

اثرات ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال و پهنه‌بندی خطر زمین لرزه با تاکید بر توان لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: نمین، آستارا، تالش)

چکیده

امروزه به منظور ارزیابی نتوتکتونیک عمدتاً از اثرات ژئومورفیک ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساخت، مطالعه‌ی مناظر و اشکال ایجاد شده، هم‌چنین اندازه‌گیری کمی لندفرم‌ها از شاخص‌های ژئومورفولوژی استفاده می‌شود. در این مطالعه، فعالیت‌های نتوزمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه با تأکید بر توان لرزه‌زایی گسل‌ها، با بهره‌گیری از آثار و شواهد ژئومورفیک ارزیابی و سپس شهرها و مراکز پرتراکم جمعیتی نسبت به مراکز لرزه‌ای و حریم گسل‌ها پهنه‌بندی گردید. بدین‌منظور ابتدا نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. سپس بر اساس نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی و مطالعات انجام شده، آثار و شواهد بارز در منطقه مورد مطالعه، مانند پرتگاه‌گسلی، خطواره‌های گسلی، چشمه‌های تکتونیک و ... مورد شناسایی قرار گرفتند. با بهره‌گیری از داده‌های تهیه شده، گسل‌های اصلی شناسایی، و با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی میزان فعالیت زمین‌ساخت در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت و نقشه پهنه‌بندی فعالیت‌های زمین‌ساختی ترسیم گردید. در ادامه با استفاده از معادلات ولز و کوپر اسمیت، نوروزی، اشجعی و زارع، توان لرزه‌زایی گسل‌ها محاسبه شد. متوسط توان لرزه‌زایی برای گسل‌های آستارا، هیر، نئور و سنگور به ترتیب $4/6, 7/8, 2/9$ ریشتر محاسبه شد. سیموقیعت مناطق مسکونی در حریم گسل‌ها پهنه‌بندی و با نقشه کاربری اراضی و مقاومت سازندها که پس از فاصله از گسل بیشترین آسیب‌پذیری از زلزله‌ها را دارند، هم‌پوشانی انجام گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن‌است که شهرهای نمین، عنبران، لوندویل و اسالم در پهنه خطر بسیار زیاد زمین‌لرزه، آستارا در پهنه خطر زیاد، حویق در پهنه خطر متوسط و شهرهای هشتپر و آبی‌بیگلر در پهنه‌بندی خطر بسیار کم قرار دارند.

واژگان کلیدی: کوه‌زایی، نتوتکتونیک، گسل، توان لرزه‌زایی، شاخص‌های ژئومورفولوژیک

مقدمه

از آن جایی که ساختمان ژئومورفولوژیکی ایران تحت تأثیر فازهای آلی و فشار پلیت‌های شمالی و جنوبی بوده، حالت آنومالی دارد و به پایداری نسبی نرسیده است (عابدینی، ۱۳۹۵: ۶۴). لذا به دلیل تداوم حرکت صفحه‌ها در این ناحیه پهناور فشارشی، شاهد فعالیت‌های لرزه‌ای به عنوان مهم‌ترین مخاطره طبیعی هستیم (اسدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۱). منطقه مورد مطالعه، بخش‌هایی از رشته کوه‌های تالش بوده که به سبب وجود گسل‌های مهم و فعالی چون گسل طویل آستارا، گسل‌های نئور، هیر و سنگور و گسل‌های فرعی بسیاری چون گسل‌های عنبران، سرخکوه، گرده و ... یک سیستم گسلی متراکم و فعالی را ایجاد کرده است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۸)، به طوری که پیشینه لرزه‌ای منطقه و زمین‌لرزه‌های دستگاهی فراوان این مسئله را تأیید می‌کنند. اگرچه جلوگیری از رخداد زلزله اجتناب

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)

