نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱.

صفحات ۱۹۹- ۲۱۲

ارزیابی و مدیریت ریسک زمین‌لغزش در آبخیز شاهرود استان قزوین

جمال مصفایی[1]؛ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.
امین صالحپورجم؛ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.
محمودرضا طباطبایی؛ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۱/۰۶/۲۸ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۸/۳۰

چکیده

ارزیابی ریسک زمین‌لغزش، برای ارائه تمامی طرح‌های کاهش خسارت ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها ضروری است. هدف از این تحقیق ارزیابی ریسک زمین‌لغزش در حوزه‌آبخیز شاهرود استان قزوین است. برای این منظور، ابتدا ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و نیز ۱۱ لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع، میزان شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، متوسط بارش سالانه، حداکثر بارش روزانه، و پتانسیل لرزه‌خیزی فراهم شد. در ادامه پس از تعیین مقادیر نسبت فراوانی و عضویت فازی برای طبقات نقشه عوامل مختلف، نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مقادیر مختلف گاما تهیه شد. سپس، بعد از تهیه نقشه فازی آسیب‌پذیری برای واحدهای مختلف کاربری اراضی، میزان ریسک زمین‌لغزش از حاصل‌ضرب دو نقشه حساسیت زمین‌لغزش و آسیب‌پذیری تعیین شد. بطور کلی در این حوضه تعداد ۱۰۴ زمین‌لغزش با مجموع مساحت ۱۴۰۱هکتار ثبت شد که ۷۰ ٪ آنها برای پهنه‌بندی (۷۳ زمین‌لغزش با مساحت ۹۸۲ هکتار) و ۳۰ ٪ باقیمانده (۳۱ زمین‌لغزش با مساحت ۴۱۸ هکتار) برای ارزیابی دقت نقشه‌های خطر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که بالاترین مقدار شاخص مجموع مطلوبیت (معادل ۱/۳۴) متعلق به عملگر فازی با گامای برابر با ۰/۹۳ بوده و لذا این مدل از دقت بالاتری نسبت به سایر مقادیر گاما برخوردار است. میزان اهمیت عوارض در معرض خطر دارای دامنه‌ای بین ۰/۰۵ (فاقد پوشش) تا ۱ (مناطق مسکونی و صنعتی) است. برای مقابله با خسارات زمین‌لغزش، سه سیاست کلی مناسب توسعه، پیشگیری و سیاست درمانی ارائه شد که می‌بایست آنها را بر اساس دو عامل میزان خطر و میزان آسیب‌پذیری برای پهنه‌های مختلف ریسک زمین‌لغزش اعمال نمود. در نهایت، به منظور کاهش خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌های احتمالی، کاربری‌های مناسب برای طبقات با ریسک بالا معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، حساسیت زمین‌لغزش، عملگرهای گاما، مدیریت ریسک زمین‌لغزش، قزوین.

[1] . نویسنده مسئول: Email: jamalmosaffaie@gmail.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

مقدمه

زمین‌لغزش بنابر تعریف عبارت است از تمامی جابه‌جایی‌ها و جداشدگی‌های خاک و موادّ سنگی به سمت پایین دامنه که بر اساس تلفیقی از فرایندهای مختلف در مناطقی که توپوگرافی کوهستانی دارند، رخ می‌دهد (جویباری و همکاران، ۱۳۹۶). مهم‌ترین عامل وقوع زمین‌لغزش‌ها، نیروی وزن توده شیب‌دار است که باعث افزایش نیروی برشی می‌شود. اما عوامل دیگری مانند شرایط زمین‌شناسی، وضعیت توپوگرافی، شرایط آب و هوایی، شرایط آب زیرزمینی و سایر عواملی نیز وجود دارند که می‌توانند سبب کاهش مقاومت برشی توده شیب‌دار شده و لذا فرایند لغزش توده رسوبی را تسریع کنند (Salehpour Jam و همکاران ۲۰۲۱؛ سرفراز و همکاران، ۱۴۰۰). این پدیده موجب خسارت به انواع سازه‌های مهندسی، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و در پی آن، ایجاد رسوب و سیلاب‌های گل‌آلود و درنهایت پرشدن مخازن سدها می‌شود (شعاعی، ۱۳۹۵). در بین بلایای طبیعی، سهم خسارات ناشی از حرکات توده‌ای در ایران، سالانه بالغ بر ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (جویباری و همکاران، ۱۳۹۴؛ شفقتی و مصلحت‌جو، ۱۳۹۱). میزان خسارت‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها، مسئولین و جامعه علمی را بر آن داشته تا طرح‌های مختلفی را جهت کاهش خسارت این پدیده تهیه نمایند (طلایی، ۱۳۹۳). ارائه هرگونه طرحی در راستای کاهش خسارت زمین‌لغزش‌ها، در وهله اول مستلزم ارزیابی ریسک زمین‌لغزش در منطقه است. ریسک زمین‌لغزش عبارتست از پتانسیل ایجاد ضرر، آسیب و عواقب نامطلوب، و یا بعبارتی خسارات جانی یا مالی ناشی از وقوع زمین‌لغزش (Lee & Jones, ۲۰۰٤). بنابر تعریف ریسک نتیجه دو فاکتور حساسیت (بعنوان مثال یک رخداد زمین‌لغزش) و پیآمدهای زیانبار آن است (Lee & Jones, ۲۰۰٤).

آسیب‌پذیری به میزان آسیب عناصر موجود در یک منطقه در اثر وقوع زمین‌لغزش اطلاق می‌شود (Papathoma-Köhle et al., ۲۰۱۷) که در مقیاس صفر (بدون آسیب) تا یک (آسیب کامل) بیان می‌شود. تعریف معمول و کیفی‌تری نیز از آسیب‌پذیری ارائه شده است که عبارتست از ویژگی‌ها و شرایطی از یک جامعه، سامانه یا دارایی‌ها که باعث حساسیت آن نسبت به اثرات مخرب یک خطر می‌شود (UNISDR[۱], ۲۰۰۹). بر این اساس آسیب‌پذیری یک شرایط از پیش موجود است و بطور مستقیم بستگی به ویژگی‌های عناصر در معرض خطر داشته ولذا در این تعریف تاکید کمتری بر روی خود فرآیند خطر وجود دارد (UNISDR, ۲۰۰۹).

سریع‌ترین روش پیش‌بینی خطر لغزش در مقیاس حوضه‌ای، تعیین پتانسیل خطر نسبی است. تعیین احتمال وقوع زمین‌لغزش، مستلزم تجزیه‌وتحلیل تمامی عوامل مؤثر در ایجاد آن و بکار بردن مدل‌های پیچیده است. ازآنجاکه پیش‌بینی زمان وقوع زمین‌لغزش‌ها از توان علمی بشر خارج است، لذا شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز این پدیده حائز اهمیت است. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش عبارت است از تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش. با پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش را شناسایی نمود و با ارائه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا از خسارات ناشی از وقوع آن‌ها کاست (اصل پیشگیری بهتر از درمان). در برنامه‌های توسعه حوزه آبخیز باید تا حد امکان از مناطق با احتمال یا پتانسیل نسبی بالاتر خطر دوری جست و یا در صورت اجبار، حتی‌الامکان تمهیدات و نکات فنی لازم را در نظر گرفت (صالح‌پور جم و همکاران، ۱۳۹۹؛ رشوند و همکاران، ۱۳۹۲).

