتونیکی منطقه تاثیر فرآیندهای فرسایشی بر روی جبهه کوهستان افزایش یابد، مقدار سینوسه افزایش خواهد یافت. شاخص سینوسیته جبهه کوهستان با استفاده از رابطه ۳-۳ به دست می‌آید:

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls} \quad (\text{رابطه ۳-۳-})$$

که در آن:

Lmf ، برابر با طول جبهه کوهستان در پای کوه (جایی که شیب تغییر می‌کند و یا می‌شکند)

Ls ، خط مستقیم بین دو نقطه در محل تغییر شیب

Smf ، شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان.

شاخص پیچ و خم کوهستان با فعالیت بالا معمولاً مقادیر کم‌تر از ۱/۵، با فعالیت متوسط مقادیر میان ۱/۵ تا ۳ و غیرفعال مقادیر بیش‌تر از ۳ را نشان می‌دهد (کالر و پرینتر، ۲۰۰۲؛ سهرابی و بیگی، ۱۳۹۵).

شاخص نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی

رابطه شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی به صورت زیر می‌باشد:

$$Iat = S/N \quad (\text{رابطه ۳-۴})$$

که در آن؛

S، مجموع کلاس‌های شاخص‌های برآورد شده و

N، تعداد شاخص‌های محاسبه شده می‌باشد. اگر $Iat < 1/5$ فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید، $1/5 < Iat < 2$ فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط و $Iat > 2/5$ فعالیت‌های زمین‌ساختی ناچیز می‌باشد (میلان و نعمتی، ۱۳۹۷). به این ترتیب شاخص محاسبه و پهنه‌بندی منطقه بر اساس آن «Iat» مورد نظر صورت گرفت. علاوه بر آن، چون تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی در چند حوضه و بر اساس تقسیم‌بندی زمین‌شناسی در زون‌های آستارا - نمین و آستارا - تالش قرار خواهد گرفت از میانگین اعداد به دست آمده در این نواحی برای مقایسه آن‌ها استفاده شد.

ارزیابی توان لرزه زایی گسل‌های منطقه

با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، گسل‌های منطقه شناسایی و مهم‌ترین آن‌ها روی زمینه تصویر ماهواره‌ای ترسیم شد. سپس، به بررسی ویژگی‌های لرزه‌خیزی منطقه پرداختیم و فهرست زمین‌لرزه‌ها در گسترش شعاع ۳۰۰ کیلومتری جمع‌آوری اطلاعات شده و در ادامه از توان لرزه‌ای گسل‌های فعال منطقه با استفاده از فرمول‌های زارع (۱۹۹۵) رابطه ۳-۵، اشجعی و نوروزی (۱۹۷۸) رابطه ۳-۶ و ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) رابطه ۳-۷ محاسبه شد (شایان و زارع، ۱۳۹۲).

$$Ms = \ln(L) * 0.91 + 3.6 \quad (\text{رابطه ۳-۵})$$

$$Ms = \log 154 \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

$$Ms = 5.16 + 1.12 \log L \quad (\text{رابطه ۳-۷})$$

برای شدت نسبی زلزله در کانون زلزله با استفاده از فرمول ریشتر - گوتنبرگ

$$\log = 1.7 ms - 2.8 \quad (\text{رابطه ۳-۱۰})$$

و Lo شدت نسبی زلزله بر حسب مقیاس مرکالی بر آورد شتاب ۴، سرعت ۵ و جابجایی ۶ از فرمول‌های تریفوناک و بریدی

$$\log All = -0.014 + 0.3 Lo \quad (\text{رابطه ۳-۱۱})$$

$$\log Av = -0.18 + 0.3 Lo$$

$$\log VI = 0.63 + 0.2510 \quad (\text{رابطه ۳-۱۲})$$

$$\log Vv = -1.1 + 0.2820$$

$$\log ph = -0.53 + 0.1920 \quad (\text{رابطه ۳-۱۳})$$

$$\log Dv = -1.13 + 0.24 Lo$$

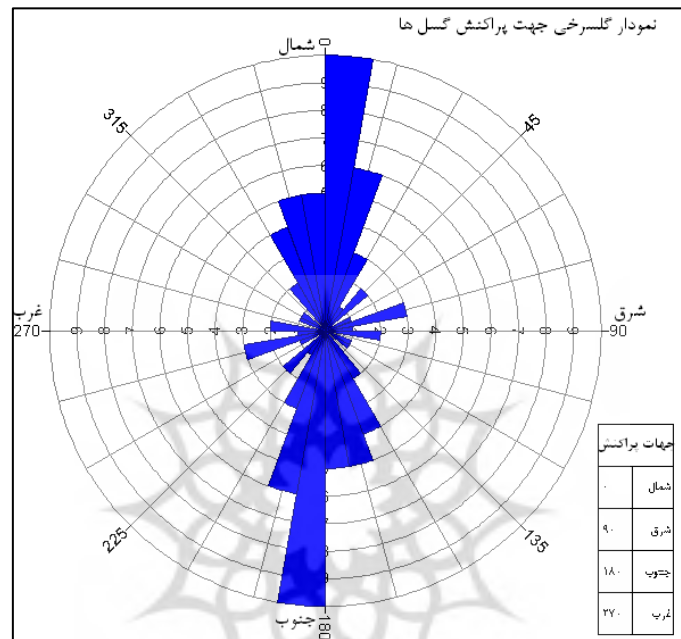
شناسایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی مرتبط با گسل

با توجه به اینکه یکی از پدیده‌هایی که بلافاصله بعد از لرزش زمین به مناطق لرزه خیز و ناپایدار رخ می‌دهد، وقوع انواع حرکات دامنه‌ای به ویژه زمین لغزش در این مناطق می‌باشد، لذا پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با توجه به عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه به تحلیل درستی از مناطق پایدار و ناپایدار متأثر از زلزله پرداخت. لذا،

در این پژوهش لایه‌های تاثیرگذار در فعالیت‌های ژئومورفولوژیکی در محدوده مورد مطالعه شناسایی و استخراج شد و در نهایت با استفاده از روش AHP نقشه نهایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی مرتبط با خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه تهیه و استخراج شد.

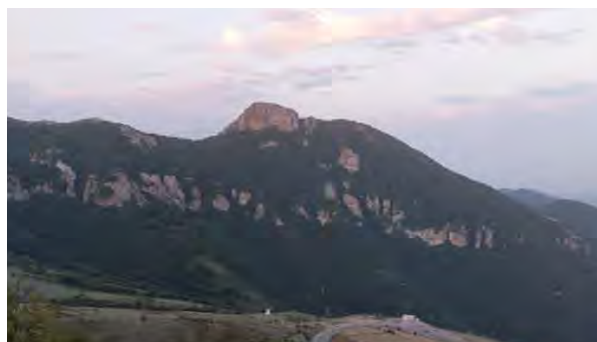
نتایج

بعد از شناسایی خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه نمودار گل‌سرخي آن با استفاده از نرم‌افزارهای Arc Map و Rockworks ترسیم شد (شکل ۲). با توجه به نتایج حاصل از دیاگرام، جهت غالب خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه در جهت شمالی-جنوبی می‌باشد.

