جغرافیا و توسعه شمارهٔ ۵۵ تابستان ۱۳۹۸
وصول مقاله : ۹۶/۰۸/۰۵
تأیید نهایی : ۹۷/۰۳/۱۶
صفحات: ۱۷۴-۱۵۳

پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به روش منطق فازی در رشته‌کوه باقران (جنوب بیرجند)

دکتر مهدی حسین‌آبادی[۱] *، دکتر سیدمرتضی موسوی[۲]، دکتر محمد ناظمی[۳]

چکیده

زمین‌لغزش و زمین‌لرزه از مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله باعث ایجاد خسارت‌های جانی و مالی فراوانی در سطح کشور شده‌اند. در این تحقیق پس از تهیهٔ نقشهٔ زمین‌لغزش‌ها با استفاده از کارهای میدانی و نقشه‌های زمین‌شناسی، عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در کوه باقران تهیه و تراکم سطح آن‌ها (وزن داخلی) محاسبه شد. مقایسات زوجی بین این پارامترها صورت گرفت و در این زمینه پارامترهای مؤثر، اولویت‌بندی شد. در مرحلهٔ بعدی با استفاده از منطق فازی، درجهٔ عضویت پارامترها مشخص شد و در پایان با هم تلفیق شدند. از بین عوامل مؤثر بر زمین‌لرزه، پارامتر هم‌شتاب بیشترین وزن را داشت و از بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، پارامتر هم‌شتاب لرزه‌ای و فاصله از گسل بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. براساس نقشه‌های خروجی فازی زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را با پراکنش زمین‌لرزه در منطقه دارد؛ به‌طوری که ۴۲ درصد از منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی‌زیاد زمین‌لرزه قرار دارد. در پایان پس از تلفیق نقشه‌های حاصل از زمین‌لغزش و زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را دارد که به‌ترتیب ۰/۲۶، ۰/۱۹، ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۱۲ درصد از منطقه در کلاس‌های خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد نهایی حاصل از تلفیق زمین‌لرزه و زمین‌لغزش قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: مقایسات زوجی، منطق فازی، درجهٔ عضویت فازی، اپراتورهای فازی، آنالیز شبکه، کوه باقران.

۱- استادیار زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی طبس، طبس، ایران * mhsedi1355@gmail.com
۲- استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران mmoussavi@birjand.ac.ir
۳- استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی طبس، طبس، ایران nazemigeo@gmail.com

مقدمه

- بیان مسأله و سؤالات تحقیق

زمین‌لرزه‌ها و زمین‌لغزش‌ها همواره جزو مهم‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله تعداد بسیاری از مردم جهان، گرفتار آثار نامطلوب آن می‌شوند. برای کاهش تلفات جانی و اقتصادی و تبعات اجتماعی آن ضروری است که براساس دانش کنونی و آخرین فناوری‌های قابل‌اعتماد، از خطر وقوع زمین‌لرزه در نقاط مختلف، شناختی دقیق به‌دست آورد. قدم اول و مهم در تجزیه‌وتحلیل خطر لرزه‌ای، راهبرد کاهش استقرار جمعیت در مناطق پرخطر است. هر چند پیش‌بینی دقیق این مخاطرهٔ بزرگ طبیعی به‌صورت قطعی ممکن نیست؛ ولی تعیین احتمالی مکان رخداد یک زلزله یا مکان‌های احتمالی وقوع زمین‌لغزش امکان‌پذیر است؛ بنابراین ضرورت پهنه‌بندی آشکار می‌شود. قابلیت اعتماد این نقشه تا حد زیادی به کیفیت داده‌های در دسترس، مقیاس مطالعه، انتخاب یک روش و مدل‌سازی مناسب بستگی دارد. این نقشه‌ها ممکن است به روش‌های کمّی یا کیفی تهیه شود. روش‌های کیفی عموماً مبتنی‌بر عقیدهٔ کارشناسی هستند؛ اما در برخی از روش‌های کیفی از اصول رتبه‌دهی و وزن‌دهی به پارامترها بهره گرفته شده‌است. این روش‌ها طبیعت شبه کمّی دارند. نمونه‌هایی از این روش‌ها استفاده از روش ANP یا منطق فازی است *(کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۴: ۱۸۱-۱۷۰)*. گسل‌های امتدادلغز راستگرد (مانند گسل‌های نه شرقی، نه غربی، اسماعیل‌آباد، پرنگ) با راستای شمالی- جنوبی در عرض‌های پایین‌تر از ۳۴ درجه و گسل‌های راندگی با مؤلفهٔ امتدادلغز چپگرد (گسل‌های دشت بیاض و درونه باختری) با راستای خاوری- باختری در عرض‌های بالاتر از ۳۴ درجه دیده می‌شود. فعالیت هر دو روند اصلی ذکرشده سبب افزایش برشی راستگردی با روند شمالی- جنوبی بین افغانستان و بخش مرکزی ایران می‌شود. *(Walker & Jackson, 2004: 265- 282; Allen et al, 2006: 579-589)*. بررسی نقشه‌های لرزه‌زمین‌ساختی *(پورکرمانی، ۱۳۷۶: ۲۸۴)* حاکی از آن است که این منطقه از پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی برخوردار است و زمین‌لرزه‌های زیادی در این منطقه روی داده‌است.

با توجه به تراکم جمعیت روستایی و ساخت‌وساز انبوهی که در این منطقه در حریم گسل‌های فعال صورت گرفته‌است، برای جلوگیری از تلفات جانی، اهمیت این پهنه‌بندی آشکار می‌شود. نقشه‌های نهایی این برآورد خطر بر مبنای مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در منطقه صورت می‌گیرد. در این تحقیق سؤالات زیر مطرح می‌شود:

۱- آیا ارتباطی بین زمین‌لغزش‌ها و زمین‌لرزه در منطقه وجود دارد؟ به‌عبارتی دیگر، آیا مناطق با لغزش بالا منطبق با مناطق با لرزه‌خیزی بالاست؟

۲- کدام‌یک از عوامل، مهم‌ترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه ایفا می‌کنند؟

۳- کدام‌یک از خروجی‌های نهایی، منطبق‌بر واقعیت در وقوع زمین‌لرزه و زمین‌لغزش است؟

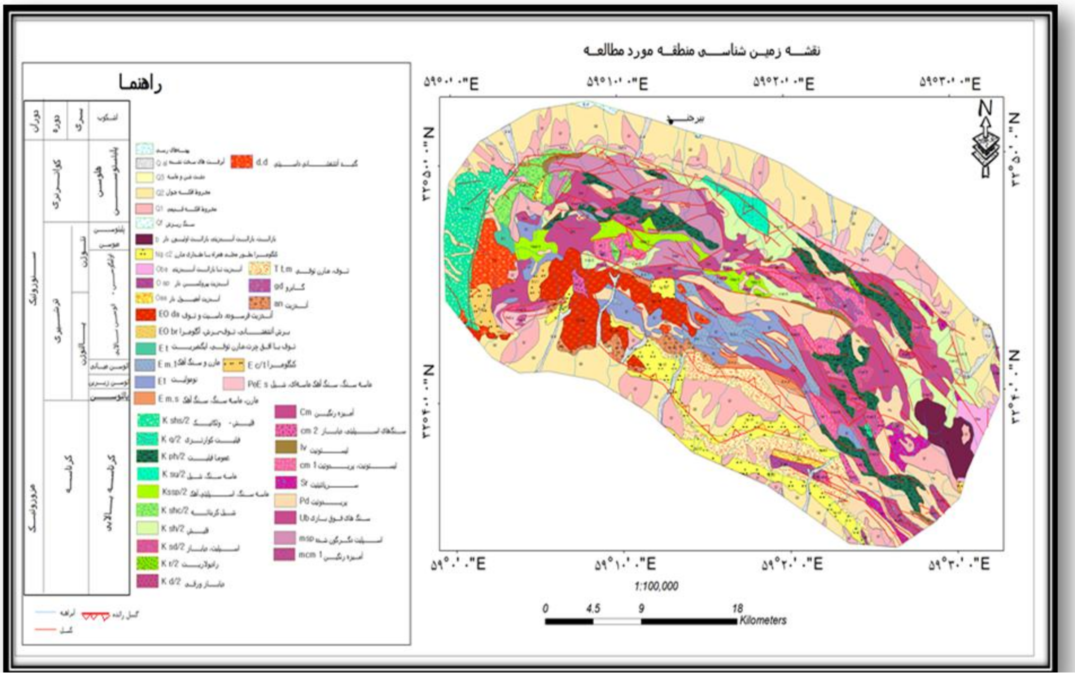
اهداف اصلی تحقیق عبارت‌اند از:

- شناسایی سکونتگاه‌های ناامن و هشدار برای تخلیه (در صورت امکان).
- شناسایی سکونتگاه‌های امن به‌منظور ساخت‌وسازهای جدید.

-جایگاه زمین شناختی

منطقهٔ موردنظر به وسعت حدود ۱۱۰۰ کیلومتر مربع در جنوب بیرجند واقع است (شکل ۱). کوه باقران یکی از شاخه‌های تمایل‌یافته از پهنهٔ سیستان به داخل پهنهٔ لوت است. ایالت ساختاری سیستان در

شرق ایران با روند کلی شمالی-جنوبی نشان‌دهندۀ زمین درز برخوردی قطعۀ لوت و افغان است (*Tirrul et al, 1983:134-156*) وجود سیستم گسلی نهبندان در مرز بین این ایالت ساختاری و پهنۀ لوت موجب دگرشکلی واحدهای سنگی در حاشیه و درون ایالت ساختاری سیستان شده‌است. سیستم گسل نهبندان با سازوکار غالب امتداد لغز راستگرد و روند کلی شمالی- جنوبی دارای سرشاخه‌های فرعی زیادی است. فعالیت این سیستم گسلی در مراحل مختلف و جداشدن اریب‌های پایانه‌ای در هر یک از این مراحل، عامل ایجاد خمیدگی‌های ساختاری در نیمۀ شمالی لوت هستند و خمیدگی‌های اصلی ساختاری محل فعالیت خمیدگی‌های این‌سیستم گسلی است (*خطیب، ۲۲۴:۱۳۷۷*). آمیزه‌های افیولیتی حدود۶۰ درصد از رخنمون‌های سنگی را در این ناحیه به خود اختصاص می‌دهند و به‌دلیل تحمل برش زیاد و مخلوط‌شدن تکتونیکی، نظم بخش‌های مختلف آن از بین رفته است که شامل سنگ‌های اولترامافیک، سنگ‌های رسوبی و سنگ‌های دگرگون است(*خطیب،۱۳۶۸: ۱۶۰*).