۱. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

طی دو دهه اخیر تحقیقات زیادی در زمینه تعیین احتمال خطر وقوع و تهیه نقشه ریسک زمین‌لغزش برای مناطق مختلف انجام گرفته است. این تحقیقات دارای رویکردهای مختلفی از لحاظ نوع و تعداد عوامل مورد استفاده، مدل‌های پهنه‌بندی خطر و همچنین نحوه ارزیابی ریسک زمین‌لغزش هستند. آرمین و همکاران (۱۳۹۸)، نقشه خطر زمین‌لغزش استان کهکیلویه و بویراحمد را با استفاده از مدل تجربی حائری-سمیعی تهیه و پهنه‌بندی نمودند. مصفایی و همکاران (۱۳۹۹)، با استفاده از عملگرهای گامای فازی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش آبخیز طالقان‌رود را تهیه و برای ارزیابی دقت و صحت مقادیر مختلف گاما، از شاخص‌های نسبت تراکم و جمع مطلوبیت استفاده کردند. شریعت‌جعفری (۱۳۸۷) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش البرز مرکزی را با عملگرهای گامای فازی بررسی و نتیجه‌گیری نمود که با افزایش ضریب گاما، درصدهای بیشتری از سطح منطقه در کلاس‌های خطر بالاتر قرار می‌گیرند و بر این اساس برای کاربری‌های مختلف مدنظر، مقادیر مختلفی از گاما را ارائه و پیشنهاد نمود. طلایی (۱۳۹۳)، نقشه ریسک زمین‌لغزش منطقه هشتجین را با ترکیب نقشه‌های پتانسیل خطر(عملگرهای گامای فازی) و پتانسیل خسارت منابع (نقشه‌های کاربری و پوشش گیاهی) تهیه و پهنه‌بندی نمود. کرنژادی و همکاران (۱۳۹۴)، نقشه پهنه‌بندی خسارت (ریسک) زمین‌لغزش آبخیز زیارت استان گلستان را از ترکیب سه نقشه خطر، عناصر در معرض خطر، و درجه آسیب‌پذیری تهیه کردند.

در منطقه دارجیلینگ هند نیز ریسک زمین‌لغزش بر اساس دو روش پیکسل‌های خطرناک و نظریه مجموعه فازی ارزیابی شده است (Kanungo et al., ۲۰۰۸). در مناطق احداث‌شده در جنوب صحرای آفریقا شامل کشورهای اتیوپی، کنیا، اوگاندا، نیجر و سنگال را که از لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی و میزان توسعه متفاوت می‌باشند، ریسک زمین‌لغزش با استفاده از سه عامل خطر زمین‌لغزش، عوارض در معرض خطر و درجه آسیب‌پذیری ارزیابی و نتایج بیانگر آنست که شهرسازی و توسعه و زیرساخت‌های آسیب‌پذیر در کلاس‌های خطر کم تا متوسط باعث افزایش ریسک زمین‌لغزش این محدوده‌ها شده است (Redshaw et al., ۲۰۱۷).

مرور منابع بیان‌گر آنست که برای شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش تأثیر عوامل مختلفی ازجمله شیب، زمین‌شناسی، ارتفاع، کاربری، پوشش سطح زمین، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، جهت شیب، پوشش گیاهی، تراکم زهکشی، سنگ‌شناسی، خاک، بارش و سایر عوامل مورد بررسی قرار گرفته است. همچین بیشتر مطالعات انجام شده، در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بوده و کمتر به ارزیابی ریسک و ارائه راهکارهای مدیریتی پرداخته شده است. آبخیز شاهرود ازجمله بخش‌های کوهستانی و مستعد به زمین‌لغزش در استان قزوین است که باتوجه‌به خسارت‌های فراوان جانی و مالی زمین‌لغزش، ادارهٔ کلّ منابع طبیعی و آبخیزداری استان قزوین طی تفاهم‌نامه‌ای با پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، خواستار انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه شده است. همچنین از آنجاکه تا کنون در حوضه شاهرود تحقیقی در رابطه با ارزیابی ریسک زمین‌لغزش انجام نگرفته است، لذا این تحقیق سعی بر آن دارد تا با برآورد دو عامل حساسیت زمین‌لغزش و میزان آسیب‌پذیری، میزان ریسک زمین‌لغزش را در این حوضه‌ها ارزیابی نماید. نتایج این تحقیق می‌تواند منجر به حفظ منابع و کاهش خسارات ناشی از رانش زمین شده و در نتیجه با راهنمای مدیریت ریسک زمین‌لغزش می‌توان گامی مؤثر را در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت هر چه بهتر حوضه‌های مورد مطالعه برداشت.

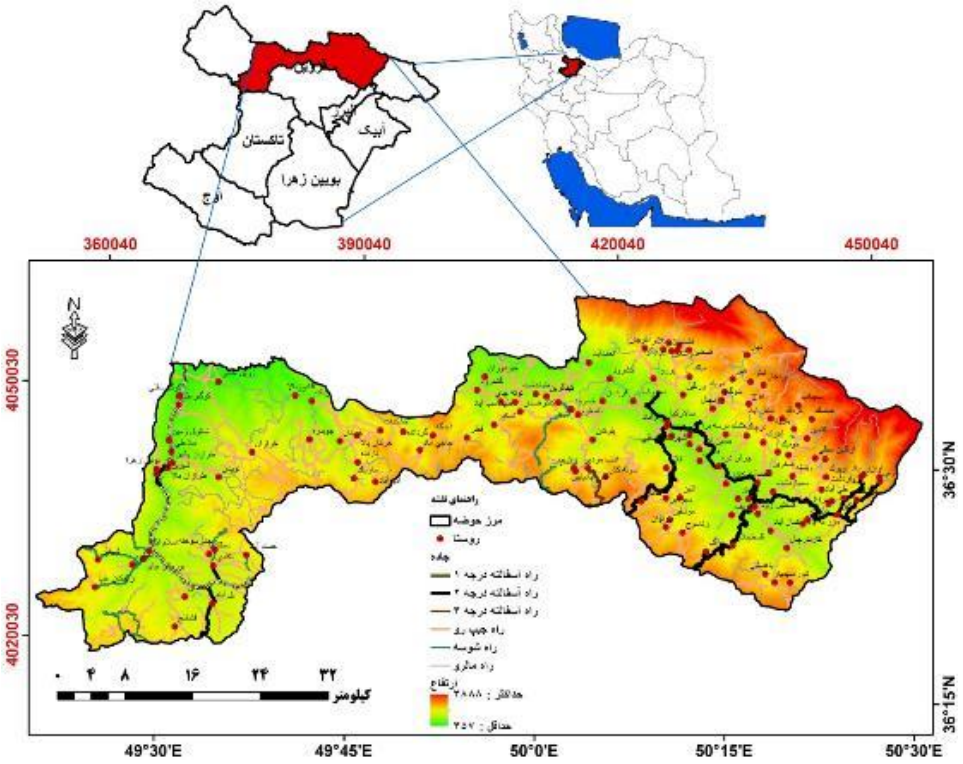
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