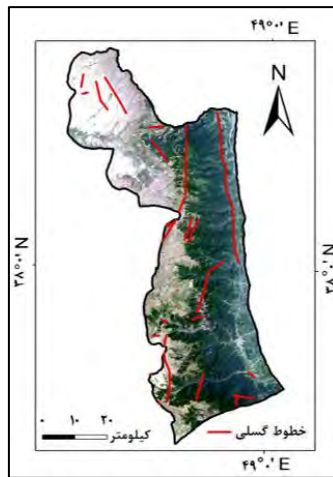


شکل ۲. دیاگرام گل‌سرخي خطواره‌های گسلي محدوده مورد مطالعه

به منظور سنجش صحت خطوط ثبت شده، بعد از استخراج خطوط به روش گفته‌شده در نرم‌افزار Arc GIS لایه kmz خطوط ایجاد شد و در محیط نرم‌افزار Google Earth مطابقت خطوط گسلي به عوارض زميني (غير مرتبط مانند مرز آبراهه‌ها و ...) مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. در نهایت خطوطی که به اشتباه رسم شده بودند حذف شد نتایج حاصل نشان‌دهنده این بود که گسل‌های موجود در منطقه منطبق بر ساختار زمین شناسی محدوده مورد مطالعه می‌باشد.



تصویر ۲. آینه گسل بعد از تونل شهرستان نمین



تصویر ۳. خطواره‌های گسلی استخراج شده از محدوده مورد مطالعه

در پژوهش حاضر با هدف طبقه‌بندی منطقه براساس شاخص زمین‌ساخت نسبی Iat، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برجستگی نسبی، تراکم زهکشی و ضریب شکل براساس مقادیری که دارا بودن برای حوضه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه طبقه‌بندی و اندازه‌گیری شدند. در نهایت، به ۴ طبقه فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شدند (جدول ۱). رده ۱ زمین‌ساختی فعال مقادیر بین ۱ تا ۱/۵ را شامل می‌شود که نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر ۱/۵ تا ۲ را شامل می‌شود که نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بالا، رده ۳ مقادیر بین ۲ تا ۲/۵ را شامل می‌شود که نشان‌دهنده فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ مقادیر بزرگ‌تر از ۲/۵ را شامل می‌شود که نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی کم می‌باشد.

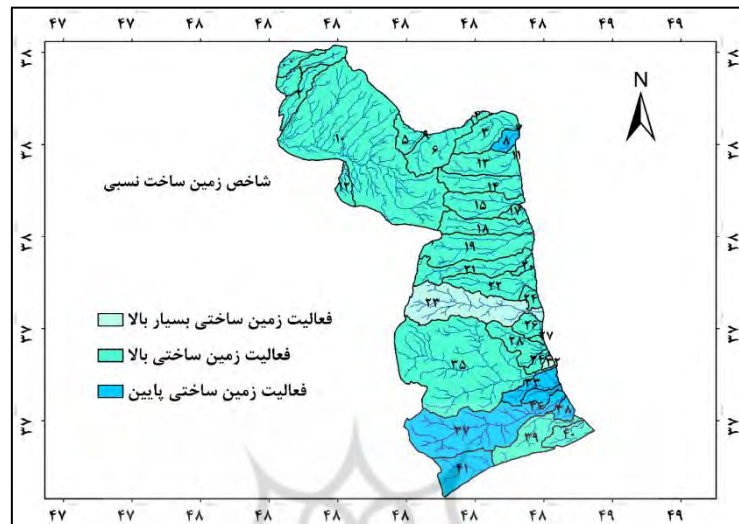
جدول ۱. مقادیر شاخص‌های ژئومورفولوژیکی اندازه‌گیری شده و سطح فعالیت زمین‌ساختی در محدوده مورد

مطالعه

Iat	شاخص جبهه کوهستان	شاخص تراکم زهکشی	شاخص برجستگی نسبی	شماره زیر حوضه
۲/۳۵۲	۳/۷۲۰	۰/۲۹۵	۹۷	زیر حوضه ۱
۲/۳۱۱	۳/۹۸۷	۰/۲۹۸	۶۰۰	زیر حوضه ۲
۱/۷۵۵	۱/۸۷۶	۰/۳۲۳	۱۹۹	زیر حوضه ۳
۲/۳۴۰	۱/۳۴۵	۰/۱۰۹	۲۲	زیر حوضه ۴
۲/۳۵۲	۴	۲/۲۰۴	۲۴۴	زیر حوضه ۵
۲/۳۵۰	۳/۹۸۷	۰/۴۲۰	۲۷۲	زیر حوضه ۶
۱/۷۲۱	۴/۷۶۶	۰/۳۳۴	۶۸۷	زیر حوضه ۷
۲/۳۴۳	۲/۵۴۳	۰/۰۳۸	۱۱۰۱	زیر حوضه ۸
۲/۳۶۵	۲/۲۱۳	۰/۳۲۳	۲۹۵	زیر حوضه ۹
۲/۷۴۳	۲/۵۴۳	۰/۳۵۴	۷۰۰	زیر حوضه ۱۱
۲	۱/۴۳۲	۰/۳۰۳	۱۶۷۵	زیر حوضه ۱۲
۲/۳۰۹	۳/۰۹۸	۰/۳۳۲	۱۴۹۰	زیر حوضه ۱۳
۱/۶۴۳	۳/۵۶۷	۰/۴۲۳	۱۱۲۹	زیر حوضه ۱۴
۲/۴۰۵	۳/۶۵۴	۰/۲۱۲	۲۷۱	زیر حوضه ۱۵
۲/۵۴۳	۳/۸۷۶	۴/۸۰۱	۱۳۱۸	زیر حوضه ۱۶