شکل ۱: نقشۀ زمین‌شناسی منطقۀ مورد مطالعه

اوهانیان و همکاران، ۱۹۷۸ (ترسیم مجدد: نگارندگان، ۱۳۹۶)

پیشینۀ تحقیق

منصوری و همکاران (*۱۳۹۵: ۸۱-۴۹*) در مقالۀ خود باعنوان «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق بولین در کوه باقران (جنوب بیرجند)» بیان کردند که فاکتورهای فرسایش، فاصله از گسل‌و شتاب مهم‌ترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش‌ها درمنطقۀ بیرجند ایفا می‌کنند. همچنین بیش از ۹۵ درصد از زمین‌لغزش‌ها در ردۀ سنگ‌های با مقاومت ضعیف و خیلی‌ضعیف در برابر فرسایش قرار دارند. براساس نتایج پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله‌مراتبی به‌ترتیب ۱۵، ۱۲، ۲۵، ۲۹ و ۱۹ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد قرار گرفت.

بررسی گسلش فعال در بیرجند شمال شرق ایران، گسل محدودهٔ جلویی کوه باقران در اواخر کواترنری فعال هستند *(Walker and khaib, 2006: 1-17)*.
زمین‌لغزش هاوانان به‌صورت لغزش دورانی و موضعی است که توده‌های سست و تجمع آن‌ها در نواحی پایین‌دست قرار دارد *(محمدی، ۱۵۲:۱۳۹۱)*. مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضهٔ کشوری به‌ترتیب اولویت مربوط به شیب، لیتولوژی، گسل، آبراهه، جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، بارش، زمین‌لرزه و جاده هستند که فاصله از جاده تأثیر زیادی بر روی زمین‌لغزش ندارد *(سوری، ۱۰۷:۱۳۹۰)*.

حیدری‌آقاگل *(۱۳۹۴: ۱۸۶)* نیز با استفاده از پنج فاکتور گشتاور لرزه‌ای،هم‌شتاب، هم‌شدت شکستگی، فاصله از شکستگی و عمق آبرفت به تحلیل لرزه‌خیزی منطقهٔ اردکول قائن پرداخت که نشان داد نرخ فعالیت گسل اردکول از شمال به جنوب منطقه افزایش می‌یابد و قسمت جنوب منطقه را به‌عنوان منطقه با خطر زیاد و خیلی‌زیاد از نظر لرزه‌خیزی معرفی کرد.

قهرمانی *(۱۱۹:۱۳۹۵)* با استفاده از ۶ فاکتور گشتاور لرزه‌ای، هم‌شتاب، هم‌شدت شکستگی، فاصله از گسل، مقاومت واحدها و عمق آبرفت به تحلیل لرزه‌خیزی منطقهٔ دهک (جنوب‌غرب سربیشه) پرداخت که عنوان کرد براساس پارامتر شتاب لرزه‌ای، شتابی که گسل دهک به روستاهای آن منطقه وارد می‌کند، معادل ۰/۵۸ شتاب ثقلی زمین است. نقشه‌های خروجی به‌دست‌آمده براساس اپراتورهای فازی نشان می‌دهد که نقشهٔ حاصل از جمع جبری فازی (sum)، بیشترین انطباق را با واقعیت دارد که به‌ترتیب۲۰، ۲۸، ۲۶، ۱۶ و ۱۰ درصد از منطقه در کلاس‌های خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد قرار دارد. در این نقشه قسمت اعظم منطقهٔ دهک (۷۰ درصد) در کلاس خطر زیاد و خیلی‌بالا قرار دارد.

جنبهٔ نوآوری این تحقیق

در پهنهٔ باقران ممکن است مناطقی باشد که در مناطق بی‌خطر زمین‌لغزش قرار گیرند، اما از نظر لرزه‌خیزی در مناطق با خطر بالا قرار بگیرند؛ بنابراین باید نقشه‌هایی با استفاده از تلفیق فاکتورهای مؤثر بر این دو عامل تهیه شود. مقایسات زوجی زیرنظر کارشناس انجام می‌شود و چه‌بسا اولویت‌بندی نامناسب منجر به تهیهٔ نقشه‌های اشتباه شود که در برخی مطالعات قبلی رخ داده‌است. در ادامه پس از تهیهٔ نقشه‌ها، راستی‌آزمایی نقشه‌های خروجی بر مبنای داده‌های واقعی و آماری صورت می‌گیرد تا بهترین نقشهٔ خروجی انتخاب شود.

بحث

- تئوری منطق فازی

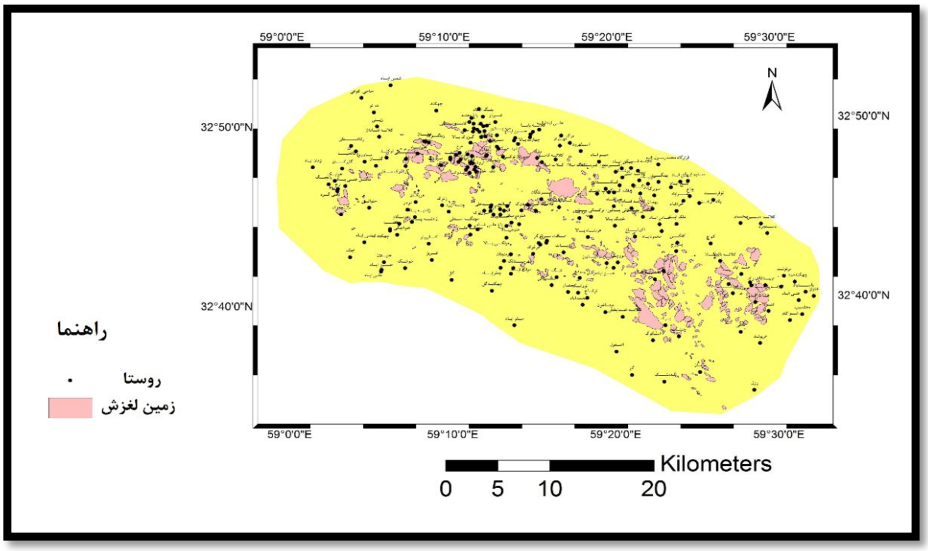
مفهوم منطق فازی اولین بار توسط دکتر لطفی‌زاده استاد دانشگاه کالیفرنیا در مقاله‌ای با عنوان «مجموعه‌های فازی»، در سال ۱۹۶۵ ارائه شد *(تاناکا، ۱۴۱:۱۳۸۳)*.

منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیّرهای آن علاوه‌بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند همهٔ مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. تعلق هر عضو مجموعهٔ مرجع به یک عضو زیرمجموعهٔ خاص، به‌صورت قطعی نیست؛ یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو موردنظر متعلق‌به این مجموعه هست یا نه. این عدم‌قطعیت با نسبت‌دادن یک عدد بین ۰ و ۱ به این عضو انجام می‌گیرد. اگر این عدد برابر با ۰ باشد، می‌توان با قطعیت گفت که عضو مورد بحث متعلق‌به آن مجموعه نبوده و همچنین اگر این عدد ۱ باشد می‌توان ادعا کرد که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه است. به این ترتیب می‌توان زیر مجموعه‌های یک مجموعه فازی را با نسبت‌دادن عددهای ۰ و ۱ به هر عضو مجموعه بازنمایی کرد *(Champti- ray, 2007: 101-111)*.

-داده‌های موردنیاز

پس از بررسی منابع و یافته‌های علمی مرتبط با موضوع، با استفاده از عکس‌های گوگل‌ارث و همراه با بازدید میدانی، نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه تهیه شد(شکل ۲) در این مطالعه برای بررسی خطر زمین‌لرزه از چهار پارامتر نقشهٔ هم‌شتاب لرزه‌ای، هم‌شدت شکستگی، فاصله از گسل و مقاومت واحدها استفاده شد. همچنین برای بررسی خطر زمین‌لغزش از ۹ پارامتر هم‌شتاب لرزه‌ای، هم‌شدت شکستگی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، مقاومت واحدها، توپوگرافی، شیب، جهت شیب و بارش استفاده شده است. در ادامه به معرفی پارامترها و تحلیل آماری زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در آن‌ها می‌پردازیم. در معرفی پارامترها، منظور از وزن داخلی برای زمین‌لرزه، درصد کلاس خطر را نشان می‌دهد و برای زمین‌لغزش بیان‌کنندهٔ تراکم سطح لغزش است که از رابطهٔ زیر استفاده شده‌است.

تراکم سطح زمین‌لغزش= (مساحت کل زمین‌لغزش‌هامساحت کل منطقه)(مساحت لغزش در آن کلاسمساحت آن کلاس)



شکل ۲: نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان،۱۳۹۶

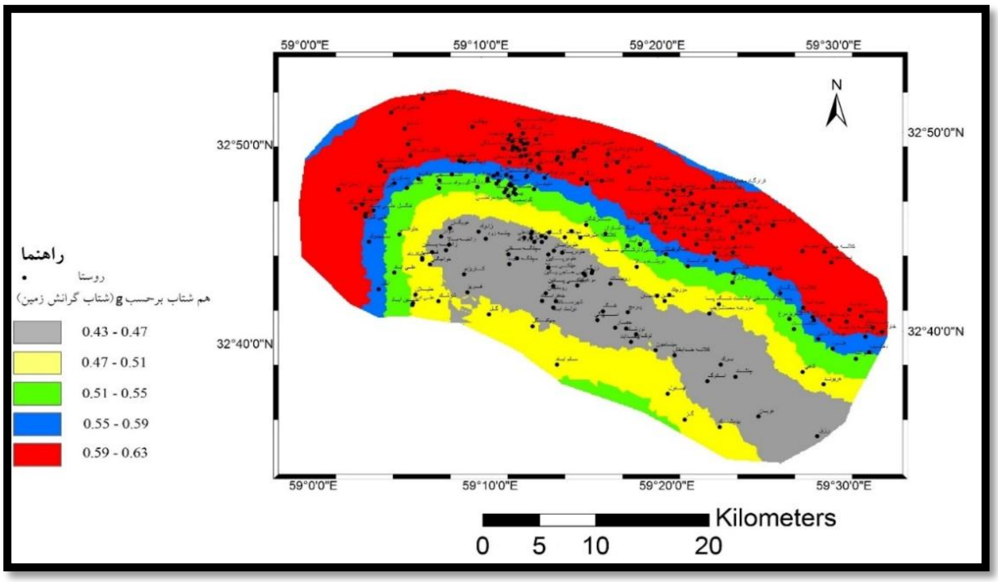
-پارامتر هم‌شتاب لرزه‌ای

به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ هم‌شتاب لرزه‌ای، ابتدا گسل‌های اصلی کواترنری منطقه از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرجند مشخص شد. سپس مقادیر بیشینهٔ شتاب ثقل افقی وارده از طرف گسل‌های فعال نسبت‌به یک نقطهٔ خاص اندازه‌گیری شد. بر این اساس بیشینهٔ شتابی که از گسل‌های فعال بر روستاهای اطراف وارد می‌شود، g ۰/۶۳ (شتاب جاذبهٔ زمین) برآورد شده‌است. (شکل ۳) براساس نتایج به‌دست‌آمده بیش از ۴۶ درصد منطقه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی‌زیاد ازنظر لرزه‌خیزی و ۴۲ درصد از آن در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی‌زیاد ازنظر خطر زمین‌لغزش قرار دارد(جدول ۱).