Email : abedini@uma.ac.ir -Tel: 09143555226

۲. دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی،

۳. استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

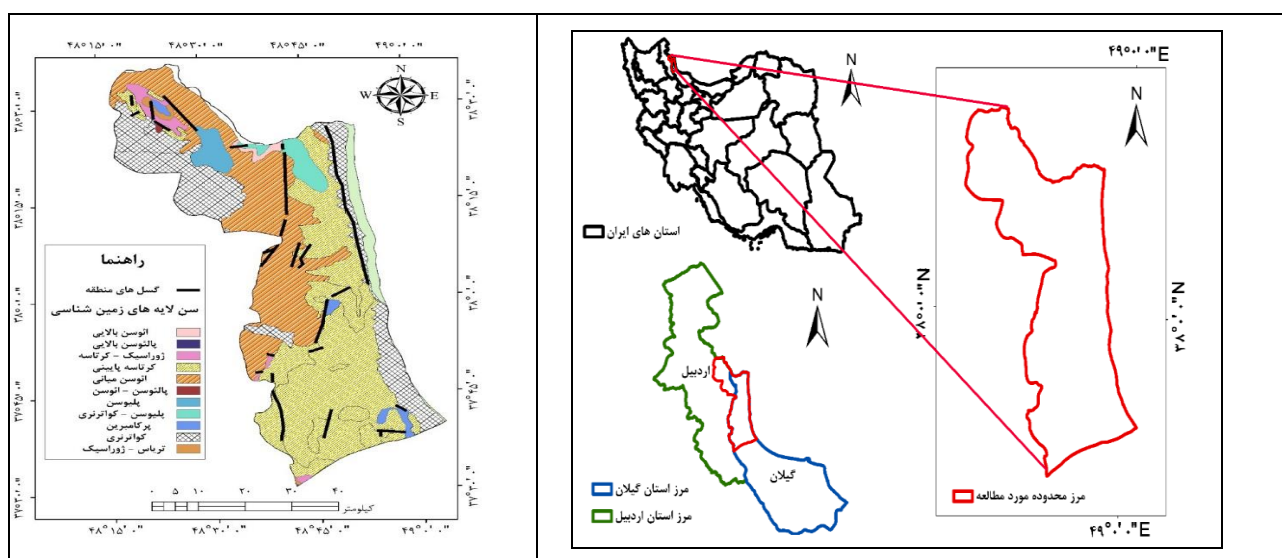
ناپذیر است، اما شناسایی مناطق فعال و ارزیابی توان لرزه‌زایی ناشی از آن امری ضروری می‌باشد (اردیک^۱ و همکاران، ۲۰۰۴: ۶۱۵). فعالیت‌های تکتونیکی در امتداد گسل‌های فعال بر روی توپوگرافی منطقه نیز تأثیرات مهمی دارد (مددی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۷) به طوریکه بسیاری از علائم و شواهد فعال گسل‌ها همانند آینه‌ی گسلی، درزها و ترک‌ها، خطواره‌های گسلی، چشمه‌های تکتونیکی، انحراف آبراهه و رودخانه، ناهمگونی مجاورتی لایه‌های رسوبی همگی حکایت از فعالیت تکتونیکی بالای این منطقه دارد. طبیعت زیبای شهرهای شمالی و جاذبه‌های گردشگری، فرصت‌های مناسب شغلی، آب و هوای معتدل باعث افزایش جمعیت گردشگر و مسافران و مهاجران به این شهرها شده است (ریاضی‌راد، ۱۳۸۸: ۷۵). همین مسئله سبب توسعه و گسترش غیر اصولی و خطرناک در حریم گسل‌ها گشته، به ویژه به دلیل توسعه بی‌رویه‌ی سکونت‌گاه‌ها و تغییر در کاربری اراضی این شهرها و مناطق مسکونی علاوه بر خطر مستقیم زمین‌لرزه در معرض خطرات وابسته به زلزله مانند لغزش، روانگرایی و سایر مخاطرات طبیعی دیگر نیز هستند، که همواره تهدیدی جدی برای ساکنین و مسافران این مناطق محسوب می‌شوند. بنابراین، بسیار ضروری است که با بررسی آثار و نشانه‌های موجود در منطقه و تلفیق شاخص‌های ژئومورفولوژی در محیط GIS و بررسی ساختارهای سطحی و کانون‌های زمین‌لرزه بتوان فعالیت‌های نئوزمین‌ساخت را در منطقه به طور دقیق مورد ارزیابی قرار داد و مناطق پرخطر 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. در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در این زمینه صورت گرفته که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌گردد. عابدینی و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیقی مشابه به ارزیابی توان لرزه‌زایی گسل تبریز و برآورد تلفات انسانی این کلان‌شهر به کمک فن‌آوری سنجش از دور و GIS پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کلان‌شهر تبریز از نظر خطر زمین‌لرزه وضعیت مطلوبی نداشته و بیشتر قسمت‌های پرتراکم شهری به خصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر در پهنه‌های خطر آسیب‌پذیری بسیار بالا و بالا قرار دارند. میلانی و نعمتی (۱۳۹۷)، در تحقیقی به بررسی شاخص‌های زمین‌شناختی، زمین‌ساخت جنبی و توان لرزه‌زایی گسل‌ها در حوضه‌های لوت و جازموریان پرداختند، نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو حوضه نامبرده دارای زمین‌ساخت فعال هستند، ولی حاشیه غربی حوضه شهداد فعالیت زیاد تا متوسط و حوضه جازموریان فعالیت کمی دارد. شایان‌زارع (۱۳۹۲)، در پژوهشی به بررسی و تعیین محدوده‌های خطر زمین‌لرزه در مخروطه افکنه‌های فعال با روش تحلیل فضایی بربریان پرداخته‌اند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که گسل گرمسار و سرخ سکوت بیشترین توان لرزه‌خیزی و گسل‌های کوه لاله‌زار و پایین قلعه کمترین توان لرزه‌خیزی را دارند. رجبی و آقاجانی (۱۳۸۹)، در تحقیقی به بررسی گسل‌ها و توان لرزه‌زایی و خطر زمین‌لرزه در شمال شرق دریاچه ارومیه پرداختند، نتایج حاصل از کار این محقق و همکارانش در منطقه به سه رده‌بندی مهم منجر گردید. رابطی و همکاران (۱۳۹۷)، در یک کار مطالعاتی به بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در حوزه سفید رود البرز غربی پرداختند، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در زیر حوضه‌های منطبق بر مناطق پرتراکم گسلی شاخص‌های اندازه‌گیری مقادیر بالایی را نشان می‌دهند. حسینی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به شناسایی و استخراج گسل‌ها بر پایه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و شواهد ژئومورفیک، فعالیت آن‌ها را در پهنه گسلی قوشاداغ در شمال غرب ایران پرداخته‌اند. ایشان و همکارانشان جهت استخراج گسل‌های منطقه، باند ۹ تصویر ماهواره لندست را با باند پانکروماتیک فیوژن نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش، استفاده از ترکیب باندی تصاویر، منجر به شناسایی و عملکرد برخی از گسل‌های جدید شد. هم‌چنین می‌توان به مطالعات احمدی و همکاران (۱۳۸۵)، آزادخواه و همکاران (۱۳۸۸)، روستایی و همکاران (۱۳۸۸)، نیری و همکاران (۱۳۹۰)، عزتی و همکاران (۱۳۹۳)، هانیک و همکاران (۲۰۰۶)، لاتندا و همکاران (۲۰۰۹)، والکانو و همکاران (۲۰۱۹) و هان و همکاران (۲۰۱۹) نیز اشاره نمود.

¹-Erdik & et al

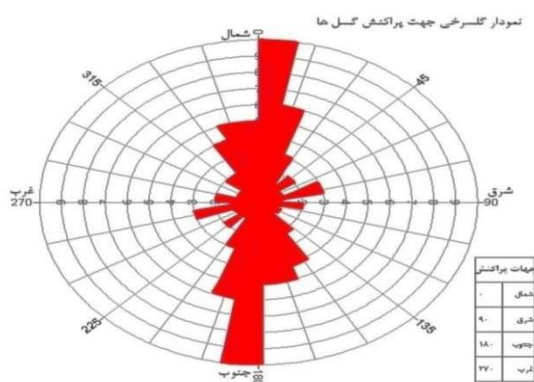
در این مطالعه سعی بر آن است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های تکتونیکی و روابط ارزیابی توان لرزه‌زایی گسل‌ها، ضمن محاسبه مقادیر شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، مقادیر توان لرزه‌ای برای خطواره‌های گسلی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه و مناطق مسکونی در طبقات خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی گردد.

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 می باشد. 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 می توان تالش، آستارا، نمین، خلخال، لوندویل، عنبران، حویق، لیسار و روستاهای چوبر، ویزنه، لمیر، چلوند، حیران، ونه بین، خانقاه، قلعه، ننه کران، نیارق، آق بلاغ، شبلو و ... را نام برد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. دیاگرام گلسرخی خطواره‌های گسلی محدوده مورد مطالعه

روش تحقیق

– در این مطالعه از نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ راقومی سازمان جغرافیایی نیروی‌های مسلح، تصاویر سنجنده OLI ماهواره‌ی لندست^۱، مربوط به تاریخ ۱۳۹۹/۴/۲۰ (به شماره گذر و ردیف ۱۶۸-۳۳ و ۱۶۸-۳۴) و همچنین داده‌های مدل ارتفاعی راقومی سنجنده Aster^۳ ماهواره Terra با قدرت تفکیک ۲۸/۵ متر استفاده شده است. داده‌های ماهواره‌ای به فرمت Geo TIFF از سایت USGS تهیه شدند، با این توضیح که ابتدا تصاویر مورد نیاز از سازمان زمین‌شناسی آمریکا درخواست و از سایت مربوطه دریافت شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده در تحقیق

ماهواره	سنجنده	ردیف	گذر	تاریخ	مبنا
Landsat8	OLI	۳۳	۱۶۸	۱۳۹۹/۴/۲۰	WGS84
Landsat8	OLI	۳۴	۱۶۸	۱۳۹۹/۴/۲۰	WGS84
Terra	Aster	-	-	-	WGS84

– با استفاده از روابط موجود، شاخص‌های ژئومورفولوژیک محاسبه و تحلیل‌های لازم صورت گرفت. توان لرزه‌ای گسل‌های فعال منطقه با استفاده از فرمول‌های زارع (۱۹۹۵)، اشجعی و وروزی (۱۹۷۸) و ولز و کوپراسمیت^۴ (۱۹۹۴)، محاسبه شد (جدول ۲). در این مطالعه جهت استخراج خطواره‌های گسلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مراحل زیر به ترتیب انجام گرفت.