۱/۹۵۵	۱/۱۳۴	۰/۹۳۵	۲۱۲	زیرحوضه ۱۷
۱/۶۷۰	۱/۲۳۴	۴/۷۴	۱۸۹۴	زیرحوضه ۱۸
۲/۳۱۲	۲/۴۳۶	۰/۷۱۲	۸۶۰	زیرحوضه ۱۹
۱/۷۶۳	۳/۱۳۴	۳/۶۹۷	۲۱۰۵	زیرحوضه ۲۰
۲/۳۴۶	۲/۵۶۷	۰/۶۳۱	۴۸۸	زیرحوضه ۲۱
۱/۷	۳/۵۴۳	۴/۳۹۲	۲۳۱۵	زیرحوضه ۲۲
۱/۵	۴/۷۶۵	۱/۱۴۱	۷۶۱	زیرحوضه ۲۳
۲/۴۲	۳/۵۶۴	۴/۰۲۲	۴۴۲	زیرحوضه ۲۴
۱/۹۸۷	۴/۳۳۲	۰/۷۹۱	۲۸۱۰	زیرحوضه ۲۵
۱/۶۵۷	۲/۳۴۲	۰/۳۳۱	۱۰۴۷	زیرحوضه ۲۶
۱/۶۵۹	۲/۷۶۵	۵/۴۵۳	۳۰۶۲	زیرحوضه ۲۷
۲/۳۴۸	۲/۶۵۴	۰/۶۴۴	۸۱۶	زیرحوضه ۲۸
۱/۷۱۲	۲/۸۷۶	۵/۱۲۱	۴۱۶	زیرحوضه ۲۹
۱/۶۳۹	۲/۴۳۲	۰/۴۳۳	۲۴۳۸	زیرحوضه ۳۰
۲/۹۸۲	۱/۴۳۲	۰/۸۱۰	۵۷۱	زیرحوضه ۳۱
۱/۲۹۰	۴/۳۲۳	۴/۳۴۳	۴۴۰	زیرحوضه ۳۲
۲/۹۷۸	۱/۵۴۶	۰/۱۵۱	۴۹۴	زیرحوضه ۳۳
۲/۳۲۱	۱/۴۳۶	۰/۲۳۶	۳۶۳	زیرحوضه ۳۴
۲/۳۴۶	۳/۶۵۰	۰/۳۸۸	۳۱۷۹	زیرحوضه ۳۵
۲/۸۷۶	۲/۴۵۶	۰/۱۲۳	۶۷۹	زیرحوضه ۳۶
۲/۵۴۲	۱/۴۲۹	۲/۵۵۰	۱۶۶۰	زیرحوضه ۳۷
۲/۸۹۹	۱/۱۲۳	۰/۸۵۱	۳۲۲۰	زیرحوضه ۳۸
۲/۲۳۶	۱/۸۷۶	۳/۶۳۲	۳۱۴	زیرحوضه ۳۹
۲/۱۲۳	۱/۴۳۶	۵/۲۸۰	۳۵	زیرحوضه ۴۰
۲/۶۵۴	۱/۸۷۶	۱/۸۳۲	۱۰۸۱	زیرحوضه ۴۱
۲/۸۹۷	۱/۷۶۵	۰/۴۳۴	۵۲۷	زیرحوضه ۴۲
۱/۸۷۹	۲/۵۴۲	۳/۴۲۴	۲۸۶۶	زیرحوضه ۴۳
۲/۴۷۰	۴/۴۳۶	۰/۱۹۹	۱۰۵	زیرحوضه ۴۴
۲/۹۸۷	۴/۴۳۲	۴/۰۳۲	۱۶۴۳	زیرحوضه ۴۵
۲/۴۲۰	۳/۲۳۴	۱	۵۴۰	زیرحوضه ۴۶
۱/۸۹۷	۳/۶۴۲	۳/۴۲۱	۴۳	زیرحوضه ۴۷
۲/۳۷۶	۲/۴۳۲	۱/۱۵۴	۸۷۶	زیرحوضه ۴۸
۲/۹۸۷	۲/۸۷۶	۰/۵۱۲	۱۰۰۶	زیرحوضه ۴۹
۲/۴۵۶	۲/۷۶۸	۱/۲۳۲	۹۶۸	زیرحوضه ۵۰
۳/۵۶۴	۳/۱۲۵	۰/۱۳۴	۵۷۲	زیرحوضه ۵۱
۲/۴۹۸	۲/۳۶۵	۰/۱۶۵	۴۳	زیرحوضه ۵۲
۲/۱۷۸	۳/۵۴۳	۰/۹۹۷	۲۴	زیرحوضه ۵۳
۲/۴۸۹	۲/۶۵۴	۰/۲۹۷	۸۴۰	زیرحوضه ۵۴

علاوه بر این، بعد از رده‌بندی محدوده مورد مطالعه براساس شاخص زمین‌ساخت نسبی Iat، نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی در محدوده مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۴). نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی شاخص فعال زمین‌ساخت نسبی نشان‌دهنده این بود که زیرحوزه‌های ۲۳ و ۳۲ دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار بالا می‌باشند که ۷ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه را شامل می‌شود. همچنین، ۹۲ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا می‌باشند.



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی حساسیت فعالیت‌های زمین‌ساختی در محدوده مورد مطالعه

با توجه به نتایج حاصل از شکل (۴) و جدول (۱) بیش‌تر حوضه‌های موجود (۹۹ درصد) در محدوده مورد مطالعه دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار بالا و بالا می‌باشند.

ارزیابی توان لرزه‌زایی گسل‌های منطقه

در این پژوهش تعداد ۱۶ خطواره گسلی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد و مقادیر توان لرزه‌زایی برای هر کدام از آن‌ها طبق روابط بالا محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲. مقادیر توان لرزه‌ای محاسبه‌شده برای خطواره‌های گسلی موجود در محدوده مورد مطالعه

گسل	نام گسل	طول گسل (متر)	ولز و کوبر اسمیت	نوروزی و اشجعی	زارع	متوسط
۱	فرعی	۸۸۸	۷/۰۲۲	۶/۷۶۱	۹/۱۲۳	۷/۶۲۸
۲	هیر (اصلی)	۱۲۶۵۲	۵/۸۳۴	۵/۷۰۱	۷/۰۹۴	۶/۲۰۹
۳	فرعی	۲۷۳۷	۶/۳۶۸	۶/۱۷۸	۸/۰۱	۶/۸۵۲
۴	فرعی	۳۹۵۷	۵/۶۹۴	۵/۵۷۶	۵/۶۶۹	۵/۶۴۶
۵	فرعی	۶۹۳۰	۵/۱۶	۵/۰۹۸	۴/۸۰۷	۵/۰۴۲
۶	فرعی	۷۸۳۹	۵/۴۹۷	۵/۴۰۰	۳/۶۶	۴/۸۵۲
۷	فرعی	۴۱۱۷	۶/۴۴۳	۶/۲۴۵	۵/۳۰۱	۵/۹۹۶
۸	آستارا (اصلی)	۴۷۶۸۰	۶/۱۷۱	۶/۰۰۲	۸/۵۲۹	۶/۹۰۰
۹	نئور (اصلی)	۶۱۷۶۱۸	۶/۰۳۱	۵/۸۷۷	۹/۱۰۳	۷/۰۰۴
۱۰	فرعی	۲۶۳۶	۵/۴۹۷	۵/۴۰۰	۳/۶۶۰	۴/۸۵۲
۱۱	فرعی	۳۳۹۳	۵/۱۶۰	۵/۰۹۸	۲/۴۳	۴/۲۲۹

۴/۶۷۲	۳/۷۰۶	۵/۰۹۸	۵/۱۶۰	۱۹۲۸	فرعی	۱۲
۶/۲۰۹	۷/۰۹۴	۵/۷۰۱	۵/۸۳۴	۱۸۰۴	هیر (اصلی)	۱۳
۷/۳۰۶	۹/۸۶۷	۵/۹۴۴	۶/۱۰۶	۸۰۰۸	فرعی	۱۴
۷/۳۰۶	۹/۸۶۷	۵/۹۴۴	۶/۱۰۶	۲۴۷۶	فرعی	۱۵
۷/۳۰۶	۹/۸۶۷	۵/۹۴۴	۶/۱۰۶	۶۳۵۳	فرعی	۱۶
۴/۸۵۲	۳/۶۶۰	۵/۴۰۰	۵/۴۹۷	۲۶۴۴۰	سنگور (اصلی)	۱۷
۴/۷۹۳	۴/۱۲۳	۵/۰۹۸	۵/۱۶	۳۳۱۷	فرعی	۱۸
۶/۸۲۲	۷/۵۴۷	۶/۳۵۴	۶/۶۵۶	۹۵۶۲	فرعی	۱۹
۴/۷۸۲	۴/۰۹۱	۵/۰۹۸	۵/۱۶	۳۸۱۴	فرعی	۲۰
۵/۶۴۶	۵/۶۶۹	۵/۵۷۶	۵/۶۹۴	۱۶۰۶	فرعی	۲۱
۷/۱۷۸	۸/۲۰۰	۶/۱۷۸	۶/۳۶۸	۱۲۰۳	فرعی	۲۲
۶/۲۰۹	۷/۰۹۴	۵/۷۰۱	۵/۸۳۴	۴۰۳۲	فرعی	۲۳
۶/۶۴۷	۸/۲۰۰	۵/۷۹۷	۵/۹۴۲	۱۰۹۸	فرعی	۲۴
۵/۶۴۶	۵/۶۶۹	۵/۵۷۶	۵/۶۹۴	۳۰۸۷	فرعی	۲۵
-	۶/۵۱۷	۵/۷۱۰	۵/۸۴۴		متوسط	