جدول ۱: محاسبهٔ وزن داخلی هم‌شتاب لرزه‌ای

وزن داخلی زلزله	وزن داخلی زمین‌لغزش	کلاس خطر
۰/۲۵	۰/۱۶	خیلی‌کم
۰/۱۹	۰/۱۵	کم
۰/۱	۰/۲۷	متوسط
۰/۰۹	۰/۳۶	زیاد
۰/۳۷	۰/۰۶	خیلی‌زیاد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۳: نقشهٔ هم‌شتاب لرزه‌ای منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

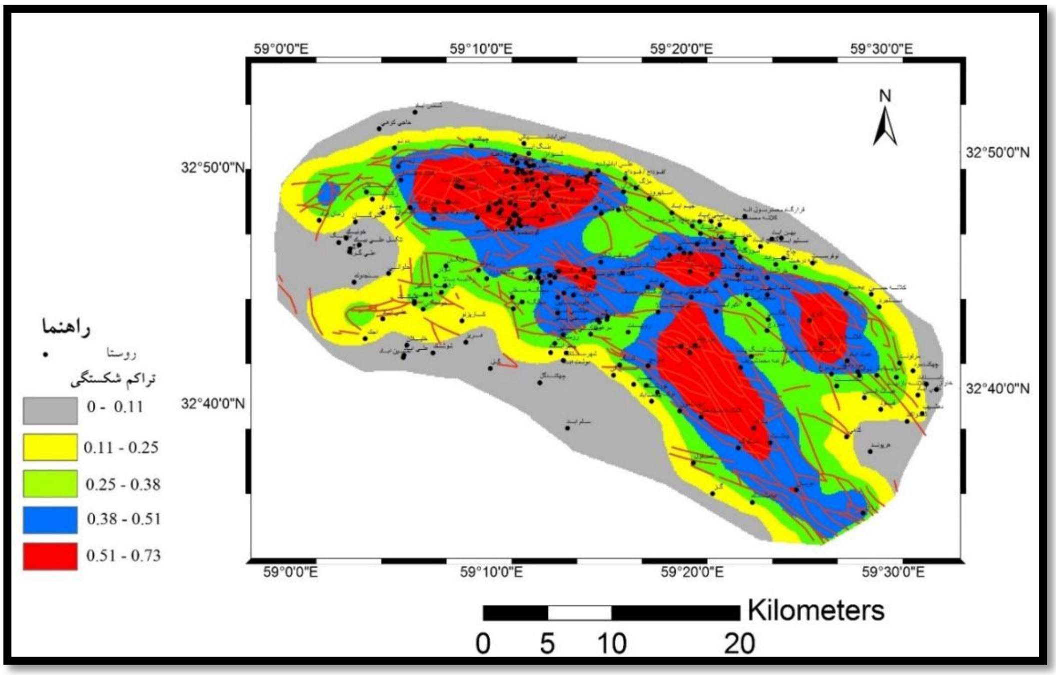
-پارامتر هم‌شدت شکستگی

برای تهیهٔ نقشهٔ هم‌شدت شکستگی ابتدا نقشهٔ شکستگی‌های کواترنری و غیرکواترنری منطقه ازطریق نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرجند و تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد، سپس شبکه‌ای به ضلع ۲ کیلومتری بر روی این شکستگی‌ها طراحی شد و در هر واحد شدت شکستگی در نرم‌افزار GIs و با استفاده از ابزار XTools محاسبه شد. سپس با استفاده از ابزار Geostatistical Analyst در برنامهٔ Arc Map و از روش کریجینگ ساده با مدل برازش گوسی، نقشهٔ شدت شکستگی برای کواترنری و غیرکواترنری تهیه شد. از نظر آماری حدود ۷۰ درصد از زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های تراکم زیاد و خیلی‌زیاد قرار دارند (جدول ۲) (شکل ۴).

جدول ۲: محاسبهٔ وزن داخلی هم‌شدت شکستگی

وزن داخلی زلزله	وزن داخلی زمین‌لغزش	تراکم شکستگی	تراکم شکستگی
۰/۲۵	۰/۰۴	۰-۰/۱۱	خیلی‌کم
۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۱۱-۰/۲۵	کم
۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۲۵-۰/۳۸	متوسط
۰/۲۲	۰/۲	۰/۳۸-۰/۵۱	زیاد
۰/۱۴	۰/۵	۰/۵۱-۰/۷۳	خیلی‌زیاد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۴: نقشهٔ هم‌شدت شکستگی منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

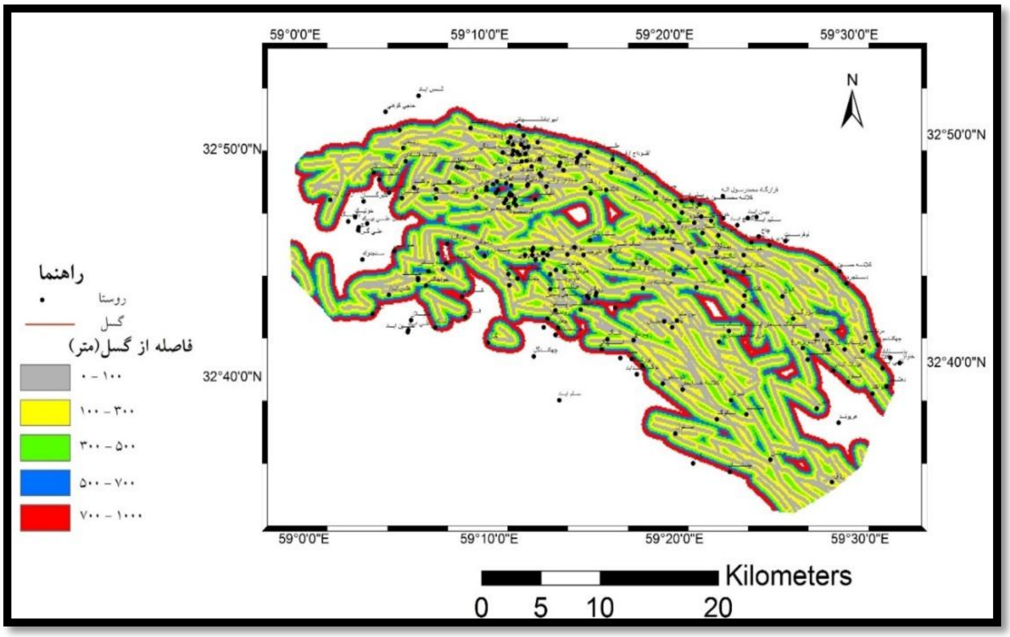
- فاصله از گسل

در اثر عملکرد یک گسل علاوه‌بر محدودهٔ خود گسل، محدودهٔ خارج از خود گسل را که به‌نام حریم گسل شناخته می‌شود، تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در هنگام بروز زمین‌لرزه بیشترین خسارات وارد منطقه در بخش حریم گسل قرار دارد، بنابراین تعیین حریم گسل و شکستگی‌های کواترنری حاصل از آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به‌همین‌دلیل با توجه به شیب گسل‌های محدوده، حریم برای گسل‌های منطقهٔ ۷۰۰ متری در نظر گرفته شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش از ۹۵ درصد زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ کمتر از ۷۰۰ متری گسل قرار دارند (جدول ۳) (شکل ۵).

جدول ۳: محاسبهٔ وزن داخلی فاصله از گسل

وزن داخلی زلزله	وزن داخلی زمین‌لغزش	فاصله از گسل (متر)
۰/۲	۰/۲۶	۰-۱۰۰
۰/۲	۰/۲۵	۱۰۰-۳۰۰
۰/۱۴	۰/۲۴	۳۰۰-۵۰۰
۰/۰۸	۰/۲	۵۰۰-۷۰۰
۰/۳۸	۰/۰۵	>۷۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۵: نقشهٔ فاصله از گسل در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

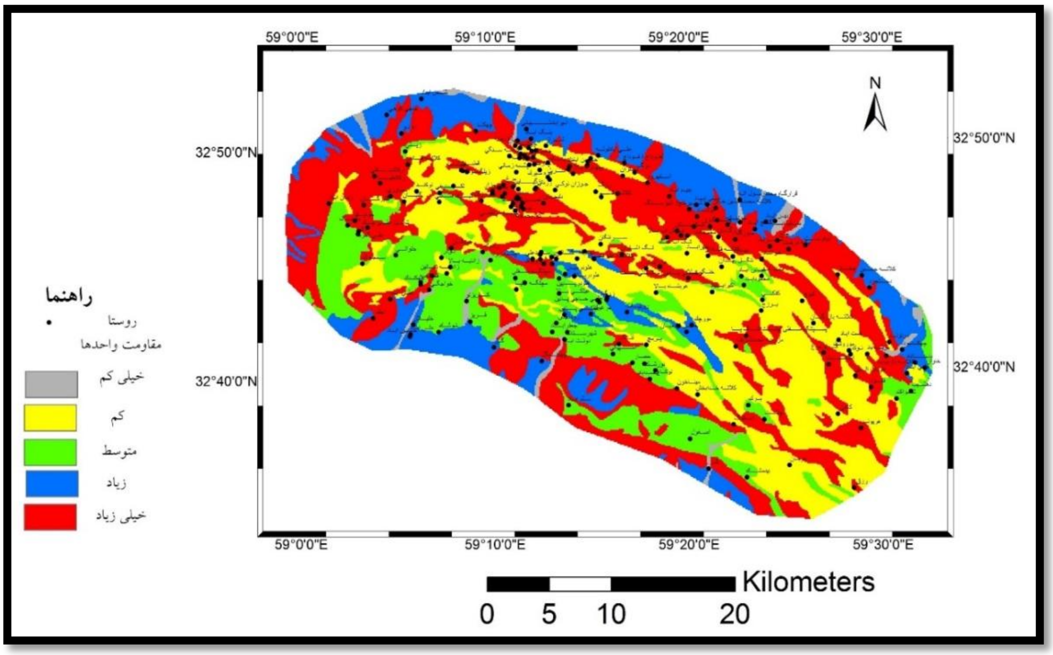
- مقاومت واحدها

مقاومت واحدها نیز یک پارامتر مؤثر دیگر در لرزه‌خیزی است. این تقسیم‌بندی برمبنای مقاومت واحدها در برابر هوازدگی و میزان صلبیت واحد سنگی است. طوری که واحدهای کواترنری در ردهٔ خیلی ضعیف و سنگ‌هایی همچون بازالت در ردهٔ مقاومت زیاد قرار می‌گیرند. براساس نتایج به‌دست آمده، قسمت عمدهٔ زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های خطر پایین و متوسط قرار دارد (جدول ۴) (شکل ۶).