داده و روش کار

- **معرفی محدوده مورد مطالعه**

وجود دره شاهرود در کوه‌های شمال استان قزوین سبب شکل‌گیری حوزه آبخیز شاهرود شده است. رودخانه‌های طالقان-رود و الموت‌رود که در منطقه شیرکوه به هم می‌پیوندند و رود پرآب شاهرود را به وجود می‌آوردند. این منطقه کوهستانی با مساحت ۱۹۴۴۵۸ هکتار (حدود ۲۲ ٪ مساحت استان) بخش‌های شمال و شمال شرقی استان را در برگرفته است و دارای ارتفاع حداقل ۳۵۷، ارتفاع حداکثر ۳۸۸۸ و متوسط ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریای آزاد، از طریق راه ارتباطی قزوین به رازمیان با شهر قزوین ارتباط می‌یابد. آبخیز شاهرود بصورت یک ناودیس مرکب است که عناصر تکتونیکی ازجمله چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها تغییراتی را در بخش‌های مختلف آن بوجود آورده‌اند. در این آبخیز، گسترش و رخنمون دو نوع سنگ‌شناسی مربوط به دوران سوم (تشکیلات آذرین مربوط به پالئوژن و رسوبی تخریبی و تبخیری مربوط به نئوژن)، مساحت قابل توجهی از منطقه را می‌پوشانند. در بخش‌های مرکزی منطقه و در امتداد بستر شاهرود، رسوبات آواری دانه‌ریز مربوط به نئوژن مشاهده می‌شوند. رخنمون مهم دیگر منطقه، مربوط به تشکیلات آذرین و آذرآواری پالئوژن است که شامل سنگ‌های آندزیت و توف می‌باشد. حرکات گسل‌ها در امتداد ارتفاعات شمالی، سبب رخنمون تشکیلات قدیمی‌تر (آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و به مقدار جزئی مارن و شیل مربوط به مزوزوئیک و پالئوزوئیک) شده است. شرایط آب‌وهوایی (بارش زیاد و تبخیر کم) و وجود قله‌های بلند و کانون‌های آبگیر دائمی در حوضه شاهرود سبب پیدایش پرآب‌ترین رود استان (شاهرود)، با حجم آب جاری سالانه حدود یک میلیارد مترمکعب (تقریباً ۷۰ درصد آب‌های جاری استان) شده است (مصفایی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل۱- موقعیت آبخیز شاهرود در استان قزوین و ایران

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

- **روش تحقیق**

این تحقیق مشتمل بر شش مرحله اصلی تهیه لایه‌های اطلاعاتی، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ارزیابی نقشه خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی ریسک زمین‌لغزش و ارائه پیشنهادات مدیریت ریسک زمین‌لغزش است.

- **لایه‌های اطلاعاتی**

برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها ابتدا نقشه اولیه‌ای با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث و سایر منابع اطلاعاتی از جمله نقشه‌های زمین‌لغزش سازمان جنگل‌ها تهیه شد و بعد با انجام بازدیدهای گسترده میدانی، این نقشه تدقیق نهایی شد.

عوامل گسترده‌ای از جمله ارتفاع، میزان شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، متوسط بارش سالانه، حداکثر بارش روزانه، و پتانسیل لرزه‌خیزی بعنوان عوامل موثر بر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفتند. منابع اطلاعاتی برای تهیه نقشه عوامل مزبور، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نقشه پوشش گیاهی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ و تصاویر گوگل ارث بود. از آنجا که تعداد طبقات بعضی از نقشه‌های عوامل از جمله نقشه‌های سنگ‌شناسی و کاربری متعدد است لذا به منظور سهولت تحلیل داده‌ها سعی شد که تعداد طبقات آنها به نوعی کاهش یابد. برای تعیین ضریب عامل شدت زمین‌لرزه، از نتایج مطالعه موسوی بفروئی و همکاران (۱۳۹۳) استفاده شد و داده‌های رقومی شتاب بیشینه زمین[۱] مربوط به محدوده استان قزوین برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال تهیه شد.

- **پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش**

برای تعیین خطر زمین‌لغزش ابتدا نقشهٔ هریک از عوامل مؤثّر، با نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش قطع داده شد و مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از نقشهٔ عوامل مشخّص شد. سپس مقادیر نسبت فراوانی هریک از طبقات عوامل با استفاده از رابطهٔ نسبت فراوانی[۲] (رابطهٔ ۱)، محاسبه شد (Lee, ۲۰۰۷; Pourghasemi et al., ۲۰۱۳; Karimi Sangchini et al., ۲۰۱۶).

$$Fr = \frac{L_i / \sum_{i=1}^{n} L_i}{C_i / \sum_{i=1}^{n} C_i}$$ رابطه ۱

که در آن L_i مساحت زمین‌لغزش در طبقه i ام هر یک از عوامل، و Ci مساحت طبقه i ام هر یک از عوامل و n تعداد طبقات عامل است. درنهایت، از عملگرهای گامای فازی به‌منظور تلفیق نقشه‌های بر اساس نسبت فراوانی استفاده شد. در این راستا مقادیر نسبت فراوانی لایه‌های عوامل با استفاده از رابطهٔ دو به دامنهٔ عددی بین صفر تا یک تبدیل شدند.

رابطهٔ ۲ مقدار عضویت فازی = (X - MINx) / (MAXx - MINx)

در رابطه ۲، X: مقدار نسبت فراوانی و MINx و MAXx نیز به ترتیب کمینه و بیشینه مقادیر نسبت فراوانی طبقات هریک از عوامل است. در نهایت لایه‌های عوامل موثر با استفاده از روش‌های تلفیق فازی Sum, Product, Gamma (۰٫۱, ۰٫۹۹, ..., ۰٫۹۱, ۰٫۹, ...) با هم تلفیق شدند و حسّاسیت به وقوع زمین‌لغزش تعیین و در نهایت طبقه‌بندی شد.

۱. Peak Ground Acceleration (PGA)
۲. Frequency Ratio (FR)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

- **ارزیابی کارایی و صحّت‌سنجی**

ارزیابی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، بر اساس ۳۰ درصد از مساحت زمین‌لغزش‌هایی که در تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی استفاده نشده‌اند، و با استفاده از شاخص‌های نسبت تراکم[۱] و مجموع مطلوبیت[۲] (Gee, ۱۹۹۲) انجام گرفت.

$$Dr = \frac{Si/Ai}{\sum_1^n Si / \sum_1^n Ai} * 100$$ رابطه ۳

که در آن Dr: شاخص تراکم لغزش در هر طبقه خطر، Ai: مساحت هر طبقه خطر، Si: مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر طبقه خطر و n: تعداد طبقات خطر است.