علاوه براین، جهت تحلیل و تعیین میزان خطر زمین لرزه روش تحلیل فضایی مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، از روش پیشنهادی بربریان و همکاران در تحلیل فضایی استفاده شد. مراحل این روش به این صورت می-باشد که ابتدا گسل‌های با طول بیش‌تر از ۱۰ کیلومتر شناسایی می‌شوند. سپس، گسل‌های دارای طول بین ۵ تا ۱۰ کیلومتر مشخص شده به گسل‌های دسته اول اضافه می‌شوند و عملیات حریم‌گذاری براساس فواصل زیر اعمال می-شود. در این روش محدوده‌های خطر در ۴ ناحیه قرار می‌گیرند:

۱- با فاصله ۱۰۰۰ متری اطراف گسل با عنوان پهنه حریم گسل

۲- با فاصله ۳۰۰۰ متری اطراف گسل با پهنه ویرانی شدید

۳- با فاصله ۷۰۰۰ متری اطراف گسل با عنوان پهنه تکان شدید یا ویرانی گسترده

۴- با فاصله ۱۰۰۰۰۰ متری گسل با عنوان پهنه حرکات تند با خسارت زیاد (شایان و همکاران، ۱۳۹۲). سپس، نقشه استخراج شده با نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه منطبق شد تا میزان قرارگیری سکونتگاه‌های انسانی در پهنه‌های خطری خطواره‌های گسلی مشخص شود. علاوه براین، اطلاعات جمعیتی محدوده‌های مورد مطالعه از درگاه ملی آمار ایران جهت تجزیه و تحلیل خطر زمین لرزه دریافت شد. براساس نتایج حاصل از نقشه همپوشانی، بیش‌تر مناطق مسکونی در محدوده مورد مطالعه در فاصله ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری قرار گرفته است. شهرهای آستارا، لوندیل و حویق از استان گیلان و شهرهای نمین و عنبران از استان اردبیل در فاصله ۳۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی قرار دارند و گسل‌های آستارا و نئور نزدیک‌ترین گسل‌های اصلی به این شهرها می‌باشد. هم‌چنین، شهرهای لیسار و اسالم در استان گیلان در فاصله ۱۰۰۰۰ متری از خطوط گسلی قرار دارند. هم‌چنین، شهرهای آبی‌بیگلو استان اردبیل و شهر هشتر استان گیلان در فاصله بیش از ۱۰۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه قرار گرفتند و احتمال خطر و میزان آسیب‌پذیری در این مراکز سکونتگاهی کم‌تر از سایر شهرهای موجود در

محدوده مورد مطالعه می‌باشد. علاوه بر این، آسیب‌پذیری و میزان حساسیت سازندها در برابر زمین‌لرزه بررسی و تحلیل شد. برای این منظور، تراکم طول گسلش در سازندها با توجه به مساحت هر سازند و به درصد بیان شد. تحلیل بدین صورت می‌باشد که هر چه میزان گسلش در یک سازند بیش‌تر باشد مقاومت آن کم‌تر می‌شود و برعکس. نتایج حاصل از ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری سازندها در برابر زمین‌لرزه در جدول ۳ آمده است. براساس نتایج حاصل از تحلیل آسیب‌پذیری سازندها؛ سازند تریاسی و ژوراسی با نوع لیتولوژی شیل خاکستری و تیره و ماسه سنگ دارای بیش‌ترین درصد گسلش (۰/۲۰) م کم‌ترین مقاومت در برابر لرزه‌زایی می‌باشد. همچنین، سازندهای نوع آئوسن اولیه، پره کاپرین، کرتاسه و کواترنر به ترتیب با پوشش گسلی ۰/۰۶۲، ۰/۰۴۲، ۰/۰۳۳ و ۰/۰۲۲ و با نوع لیتولوژی شیلی، سیلتی، ماسه سنگ، مارن، آهکی؛ گرانیتی پره کامپرین؛ رسوبات آتشفشانی آندزیک؛ تراورتن و کنگلومرا و ماسه سنگ در رتبه‌های بعدی بیش‌ترین درصد گسترش گسلش و کم‌ترین مقاومت سازندها در مقابل زمین‌لرزه قرار دارند. بعد از تحلیل آسیب‌پذیری سازندها نقشه همپوشانی پهنه‌های خطر با مناطق مسکونی محاسبه شد.

جدول ۳. تحلیل آسیب‌پذیری انواع سازندها و لیتولوژی در محدوده مورد مطالعه براساس درصد پوشش

گسلش				
نوع سازند	لیتولوژی	کل مساحت (متر مربع)	مساحت پوشش گسلش (متر مربع)	درصد پوشش
سینوزوئیک	آتشفشانی آندزیک	۷۸۶۷۳۳۲۳۷	۶۱۴۰۸	۰/۰۰۷۸
کواترنری	کنگلومرا و ماسه سنگ	۲۸۶۱۲۶۹۹	۴۶۵۱	۰/۰۱۶
آئوسن اولیه	شیل، سیلتی، ماسه سنگ، مارن و آهکی	۲۵۰۱۹۹۷	۱۵۵۹	۰/۰۶۲
کرتاسه	رسوبات آتشفشانی آندزیک	۸۶۵۹۳۰۴۲۴	۲۸۷۳	۰/۰۳۳
کرتاسه	سنگ‌های کرتاسه	۳۴۰۴۴۸۳۸۵	۳۶۹۵	۰/۰۱۱
پره کامپرین	گرانیت پره کامپرین	۱۰۵۹۸۰۶۶	۴۴۴۷	۰/۰۴۲
کواترنری	تراورتن	۲۰۰۶۶۰۱۱۴	۴۳۱۵۹	۰/۰۲۲
پره کامپرین	سنگ‌های دگرگونی	۲۲۶۳۸۰۸۴	۱۳۴۶	۰/۰۰۵۹
ژوراسی و کرتاسه	سنگ آهک خاکستری و روشن (سازند لار)	۴۵۹۲۷۳۶۹	۵۶۹۵	۰/۰۱۲
تریاسی و ژوراسی	شیل خاکستری تیره و ماسه سنگ (سازند شمشک)	۲۵۰۱۹۹۷۵	۵۰۵۵	۰/۲۰
پلیوسن	کنگلومرای پلی میکتیک و ماسه سنگ	۶۶۲۱۴۹۴۲	۳۶۲	۰/۰۰۵۵
پلیوسن و کواترنری	کنگلومرا و ماسه سنگ	۸۴۵۸۵۷۰۰	۱۸۷۷	۰/۰۲۲

با توجه به محاسبات انجام شده در این پژوهش و براساس معادلات ولز و کوپراسمیت، نوروژی و اشجعی و زراع گسل‌های موجود در محدوده به طور متوسط به ترتیب توان ایجاد زمین‌لرزه‌ای برابر با ۶/۵۱۷، ۵/۷۱۰ و ۵/۸۴۴ ریشتر را دارند. براساس نتایج حاصل از محاسبه توان لرزه‌زایی با استفاده از معادلات ولز و کوپراسمیت، نوروژی و اشجعی و زراع؛ گسل‌های آستارا، هیر، نئور و سنگور به ترتیب توان لرزه‌زایی برابر با ۶/۰۳۱، ۵/۸۷۷، ۵/۱۰۳؛ ۵/۸۳۴، ۵/۷۰۱، ۷/۰۹۴؛ ۶/۰۳۱، ۵/۸۷۷، ۹/۱۰۳ و ۵/۴۹۷، ۵/۴۰۰ و ۳/۶۶۰ ریشتر را دارند. درکل، در بررسی مقادیر

متوسط حاصل از سه روش تجربی برای هر گسل مشخص شد که گسل‌های آستارا، هیر، نور و سنگور به طور متوسط به ترتیب قابلیت ایجاد زلزله‌هایی با شدت ۶/۹، ۶/۲۰۹، ۷/۰۰۴ و ۴/۸۵۲ ریشتر را دارند.

شناسایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی مرتبط با گسل

با توجه به هدف مطالعه حاضر مبتنی بر پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیکی مرتبط با خطوط گسلی، لایه‌های رقومی هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، همبارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، مقاومت سازندها و لیتولوژی استخراج شد. ر این مطالعه ابتدا عوامل تاثیرگذار بر مخاطرات ژئومورفولوژیکی در محدوده مورد مطالعه شناسی شد. سپس، جهت ارزیابی میزان اهمیت هر یک از عوامل، پرسشنامه‌ای طراحی گردید تا با استفاده از روش AHP (والکانو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹) و با اخذ نظرات متخصصان و کارشناسان مربوط در این زمینه بتوانیم به هدف مورد نظرمان دست یابیم. بعد از دریافت نظرات کارشناسان با استفاده از روش منطبق فازی به ارزش‌گذاری هر یک از عوامل شناسایی شده و تعیین ضرایب آن‌ها براساس اهمیت هر یک از عوامل از نظر کارشناسان پرداخته شد. بعد از به دست آوردن ضرایب مورد نظر (جدول ۶) برای هر لایه، این ضرایب بر هر لایه اطلاعاتی مورد نظر اعمال شد. سپس، براساس نتایج آن، ارزیابی مکانی با استفاده از نرم‌افزار ArcMap (هان^۲ و همکاران، ۲۰۱۹) انجام گرفت و پهنه‌های مخاطره‌آمیز زمین‌لرزه (شکل ۵)، زمین‌لغزش (شکل ۶)، فرسایش (شکل ۷) و سیلاب (شکل ۸) در محدوده مورد مطالعه استخراج شد.

جدول ۴. سوپر ماتریس وزنی محدوده مورد مطالعه در رخداد مخاطرات ژئومورفولوژیکی

مخاطره	عامل	گسل	لرزه-	زمین‌لرزه			حرکات دامنه‌ای			سیلاب		فرسایش	
				مقاومت	شیب	جهت	بارش	آبراهه	توپوگرافی	کاربری	زمین-شناسی		
زمین‌لرزه	گسل	۰	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۰۹		
	لرزه‌خیزی	۰/۱۸	۰	۰/۲۰	۰/۲	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۲	۰/۱۹		
	مقاومت سازندها	۰/۲۰	۰/۱۹	۰	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱	۰/۱۲		
حرکات دامنه‌ای	شیب	۰/۲۷	۰/۱	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۲۸		
	جهت شیب	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۰۴۵	۰/۱۹	۰	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۲۴		
سیلاب	بارش	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۳۳	۰	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱۷		
	آبراهه	۰/۱	۰/۲	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱	۰/۱۱		
فرسایش	توپوگرافی	۰/۲	۰/۱	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۲		
	کاربری اراضی	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۳	۰	۰/۰۹		
	زمین‌شناسی	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۲۴	۰		

جدول ۵. سوپر ماتریس حد منطقه مورد مطالعه در وقوع مخاطرات ژئومورفولوژیکی

مخاطره	عامل	گسل	لرزه-	زمین‌لرزه			حرکات دامنه‌ای			سیلاب		فرسایش	
				مقاومت	شیب	جهت	بارش	آبراهه	توپوگرافی	کاربری	زمین-شناسی		

^۱- Valkanou

^۲- Han

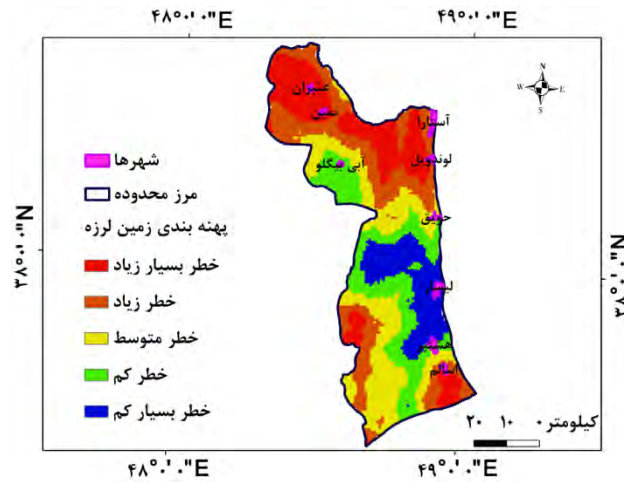
زمین‌لرزه	گسل	خیزی		سازندها		شیب		اراضی		شناسی
		۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	
لرزه‌خیزی	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۱
مقاومت سازندها	۰/۱۵	۰/۲۰	۰	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۴
حرکات	شیب	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۱
دامنه‌ای	جهت شیب	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۲
سیلاب	بارش	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۱
	آبراهه	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۲
	توپوگرافی	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۷
	کاربری	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۳
فرسایش	اراضی									
زمین‌شناسی		۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۶

جدول ۶. مقادیر وزن نهایی مربوط به عوامل موثر در پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در محدوده مورد

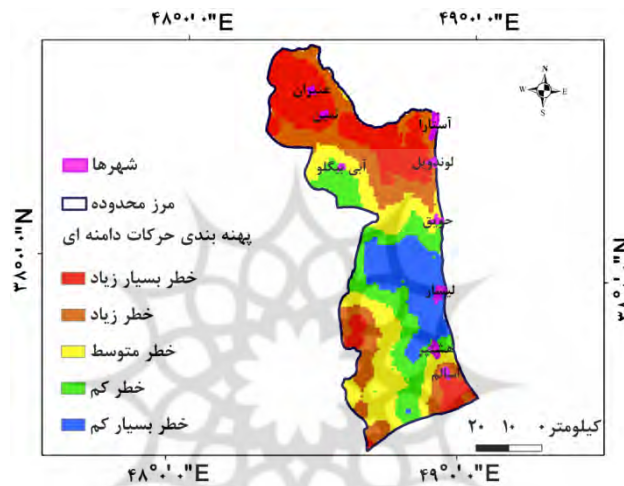
مطالعه

وزن/لایه	شیب	جهت شیب	همبارش	ارتفاعی	فاصله از گسل	کاربری اراضی	فاصله از آبراهه	مقاومت سازندها
زمین‌لرزه	۰/۰۹۹	۰/۰۶۸	۰/۲۳۴	۰/۰۹۶	۰/۱۸۹	۰/۱۰۴	۰/۰۸۷	۰/۱۲۳
حرکات دامنه‌ای	۰/۱۵۸	۰/۰۹۲	۰/۰۹۳	۰/۱۳۳	۰/۱۵۴	۰/۱۴۶	۰/۰۹۶	۰/۱۶۰
سیلاب	۰/۰۸۵	۰/۰۸۷	۰/۱۳۳	۰/۰۷۸	۰/۰۷۶	۰/۱۳۲	۰/۱۲۳	۰/۰۹۸
فرسایش	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۱۳۸	۰/۰۸۹	۰/۰۸۳	۰/۱۴۵	۰/۱۴۲	۰/۲۳۵