جدول ۴: محاسبهٔ وزن داخلی مقاومت واحدهای سنگی

مقاومت واحدهای سنگی	وزن داخلی زمین‌لغزش	وزن داخلی زلزله
خیلی‌کم	۰	۰/۳۲
کم	۰/۵۶	۰/۱۶
متوسط	۰/۱۷	۰/۱۸
زیاد	۰/۰۵	۰/۳۲
خیلی‌زیاد	۰/۲۲	۰/۰۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۶: نقشهٔ مقاومت واحدهای سنگی در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

پارامترهایی که در بالا اشاره شد، هم در وقوع زمین‌لغزش و هم زمین‌لرزه تأثیر دارند؛ اما در ادامه پارامترهایی که فقط در وقوع زمین‌لغزش تأثیر دارند بیان می‌شود.

-نقشهٔ شیب و جهت شیب

این پارمترها به نوبهٔ خود نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش ایفا می‌کنند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش از ۸۰ درصد زمین‌لغزش‌ها در نشیب توپوگرافی ۱۰-۴۰ درجه تشکیل می‌شود (جدول ۵) (شکل ۷). درصد پراکنش زمین‌لغزش براساس پارامتر جهت شیب (جدول ۶) حاکی از پراکنش تقریباً یکسان در همهٔ راستاهاست؛ ازاین‌رو این عامل تأثیر زیادی در شکل‌گیری زمین‌لغزش ندارد و از نظر اولویت‌بندی در پارامترهای پایانی قرار می‌گیرد.

جدول ۵: محاسبهٔ وزن داخلی جهت شیب

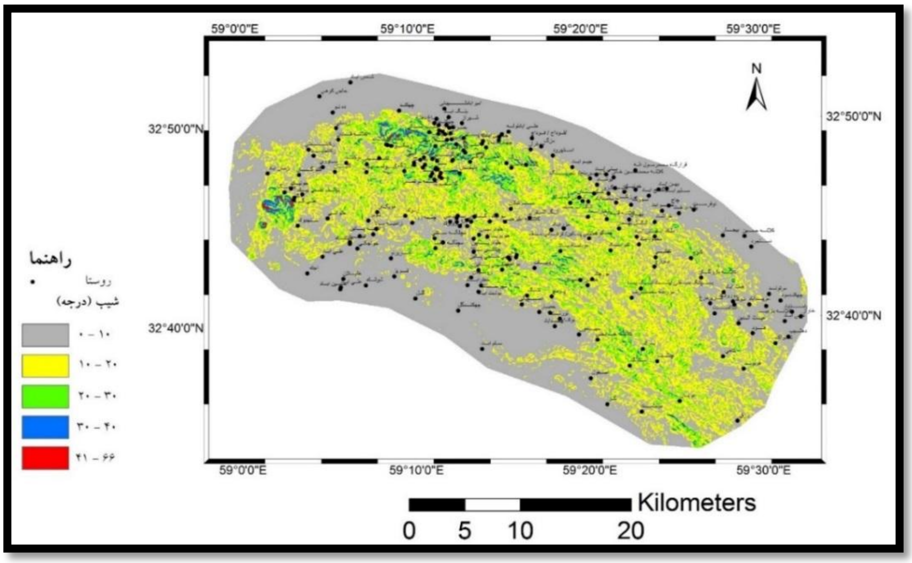
آزیموت جهت شیب (درجه)	وزن داخلی زمین‌لغزش
۰-۴۵	۰/۱۸
۴۵-۱۳۵	۰/۲۶
۱۳۵-۲۲۵	۰/۱۸
۲۲۵-۳۱۵	۰/۱۷
۳۱۵-۳۶۰	۰/۲۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۶ : محاسبۀ وزن داخلی شیب

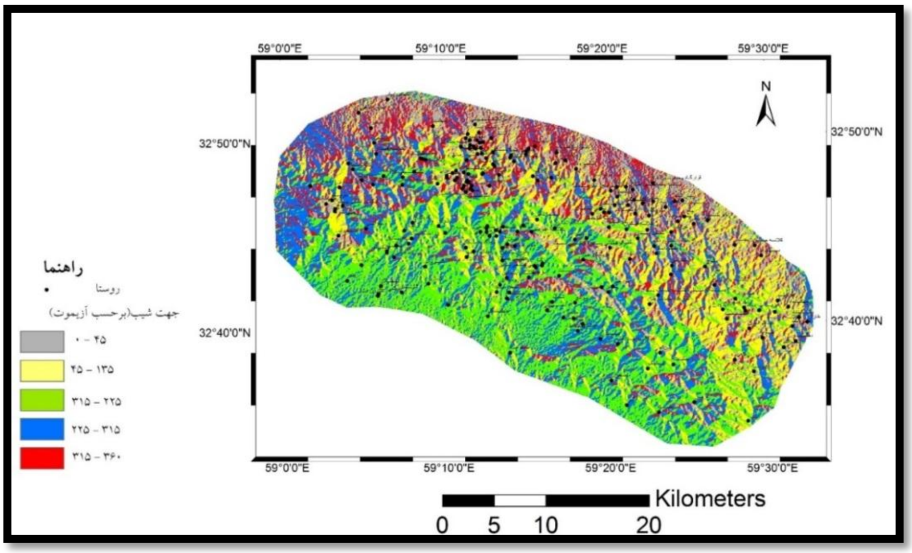
شیب توپوگرافی (درجه)	وزن داخلی زمین‌لغزش
۰-۱۰	۰/۰۷
۱۰-۲۰	۰/۲۷
۲۰-۳۰	۰/۳
۳۰-۴۰	۰/۲۳
۴۰-۶۶	۰/۱۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۷: نقشۀ نشیب توپوگرافی در منطقۀ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۸: نقشۀ جهت نشیب توپوگرافی در منطقۀ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

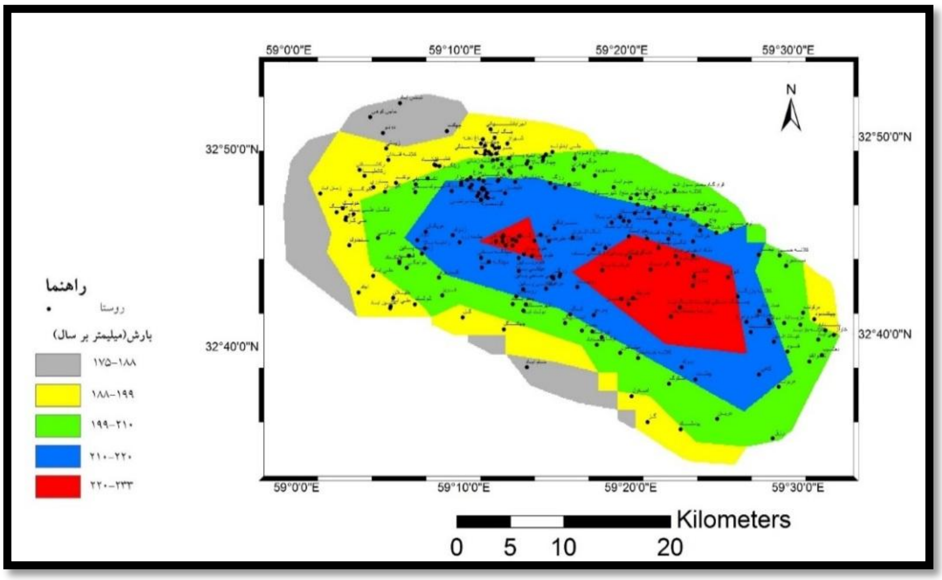
-بارش

براساس نتایج به‌دست‌آمده، منطقهٔ مورد مطالعه محدودهٔ بارش‌های بالای ۲۰۰ میلی‌متر در سال را شامل می‌شود (جدول ۷).

جدول ۷: محاسبهٔ وزن داخلی بارش

میزان بارش (میلی‌متر)	وزن داخلی زمین‌لغزش
۱۷۵-۱۸۸	۰/۰۱
۱۸۸-۱۹۹	۰/۰۴
۱۹۹-۲۱۰	۰/۱۹
۲۱۰-۲۲۰	۰/۳۴
۲۱۱-۲۳۳	۰/۴۲

مأخذ : نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۹: نقشهٔ هم‌بارش در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

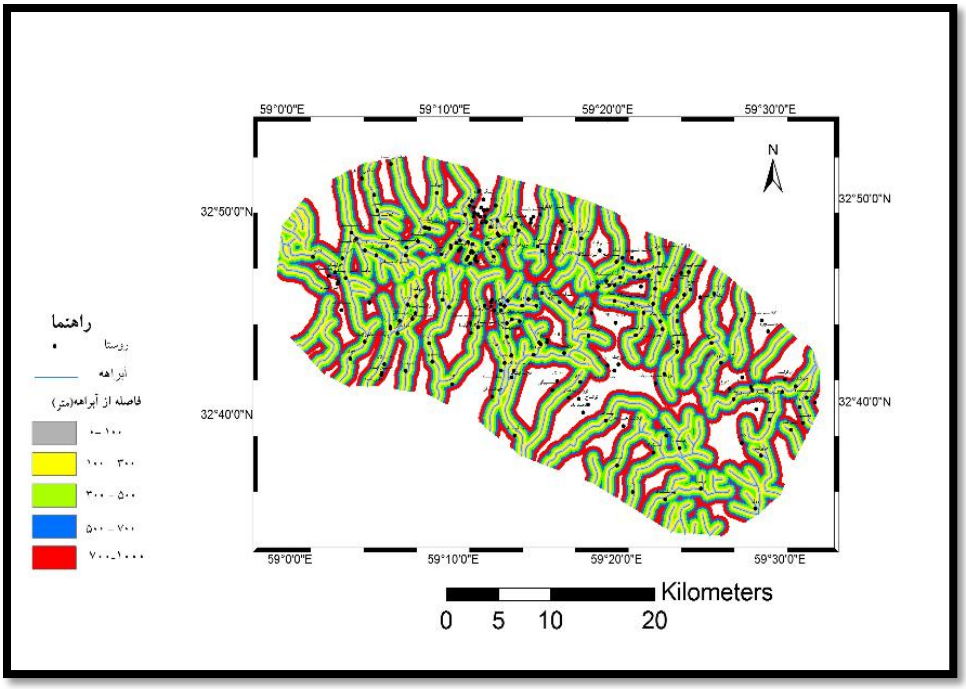
- فاصله از آبراهه

براساس نتایج به‌دست‌آمده، قسمت عمدهٔ زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ صفر تا ۷۰۰ متری از آبراهه‌ها قرار دارند (جدول ۸)