که در آن Qs: شاخص جمع مطلوبیت، S: نسبت مساحت رده خطر به مساحت منطقه است.

$$Qs = \sum_{i=1}^{n} \left[(Dr - 1)^2 \times S \right]$$ رابطهٔ ۴

- **نقشه آسیب پذیری**

ابتدا نقشه تمامی عوارض در معرض خطر اعم از مناطق شهری و روستایی، راه‌ها، اراضی زراعی آبی، اراضی زراعی دیم، باغات، اراضی مرتعی و جنگلی با استفاده از منابع موجود تهیه شد و بعد بر اساس نظر کارشناسی و تحقیقات گذشته (طلایی، ۱۳۹۳؛ Kanungo et al, ۲۰۰۸) اعدادی بین صفر تا یک که بیانگر میزان خسارت احتمالی در صورت رخداد زمین‌لغزش هستند، به هر طبقه از نقشه منابع اختصاص یافت. در نهایت، نقشه آسیب‌پذیری منابع در معرض خطر بر اساس میزان خسارت احتمالی عوارض در محیط ArcGIS تهیه شد.

- **ارزیابی ریسک زمین‌لغزش**

برای ارزیابی ریسک زمین‌لغزش از دو عامل حساسیت زمین‌لغزش و میزان آسیب‌پذیری استفاده شد. نقشه ریسک زمین‌لغزش از حاصل‌ضرب دو نقشه فازی میزان خطر و نقشه فازی آسیب‌پذیری تهیه و طبقه‌بندی شد (طلایی، ۱۳۹۳).

- **سیاست‌ها و اقدامات مدیریت ریسک زمین‌لغزش**

بدین‌منظور ابتدا تناسب کلاس‌های مختلف خطر برای استقرار کاربری‌های مختلف با توجه به دو عامل میزان خطر و آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس استقرار کاربری‌های با آسیب‌پذیری بالا در پهنه‌های پرخطر نامناسب بوده و باعث افزایش تصاعدی ریسک زمین‌لغزش خواهد شد. در نهایت راهبردها و اقدامات مدیریت ریسک زمین‌لغزش برای هر یک از طبقات خطر معرفی شد.

۱- Density Ratio (Dr)

۲- Quality sum (Qs)

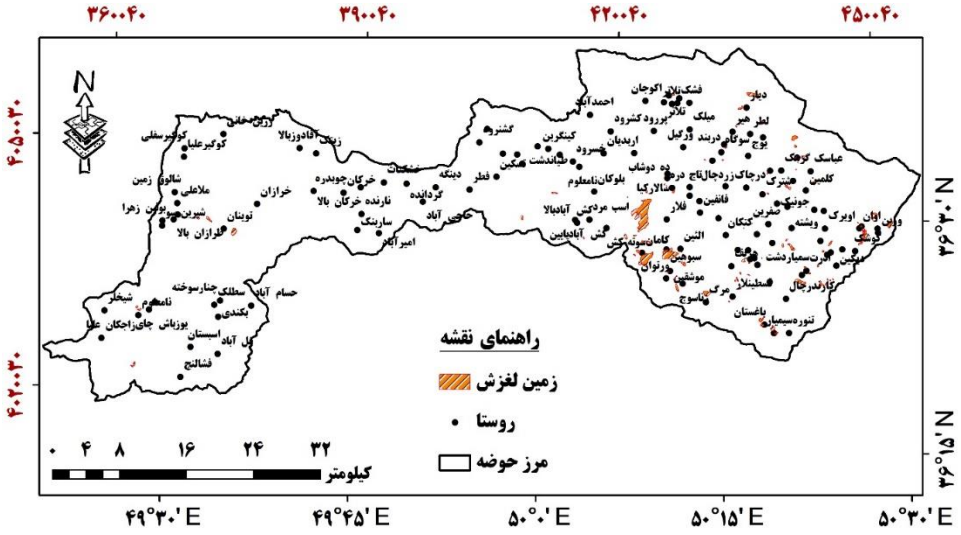
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

شرح و تفسیر نتایج

- **نقشه پراکنش زمین لغزش های حوضه شاهرود**

در آبخیز شاهرود درمجموع ۱۰۴ زمین‌لغزش با مساحت مجموع ۱۴۰۱ هکتار ثبت شد که خلاصهٔ آماری آنها در جدول یک ارائه شده است. همچنین تصاویری از زمین‌لغزشهای منطقه در شکل سه ارائه شده است.



شکل ۲- نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های آبخیز شاهرود

جدول ۱- تفکیک زمین‌لغزش‌های آبخیز شاهرود برای مراحل ساخت و ارزیابی

کل		ساخت مدل (۷۰ درصد)		صحّت‌سنجی (۳۰ درصد)	
تعداد	مجموع سطح (m^2)	تعداد	مجموع سطح (m^2)	تعداد	مجموع سطح (m^2)
۱۰۴	۱۴۰۱۳۰۴۹	۷۳	۹۸۲۷۹۶۶	۳۱	۴۱۸۵۰۸۳



پایین‌دست روستای زرآباد



مسیر جاده روستای هیر به ویار

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]



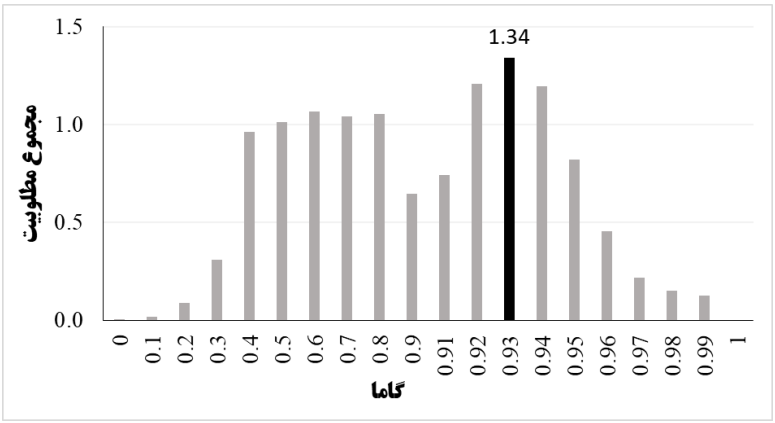
دامنه‌های مجاور یارود



مابین دریاچه اوان و روستای زرآباد

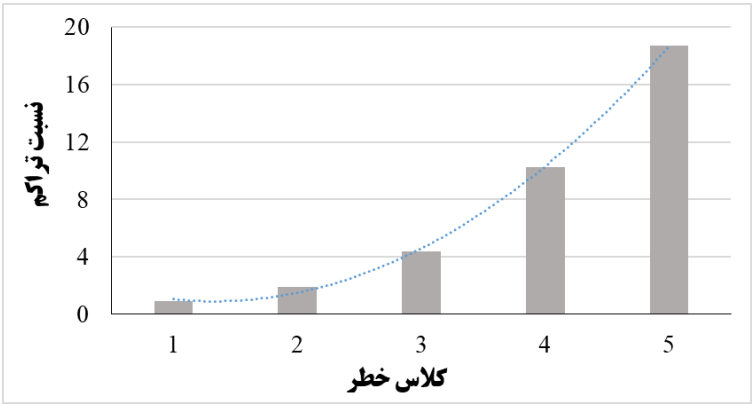
شکل۳- تصاویری از زمین‌لغزش‌های آبخیز شاهرود و خسارات وارده

در شکل چهار نمودار مقادیر جمع مطلوبیت برای هر یک از مقادیر گاما ارائه شده است.