– الف) انجام تصحیحات هندسی و اتمسفری. ب) پردازش تصاویر ماهواره‌ای. ج) انتخاب ترکیب باندی مناسب. د) تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی هـ) روش فیلترگذاری و) اجرای تکنیک Hillshade بر روی تصویر. ن) شناسایی خطواره‌های گسلی. ی) رسم نمودار گلسرخی خطواره‌های گسلی. م) صحت‌سنجی. پس از استخراج و شناسایی خطوط گسلی از تصاویر ماهواره‌ای، بابت‌گیری از شاخص‌های ژئومورفولوژیک فعالیت‌های زمین‌ساختی در محدوده مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های ژئومورفولوژیک مورد استفاده در این مطالعه شامل موارد زیر می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲. شاخص‌های ژئومورفولوژیک مورد استفاده در محدوده مورد مطالعه

ردیف	نام شاخص	رابطه
۱	برجستگی نسبی	$Bh = h_{max} - h_{min}$
۲	تراکم زهکشی	$Dd = L_u / A$
۳	پیچ و خم جبهه کوهستان	$Smf = \frac{Lmf}{Lg}$
۴	شاخص نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی	$Iat = S/N$
۵	توان لرزه‌ای (زارع، ۱۹۹۵)	$Ms = \ln(L) * 0.91 + 3.6$
۶	توان لرزه‌ای (اشجعی و وروزی، ۱۹۷۸)	-
۷	توان لرزه‌ای (ولز و کوپراسمیت، ۱۹۹۴)	$Ms = 5.16 + 1.12 \log L$
۸	شدت نسبی زلزله در کانون	$lo = 1.7 ms - 2.8$
۹	شدت نسبی زلزله	$\log All = -0.014 + 0.3 Lo$
۱۰	شتاب زلزله	$\log Av = -0.18 + 0.3 Lo$
۱۱	سرعت زلزله	$\log Vv = -1.1 + 0.2820$

¹ Landsat

² Digital Elevation Model (DEM)

³ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

⁴ wells and coppersmith

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

جایجایی زلزله

۱۲ -

- شاخص برجستگی نسبی (Bh) براساس اختلاف میان پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقطه در یک حوضه زهکشی محاسبه می‌شود. این شاخص 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؛ شکری و همکاران، ۱۳۹۷). شاخص تراکم زهکشی (Dd) شاخصی ژئومورفولوژیکی که نشان‌دهنده تاثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی فعال در منطقه است. شاخص تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه آبخیز به مساحت آن محاسبه می‌شود. که در آن (Dd) تراکم زهکشی، L_u مجموع طول آبراهه به کیلومتر و A مساحت حوضه زهکشی به کیلومتر مربع 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) منعکس‌کننده تعادل میان نیروهای فرسایش‌دهنده و تکتونیک 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 تکتونیک منطقه تاثیر فرآیندهای فرسایشی بر روی جبهه کوهستان افزایش یابد، مقدار سینوسیته افزایش خواهد یافت. که در آن L_{mf} برابر با طول جبهه کوهستان در پای کوه، L_s 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 $1/5$ ، با فعالیت متوسط مقادیر میان $1/5$ تا 3 و غیرفعال مقادیر بیش‌تر از 3 را نشان می‌دهد (کیلر و پرینتر، ۲۰۰۲؛ سهرابی و بیگی، ۱۳۹۵). شاخص نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی، رابطه شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی را نشان می‌دهد که در آن S مجموع کلاس‌های شاخص‌های برآورد شده و N ، تعداد شاخص‌های محاسبه شده می‌باشد.

جهت ارزیابی فعالیت گسل‌ها به کمک شاخص‌های ژئومورفیک ابتدا با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی، منطقه به 40 زیر حوضه تقسیم شده و آبراهه‌های موجود در آن استخراج شد. به منظور طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه براساس شاخص زمین‌ساخت نسبی (Iat)، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برجستگی نسبی، تراکم زهکشی و شاخص جبهه کوهستان برای حوضه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه اندازه‌گیری شدند.

- اگر $Iat < 1/5$ فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید، $1/5 < Iat < 2$ فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا، $2 < Iat < 2/5$ فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط و $Iat > 2/5$ فعالیت‌های زمین‌ساختی ناچیز می‌باشد (جدول ۳). 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 تالش قرار خواهد گرفت از میانگین اعداد به دست آمده در این نواحی برای مقایسه آن‌ها استفاده شد.

جدول ۳. طبقه بندی فعالیت زمین ساخت بر اساس Iat (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۶)

ردیف -	Iat -	طبقه زمین ساخت -
۱ -	۱-۱/۵ -	فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید
۲ -	۱/۵-۲ -	فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا
۳ -	۲-۲/۵ -	فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط
۴ -	>۲/۵ -	فعالیت‌های زمین‌ساختی ناچیز

– ارزیابی توان لرزه زایی گسل‌های منطقه

با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، گسل‌های منطقه شناسایی و مهم‌ترین آن‌ها روی زمینه تصویر ماهواره‌ای ترسیم شد. سپس جهت بررسی ویژگی‌های لرزه‌خیزی در منطقه مورد مطالعه، فهرست زمین‌لرزه‌ها در گستره شعاع ۳۰۰ کیلومتری تهپهو اطلاعات مورد نیاز استخراج گردید. در ادامه توان لرزه ای گسل‌های فعال منطقه با استفاده از فرمول‌های زارع (۱۹۹۵) اشجعی و نوروزی (۱۹۷۸) و ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) محاسبه شد (شایان و زارع، ۱۳۹۲). جهت محاسبه شدت نسبی زلزله در کانون زلزله، از فرمول ریشر گوتنبرگ^۲ و به منظور محاسبه شدت نسبی زلزله بر حسب مقیاس مرکالی از فرمول‌های تریفوناک و بریدی^۳ استفاده گردید (جدول ۲). علاوه بر این، جهت تحلیل و تعیین میزان خطر زمین‌لرزه 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 می‌باشد که ابتدا گسل‌های با طول بیش‌تر از ۱۰ کیلومتر شناسایی می‌شوند. سپس گسل‌های دارای طول بین ۵ تا ۱۰ کیلومتر نیز مشخص شده و به گسل‌های دسته‌ی اول اضافه می‌شوند و عملیات حریم‌گذاری بر اساس فواصل نسبت به منشأ لرزه و گسل‌ها اعمال می‌شوند. سپس نقشه استخراج شده با نقشه کاربری اراضی جهت مشخص شدن میزان قرارگیری سکونت‌گاه‌های انسانی در پهنه‌های خطر خطواره‌های گسلی و نقشه‌ی حاصل از حساسیت‌پذیری سازندهای منطقه از نقطه نظر مقاومت هم‌پوشانی داده شده و در نهایت نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و موقعیت استقرار مراکز پرتراکم جمعیتی بر اساس میزان خطرپذیری بدست می‌آید. در این مطالعه از طبقه‌بندی شایان و همکاران (۱۳۹۲) که پهنه‌های اطراف گسل را با توجه به فاصله از گسل طبقه‌بندی نموده‌اند (جدول ۴) استفاده شده است.

جدول ۴. وضعیت پهنه‌های اطراف گسل (شایان و همکاران، ۱۳۹۲)

ردیف	فاصله از گسل	وضعیت
۱	۱۰۰۰ متری اطراف گسل	پهنه حریم گسل
۲	۳۰۰۰ متری اطراف گسل	پهنه ویرانی شدید
۳	۷۰۰۰ متری اطراف گسل	پهنه تکان شدید یا ویرانی گسترده
۴	۱۰۰۰۰ متری اطراف گسل	پهنه حرکات تند با خسارت زیاد

نتایج

– بعد از شناسایی خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه نمودار گل‌سرخ‌ی 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.