جدول ۸: محاسبهٔ وزن داخلی فاصله از آبراهه

فاصله از آبراهه (متر)	وزن داخلی زمین‌لغزش
۰-۱۰۰	۰/۲۱
۱۰۰-۳۰۰	۰/۲۳
۳۰۰-۵۰۰	۰/۲۳
۵۰۰-۷۰۰	۰/۱۹
۷۰۰<	۰/۱۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۰: نقشهٔ فاصله از آبراهه در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

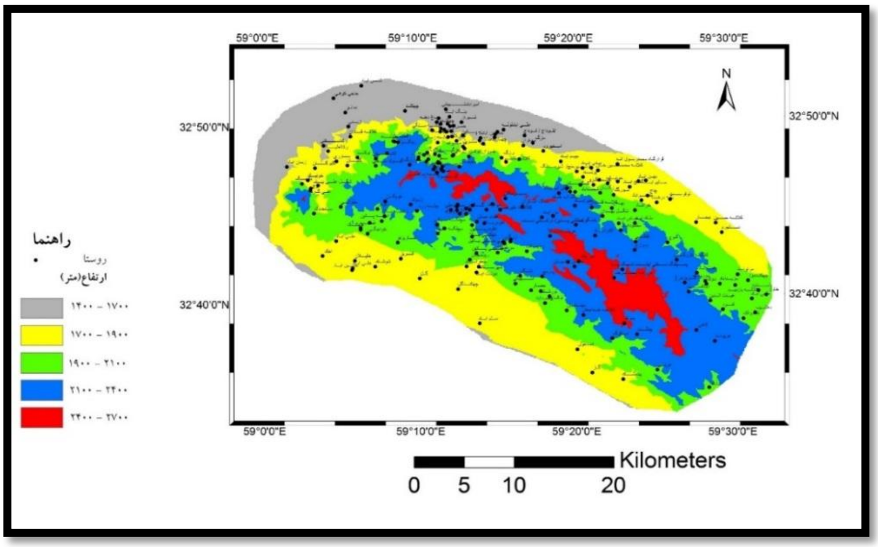
- توپوگرافی

نتایج به‌دست‌آمده حاکی از وقوع قسمت عمدهٔ زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات بالای ۱۹۰۰ متر است که می‌تواند به‌دلیل بارش در ارتفاعات باشد (جدول ۹).

جدول ۹: محاسبهٔ وزن داخلی توپوگرافی

ارتفاع (متر)	وزن داخلی زمین‌لغزش
۱۷۰۰-۱۴۰۰	۰
۱۹۰۰-۱۴۰۰	۰/۰۲
۲۱۰۰-۱۹۰۰	۰/۱۹
۲۴۰۰-۲۱۰۰	۰/۳۲
۲۷۰۰-۲۴۰۰	۰/۴۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



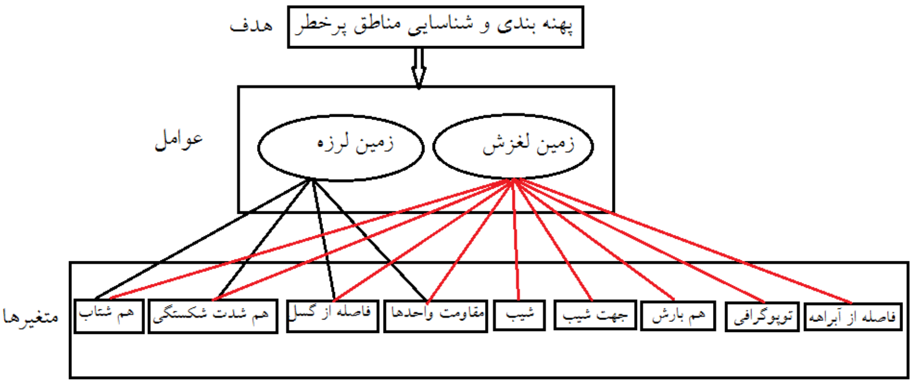
شکل ۱۱ : نقشهٔ توپوگرافی در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

روش کار و راستی‌آزمایی داده‌ها

-اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه

برای وزن‌دهی به هر عامل، قسمت‌هایی که به‌طور تقریبی از نظر ویژگی‌های دیگر مشابه بوده و عامل موردنظر تغییر می‌کند، درنظر گرفته می‌شود و با مشاهدهٔ تغییرات این عامل و تأثیر آن بر وقوع لغزش‌ها، با استفاده از جدول ۱۰ براساس نظر و دید کارشناس *(مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۳۶۴)* نسبت‌به منطقه عوامل به‌صورت دوبه‌دو با هم مقایسه می‌شوند و یکی از وزن‌های جدول انتخاب می‌شود که بستگی به دقت عمل، تجربه و میزان آشنایی کارشناس با منطقه دارد. نتایج این مقایسه‌ها به‌صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert choice وارد شد و در خروجی آن وزن هر پارامتر تعیین شد *(جدول ۱۲ و ۱۱)*. از بین عوامل مؤثر بر زمین‌لرزه، پارامتر هم‌شتاب بیشترین وزن را به خود اختصاص داد و از بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، پارامتر هم‌شتاب لرزه‌ای و فاصله از گسل بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. در شکل ۱۲، فلوچارتی از روش کار آورده شده‌است.



شکل ۱۲: نحوهٔ ارتباط بین فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لرزه و زمین‌لغزش

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۰: مقایسات زوجی استفاده‌شده برای پارامترهای مورداستفاده

ترجیحات	مقدار عددی
کاملاً مرجح	۹
ترجیح خیلی‌قوی	۷
ترجیح قوی	۵
کمی مرجح	۳
ترجیح یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۶، ۴، ۲ و ۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۱: وزن پارامترهای مؤثر در زمین‌لرزه در expert choice

معیارها	وزن‌های استاندارد
هم‌شتاب	۰/۴۶۷
فاصله از گسل	۰/۲۷۷
هم‌شدت شکستگی	۰/۱۶۰
مقاومت واحدها (فرسایش)	۰/۰۹۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۲: وزن پارامترهای مؤثر در زمین‌لغزش در expert choice

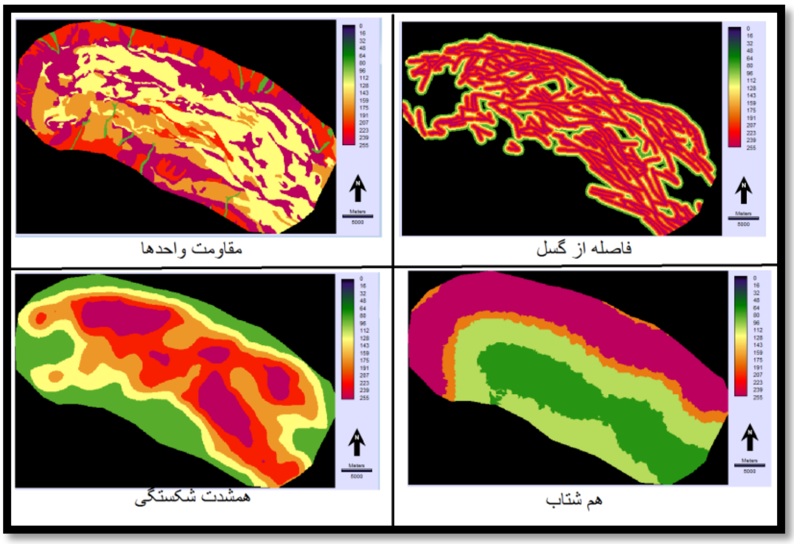
معیارها	وزن‌های استاندارد
هم‌شتاب	۰/۲۹۲
فاصله از گسل	۰/۲
هم‌شدت شکستگی	۰/۱۴۱
شیب	۰/۱۰۳
بارش	۰/۰۸۳
توپوگرافی	۰/۰۶۵
فاصله از آبراهه	۰/۰۵۲
مقاومت واحدها (فرسایش)	۰/۰۳۵
جهت شیب	۰/۰۲۹

مأخذ : نگارندگان، ۱۳۹۶

پهنه‌بندی

- زمین‌لرزه

در روش فازی، نرمال‌سازی نسبت فراوانی هر یک از نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert choice، سپس درجه عضویت فازی براساس نسبت فراوانی‌های نرمال‌سازی‌شده در محیط نرم‌افزار Idrisi تعیین شد (شکل ۱۳). سپس نقشه‌های تهیه‌شده براساس عملگرهای‌فازی در نرم‌افزار GISRC به‌هم هم‌پوشانی داده شدند و خروجی نهایی به‌عنوان نقشهٔ پهنه‌بندی تهیه شد (شکل۱۴) (جدول۱۳). در بین خروجی‌های فازی، از خروجی‌های اجتماع فازی، جمع جبری فازی و ضرب فازی خروجی مناسب تهیه شد.



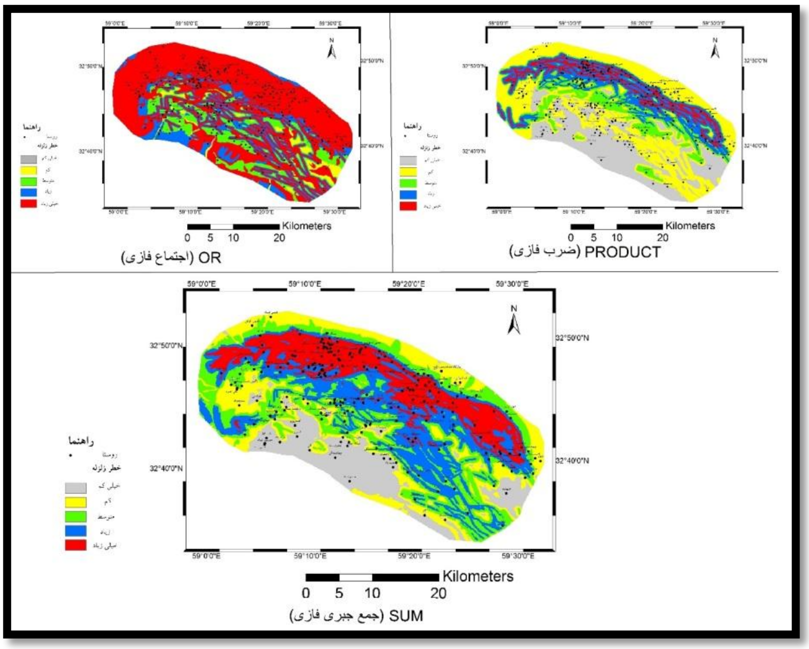
شکل۱۳:درجه عضویت فازی پارامترهای مؤثر در زمین‌لرزه

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۳: درصد کلاس خطر زمین‌لرزه در هر یک از اپراتورهای فازی

کلاس خطر زمین‌لرزه	SUM	PRODUCT	OR
خیلی‌کم	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۰۱
کم	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۰۴
متوسط	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۳
زیاد	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۸
خیلی‌زیاد	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۶۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۴: نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۶