شکل۴- شاخص جمع مطلوبیت برای هر یک از ضرایب گاما

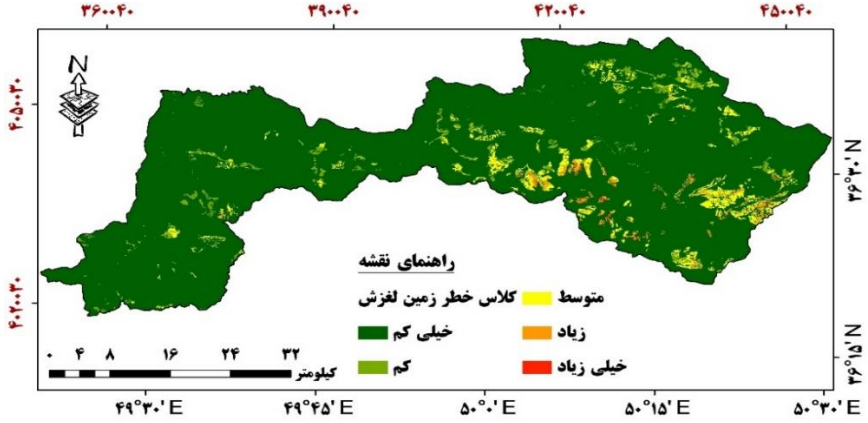
در شکل پنج نمودار مقادیر نسبت تراکم برای هر یک از طبقات کلاس‌های نقشه خطر حاصل از گامای ۰/۹۳ ارائه شده است.



شکل۴- شاخص نسبت تراکم کلاس‌های نقشه خطر حاصل از گامای ۰/۹۳

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]



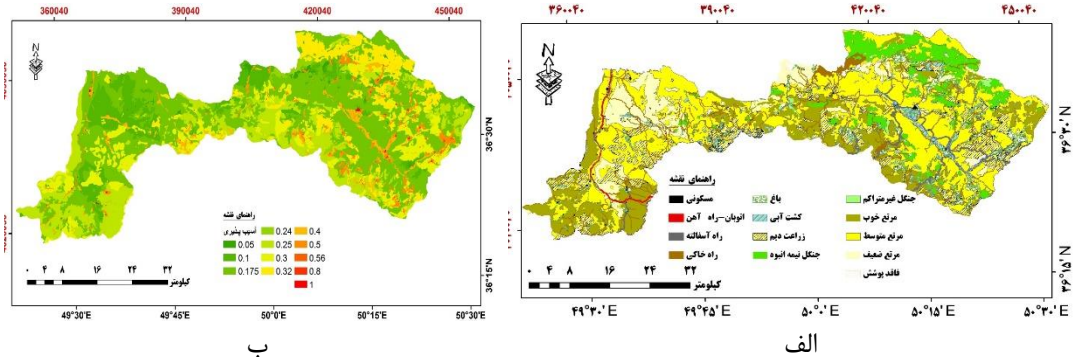
شکل ۶- نقشه حسّاسیت زمین‌لغزش آبخیز شاهرود (Gamma=۰،۹۳)

در جدول دو، میزان خسارات احتمالی در صورت رخداد زمین‌لغزش برای هر یک از عوارض در معرض خطر اعم از مناطق شهری و روستایی، راه‌ها، اراضی زراعی آبی، اراضی زراعی دیم، باغات، اراضی مرتعی و جنگلی و غیره ارائه شده است.

جدول ۲- میزان خسارت احتمالی عوارض در معرض خطر

منابع اصلی	خسارت	بخش	خسارت	زیربخش	خسارت	خسارت نهایی
مناطق مسکونی و صنعتی	۱	-	-	-	-	۱
زیرساختها وابنیه	۰.۸	اتوبان و راه‌آهن	۱	-	-	۰.۸
		راه آسفالت	۰.۷	-	-	۰.۵۶
		جاده فرعی	۰.۳	-	-	۰.۲۴
کشاورزی و منابع طبیعی	۰.۵	کشاورزی	۱	باغ	۱	۰.۵
				زراعت آبی	۰.۸	۰.۴
				زراعت دیم	۰.۶	۰.۳
		جنگل	۰.۸	متراکم	۱	۰.۴
				نیمه‌متراکم	۰.۷	۰.۳۲
				کم‌تراکم	۰.۴	۰.۲۴
		مرتع	۰.۵	خوب	۱	۰.۲۵
				متوسط	۰.۷	۰.۱۷۵
				ضعیف	۰.۴	۰.۱
		فاقد پوشش	۰.۱	-	-	۰.۰۵

نقشه کاربری‌های اراضی و منابع در معرض خطر منطقه در شکل هفت (الف) ارائه شده است. نقشه آسیب‌پذیری منابع در معرض خطر زمین‌لغزش که بر اساس میزان اهمیت عوارض تهیه شده، در شکل هفت (ب) ارائه شده است.



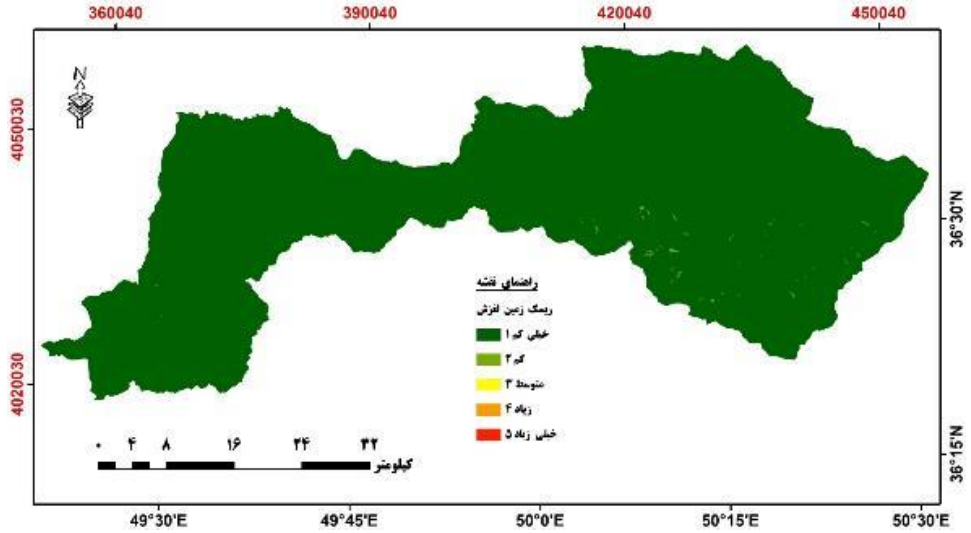
الف ب

شکل ۷- نقشه عوارض در معرض خطر (الف) و آسیب‌پذیری (ب) منابع آبخیز شاهرود

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

نقشه پهنه‌بندی ریسک زمین‌لغزش که از حاصل‌ضرب دو نقشه خطر زمین‌لغزش و نقشه آسیب‌پذیری تهیه شد، در شکل هشت ارائه شده است. جدول سه نیز مساحت کاربری‌های مختلف اراضی در هر یک از کلاس‌های ریسک زمین‌لغزش را ارائه کرده است.