– به منظور صحت خطوط ثبت‌شده، بعد از استخراج خطوط به روش گفته‌شده در نرم‌افزار Arc GIS، لایه kmz خطوط ایجاد شد و در محیط نرم‌افزار Google Earth مطابقت خطوط گسلی به عوارض زمینی (غیر مرتبط مانند مرز آبراهه‌ها و ...) مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. در نهایت خطوطی که به اشتباه رسم شده بودند، حذف شد. نتایج حاصل نشان‌دهنداد که گسل‌های موجود در منطقه منطبق بر ساختار زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه می‌باشد. جهت بررسی و شناسایی آثار و شواهد حاصل از فعالیت‌های نئوتکتونیک، نشانه‌های

2- wells and coppersmith

3-Gutenberg- Richter

4-Trifunac and Brady

فعالیت گسل‌های فعال، مطالعه و با انجام بازدیدهای میدانی به همراه کارشناسان امر صورت گرفت. در ادامه عکس تعدادی از این آثار و نشانه‌ها به عنوان شواهدی از تکتونیک فعال منطقه ارائه شده است (شکل‌های ۳-۸).



شکل ۴- آینه گسل نرسیده به شهر عنبران (منبع نگارنده)



شکل ۳- آینه گسل بعد از تونل نمین (منبع: نگارنده)



شکل ۶. لایه‌های رسوبی عمود همراه با شکستگی و جابجایی در جاده نمین به آستارا (منبع: نگارنده).



شکل ۵- چشمه آب تکتونیکی در منطقه جنگلی روستای میناآباد، شهرستان نمین (منبع: نگارنده)



شکل ۸. آبشار لاتون، روستای کوتاه کومه، لوندویل (منبع: نگارنده).



شکل ۷. ناهمگونی مجاورتی لایه‌های رسوبی، نمین (منبع: نگارنده)

چشمه آب تکتونیکی در منطقه جنگلی روستای میناآباد در ۵ کیلومتری نمین، بنا به روایت افراد محلی پس از یک زلزله در گذشته در اثر شکست لایه‌های سنگی پدیدار شده است. آبشار لاتون در ۶ کیلومتری روستای کوته کومه، شهر لوندویل در مرز دو واحد ماسه سنگی و گدازه‌های بسیار مستحکم ایجاد شده است. عبور گسله‌ای با راستای تقریبی شمال-جنوب آبشار را به ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر ایجاد کرده است. این آبشار بلندترین آبشار ایران بوده که علاوه بر آبشار اصلی آبشار دیگری در ۱۰ متری آن با ارتفاع ۶۵ متر ارتفاع قرار دارد.

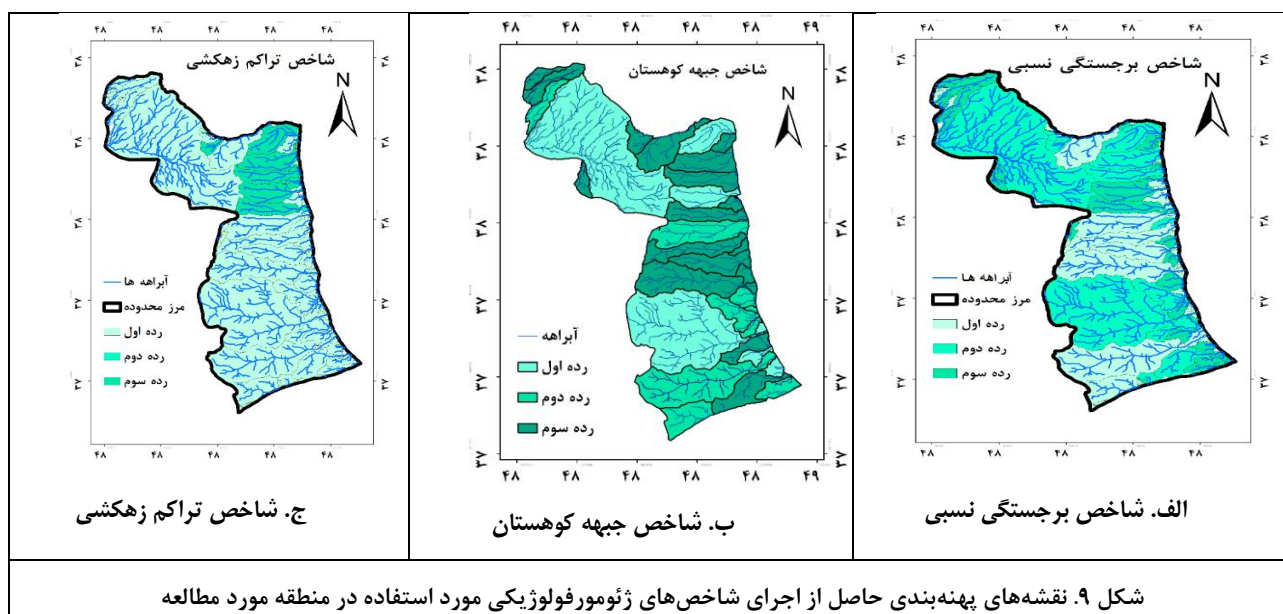
جهت ارزیابی فعالیت گسل‌ها، با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی، منطقه مورد مطالعه به ۴۰ زیر حوضه تقسیم و شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برجستگی نسبی، تراکم زهکشی و شاخص جبهه کوهستان برای زیر حوضه‌ها محاسبه شد. سپس رده فعالیت هر کدام از زیر حوضه‌ها بر اساس شاخص زمین‌ساخت نسبی Lat، تعیین گردید (جدول ۴). در نهایت منطقه مورد مطالعه با توجه به جدول (۲)، طبقه‌بندی فعالیت زمین ساخت بر اساس Lat (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۶) به ۴ طبقه فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شد (جدول ۴).

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و سطح فعالیت زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه

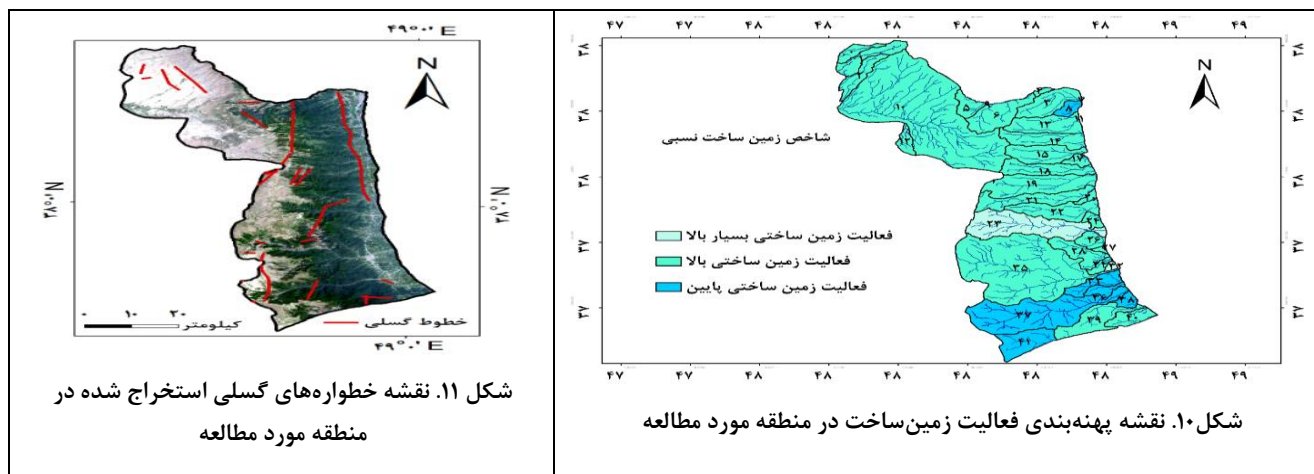
شماره زیر حوضه	شاخص برجستگی نسبی	شاخص تراکم زهکشی	شاخص جبهه کوهستان	رده فعالیت Lat
زیر حوضه ۱	۹۷	-۰/۲۹۵	۳/۷۲۰	۲
زیر حوضه ۲	۱۶۰۰	۱/۳۴۹	۱/۲۵۴	۲
زیر حوضه ۳	۱۱۹۹	۱/۲۳۲	۱/۸۷۶	۲
زیر حوضه ۴	۲۲	-۰/۲۰۴	۱/۳۴۵	۲
زیر حوضه ۵	۱۳۴۴	۱/۲	۴	۲
زیر حوضه ۶	۲۷۲۲	-۰/۴۲۰	۲/۹۸۷	۲
زیر حوضه ۷	۶۸۷	-۰/۳۳۴	۲/۷۶۶	۲
زیر حوضه ۸	۸۰۹	-۰/۰۳۸	۲/۵۴۳	۳
زیر حوضه ۹	۲۹۵	-۰/۳۲۳	-۰/۹۹۸	۲
زیر حوضه ۱۰	۷۰۰	-۰/۳۵۴	۲/۵۴۳	۲
زیر حوضه ۱۱	۶۷۵	-۰/۳۰۳	۱/۴۳۲	۲
زیر حوضه ۱۲	۱۴۹۰	۲/۳۳۲	۳/۰۹۸	۲
زیر حوضه ۱۳	۱۱۲۹	۱/۴۲	۳/۵۶۷	۲
زیر حوضه ۱۴	۷۹۹	۱/۲۱۲	۲/۶۵۴	۲
زیر حوضه ۱۵	۱۳۱۸	۲/۸۰۱	-۰/۸۷۶	۲
زیر حوضه ۱۶	۲۰۱۲	۲/۷۴	۱/۱۳۴	۲
زیر حوضه ۱۷	۸۹۴	۳/۷۴	۱/۲۳۴	۲
زیر حوضه ۱۸	۲۱۰۵	-۰/۷۱۲	۲/۴۳۶	۲
زیر حوضه ۱۹	۱۲۳۰	-۰/۶۹۷	۳/۱۳۴	۲
زیر حوضه ۲۰	۲۳۱۵	-۰/۳۱۲	۲/۵۶۷	۲
زیر حوضه ۲۱	۲۰۴۸	-۰/۳۹۲	-۰/۸۹۸	۲
زیر حوضه ۲۲	۲۸۱۰	-۰/۱۴۱	۱/۷۶۵	۱
زیر حوضه ۲۳	۱۴۴۲	-۰/۰۲۲	۲/۵۶۴	۲
زیر حوضه ۲۴	۸۱۰	-۰/۷۹۱	۲/۳۳۲	۲
زیر حوضه ۲۵	۱۰۴۷	-۰/۳۳۱	۲/۳۴۲	۲
زیر حوضه ۲۶	۲۰۶۲	-۰/۴۵۳	۱/۱۶۵	۲
زیر حوضه ۲۷	۱۰۸۶	-۰/۶۴۴	۲/۶۵۴	۲
زیر حوضه ۲۸	۴۱۶	-۰/۱۲۱	۳/۸۷۶	۲
زیر حوضه ۲۹	۱۴۳۸	-۰/۴۳۳	۲/۴۳۲	۲
زیر حوضه ۳۰	۵۷۱	-۰/۸۱۰	۱/۴۳۲	۲
زیر حوضه ۳۱	۲۰۴۰	-۰/۳۴۳	۲/۲۲۳	۱
زیر حوضه ۳۲	۱۴۹۴	-۰/۱۵۱	۱/۵۴۶	۲
زیر حوضه ۳۳	۳۶۳	-۰/۲۳۶	۱/۴۳۶	۳
زیر حوضه ۳۴	۱۶۶۰	-۰/۳۸۸	۳/۶۵۰	۲
زیر حوضه ۳۵	۱۶۷۹	-۰/۱۲۳	۱/۴۵۶	۳
زیر حوضه ۳۶	۳۱۷۹	۱/۱۰۹	۱/۴۲۹	۳
زیر حوضه ۳۷	۳۲۲۰	-۰/۸۵۱	۱/۱۲۳	۳
زیر حوضه ۳۸	۱۳۱۴	-۰/۶۳۲	۱/۳۴۲	۲
زیر حوضه ۳۹	۳۵	-۰/۷۶۰	۱/۰۳۶	۲

۳	۱/۸۷۶	۰/۷۳۲	۲۰۸۱	زیرحوضه ۴۰
---	-------	-------	------	------------

نتایج حاصل از جدول (۴) نشان می‌دهد که ۳۲ زیرحوضه در رده فعالیت زمین ساختی مرتبه ۲ و تعداد ۶ زیر حوضه در رده فعالیت زمین ساختی مرتبه ۳ و همچنین ۲ زیرحوضه در رده فعالیت زمین ساختی مرتبه ۱ قرار دارند. به عبارتی با عنایت به اطلاعات جدول (۳) می‌توان گفت که در منطقه مورد مطالعه ۸۰ درصد زیرحوضه‌ها در رده فعالیت‌های زمین ساختی بالا، ۱۵ درصد در رده فعالیت‌های زمین ساختی متوسط و ۵ درصد زیرحوضه‌ها در رده فعالیت‌های زمین ساختی شدید قرار دارند. پس از محاسبه شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برجستگی نسبی، تراکم زهکشی و شاخص جبهه کوهستان در منطقه مورد مطالعه، جهت گویایی بیشتر نقشه این شاخص‌ها نیز ترسیم گردید (شکل ۹).



— علاوه بر این، بعد از رده‌بندی محدوده مورد مطالعه براساس شاخص زمین ساخت نسبی I_{at} ، نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین ساختی در منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۱۰). داده‌های به دست آمده از جدول (۴) و محاسبه سطوح رده‌های فعالیت زمین ساخت در این نقشه (شکل ۱۰) نشان می‌دهد ۵ درصد تعداد زیرحوضه‌ها، معادل ۷ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه در وضعیت زمین ساختی بسیار بالا، ۸۰ درصد تعداد زیرحوضه‌ها معادل ۸۰ درصد مساحت منطقه در وضعیت فعالیت زمین ساخت بالا و ۱۵ درصد تعداد زیرحوضه‌ها معادل ۱۳ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه در وضعیت فعالیت زمین ساخت متوسط قرار دارند، که این امر از فعالیت زمین ساخت بالا در منطقه مورد مطالعه حکایت دارد.



– ارزیابی توان لرزه‌زایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه

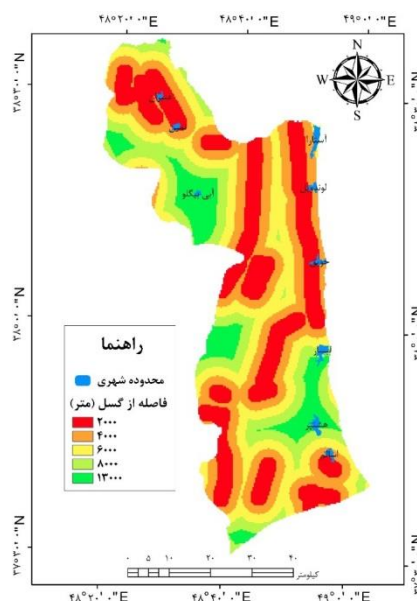
در این پژوهش تعداد ۲۵ خطواره گسلی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای استخراج (شکل ۱۱) و مقادیر توان لرزه‌زایی برای هر کدام از این خطواره‌های گسلی با توجه به روابط موجود در جدول (۲) محاسبه گردید. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۵) نشان داده شده است.