-زمین‌لغزش

به‌طور کلی پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه شامل مراحل زیر است:

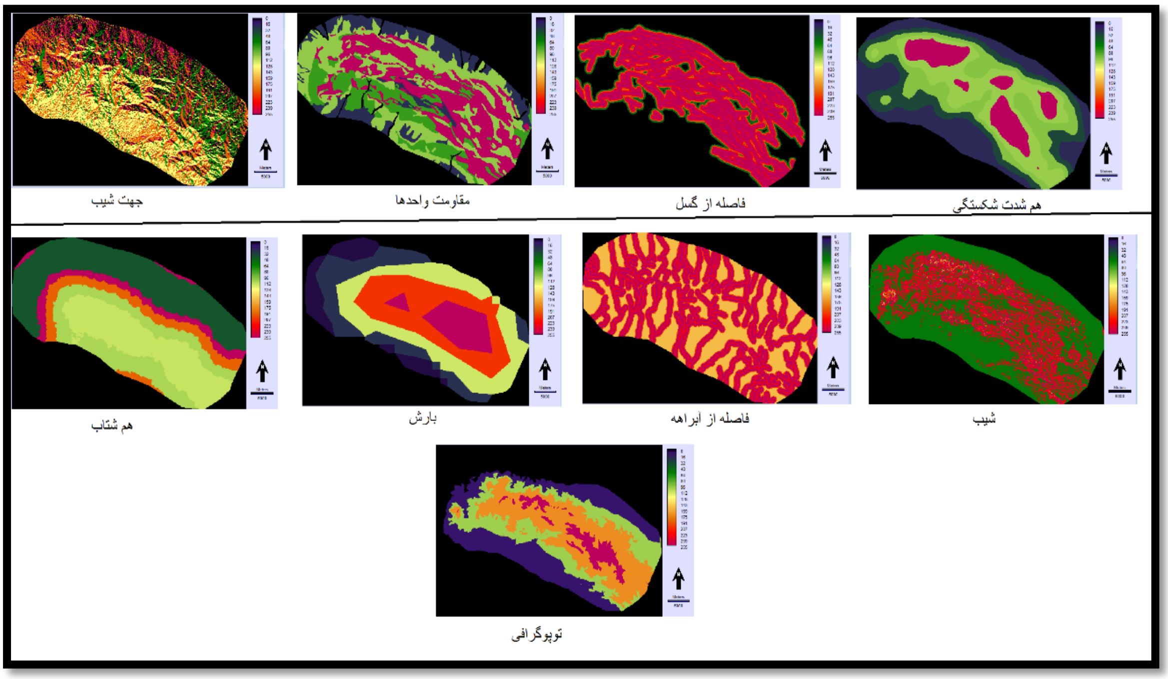
۱- ساختن پایگاه داده‌های فضایی و به بیانی، ورود و سازماندهی داده‌های فضایی مربوط به لایه‌های مختلف مورد استفاده برای پهنه‌بندی و ساماندهی آن‌ها در قالب مدل‌های رستری و برداری.

۲- مرحلهٔ پردازش داده‌ها که شامل طبقه‌بندی داده‌ها و استخراج نقشه‌های مشتق‌شده از لایه‌های مختلف است.

۳- تعیین نسبت فراوانی وقوع زمین‌لغزش در هر طبقه.

۴- تعیین درجه عضویت فازی براساس نسبت فراوانی‌های نرمال‌سازی‌شده در محیط نرم‌افزار Idrisi (شکل ۱۵).

۵- همپوشانی نقشه‌ها براساس عملگرهای فازی و درنهایت تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی منطقه (شکل ۱۶) (جدول‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷).



شکل ۱۵: درجه عضویت فازی پارامترهای مؤثر در *زمین‌لغزش*

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۴: درصد طبقات نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش جمع جبر فازی

تراکم لغزش	درصد در منطقه	کلاس خطر Sum
۰	۰/۰۴	خیلی کم
۰/۰۲	۰/۳۵	کم
۰/۱۳	۰/۳۱	متوسط
۰/۳۴	۰/۲۶	زیاد
۰/۵۱	۰/۰۴	خیلی زیاد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۵: درصد طبقات نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش اجتماع فازی

تراکم لغزش	درصد در منطقه	or
۰	۰/۱	خیلی‌کم
۰/۰۵	۰/۰۱	کم
۰/۱۲	۰/۰۹	متوسط
۰/۲۲	۰/۱۲	زیاد
۰/۶۱	۰/۶۸	خیلی‌زیاد

مأخذ: نگارندگان،۱۳۹۶

جدول ۱۶: درصد طبقات نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش اشتراک فازی

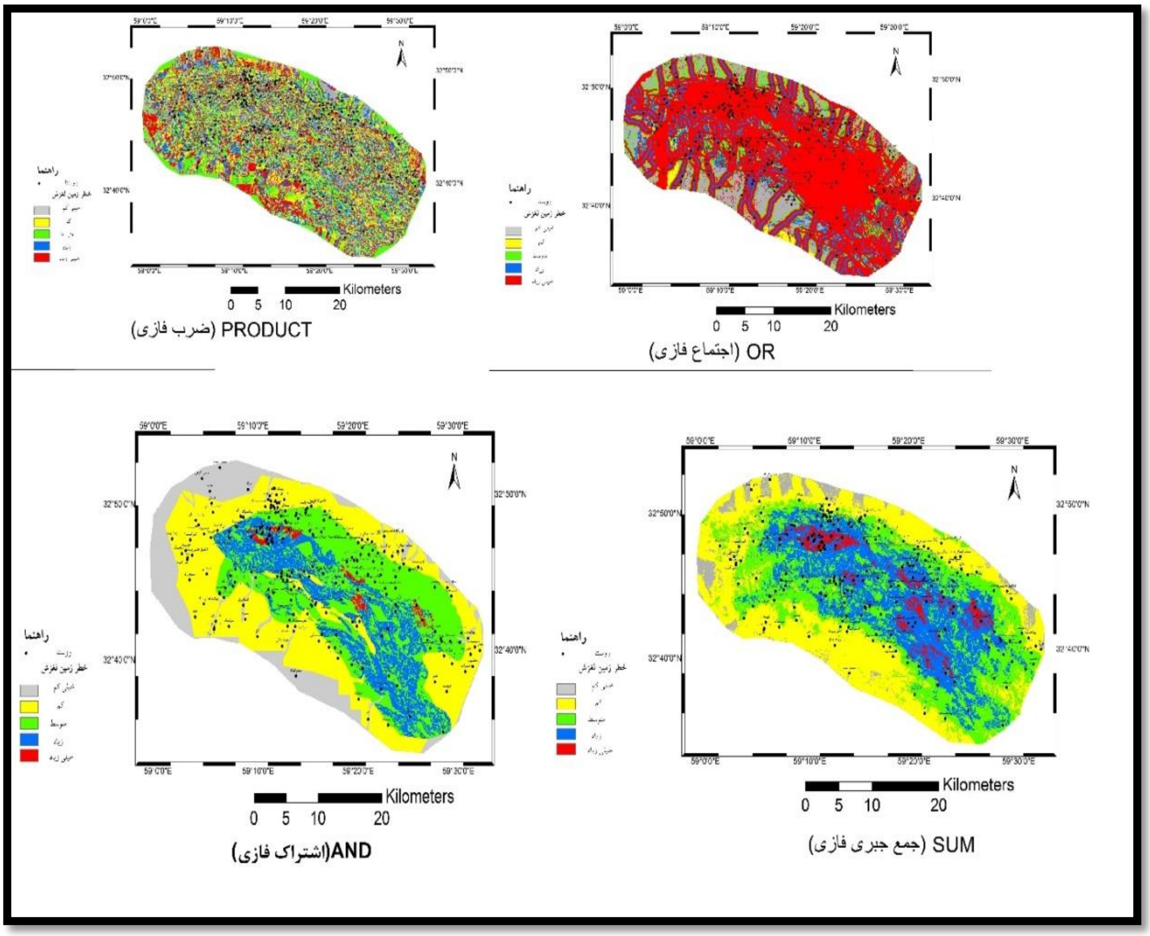
تراکم لغزش	درصد در منطقه	کلاس خطر And
۰	۰/۱۵	خیلی‌کم
۰/۰۶	۰/۳۸	کم
۰/۱۹	۰/۳	متوسط
۰/۳۵	۰/۱۶	زیاد
۰/۴	۰/۰۱	خیلی‌زیاد

مأخذ : نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۷: درصد طبقات نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش ضرب فازی

تراکم لغزش	درصد در منطقه	کلاس خطر Product
۰/۲	۰/۱۸	خیلی‌کم
۰/۱۹	۰/۲	کم
۰/۲	۰/۲۲	متوسط
۰/۲۳	۰/۱۹	زیاد
۰/۱۸	۰/۲۱	خیلی‌زیاد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