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی ریسک زمین‌لغزش آبخیز شاهرود

جدول ۳- توزیع مساحت (متر مربع) کاربری‌های اراضی در کلاس‌های ریسک زمین‌لغزش آبخیز شاهرود

کلاس ریسک / کاربری	۱	۲	۳	۴	۵	مجموع
باغ	۵۹۹۰۱۸۲۹	۱۷۱۰۰۶۴	۵۷۱	۰	۰	۶۱۶۳۲۰۰۹
جنگل	۱۷۸۷۲۷۲۸۱	۷۱۷۰۴	۱۷۰			۱۷۸۹۲۲۷۸۱
راه	۳۶۲۸۷۶۴۱	۱۱۱	۰	۰	۰	۳۶۳۸۰۸۹۴
زراعت دیم	۲۳۹۴۵۳۰۳۶	۲۸۶۱	۱	۰	۰	۲۳۹۷۳۷۶۲۱
فاقد پوشش	۱۲۶۱۳۰۴۳	۰	۰	۰	۰	۱۲۶۴۶۸۹۱
کشت آبی	۶۷۹۶۸۲۱۸	۶۰۷۲۴۸	۱۵۹۹	۴۳	۰	۶۸۶۲۲۱۷۱
مرتع	۱۳۶۶۹۴۱۲۹۷	۱۹۸۹		۰		۶۴۳۴۵۶۶۹۷
مسکونی	۶۰۴۴۷۳۴	۱۵۳۱۹۱	۲۷۳۴۷	۵۳۳	۰	۶۲۲۶۳۸۱
مجموع	۱۹۶۷۹۴۲۶۰۵	۲۵۴۷۱۶۷	۲۹۶۸۸	۵۷۶	۰	۱۹۷۲۳۵۹۲۹۱

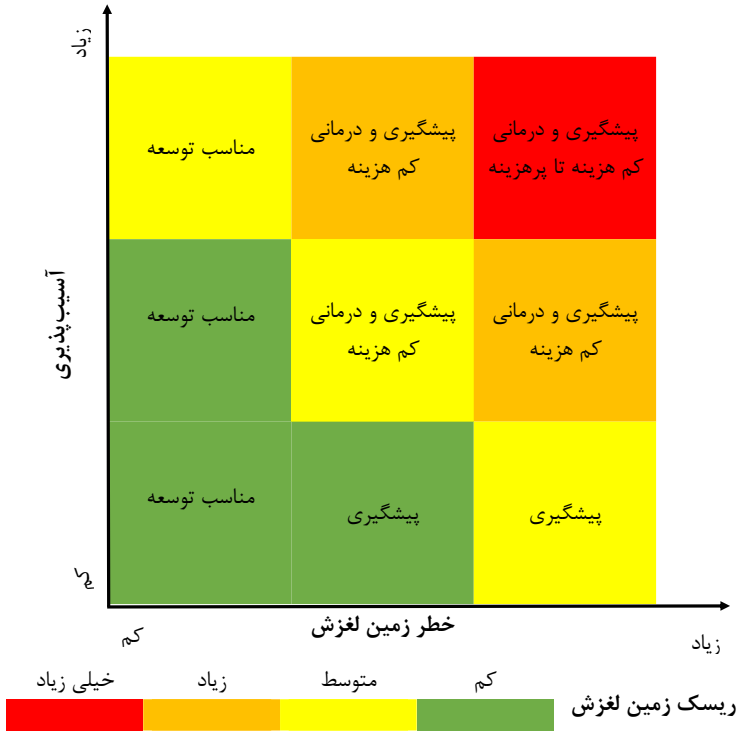
دامنهٔ مقادیر شاخص جمع مطلوبیت (شکل سه) برای هر یک از مقادیر گاما بین صفر (مربوط به گامای برابر با یک یا جمع فازی) تا ۱/۳۴ (مربوط به گامای برابر با ۰/۹۳) متغیّر است. بر این اساس در آبخیز شاهرود روش تلفیق فازی با گامای برابر با ۰/۹۳ بهترین نقشه را برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه کرده است. تحقیقات گذشته نیز کارایی مناسب مقادیر گامای بالاتر از ۰/۹ را نشان داده‌اند که از جمله آنها می‌توان به گامای ۰/۹۷۵ در آبخیز هراز (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹)، گامای ۰/۹ در جم بوشهر (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴)، گامای ۰/۹۴ در آبخیز کلان استان فارس (Tangestani, ۲۰۰٤)، گامای ۰/۹۷۵ در کره (Lee, ۲۰۰۷)، گامای ۰/۹۷۵ در هندوستان (Hinotoli Sema et al., ۲۰۱۷) اشاره کرد.

انحراف زیاد مقادیر شاخص نسبت تراکم از مقدار میانگین برای هر یک از طبقات کلاس‌های نقشه خطر حاصل از گامای ۰/۹۳(شکل چهار)، نشان‌دهندهٔ آن است که تراکم زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف خطر دارای تفاوت فاحشی است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

از طرفی مقادیر شاخص نسبت تراکم این نقشه، نشان از سیر صعودی مقادیر این شاخص برای طبقات خطر به ترتیب از یک (خیلی کم) تا پنج (خیلی زیاد) دارد. این نتایج حاکی از تفکیک مناسب رده‌های خطر و طبقه‌بندی صحیح این نقشهٔ خطر است (Gee, ۱۹۹۲).

سیاست‌های کاهش خسارات زمین‌لغزش را می‌توان به سه سیاست کلی شامل سیاست مناسب توسعه، سیاست پیشگیری (سعی بر حفظ وضع موجود) و سیاست درمانی (کم‌هزینه تا پرهزینه) تقسیم نمود که می‌بایست آنها را بر اساس دو عامل میزان خطر و میزان آسیب‌پذیری برای پهنه‌های مختلف ریسک زمین‌لغزش اعمال نمود (شکل نه).



شکل ۹- سیاست‌های مدیریت ریسک زمین‌لغزش بر اساس عوامل میزان خطر و آسیب‌پذیری

در مناطقی که خطر زمین‌لغزش خیلی کم است، نه تنها نیازی برای مدیریت خطر زمین‌لغزش نیست، بلکه در این مناطق می‌توان سیاست‌های توسعه بخش‌های مختلف از قبیل کشاورزی، صنعت، مناطق مسکونی، راه‌های مواصلاتی، خطوط انتقال نیرو و یا سایر زیرساخت‌ها را نیز اعمال نمود.

در سیاست پیشگیری سعی بر این است که از افزایش ضریب آسیب‌پذیری در مناطق پرخطر اجتناب گردد، لذا در این روش‌ها، اساس برنامه مدیریت ریسک زمین‌لغزش را قوانین و دستورالعمل‌های کاربری اراضی و برنامه‌های آموزش به عموم تشکیل می‌دهند. میزان آسیب‌پذیری کاربری‌های مختلف اراضی در برابر زمین‌لغزش یکسان نیست و استقرار کاربری‌های با درجه آسیب‌پذیری بالا در پهنه‌های پرخطر، باعث افزایش تصاعدی ریسک زمین‌لغزش خواهد شد. از طرفی برخی از تغییرات کاربری اراضی علاوه بر آسیب‌پذیری بالا، می‌توانند با تغییر شرایط عوامل مستعدکننده زمین‌لغزش (برای مثال افزایش میزان نفوذ آب ناشی از شخم و یا کشت آبی، و یا افزایش وزن توده ناشی از بارگذاری ابنیه، و یا برداشتن پای دامنه و افزایش شیب ناشی از جاده‌سازی)، میزان خطر را نیز افزایش داده و ریسک زمین‌لغزش یک محدوده را با افزایش هر دو پارامتر موثر بر ریسک افزایش دهند. لذا برای مدیریت ریسک زمین‌لغزش می‌بایست ضابطه‌ای را بر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

اساس میزان خطر و آسیب‌پذیری زمین‌لغزش، برای استقرار کاربری‌های مختلف در پهنه‌های مختلف در نظر گرفت. بر این اساس در جدول چهار تناسب پهنه‌های کلاس خطر زمین‌لغزش برای استقرار کاربری‌های مختلف زمین ارائه شد.