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

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		

— با توجه به محاسبات انجام‌شده (جدول ۵) و با عنایت به معادلات ولز و کوپراسمیت، نوروزی و اشجعی و زراع گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه به طور متوسط به ترتیب توان ایجاد زمین‌لرزه‌ای برابر با ۵/۷۱۰، ۵/۸۴۴ و ۵/۸۴۴ ریشتر را دارند. نتایج حاصل از محاسبه توان لرزه‌زایی جدول (۵) با استفاده از معادلات ولز و کوپراسمیت، نوروزی و اشجعی و زارع؛ نشان می‌دهد که گسل‌های آستارا، هیر، نئور و سنگور به ترتیب توان لرزه‌زایی برابر با ۶/۰۳۱، ۵/۸۷۷، ۹/۱۰۳، ۵/۸۳۴، ۵/۷۰۱، ۵/۰۹۴، ۶/۰۳۱، ۵/۸۷۷، ۹/۱۰۳ و ۵/۴۹۷، ۵/۴۰۰ و ۳/۶۶۰ ریشتر را دارا هستند. بنابراین، در بررسی مقادیر متوسط حاصل از سه روش تجربی برای هر گسل مشخص شد که گسل‌های آستارا، هیر، نئور و سنگور به طور متوسط به ترتیب قابلیت ایجاد زلزله‌هایی با شدت ۶/۹، ۶/۲۰۹، ۷/۰۰۴ و ۴/۸۵۲ ریشتر را دارا می‌باشند. همچنین تحلیل فضایی میزان خطر زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه انجام و جهت طبقه‌بندی آن از اطلاعات جدول (۴) استفاده و نقشه آن استخراج گردید. سپس نقشه تهیه شده با نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه منطبق و میزان هم‌پوشانی سکونت‌گاه‌های انسانی در پهنه‌های خطر خطواره‌های گسلی مشخص شد (شکل ۱۲). علاوه بر این، اطلاعات جمعیتی محدوده‌های مورد مطالعه از درگاه ملی آمار ایران جهت تجزیه و تحلیل خطر زمین‌لرزه دریافت گردید. براساس نتایج حاصل از نقشه هم‌پوشانی، بیش‌تر مناطق مسکونی منطقه مورد مطالعه در فاصله ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری قرار گرفته است.



شکل ۱۲. نقشه هم‌پوشانی مناطق مسکونی با پهنه‌های خطر زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه

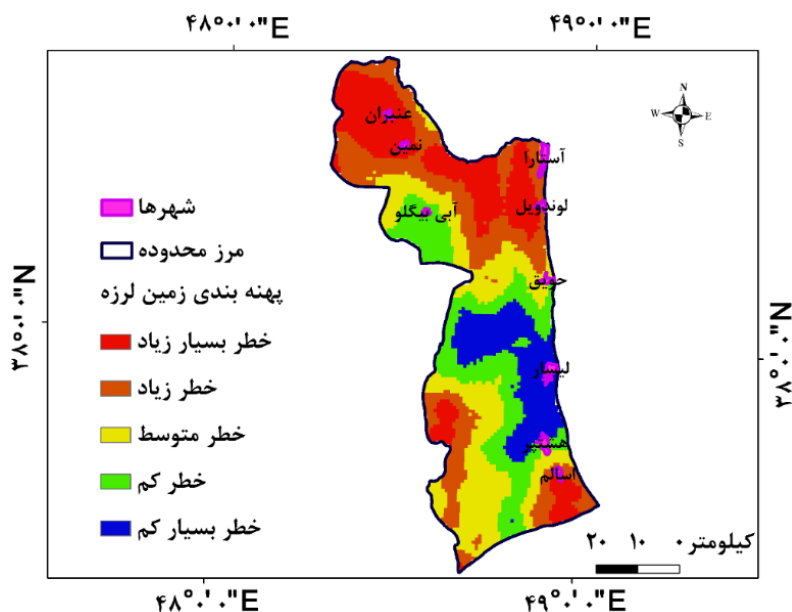
شهرهای آستارا، لوندیل و حویق از استان گیلان و نمین و عنبران از استان اردبیل در فاصله ۳۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی قرار دارند و گسل‌های آستارا و نئور نزدیک‌ترین گسل‌های اصلی به این شهرها می‌باشند. همچنین، شهرهای لیسار و اسالم در استان گیلان در فاصله ۱۰۰۰۰ متری از خطوط گسلی قرار دارند. همچنین، شهرهای آبی‌یگلو 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 منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

از آن جایی که عامل لیتولوژی و مقاومت سازنده‌ها، پس از عامل فاصله از گسل بیشترین میزان تاثیرگذاری را در مناطق لرزه‌خیز دارند، بنابراین آسیب‌پذیری و میزان حساسیت سازنده‌ها در برابر زمین‌لرزه نیز بررسی و تحلیل شد. برای این منظور، تراکم طول گسلش در سازنده‌ها با توجه به مساحت هر سازند محاسبه شد (جدول ۶). با توجه به نتایج حاصل از تحلیل آسیب‌پذیری سازنده‌ها (جدول ۶) سازند تریاس و ژوراسیک با نوع لیتولوژی شیل خاکستری و تیره و ماسه سنگ دارای بیش‌ترین درصد گسلش (۰/۲۰) کم‌ترین مقاومت در برابر لرزه‌زایی می‌باشد. همچنین، سازنده‌های نوع ائوسن اولیه، پره‌کامبرین، کرتاسه و کواترن به ترتیب با پوشش گسلی ۰/۰۶۲، ۰/۰۴۲، ۰/۰۳۳ و ۰/۰۲۲ و با نوع لیتولوژی شیلی، سیلتی، ماسه‌سنگ، مارن، آهکی؛ گرانیات پره‌کامبرین؛ رسوبات آتشفشانی آندزیک؛ تراورتن و کنگلومرا و ماسه سنگ در رتبه‌های بعدی بیش‌ترین درصد گسترش گسلش و کم‌ترین مقاومت سازنده‌ها در مقابل زمین‌لرزه قرار دارند.