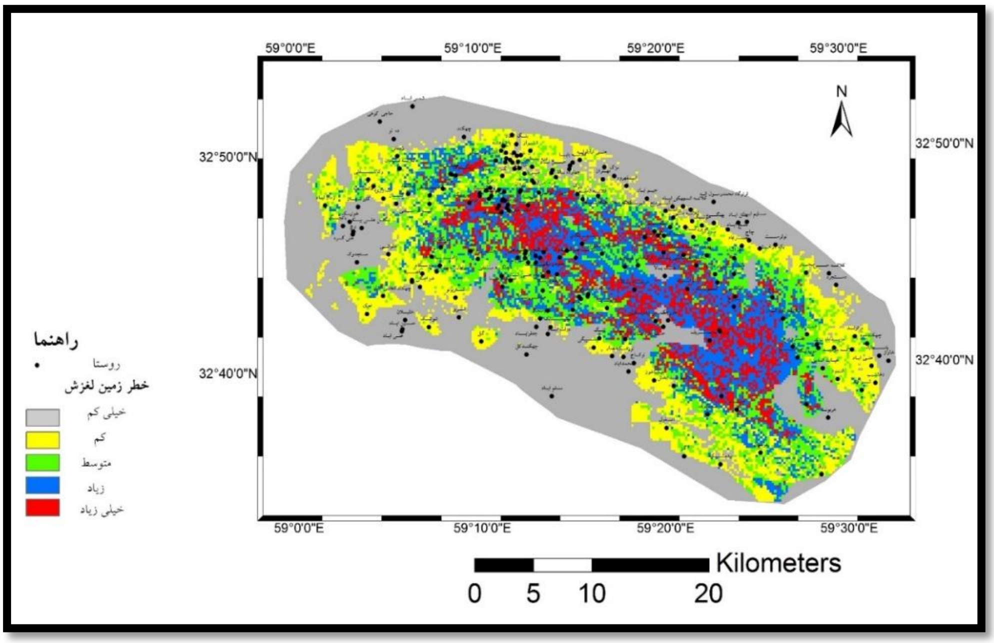


شکل ۱۶: نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

-انطباق خروجی‌های زمین‌لغزش و زمین‌لرزه با واقعیت

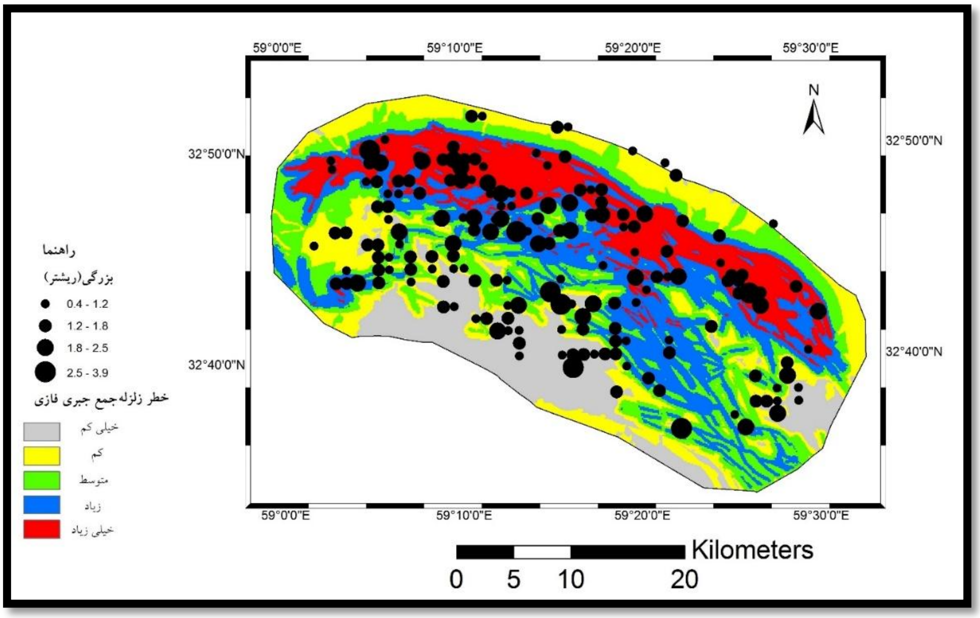
برای تشخیص اینکه کدام یک از خروجی‌های فازی در زمین‌لغزش بهترین انطباق را با واقعیت دارند، اقدام به تهیهٔ نقشه به روش پهنه‌بندی واقعی شد که از آن به‌نام «ارزش مطالعاتی» (آماری) یاد می‌شود (شکل ۱۷). با توجه به این نقشه مشخص شد که نقشهٔ خروجی براساس جمع جبری فازی و اشتراک فازی بهترین تطابق را با واقعیت دارد.



شکل ۱۷: نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش مطالعاتی (آماری)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

برای تشخیص بهترین خروجی فازی براساس زمین‌لرزه، کاتالوگ خردلرزه‌های ده سال گذشته منطقه از مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران تهیه و بر روی نقشه‌ها پلات شد. درنهایت مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را برای نقشهٔ نهایی خطر زمین‌لرزه دارد (شکل ۱۸).

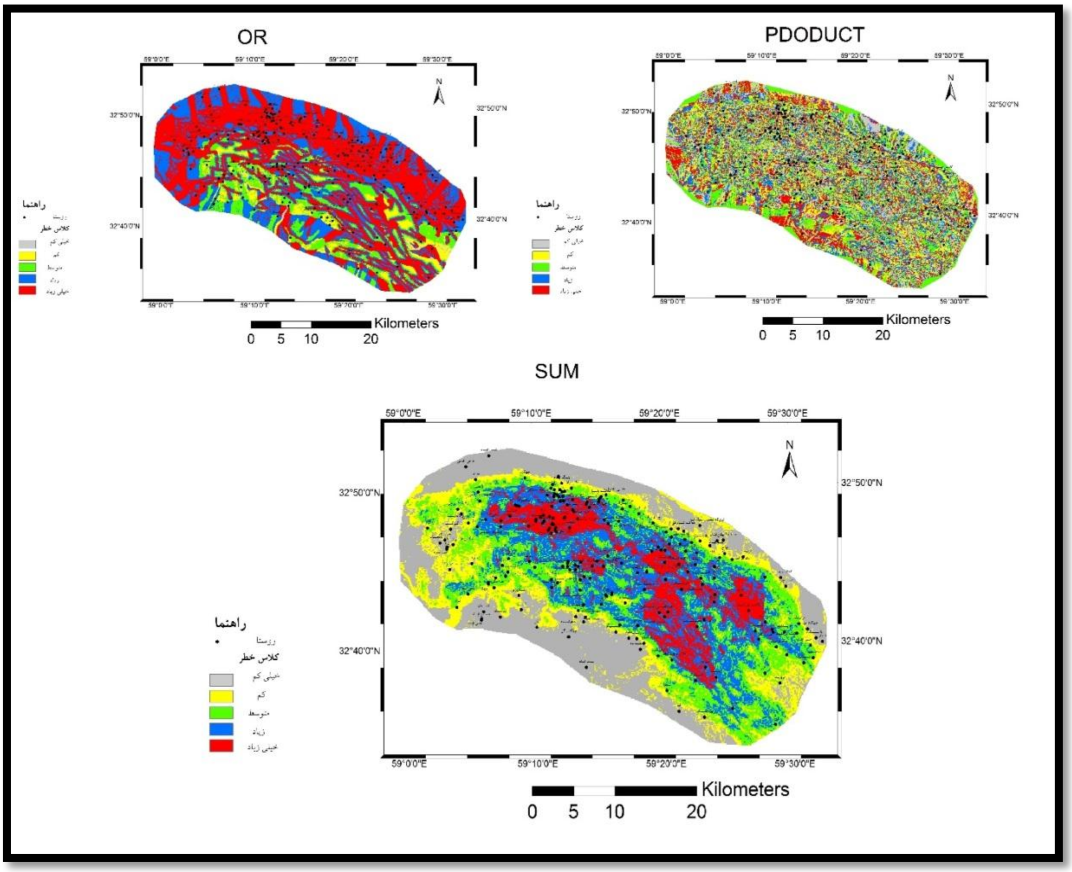


شکل ۱۸: تطابق خردلرزه‌ها با نقشهٔ پهنه‌بندی جمع جبری فازی برای زمین‌لرزه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

- نقشه‌های نهایی حاصل از تلفیق زمین‌لرزه و زمین‌لغزش

در پایان اقدام به تلفیق خروجی‌های نهایی به‌دست آمده از هریک از زمین‌لرزه و زمین‌لغزش شد که در این بین تنها سه خروجی مناسب اجتماع فازی، ضرب فازی و جمع جبری فازی تهیه شد. از آنجا که جمع جبری فازی در خروجی‌های قبلی، هم در زمین‌لرزه هم در زمین‌لغزش به‌عنوان بهترین خروجی مطابق با واقعیت مشخص شده‌است؛ این خروجی نهایی حاصل از تلفیق این عوامل نیز می‌تواند بهترین خروجی با واقعیت قلمداد شود (شکل ۱۹).



شکل ۱۹: نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی حاصل از تلفیق خطر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۸: درصد کلاس‌های خطر در نقشه‌های نهایی حاصل از تلفیق زمین‌لرزه و زمین‌لغزش

کلاس خطر	SUM	PRODUCT	OR
خیلی‌کم	۰/۲۶	۰/۱۹	۰
کم	۰/۱۹	۰/۲	۰/۰۶
متوسط	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۳
زیاد	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۹
خیلی‌زیاد	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۵۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

نتیجه

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نقشه‌های درجه عضویت فازی هر یک از پارامترها، مشخص شد که همبستگی مستقیمی بین گسل و زمین‌لغزش وجود دارد؛ به‌طوری که حدود ۹۵ درصد از زمین‌لغزش‌های منطقه در فاصلهٔ ۰ تا ۷۰۰ متری گسل قرار دارند که دال بر ارتباط مستقیم با تنش ناحیه‌ای است. از بین عوامل مؤثر بر زمین‌لرزه، پارامتر هم‌شتاب بیشترین وزن را به خود اختصاص داد و از بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، پارامتر هم‌شتاب لرزه‌ای و فاصله از گسل بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. براساس نقشهٔ هم‌شتاب لرزه‌ای، بیشینهٔ شتابی که از گسل‌های فعال بر روستاهای اطراف وارد می‌شود، ۰/۶۳ برآورد شده‌است که ۴۶ درصد از منطقه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی‌زیاد از نظر لرزه‌خیزی و ۴۲ درصد از آن در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی‌زیاد از نظر خطر زمین‌لغزش قرار دارد. براساس نقشه‌های خروجی فازی زمین‌لغزش مشخص شد که جمع جبری فازی و اشتراک فازی بهترین تطابق را با نقشهٔ پهنه‌بندی واقعی دارند؛ به‌طوری که در جمع جبری فازی ۸۰ درصد زمین‌لغزش‌های منطقه در ۳۰ درصد منطقه و در دو کلاس خطر زیاد و خیلی‌زیاد قرار دارند. براساس نقشه‌های خروجی فازی زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را با پراکنش زمین‌لرزها در منطقه دارد؛ به‌طوری که ۴۲ درصد منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی‌زیاد زمین‌لرزه قرار دارد. در پایان پس از تلفیق نقشه‌های حاصل از زمین‌لغزش و زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را دارد که به‌ترتیب ۰/۲۶، ۰/۱۹، ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۱۲ درصد از منطقه در کلاس‌های خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد نهایی حاصل از تلفیق زمین‌لرزه و زمین‌لغزش قرار دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره ۹۶۰۰۹۴۰ و با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس انجام شده است.

منابع

-اوهانیان، ترگم؛ شاهین طاطوسیان؛ جمشید افتخارنژاد (۱۹۷۸). نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی بیرجند. ورقه بیرجند.

-حیدری‌آقاگل، مسعود (۱۳۹۴). بررسی ساختاری زیرکوه با نگرشی بر لرزه‌خیزی منطقه (حاجی‌آباد- شرق ایران)، پایان‌نامهٔ تحصیلی کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند. ۱۸۶ ص.

-تاناکا، کازوئو (۱۳۸۳). مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن، ترجمه علی وحیدیان‌کامیاد؛ و حامدرضا طارقیان. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. صفحه ۱۴۱.

-پورکرمانی، محسن؛ مهران آرین (۱۳۷۶). لرزه‌خیزی ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

-خطیب، محمدمهدی(۱۳۶۸). تحلیل ساختاری کوه‌های جنوب بیرجند، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. گروه زمین‌شناسی. دانشگاه تربیت مدرس.

-خطیب، محمدمهدی (۱۳۷۷). هندسهٔ پایانهٔ گسل‌های امتداد لغز، پایان‌نامهٔ دکتری. دانشگاه شهید بهشتی. ۲۲۴ ص.