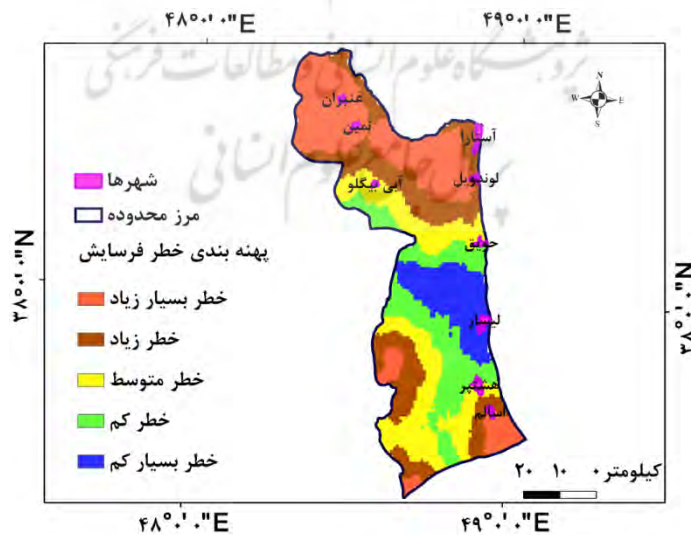
براساس نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه (شکل ۵) شهرهای نمین، عنبران، لوندویل و اسالم در پهنه خطر بسیار زیاد زمین‌لرزه قرار دارد. هم‌چنین، شهر آستارا در پهنه خطر زمین‌لرزه زیاد قرار گرفته است. علاوه بر این، شهر حویق در پهنه خطر متوسط و شهرهای هشتیر و آبی‌بیگلو در پهنه خطر بسیار کم قرار گرفته است. نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای (شکل ۶)، شهرهای نمین، عنبران، لوندویل و اسالم در پهنه‌بندی خطر بسیار زیاد قرار گرفته است. هم‌چنین، شهر آستارا در پهنه خطر زیاد حرکات دامنه‌ای و شهرهای هشتیر، حویق و آبی‌بیگلو در پهنه خطر متوسط حرکات دامنه‌ای قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر فرسایش (شکل ۷) شهرهای اسالم، لوندویل، عنبران و نمین در پهنه‌های خطر بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، شهر آستارا در پهنه خطر زیاد قرار گرفته است. هم‌چنین، شهر آبی‌بیگلو در پهنه خطر متوسط و شهرهای حویق و هشتیر در پهنه‌های خطر کم قرار گرفته‌اند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب (شکل ۸) در محدوده مورد مطالعه شهرهای نمین و عنبران در پهنه خطر بسیار زیاد، شهرهای آستارا، لوندویل و اسالم در پهنه خطر زیاد و شهرهای هشتیر، آبی‌بیگلو، هشتیر و حویق در پهنه خطر متوسط قرار گرفته‌اند.



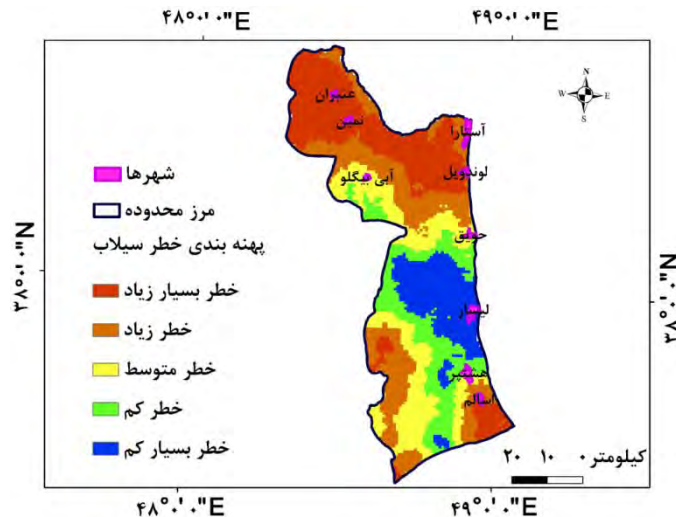
شکل (۵) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در محدوده مورد مطالعه



شکل (۶) نقشه پهنه‌های خطر زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه



شکل (۷) نقشه پهنه‌های خطر فرسایش در محدوده مورد مطالعه



شکل (۸) نقشه پهنه‌های خطر سیلاب در محدوده مورد مطالعه

بعد از پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه، همپوشانی لایه‌های خطر زمین‌لغزش، زمین‌لرزه و مناطق مسکونی در محیط نرم‌افزار Arc GIS انجام شد و میزان حساسیت مناطق مسکونی به خطر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه براساس مساحت و درصد آن محاسبه و تجزیه و تحلیل شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل حساسیت مناطق مسکونی به خطر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه به ترتیب در جداول ۵ و ۶ آمده است. براساس نتایج حاصل از همپوشانی لایه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، زمین‌لرزه و مناطق مسکونی؛ ۲۵/۹۸ و ۷۴/۰۲ درصد از مساحت شهر هشتر در محدوده خطر متوسط و کم زمین‌لغزش و ۱۱/۶۴، ۷۵/۴۴ و ۱۲/۹۰ درصد از مساحت آن در محدوده خطر متوسط، کم و خیلی کم خطر زمین‌لرزه قرار دارد. ۱۰۰ درصد از مساحت شهر نمین در محدوده خطر بسیار زیاد زمین‌لغزش و زمین‌لرزه قرار دارد. در تحلیل حساسیت خطر شهر لیسار؛ ۱۰۰ درصد از مساحت این شهر در محدوده خطر بسیار کم زمین‌لغزش و زمین‌لرزه قرار دارد. ۳۴/۵۴ و ۶۵/۴۵ درصد از مساحت شهر لوندیل در محدوده خطر بسیار زیاد و زیاد زمین‌لغزش و ۲۶/۶۷ و ۷۳/۳۲ درصد از مساحت آن در محدوده خطر بسیار زیاد و زیاد زمین‌لرزه قرار دارد. علاوه بر این، ۲/۹۲، ۶۷/۳۸ و ۲۹/۷۰ درصد از مساحت شهر حویق در محدوده خطر بسیار زیاد، متوسط و کم زمین‌لغزش و ۷۸/۹۷ و ۱۸/۲۴ درصد از مساحت آن در محدوده خطر بسیار زیاد و کم زمین‌لغزش قرار دارد. بررسی حساسیت شهر آستارا به خطر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه؛ ۱۲/۴۹، ۴۳ و ۴۴/۵۱ درصد از مساحت آن در محدوده خطر بسیار زیاد، زیاد و متوسط زمین‌لغزش و ۱۱/۷۴ و ۵۳/۴۲ درصد از مساحت آن در محدوده خطر بسیار زیاد و متوسط زمین‌لرزه قرار دارد. ۱/۱۱ و ۹۸/۸۹ درصد از مساحت شهر آبی‌بیگلو در محدوده خطر متوسط و کم زمین‌لغزش و ۱۰۰ درصد آن در محدوده خطر کم زمین‌لرزه قرار دارد. هم‌چنین، ۴۰/۴۰ و ۵۹/۶۰ درصد از مساحت شهر اسالم در محدوده خطر بسیار زیاد و زیاد زمین‌لغزش و ۲۹/۵۹ و ۷۰/۴۱ درصد از مساحت آن در محدوده خطر بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته است.