جدول ۴- تناسب کلاس‌های خطر مختلف برای استقرار انواع کاربری‌های زمین

کاربری / خطر	جنگل	مرتع	کشت دیم	باغ	کشت آبی	معدن	دامداری متمرکز	جاده	صنعتی	مسکونی
۱	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
۲	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
۳	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
۴	+	+	-	-	-	- -	- -	- -	- -	- -
۵	+	+	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

+ : مناسب، - : نامناسب، - - : بسیار نامناسب

بر این اساس در مناطق تحت پوشش این سیاست می‌بایست با استفاده از قوانین و دستورالعمل‌های آمایش سرزمین و نیز برنامه‌های آموزش به جوامع محلی از توسعه کاربری‌های نامتناسب با کلاس‌های مختلف خطر ممانعت بعمل آورد. سیاست درمانی نیز مناسب مناطقی است که از طرفی میزان خطر زمین‌لغزش بالاست، و از سوی دیگر به دلیل توسعه مناطق مسکونی، کشاورزی و یا استقرار زیرساخت‌ها، میزان آسیب‌پذیری نیز در آن محدوده‌ها افزایش یافته است. لذا در این مناطق می‌بایست از سیاست درمانی برای کاهش ریسک زمین‌لغزش بهره جست. برای کاهش ریسک زمین‌لغزش این مناطق نیز دو گزینه اصلی کاهش آسیب‌پذیری و کاهش میزان خطر را می‌توان در نظر گرفت. برای کاهش آسیب‌پذیری می‌بایست کاربری‌های متناسب با کلاس خطر محدوده را انتخاب و در منطقه اعمال نمود که از جمله این اقدامات می‌توان به مواردی نظیر تبدیل زراعت‌ها به مراتع، تغییر مسیر جاده و خطوط انتقال نیرو و یا سایر زیرساخت‌ها، تغییر مکان دامداری و حتی روستا اشاره نمود. استقرار سامانه‌های پایش و هشدار نیز می‌تواند با تخلیه جمعیت از توده لغزشی، میزان آسیب‌پذیری و در نتیجه ریسک را کاهش دهد. از جمله راهکارهای کاهش خطر زمین‌لغزش نیز می‌توان به مواردی نظیر اقدامات بیولوژیک کاهش خطر، زهکشی سطحی، جایگزینی سیستم‌های آبیاری سنتی با سیستم‌های آبیاری تحت فشار، ساماندهی فاضلاب شهری-روستایی، باز کردن مسیر آبراهه‌ها، آهک‌پاشی (کم‌هزینه) و البته اقدامات مکانیکی نظیر شمع‌کوبی، احداث دیوار حائل، شبکه‌های توری فلزی (پرهزینه) اشاره نمود که بنا به شرایط منطقه و فراخور نیاز می‌بایست مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

ارزیابی ریسک زمین‌لغزش، برای ارائه تمامی طرح‌های کاهش خسارت ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها ضروری است. اتخاذ شیوه‌های مناسب مدیریتی در انتخاب گزینه‌های صحیح مقابله با زمین‌لغزش بسیار موثر است. وجود اطلاعات پایه، کسب و بکارگیری دانش و فنون لازم، وضع قوانین مناسب و تدوین برنامه‌های آموزشی و ترویجی به عنوان ابزارهای اولیه مدیریت ریسک زمین‌لغزش محسوب می‌گردند که پایه و اساس اجرای شیوه‌های مدیریتی را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق ریسک زمین‌لغزش در حوزه‌آبخیز شاهرود مبتنی بر تلفیق نقشه حساسیت زمین‌لغزش و آسیب‌پذیری ارزیابی شد. بطور کلی در این حوضه تعداد ۱۰۴ زمین‌لغزش با مجموع مساحت ۱۴۰۱هکتار ثبت شد و نتایج ارزیابی نشان داد که عملگر فازی با گامای برابر با ۰/۷ بالاترین مقدار شاخص مجموع مطلوبیت (معادل ۱/۵۳) را داشته و از دقت بالاتری

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

نسبت به سایر مقادیر گاما برخوردار است. همچنین برای مقابله با خسارات زمین‌لغزش، سه سیاست کلی مناسب توسعه، پیشگیری و سیاست درمانی ارائه شد که می‌توان آنها را بر اساس دو عامل میزان خطر و میزان آسیب‌پذیری برای پهنه‌های مختلف آبخیز اعمال نمود. در نهایت، به منظور کاهش خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌های احتمالی، کاربری‌های مناسب برای طبقات با ریسک بالا معرفی شد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق بصورت پروژۀ تحقیقاتی (کد: ۹۷۰۱۵۸-۰۰۸-۲۹-۲۹-۰۴) در پژوهشکدۀ حفاظت خاک و آبخیزداری و با استفاده از اعتبارات مالی ادارۀ کلّ منابع طبیعی و آبخیزداری استان قزوین به انجام رسیده است. نگارندگان بدین‌وسیله از تمامی دست‌اندرکاران صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

منابع

آرمین، محسن؛ جمال مصفایی، وجیهه قربان‌نیا خیبری و افسانه خیری.۱۳۹۸. پهنه‌بندی زمین‌لغزش و برنامه مدیریتی کنترل خطر آن در استان کهکیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل حائری-سمیعی. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، **۷(۴)**: ۱۷۶-۱۹۶.

جویباری، جمشید؛ عطاالله کاویان و جمال مصفایی. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر کاربری اراضی بر میزان حرکت زمین لغزش (مطالعه موردی: زمین لغزش توان استان قزوین). *مجله پژوهش‌های آبخیزداری*، **۳۰ (۳)**: ۲۹-۳۹.

جویباری، جمشید؛ عطاالله کاویان و جمال مصفایی. ۱۳۹۴. تأثیر خصوصیات بارش بر تغییرات مکانی و زمانی حرکت توده لغزشی منطقه توان در استان قزوین. *مجله پژوهش‌های آبخیزداری*، **۴ (۴)**: ۷۵-۸۶.

صالح‌پور جم، امین؛ فهیمه رسولی، امیر سررشته‌داری، جمال مصفایی و محمد کیا کیانیان.۱۳۹۹. بررسی شاخص‌های اجتماعی مؤثر در عدم مشارکت مردمی در طرح‌های منابع طبیعی با کاربرد روش AHP و آزمون‌های ناپارامتریک. *مجله مهندسی و مدیریت آبخیز*، **۱۲ (۱)**:۳۳۰-۳۳۹.