-سوری، سلمان (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده ازمنطق فازی و شبکهٔ عصبی مصنوعی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ کشوری (نوژیان)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. گروه زمین‌شناسی. دانشگاه فردوسی.

-قهرمانی، محترم (۱۳۹۵). تحلیل هندسی- جنبشی و برآورد خطر زمین‌لرزه پهنۀ گسلی دهک در غرب سهل‌آباد (جنوب‌شرق بیرجند)، پایان‌نامۀ تحصیلی کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند ۱۱۹ ص.

-کوره‌پزان‌دزفولی، امین (۱۳۸۴). اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مدل‌سازی مسائل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. ۲۶۱ ص

-محمدی، مجتبی (۱۳۹۱). شناسایی و ارزیابی ریسک زمین‌لغزش روستای هاونان جنوب بیرجند، پایان‌نامۀ کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد زاهدان.

-منصوری، هاشم؛ فاطمه وکیلی‌اوندری؛ محمدمهدی خطیب (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق بولین در کوه باقران (جنوب بیرجند)، مجلۀ یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی همدان.دورۀ دهم.شمارۀ ۲۰. صفحات ۶۱-۴۹.

- Allen, M., Walker, R., Jackson, J., Talebian, M and Ghasemi, M. (2006). Contrasting styles of convergence in the Arabia-Eurasia collision: Why escape tectonics does not occur in Iran, Mem. Geol. Soc. Am., Special paper, 409, 579-589.
- Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S (2007). Fuzzy- based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, Landslides, 4: P. 101-111.
- Tirrule, R., Bell, L.R., Griffis, R.J., and Camp, V.E (1983). The Sistan suture zone of eastern Iran., G.S.A, V.94,P.134-156.
- Walker, R.and Jackson, J (2004). Active tectonic and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. Tectonics 23.
- Walker, R., Jackson J. & Baker, C (2004). Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran, Geophys. J.Int,157:265- 282.
- Walker, R. & Khatib.M.M (2006). Active faulting in the Birjand region of NE Iran,Tectonics, ,V.25: TC4016(1-17).

Geography and Development
17nd Year-No.55–Summer 2019
Received: 27/10/2017 Accepted: 06/06/2018

Earthquake and Landslide Hazard Zonation Using Fuzzy Logic in Bagheran Mountain (South of Birjand)

Dr. Mahdi Hoseinabadi
Assistant Professor of Geology
University of Islamic Azad, Tabas

Dr. Seyed Morteza Mosavi
Assistant Professor of Geology
University of Birjand

Dr.Mohamad Nazemi
Assistant Professor of Geology
University of Islamic Azad, Tabas

Introduction

Earthquakes and landslides are always among the most important natural hazards that many people in the world suffer from thir adverse effects each year. Therefore, in order to reduce the mortality and economic losses and social consequences, it is necessary, based on the current knowledge and the latest reliable technologies, to reduce the risk of Earthquake at different points. Investigation of seismotectonic maps shows that this area has high seismic potential and there have been many earthquakes in this area. Due to the density of the rural population and the massive construction that has taken place in the area of active faults, the importance of this zoning is apparent in order to prevent the loss of life. The first and important step in the analysis of seismic risk is the strategy of reducing population deployment in high-risk areas. Although accurate prediction of this great natural hazard cannot be made definitively, it is possible to determine the probable location of the occurrence of an earthquake or possible locations of landslide occurrence, so the need for zoning is apparent. The area is about 1100 square kilometers in the south of Birjand. Bagharan Mountain range is one of the branches of Sistan branch to the Lut zone. Sistan structural state of eastern Iran with the general north-south trend represents a seamless earthquake of the Lut and Afghan parts.

Methodology and Methods

Fuzzy logic was first introduced by Dr. Lotfizadeh, a professor at the University of California in 1965 in an article entitled "Fuzzy sets”. Fuzzy logic is a multiplicity of logic, meaning its parameters and variables, as well as the number of 0 or 1, can take all the values between these two numbers. The membership of each reference entity to a particular substrate member is not definite, that is, it cannot be said with certainty that the member in question belongs to this collection or not. This uncertainty is done by assigning a number between 0 and 1 to this member. If this number is equal to 0, then it is possible to say with certainty that the member in question is not belong to that set, and if this number is 1, then it can be claimed that the member in question belongs to that set. In this way, you can represent the subsets of a fuzzy set by assigning numbers 0 and 1 to each member of the set.

Results and Discussion

In this study, four parameters of seismic alignment map, fracture coincidence, distances from fault and unit resistance were used to study the earthquake hazard. Seismic alignment, fracture probability, distance from the fault, distance from the waterway, unit resistance, topography, slope, the direction of slope and precipitation were used to study the landslide hazard.

- Sequential alignment parameter

Accordingly, the maximum acceleration from the active faults on the surrounding villages is estimated to be 0.63 g (gravity acceleration). As a result, more than 46% of the area is at high risk and very hazardous seismic courses, and 42% of it is at high risk and high-risk classes in terms of landslide hazard.

- Fracture Coincidence Parameter

Statistically, about 70% of the Landslides are located in high-density classes.

-Distance from fault

Due to the slope of the faults, the boundary for the faults of the 700-meter zone was considered. Based on the results, more than 95 percent of the land surveys are located at less than 700 meters of fault.

-Resistance Units

This division is based on the unit's resistance to weathering and the rigidity of the rock unit. Based on the results, most of the landslides are located in low and medium risk classes.

- Slope map and slope direction

Based on the results, more than 80 percent of the landslides are formed in the topographic topography of 10-40 degrees. The percentage of landslide distribution based on the slope parameter indicates an almost uniform distribution in all directions.

- Rainfall

Based on the results, the area under study has a rainfall range of over 200 mm per year.

- Distance from the waterway

Based on the results, most of the land surveys are located between zero and 700 meters from the waterways.

- Topography

The results indicate that most of the landslides are at high altitudes of over 1900 meters, which can be due to precipitation at high altitudes.

Prioritizing Factors Affecting Landslides and Earthquakes

Among the factors affecting the earthquake, the geometric parameter had the highest weight. Among the factors influencing the occurrence of the landslide, seismic alignment parameter, and distance from the fault, the highest weight was allocated.

Conclusion

Based on the results obtained from the fuzzy degree maps of each of the parameters, it was determined that there is a direct correlation between faults and landslides, so that about 95% of the landslides of the region are located at a distance of 0 to 700 meters of fault, indicating a direct relationship with the regional tension. Among the factors affecting the earthquake, the geometric parameter had the highest weight. Among the factors influencing the occurrence of the landslide, seismic alignment parameter, and distance from the fault, the highest weight was allocated. According to the seismic alignment map, the maximum acceleration from active faults to surrounding

villages is estimated to be 0.63 g, of which 46% of the area is in high risk and very high-risk seismic conditions, and 42% of it in high risk and high-risk classes in terms of landslide hazard contract. Based on the fuzzy field maps, it became clear that the fuzzy algebraic and fuzzy inputs have the best matching with the actual zoning plan so that in the fuzzy algebraic neighborhood, 80% of the land libraries are located in 30% of the area and in two classes of high risk. Based on the earthquake fuzzy outflow maps, it was found that the fuzzy algebraic population has the best fit with the distribution of earthquakes in the area, with 42% of the area in the classroom being a high and very high risk of earthquakes. After combining the maps of landslide and earthquake, it was found that the fuzzy algebraic sum is the best match, which is 0.25, 0.09, 0.20, 0.21 and 0.20% respectively, in very low, Moderate, high and extreme final result from the combination of earthquakes and landslides.
Keywords: Paired Comparison, Fuzzy Logic, Fuzzy Membership, Fuzzy Operators, Network Analysis, Bagharan Mountain.

References

- Allen, M., Walker, R., Jackson, J., Talebian, M, and Ghasemi, M. (2006). Contrasting styles of convergence in the Arabia-Eurasia collision: Why escape tectonics does not occur in Iran, Mem. Geol. Soc. Am., Special paper, 409, PP. 579-589.
- Champati-Ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S (2007). Fuzzy- based method for landslide hazard assessment in an active seismic zone of Himalaya, Landslides, 4: P. 101-111.
- Ghahremani, Mohtaram (2016). Geometric-Kinetic Analysis and Estimation of earthquake hazard in the fault plane Dahak inWest Sahlabad (Southeast of Birjand),Graduate Student's Degree Study,Birjand University,119 p.
- Heydari Aghagol, Masoud. (2015). Structural study of Zirkouh with a view to the seismicity of the area (Hajiabad-East of Iran), the Graduate study program of Masters Degree, Birjand University, 186 p.
- Khatib, Mohammad Mehdi (1989). Structural Analysis of the Southern Mountains of Birjand, Graduate Student, Department of Geology, Tarbiat Modares University.
- Khatib, Mohammad Mehdi (1998). Strike-slip faults geometry, Ph.D. thesis, Shahid Beheshti University, 224 p.
- kourehpazanedezfouli, Amin (2008). Principles of the Theory of Fuzzy Collections and Its Application in Modeling Water Engineering Issues, Jahad Publishing, Amir Kabir University of Technology, 262 p.
- Mansouri, Hashem, Vakili Ondari, Fatemeh and Khatib, Mohammad Mehdi (2016). Landslide hazard zonation by using Analytical hierarchy process (AHP) and Boolean logic in Bagheran Mountain(south of Birjand) New scientific journal of Applied Geology, Hamedan, No, 20, P. 49-61.
- Mohammadi, Mojtaba (2012). Identification and Evaluation of Landslide Risk in Havanan Village, South of Birjand, Graduate Student, Islamic Azad University of Zahedan.
- Ohanian, Targum, Tatousian, Shahin, Eftekharnezhad, Jamshid, 1978. Geological map 1: 100000 Birjand, sheet Birjand.
- Pourkermani, Mohsen; Arian, Mehran (1997). Seismicity of Iran. Shahid Beheshti University.
- Soori, Salman (2011). Landslide hazard zonation using fuzzy logic and artificial neural network (Case study: Nozhian basin), Graduate dissertation, Geology group, Ferdowsi University of Mashhad.
- Tirrule, R., Bell, L.R., Griffis, R.J., and Camp, V.E (1983). The Sistan suture zone of eastern Iran, G.S.A, V.94, P.134-156.
- Tanaka, Kazoo (2004). Introduction to Fuzzy Logic for its Practical Applications, Vahidian Kamyad, Ali., Tareghian, Hamedreza., Ferdowsi University Press, P. 141.
- Walker, R.and Jackson, J (2004). Active tectonic and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. Tectonics 23.
- Walker, R., Jackson J., Baker, C (2004). Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran, Geophys. J. Int., 157, p. 265- 282.
- Walker, R. & Khatib.M.M (2006). Active faulting in the Birjand region of NE Iran, Tectonics, V.25: TC401, PP.61-17.