جدول ۳. حساسیت مناطق مسکونی در محدوده مورد مطالعه به خطر وقوع زمین‌لغزش

نام شهر / خطر	کل مساحت (متر مربع)	خطر بسیار زیاد	خطر زیاد	خطر متوسط	خطر کم	خطر بسیار کم
هشتر	۷۱۴۶۳۱۸	-	-	۱۸۵۶۶۲۹	۵۲۸۹۶۸۹	-

-	۷۴/۰۲	۲۵/۹۸	-	-	۱۰۰	درصد
-	-	-	-	۲۵۹۸۶۷۵	۲۵۹۸۶۷۵	نمین
-	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰	درصد
۷۴۴۵۴۹۵	-	-	-	-	۷۴۴۵۴۹۵	لیسار
۱۰۰	-	-	-	-	۱۰۰	درصد
-	-	-	۲۴۲۰۵۸۴	۱۲۷۷۵۰۶	۳۶۹۸۰۹۰	لوندیل
-	-	-	۶۵/۴۵	۳۴/۵۴	۱۰۰	درصد
-	-	-	-	۲۴۴۴۷۳۵	۲۴۴۴۷۳۵	عنبران
-	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰	درصد
-	۱۲۷۰۹۷۸	۲۸۱۲۹۲۴	-	۱۲۴۷۷۰	۴۲۷۸۶۷۳	حویق
-	۲۹/۷۰	۶۷/۳۸	-	۲/۹۲	۱۰۰	درصد
-	-	۳۹۳۲۵۳۹	۳۷۹۸۶۴۸	۱۱۰۳۲۰۴	۸۸۳۴۳۹۳	آستارا
-	-	۴۴/۵۱	۴۳	۱۲/۴۹	۱۰۰	درصد
-	۱۹۲۱۳۰۵	۲۱۶۲۴	-	-	۱۹۴۲۹۲۹	آبی بیگلو
-	۹۸/۸۹	۱/۱۱	-	-	۱۰۰	درصد
-	-	-	۲۳۱۴۱۰۲	۱۵۶۸۶۶۹	۳۸۸۲۷۷۲	اسالم
-	-	-	۵۹/۶۰	۴۰/۴۰	۱۰۰	درصد

جدول ۸. حساسیت مناطق مسکونی در محدوده مورد مطالعه به خطر وقوع زمین لرزه

نام شهر / خطر	کل مساحت (متر مربع)	خطر بسیار زیاد	خطر زیاد	خطر متوسط	خطر کم	خطر بسیار کم
هشتپر	۷۱۴۶۳۱۸	-	-	۸۳۱۷۴۵	۵۳۹۲۳۲۴	۹۲۲۲۴۸
درصد	۱۰۰	-	-	۱۱/۶۴	۷۵/۴۶	۱۲/۹۰
نمین	۲۵۹۸۶۷۵	۲۵۹۸۶۷۵	-	-	-	-
درصد	۱۰۰	۱۰۰	-	-	-	-
لیسار	۷۴۴۵۴۹۵	-	-	-	-	۷۴۴۵۴۹۵
درصد	۱۰۰	-	-	-	-	۱۰۰
لوندیل	۳۶۹۸۰۹۰	۹۸۶۴۳۰	۲۷۱۱۶۶۰	-	-	-
درصد	۱۰۰	۲۶/۶۷	۷۳/۳۲	-	-	-
عنبران	۲۴۴۴۷۳۵	۲۴۴۴۷۳۵	-	-	-	-
درصد	۱۰۰	۱۰۰	-	-	-	-
حویق	۴۲۷۸۶۷۳	۱۱۹۰۷۱	-	۳۳۷۸۹۰۰	۷۸۰۷۰۲	-
درصد	۱۰۰	۲/۷۸	-	۸۷/۹۷	۱۸/۲۴	-
آستارا	۸۸۳۴۳۹۳	۱۰۳۷۵۴۴	-	۴۷۱۹۳۸۲	-	-
درصد	۱۰۰	۱۱/۷۴	-	۵۳/۴۲	-	-
آبی بیگلو	۱۹۴۲۹۲۹	-	-	-	۱۹۴۲۹۲۹	-
درصد	۱۰۰	-	-	-	۱۰۰	-
اسالم	۳۸۸۲۷۷۲	۱۱۴۸۹۱۱	۲۷۳۳۸۶۰	-	-	-
درصد	۱۰۰	۲۹/۵۹	۷۰/۴۱	-	-	-

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

مهم‌ترین عامل تکامل ساختاری البرز وجود گسل‌های رانده و معکوسی می‌باشد که در امتداد این رشته کوه قرار گرفته‌اند. گسل آستارا یکی از مهم‌ترین گسل‌های آن می‌باشد. این گسل یکی از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی شمال‌غرب کشور می‌باشد که وقوع زلزله‌های تاریخی مخرب بر اهمیت آن افزوده است. در همین راستا، در این مطالعه فعالیت‌های گسل‌های اصلی و فرعی موجود در این محدوده و مخاطرات ژئومورفولوژیکی ناشی از آن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در مطالعه حاضر، براساس تحلیل‌های صورت‌گرفته با سنجش از دور ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی و اجرای پردازش‌هایی مانند تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، ترکیبات بانندی، هیلشید و فیلترگذاری تصاویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده ساختارهای خطی مشخصی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. در همین راستا، ۲۸ خطواره گسلی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد. وجود خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه نشان‌دهنده فعالیت‌های زمین‌ساختی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. در واقع خطوط گسلی مستخرج شده از تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده گسل‌های مختلف به خصوص در قسمت‌های شمال‌شرقی، شمال‌غربی و غرب و جنوب‌شرق محدوده مورد مطالعه می‌باشد. یمانی و علیزاده (۱۳۹۵) نیز در بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی حوضه آبخیز کرج با استفاده از تصویر ماهواره‌ای و شاخص‌های ژئومورفولوژیکی به نتایجی مشابه دست یافتند. هم‌چنین، براساس نتایج از مطالعه از بین روش‌های مورد استفاده در شناسایی گسل‌های محدوده مورد مطالعه روش‌های اجرای فیلترهای جهتی، تحلیل مولفه‌های اصلی و هیلشید تاثیر زیادی در شناسایی مناسب گسل‌ها داشته‌اند. این می‌تواند به دلیل مشخصه بارزسازی لبه در فیلترهای جهت‌دار و نیز وجود بیش از ۸۰ درصد اطلاعات در باند اول تجزیه مولفه‌های اصلی باشد. علاوه براین، به کمک روش هیلشید خطواره‌های گسلی که با دو روش بالا شناسایی نشده بودند، استخراج شدند. براساس نتایج حاصل از شاخص‌های مورد استفاده، بیش‌تر حوضه‌ها دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا در محدوده مورد مطالعه می‌باشد و ویژگی‌های مورفولوژیکی حوضه‌های آبریز مورد مطالعه تحت تاثیر خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. عابدینی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های مورفولوژی حوضه‌های آبریز گماناب‌چای و ورکش‌چای ناشی از حرکات تکتونیکی گسل تبریز است. هم‌چنین، نتایج حاصل از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی نشان‌دهنده این بود که حوضه‌های ۱ و ۲ در قسمت‌های شرقی محدوده مورد مطالعه دارای بالاترین فعالیت‌های زمین‌ساختی بود. در همین راستا، عزتی و آق‌آتابای (۱۳۹۳) در پژوهشی مشابه از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برای تحلیل زمین‌ساخت فعال در حوضه بجنورد استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین فعالیت تکتونیکی مربوط به قسمت‌های شرقی حوضه بجنورد می‌باشد. در پژوهش حاضر با توجه به محاسبات صورت گرفته در نرم‌افزارهای جی‌آی‌اس و اکسل و با استفاده از معادلات ارائه شده توسط نوروزی و اشجعی، زارع، و ولز و کوپراسمیت محاسبه شد و توان لرزه‌زایی گسل آستارا به ترتیب برابر با ۶/۱۷۱، ۶/۰۰۲ و ۸/۵۲۹، گسل نئور به ترتیب برابر با ۶/۰۳۱، ۵/۸۷۷ و ۹/۱۰۳، گسل هیر به ترتیب برابر با ۵/۸۳۴، ۵/۷۰۱ و ۷/۰۹۴ و گسل سنگور به ترتیب برابر با ۵/۴۹۷، ۵/۴۰۰ و ۳/۶۶۰ بود. در کل متوسط توان لرزه‌زایی برای گسل‌های اصلی و فرعی موجود در محدوده مورد مطالعه براساس معادلات نوروزی و اشجعی، نوروزی و ولز و کوپراسمیت به ترتیب برابر ۵/۸۴۴، ۵/۷۱۰ و ۶/۵۱۷ با تخمین زده شد. هم‌چنین، علاوه بر محاسبه توان لرزه‌زایی، به منظور تعیین میزان خطر گسل‌ها از روش تحلیل فضایی استفاده شد. که نتایج نشان‌دهنده این بود که، بیش‌تر