رشوند، سعید؛ جمال مصفایی، محمد درویش، عمار رفیعی امام .۱۳۹۲. بررسی پتانسیل بیابان‌زایی از منظر زوال پوشش گیاهی (مطالعه موردی: حوضه رود شور قزوین). *مجله تحقیقات مرتع و بیابان*، **۲۰ (۱)**: ۳۸-۴۹.

رشوند، سعید و جمال مصفایی.۱۳۹۲. بررسی تاثیر روند فشار جمعیت انسانی بر محیط زیست (مطالعه موردی: حوزه شور قزوین). *مجله انسان و محیط زیست*، **۲۵**: ۴۱-۵۵.

سرفراز، فرامرز؛ جمال مصفایی، روح انگیز اختری و امین صالح‌پور جم. ۱۴۰۰. ارزیابی کارآیی مدل تجربی حائری-سمیعی و آماری دو متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: استان قزوین). *جغرافیای طبیعی*، **۱۴(۵۲)**، ۹۹-۱۱۸.

شفقتی، مهدی و عطاالله مصلحت‌جو.۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش آنبالاگان در محیط ArcGIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چاکرود گیلان). *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، **۹ (۳۵)**: ۹۳-۱۰۲.

شریعت‌جعفری، محسن .۱۳۸۷. ارزیابی ریسک ویژه زمین‌لغزش در بخشی از البرز جنوبی. *نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران*، **۱**: ۱-۱۴.

شعاعی، ضیاءالدین. ۱۳۹۵. *زمین‌لغزش‌ها (شناخت، ارزیابی و کنترل)*. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

کرنژادی، آیدینگ؛ مجید اونق و امیر سعدالدین.۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین‌لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوزه آبخیز زیارت، استان گلستان). *فصلنامه مدیریت بحران*، **۷**: ۵۱-۶۲.

صفاری، امیر؛ منیره رعیتی شوازی، مریم جان احمدی، لیلا شیرزاد ملایری.۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل نسبت فراوانی و منطق فازی (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان جم). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، **۸ (۳۰)**: ۱۵-۳۰.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]

طلایی، رضا .۱۳۹۳. ارزیابی ریسک زمین‌لغزش در منطقه هشتچین به‌منظور استفاده در طراحی‌های توسعه‌ای و کاربری اراضی. *مجله مهندسی و مدیریت آبخیز*، **۶ (۱)**: ۲۱-۴۴.

مرادی، حمیدرضا؛ حمیدرضا پورقاسمی، مجید محمدی و محمدرضا مهدوی‌فر.۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی :حوزه آبخیز هراز). *فصلنامه علوم محیطی*، **۷ (۴)**: ۱۲۹-۱۴۲.

مصفایی، جمال؛ امین صالح‌پورجم، فرامرز سرفراز، صمد شادفر،..۱۳۹۹. پهنه‌بندی حسّاسیت زمین‌لغزش با استفاده از عملگرهای گامای فازی در آبخیز طالقان‌رود استان قزوین. *مجله جغرافیا و پایداری محیط*، **۱۰(۳)**: ۷۱-۹۰.

مصفایی، جمال؛ داوود اخضری، سعید رشوند و جواد عطایی.۱۳۹۴. تحلیل منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره (مطالعهٔ موردی: ایستگاه‌های آب‌سنجی استان قزوین). *مجله مرتع و آبخیزداری*، **۶۸ (۴)**: ۸۲۱-۸۳۳.

موسوی بفروئی، سید حسن؛ نوربخش میرزائی، الهام شعبانی، مرتضی اسکندری قادی.۱۳۹۳. پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در ایران و برآورد مقادیر بیشینه شتاب برای مراکز استان‌ها. *مجلهٔ فیزیک زمین و فضا*: **۴۰ (۴)**: ۱۵-۳۸.

Gee, M. D. ۱۹۹۲. Classification of Landslide Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability, Vol. ۲, Proc. *6th International Symposium on Landslides*, Christchurch, New Zealand, pp. ۹٤۷–۹۵۲.

Hinotoli Sema, V., Balamurugan, G., Ramesh, V. ۲۰۱۷. Fuzzy gamma operator model for preparing landslide susceptibility zonation mapping in parts of Kohima Town, Nagaland, India. Model. Earth Syst. Environ., ۳: ٤۹۹-۵۱٤.

Joybari, J., Kavian, A. A., & Mosaffaie, J. ۲۰۱۷. Effect of land use on landslide movement in the Tavan district, Qazvin. *Watershed Management Research Journal*, **۳۰(۳)**: ۲۹-۳۹.

Joybari, J., Kavian, A., & Mosaffaei, J. ۲۰۱٦. The effect of precipitation characteristics on spatial and temporal variations of Tavan landslide movement. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, **٤(٤)**: ۷۵-۸٦.

Kanungo D. P., Arora, M. K., Gupta, R. P., Sarkar, S. ۲۰۰۸. Landslide risk assessment using concepts of danger pixels and fuzzy set theory in Darjeeling Himalayas. *Landslides*, ۵:٤۰۷–٤۱٦. DOI ۱۰,۱۰۰۷/s۱۰۳٤٦-۰۰۸-۰۱۳۴-۳.

Karimi Sangchini, E., Emami, S.N., Tahmasebipour, N., Pourghasemi, H.R., Naghibi, S.A., Arami, S.A., Pradhan, B. ۲۰۱٦. Assessment and comparison of combined bivariate and AHP models with logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Chaharma-hal-e-Bakhtiari Province, Iran. *Arab J Geosci*, ۹:۱۵.

Lee, E. M., & Jones, D. K. ۲۰۰٤. Landslide risk assessment, Vol. ۱۰. London: Thomas Telford.

Lee, S. ۲۰۰۷. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, **۵۲**: ٦۱۵-٦۲۳.

Papathoma-Köhle, M., Gems, B., Sturm, M., & Fuchs, S. ۲۰۱۷. Matrices, curves and indicators: A review of approaches to assess physical vulnerability to debris flows. *Earth-Science Reviews*, ۱۷۱: ۲۷۲-۲۸۸.

Pourghasemi H. R, Moradi H R, Fatemi Aghda S M. ۲۰۱۳. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Nat Hazards*, ٦۹:۷٤۹–۷۷۹.

Redshaw, P., Dijkstra, T., Free, M., Jordan, C., Morley, A., & Fraser, S. ۲۰۱۷. Landslide risk assessment for the built environment in Sub-Saharan Africa. In Workshop on World Landslide Forum (pp. ۵-۱۲). Springer, Cham.

Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J., Sarfaraz, F., Shadfar, S., & Akhtari, R. ۲۰۲۱. GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid MCDM models. *Natural Hazards*, **۱۰۸(۱)**: ۱۰۲۵-۱۰٤٦.

Tangestani, M.H. ۲۰۰٤. Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma approach in a GIS, Kakan catchment area, southwest Iran. *Australian Journal of Earth Sciences*, **۵۱**: ٤۳۹-٤۵۰.

UNISDR, U. ۲۰۰۹. Terminology on disaster risk reduction. Geneva, Switzerland.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.12.2]