جدول ۶. تحلیل آسیب‌پذیری انواع سازنده‌ها 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	۷۸۶۷۳۳۳۷	۶۱۴۰۸	۰/۰۰۷۸
کواترنری	کنگلومرا و ماسه سنگ	۲۸۶۱۲۶۹۹	۴۶۵۱	۰/۰۱۶
ائوسن اولیه	شیل، سیلتی، ماسه سنگ، مارن و آهکی	۲۵۰۱۹۹۷	۱۵۵۹	۰/۰۶۳
کرتاسه	رسوبات آتشفشانی آندزیک	۸۶۵۹۳۰۴۲۴	۲۸۷۳	۰/۰۳۳
کرتاسه	سنگ‌های کرتاسه	۳۴۰۴۴۸۳۸۵	۳۶۹۵	۰/۰۱۱
پره‌کامبرین	گرانیات پره‌کامبرین	۱۰۵۹۸۰۶۶	۴۴۴۷	۰/۰۴۲
کواترنری	تراورتن	۲۰۰۶۶۰۱۱۴	۴۳۱۵۹	۰/۰۲۲
پره‌کامبرین	سنگ‌های دگرگونی	۲۲۶۲۸۰۸۴	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	۰/۰۲۰
پلیوسن	کنگلومرای پلی میکتیک و ماسه سنگ	۶۶۲۱۴۹۴۲	۳۶۲	۰/۰۰۵۵
پلیوسن و کواترن	کنگلومرا و ماسه سنگ	۸۴۵۸۵۷۰۰	۱۸۷۷	۰/۰۲۲

— پس از تحلیل آسیب‌پذیری سازنده‌ها نقشه همپوشانی با پهنه‌های خطر و مناطق مسکونی انجام شد و منطقه مورد مطالعه از نظر آسیب‌پذیری خطر زمین‌لرزه پهنه‌بندی گردید (شکل ۱۳). نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه (شکل ۱۳) نشان می‌دهد که شهرهای نمین، عنبران، لوندویل و اسالم در پهنه خطر بسیار زیاد، آستارا در پهنه خطر زیاد، حویق‌در پهنه خطر متوسط و شهرهای هشتر و ابی‌بیگلو در پهنه خطر بسیار کم زمین‌لرزه قرار گرفته‌اند. همچنین مساحت و درصد مساحت مناطق مسکونی به تفکیک تقسیم‌بندی از نظر پهنه‌های خطر محاسبه گردید (جدول ۷).



شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه در منطقه مورد مطالعه

آثار و نشانه‌های فعالیت گسل‌ها و زمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه که در طی بازدیدهای میدانی شناسایی و مطالعه شده بود، بر مناطق بالرزه خیزی بالا و پیر خطر منطبق و کاملاً هم‌خوانی دارد. این مطلب بیانگر آن است که مطالعه‌ی سطح زمین و آثار ژئومورفولوژیکی آن می‌تواند به عنوان یک روش مطالعاتی سودمند در کنار سایر روش‌ها باشد.

جدول ۷. حساسیت مناطق مسکونی در منطقه 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 بیگلر	۱۹۴۲۹۲۹	-	-	-	۱۹۴۲۹۲۹	-
درصد	۱۰۰	-	-	-	۱۰۰	-
اسالم	۳۸۸۲۷۷۲	۱۱۴۸۹۱۱	۲۷۳۳۸۶۰	-	-	-
درصد	۱۰۰	۲۹/۵۹	۷۰/۴۱	-	-	-

گسل آستارا یکی از گسل‌های مهم منطقه مورد مطالعه از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی شمال غرب کشور است که وقوع زلزله‌های تاریخی مخرب بر اهمیت آن افزوده است. بدین منظور، در این مطالعه فعالیت‌های گسل‌های اصلی و فرعی موجود در این محدوده و توان لرزه‌زایی ناشی از آن‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. جهت استخراج خطواره‌های گسلی منطقه مورد مطالعه، از تصاویر سنجنده OLI ماهواره‌ی لندست ۸ استفاده و ۲۵ خطواره گسلی استخراج شد. سپس مقادیر توان لرزه‌زایی برای هر کدام از این گسل‌های اصلی و فرعی محاسبه گردید (جدول ۵). وجود خطواره‌های گسلی در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده فعالیت‌های زمین‌ساختی در این منطقه می‌باشد. در واقع خطوط گسلی مستخرج‌شده از تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده گسل‌های مختلف به خصوص در قسمت‌های شمال شرقی، شمال غربی و غرب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه است. در این مورد نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج پژوهش یمانی و علیزاده (۱۳۹۵)، که به بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی حوضه آبخیز کرج با استفاده از تصویر ماهواره‌ای و شاخص‌های ژئومورفولوژیکی پرداختند، مشابه است.

نتایج حاصل از تحلیل آسیب‌پذیری سازندها (جدول ۶) نشان داد که سازند تریاس و ژوراسیک با نوع لیتولوژی شیل خاکستری و تیره و ماسه سنگ دارای بیش‌ترین درصد گسلش (۰/۲۰) و کم‌ترین مقاومت در برابر لرزه‌زایی می‌باشد. همچنین، سازندهای نوع ائوسن اولیه، پره‌کامبرین، کرتاسه و کواترن به ترتیب با پوشش گسلی ۰/۰۶۲، ۰/۰۴۲، ۰/۰۳۳ و ۰/۰۲۲ و با نوع لیتولوژی شیلی، سیلتی، ماسه‌سنگ، مارن، آهکی؛ گرانیته پره‌کامبرین؛ 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. بنابراین می‌توان گفت هر چه میزان گسلش در یک سازند بیش‌تر باشد مقاومت آن سازند کم‌تر خواهد بود.

اطلاعات حاصل از ارزیابی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و سطح فعالیت زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه (جدول ۴) نشان داد که ۳۴ زیر حوضه معادل ۸۷ درصد کل منطقه مورد مطالعه در وضعیت زمین‌ساختی بالا و بسیار بالا و تنها ۶ زیر حوضه معادل ۱۳ درصد منطقه مورد مطالعه در وضعیت زمین‌ساختی متوسط قرار دارد. بنابراین می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه از لحاظ شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در وضعیت زمین‌ساختی بالا قرار دارد و ویژگی‌های مورفولوژیکی تحت تاثیر خطواره‌های گسلی می‌باشند. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج عابدینی و همکاران (۱۳۹۴)، که در یک کار پژوهشی نشان دادند، حرکات تکتونیکی گسل تبریز، ناشی از ویژگی‌های مورفولوژی حوضه‌های آبریز گماناب‌چای و ورکش‌چای است، منطبق می‌باشد. همچنین، اطلاعات حاصل از جدول (۵) نشان می‌دهد که متوسط توان لرزه‌زایی گسل آستارا برابر با ۶/۹ ریشتر، گسل نئور برابر با ۷ ریشتر، گسل هیر برابر با ۶/۲ ریشتر و گسل سنگور برابر با ۴/۸ ریشتر می‌باشد. در مجموع متوسط توان لرزه‌زایی برای گسل‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه مورد مطالعه براساس معادلات نوروزی و اشجعی، نوروزی و ولز و کوپراسمیت به ترتیب برابر ۵/۸۴۴، ۵/۷۱۰ و ۶/۵۱۷ ریشتر تخمین زده شد.

در این مطالعه، علاوه بر محاسبه توان لرزه‌زایی، به منظور تعیین میزان خطر گسل‌ها روش تحلیل فضایی نیز بکار گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد که شهرهای آستارا، لوندیل و حویق از استان گیلان و نمین و عنبران از استان اردبیل در فاصله ۳۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی قرار دارند. همچنین حساسیت مناطق مسکونی در منطقه مورد مطالعه به خطر وقوع زلزله (جدول ۷) نشان می‌دهد که صد درصد مساحت شهرهای نمین و عنبران در پهنه خطر بسیار زیاد و ۱۰۰ درصد مساحت شهر لوندیل در پهنه خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. بنابراین با توجه به این مطالب و عنایت به اطلاعات جدول (۴) می‌توان گفت که این شهرها در حریم خطر شدید و در صورت بروز زلزله، مستعد ویرانی شدید می‌باشند. قابل ذکر است که گسل‌های آستارا و نئور نزدیک‌ترین گسل‌های اصلی به این شهرها می‌باشند. همچنین، شهرهای لیسار و اسالم از استان گیلان در فاصله ۱۰۰۰۰ متری از خطوط گسلی قرار دارند. بنابراین می‌توان گفت این دو شهر در پهنه حرکات تند و در صورت بروز زلزله مستعد خسارت زیاد هستند. شهر آبی‌بیگلو از استان اردبیل و هشتر از استان گیلان نیز در فاصله بیش از ۱۰۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی قرار گرفتند و احتمال خطر و میزان آسیب‌پذیری در این مراکز سکونتگاهی کم‌تر از سایر شهرهای موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نقشه هم‌پوشانی مناطق مسکونی با پهنه‌های خطر زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد

که بیشتر مناطق مسکونی در فاصله ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متری از خطواره‌های گسلی و در پهنه‌های خطر گسترده تا خطر شدید قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج شایان و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد.