مراکز سکونتگاهی در محدوده مورد مطالعه در فاصله ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی قرار دارد. نتایج حاصل نشان‌دهنده سه پهنه مخاطره‌آمیز در قسمت‌های جنوب‌شرقی یعنی حوالی شهر هشتر استان گیلان، غربی و شمال‌غربی حوال شهر آبی‌بیگلو استان اردبیل می‌باشد. شایان و همکاران (۱۳۹۲) نیز در پژوهشی مشابه به تعیین محدوده‌های خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه گرمسار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌تر مراکز مسکونی در محدوده مورد مطالعه‌شان در فاصله ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی قرار گرفته است. حسینی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهشی مشابه به تحلیل فضایی محدوده‌های ایمن شهر تهران در برابر زمین‌لرزه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که منطقه ۲۰ شهر تهران به علت وجود گسل‌های مختلف به شدت تحت تاثیر خطر زمین‌لرزه قرار دارد.

منابع

- آزادی‌خواه، امین و همکاران (۱۳۸۸). لرزه زمین ساخت منطقه معدنی سنگ آهن گل‌گهر سیرجان، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۳.
- اسدی، ز. زارع، م. ۱۳۹۴، برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها و ارزیابی بزرگای زمین‌لرزه‌های پیش از تاریخ از داده‌های زمین‌لغزش: مطالعه موردی در دره نور (البرز مرکزی)، علوم زمین، ۲۴(۹۵): ۶۷-۷۸.
- اسفندیاری، فریبا، غفاری گیلانده، عطا، لطفی، خداداد. ۱۳۹۳. بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری مطالعه موردی: (شهر اردبیل). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴.
- حسینی، ع. فتاحیان، س. ا. ملکان، ج. ۱۳۹۹، تحلیل فضایی محدوده‌های ایمن در برابر زلزله با استفاده از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و منطق فازی؛ مرد مطالعه منطقه ۲۰ تهران، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۱): ۱۰۴-۱۶۶.
- رابطی، د. ده بزرگی، م. حکیمی‌آسیاب، س. نوزعیم، ر. ۱۳۹۷، بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در حوضه سپیدرود، البرز غربی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷(۲): ۱۴۰-۱۵۷.
- رجبی، معصومه و آقاجانی، کامیلا. ۱۳۸۹. بررسی گسل‌ها، توان لرزه‌زایی و خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های شمال شرق دریاچه ارومیه. فصلنامه جغرافیای طبیعی سال سوم، شماره ۷.
- رجبی، معصومه. آقاجانی، کامیلا. ۱۳۸۹. بررسی گسل‌ها، توان لرزه‌زایی و خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های شمال شرق دریاچه ارومیه، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۷.
- روستایی، شهرام، زمردیان، محمدجعفر، رجبی، معصومه، مقامی‌مقیم، غلامرضا. ۱۳۸۸. نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های دامنه جنوبی الاداغ. جغرافیا و توسعه، ۱۳، ۱۳۷-۱۵۶.
- ریاضی‌راد، زهره سادات و همکاران. ۱۳۸۸. بررسی لرزه زمین ساخت و لرزه خیزی در نوشهر و تعیین مناطق با پتانسیل خطر بالا، فصلنامه زمین، سال چهارم، شماره ۴.
- سهرابی، آ. بیگی، س. ۱۳۹۵، بررسی شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیکی برای ارزیابی تکتونیک فعال در محدوده آبدوغی، شمال شرق یزد، ایران مرکزی، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۴۰): ۷-۲۸.

- شایان، س. زارع، غ. ۱۳۹۲، تعیین محدوده‌های خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های فعال با روش تحلیل فضایی بربریان (مطالعه موردی: مخروط افکنه گرمسار)، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۷(۲): ۹۳-۱۲۱.
- شکری، پ. ده‌بزرگی، م. حکیمی‌آسیاب، س. ۱۳۹۷، بررسی مورفوتکتونیک غرب البرز مرکزی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷(۴): ۱۰۵-۱۲۴.
- عابدینی، م. کرمی، ف. سرمستی، ن. ۱۳۹۴، ارزیابی فعالیت گسل تبریز با شاخص‌های ژئومورفیک، تکنیک سنجش از دور و GIS، هیدروژئومورفولوژی، ۵: ۱۷-۴۰.
- عزتی، م. آق‌آتابای، م. ۱۳۹۳، تحلیل زمین‌ساخت فعال حوضه‌ی بجنورد با کمک شاخص‌های مورفوتکتونیک، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۴): ۱۳۰-۱۴۴.
- کرمی، ف. رجبی، م. ابادری، ک. ۱۳۹۷، تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوزه‌های آبریز شمال تبریز، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷(۱): ۳۰-۴۷.
- مددی، عقیل، مختاری، داود. ف شیرزادی، حمدیه، مهرورز، ارسلان. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد نئوتکتونیک بر مخروط افکنه‌ها با تاکید بر توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (منطقه مورد مطالعه: دامنه‌های شمال غرب سهند). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره هجدهم.
- موسوی حرمی، رضا. ۱۳۷۷. رسوب‌شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ پنجم. ۴۷۴ ص.
- میلان، ف. نعمتی، م. ۱۳۹۷، شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناختی، زمین‌ساخت جنب‌ها و لرزه‌خیزی حوضه‌های لوت و جازموریان (استان کرمان)، زمین‌شناسی محیط زیست، ۱۲(۴۲): ۳۳-۴۵.
- یمانی، م. علیزاده، ش. ۱۳۹۵، بررسی فعالیت‌های نو زمین‌ساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، ۹(۳۱): ۱-۱۸.
- Erdik, M. Demircioglu, M. Sesetyan, K. Durukal, E. Siyahi, B. , 2004. Earthquakehazard in Marmara Region, Turkey, soil Dynamics and EarthquakeEngineering 24 (2004) 605-631.
- Han, L. Zhang, J. Zhang, Y. Ma, Q. Alu, S. Lang, Q. 2019, Hazard Assessment of Earthquake Disaster Chains Based on a Bayesian Network Model and ArcGIS, Geo-Information, 8(210): 1-15.
- Hannich, Dieter, Et al ., 2006. A GIS-based study of earthquake hazard as atool for the microzonation of Bucharest, Engineering Geology 87(2006) 13-32.
- Kaller, E. A. Pinter, N. 2002, Active Tectonics, Earthquake Uplift, and Landscape. Prentice Hall, Newjersey.
- Lantada, N. Pujades, L. Barbat, A., 2009. Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison, NetHazards 51(2009) 501- 524.
- Valkanou, K. Karymbalis, E. Papanastassiou, D. Soldati, M. Chalkias, Ch. Gaki-Papanastassiou, K. 2019, Assessment of Neotectonic Landscape Deformation in Evia Island, Greece, Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis, Geo-Information, 10(118): 1-27.