منابع

- آزادخواه، امیر؛ پورکرمانی، محسن؛ رادفر، شهباز (۱۳۸۸)، «لرزه زمین‌ساخت منطقه معدنی سنگ آهن گل گهر سیرجان» فصلنامه زمین شناسی کاربردی. شماره ۳ صص ۲۰۵-۱۹۳.
- احمدی، محمد؛ رضائی مقدم، محمد حسین؛ خیام، مقصود؛ روستایی، شهرام؛ (۱۳۸۵)، «تحلیل مکانی رابطه گسل حاد زمین لرزه‌ها با ناپایداری دامنه‌ای مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی عرضه سرک»، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، شماره ۲۴، صص ۱۷-۱.
- اسدی، زینب؛ زارع، مهدی؛ (۱۳۹۴)، «برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها و ارزیابی بزرگای زمین‌لرزه‌های پیش از تاریخ از داده‌های زمین‌لغزش مطالعه موردی در دره نور (البرز مرکزی)»، علوم زمین، دوره ۲۴، شماره ۹۵، صص 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 ژئومورفولوژیکی، سال دوم، شماره ۴، صص ۳۶-۱۷.
- حسینی، علی؛ فتاحیان، سید امیر؛ ملکان، جواد؛ (۱۳۹۹)، «تحلیل فضایی محدوده‌های ایمن در برابر زلزله با استفاده از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و منطق فازی، مورد مطالعه: (منطقه ۲۰ تهران)»، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۲۲، شماره ۱، صص ۱۶۶-۱۵۱.
- رابطی، دنیا؛ ده‌بزرگی، مریم؛ حکیمی‌آسیابر، سعید؛ نوزعیم، رضا؛ (۱۳۹۷)، «بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در حوضه سپیدرود، البرز غربی»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۲، صص ۱۴۰-۱۵۷.
- رجبی، معصومه؛ آقاجانی، کامیلا؛ (۱۳۸۹)، «بررسی گسل‌ها، توان لرزه‌زایی و خطر زمین‌لرزه در مخروط افکنه‌های شمال‌شرق دریاچه ارومیه»، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۷، از صص ۱۴-۱.
- روستایی، شهرام؛ زمردیان، محمدجعفر؛ رجبی، معصومه؛ مقامی مقیم، غلامرضا؛ (۱۳۸۸)، «نقش فعالیت‌های تکنونیک در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه‌های دامنه جنوبی ال‌داغ»، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۱۵۶-۱۳۷.
- روستایی، شهرام؛ نیری، هادی؛ (۱۳۹۰)، «ارزیابی فعالیت‌های تکنونیک، استفاده از نیمرخ طولی در حوضه آبریز مهاباد»، جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، شماره ۳۶، صص ۱۴۵-۱۱۶.
- ریاضی‌راد، سادات، زهره، ؛ کی نژاد، آناهیتا؛ قمی اوپلی، جعفر؛ (۱۳۸۸)، «بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی درنوشهر و تعیین مناطق باپتانسیل خطر بالا»، فصلنامه زمین، سال چهارم، شماره ۴، صص ۸۹-۷۷.

- سهرابی، آرش؛ بیگی، سهیلا؛ (۱۳۹۵)، «بررسی شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک برای ارزیابی تکتونیک فعال در محدوده آبدوغی، شمال شرق یزد، ایران مرکزی»، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۶، شماره ۴۰، صص ۲۸-۷.
- شایان، سیاوش؛ زارع، غلامرضا؛ (۱۳۹۲)، «تعیین محدوده‌های خطر زمین‌لرزه در مخروط‌افکنه‌های فعال با روش تحلیل فضایی بربریان (مطالعه موردی: مخروط افکنه گرمسار)»، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۷، شماره ۲، صص ۹۳-۱۲۱.
- شکری، پریسا؛ ده‌بزرگی، مریم؛ حکیمی‌آسیاب، سعید؛ (۱۳۹۸)، «بررسی مورفوتکتونیک غرب البرز مرکزی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۷، شماره ۴، صص ۱۲۴-۱۰۵.
- عابدینی، موسی؛ (۱۳۹۵)، «ژئومورفولوژی تکتونیک»، جلد اول چاپ یکم اردبیل. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، ۲۶۸ صفحه.
- عابدینی، موسی؛ کرمی، فریبا؛ سرمستی، نادر؛ (۱۳۹۴)، «ارزیابی فعالیت گسل تبریز با شاخص‌های ژئومورفیک، تکنیک سنجش از دور و GIS»، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۲، صص ۴۰-۱۷.
- عزتی، مریم؛ آقی‌آتابای، مریم؛ (۱۳۹۳)، «تحلیل زمین‌ساخت فعال حوضه‌ی بجنورد با کمک شاخص‌های مورفوتکتونیک»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۱۴۴-۱۳۰.
- کرمی، فریبا؛ رجبی، معصومه؛ ابادری، کلثوم؛ (۱۳۹۷)، «تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوزه‌های آبریز شمال تبریز»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۴۷-۳۰.
- مددی، عقیل؛ مختاری، داود؛ شیرزادی، حمیدیه؛ مهرورز، ارسلان؛ (۱۳۹۵)، «بررسی عملکرد نئوتکتونیک بر مخروط افکنه‌ها با تاکید بر توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (منطقه مورد مطالعه: دامنه‌های شمالغرب سهند)»، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۵، شماره ۱۸، صص ۴۱-۳۱.
- موسوی حرمی، رضا؛ (۱۳۷۷)، «رسوب شناسی»، انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ پنجم ۴۷۴ صفحه.
- میلانی، فاطمه؛ نعمتی، مجید؛ (۱۳۹۷)، «شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناختی، زمین‌ساخت جنبا و لرزه‌خیزی حوضه‌های لوت و جازموریان (استان کرمان)»، زمین‌شناسی محیط زیست، دوره ۱۲، شماره ۴۲، صص ۴۵-۳۳.
- یمانی، مجتبی؛ علیزاده، شهناز؛ (۱۳۹۵)، «بررسی فعالیت‌های نو زمین‌ساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص‌های ژئومورفیک»، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، دوره ۹، شماره ۳۱، صص ۱۸-۱.
- Erdik, M. Demircioglu, M. Sesetyan, K. Durukal, E. Siyahi, B. , 2004. Earthquake hazard in Marmara Region, Turkey, soil Dynamics and Earthquake Engineering 24 (2004) 605-631.
- Hamdouni, R.E. , Irigaray, C. Fernandez, T. Chamcon , J. Keller, E. A ., 2008. Assessment of relative active tectonic, south west border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology 96, 150-173.
- 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 a tool 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, Net Hazards 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.