دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۵
پاییز ۱۳۹۵، صفحات ۲۳۸-۲۱۷

ملیحه محمد نیا[۱]
ابوالقاسم امیراحمدی[۲]
الهه اکبری[۳]
شهرام بهرامی[٤]

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه جاغرق و دررود (مسیر پیشنهادی جدید طرقبه–دررود)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۳/۰٤

چکیده

زمین‌لغزش یکی از انواع مخرب فرسایش در دامنه‌ها است که موجب ایجاد خسارت‌های مالی و جانی در جاده‌ها می‌شود. شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر یکی از ابزارهای اساسی جهت مدیریت و کاهش خسارات احتمالی محسوب می‌گردد. در این تحقیق، به‌منظور ارائه راهکاری جهت پیشگیری از مخاطرات جانی و مالی، سعی شده است مخاطره زمین‌لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طرقبه–درود با استفاده از روش بیزین پهنه‌بندی گردد. لذا با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از پراکندگی لغزش‌ها در منطقه، ضمن تهیه نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها، به تهیه ۱۳ لایه اطلاعاتی شامل: درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی- دانشگاه حکیم سبزواری. E-mail: malihe.mohamadnia@yahoo.com
۲- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی- دانشگاه حکیم سبزواری.
۳- دانشجوی دکتری سنجش از دور دانشگاه تهران و مربی گروه جغرافیای طبیعی- دانشگاه حکیم سبزواری.
٤- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی- دانشگاه حکیم سبزواری.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب، خاک و پهنه‌های بارش منطقه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام گردید. با استفاده از تئوری احتمالاتی بیزین ارتباط هر یک از عوامل و نقاط لغزشی تعیین و وزن طبقه‌های هر عامل مشخص شد. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ١٤ رویکرد استفاده از تمام عوامل موثر و حذف تک‌تک عوامل، با استفاده از تئوری بیزین برای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. سپس میزان دقت و صحت نقشه‌ها با استفاده از منحنی ROC و ۳۰٪ نقاط لغزشی صورت گرفت و مشخص گردید که دقت مدل احتمالاتی تهیه شده با حذف عامل فاصله از گسل در منطقه، با دقت ٨٦/٥٪ (خیلی‌خوب) برآورد گردید. با استفاده از نقشه ارائه شده می‌توان مناطق ناپایدار را شناسایی و در اجرای برنامه‌های عمرانی و بخصوص احداث راه به آن استناد نمود.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، بیزین، منحنی ROC، GIS، جاده طرقبه-دررود.

مقدمه

رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در نواحی کوهستانی موجب بروز برخی ناهنجاری‌های طبیعی در وضعیت ساکنین کره‌ی زمین شده است (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ٦٦). حرکات دامنه‌ای و به‌طور اخص زمین‌لغزش‌ها در زمره‌ی پرخسارت‌ترین آن‌ها است که همگام با دستکاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲: ۱۱۵)، به‌گونه‌ای که از آن به‌عنوان یکی از فرآیندهای ژئومورفیک عمده در چشم‌انداز مناطق کوهستانی یاد می‌شود (هاتانجی و موریواکی[5]، ۲۰۰۹: ٤٤٧).

از آنجا که تهیه نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش به‌طور چشمگیری برنامه‌ریزی کاربری را بهبود می‌بخشد، می‌توان از آن به‌عنوان روشی کارآمد برای کاهش خسارت‌های جانی و مالی ناشی از زمین‌لغزش‌ها استفاده کرد. پهنه‌بندی صحیح و اصولی خطر زمین‌لغزش و عوامل موثر در آن می‌تواند در تصمیم‌گیری برای مهار و کنترل و کاهش خسارات ناشی از آن مفید و موثر باشد (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۳: ۷۲). تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش به طراحان و مهندسان برای اجرای طرح‌های توسعه به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت گامی مهم برای مدیریت خطر زمین‌لغزش

5- Hattanji and Moriwaki

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

به‌منظور برقراری امنیت زندگی، توسعه زیرساخت‌ها و حفاظت محیط‌زیست کمک می‌نماید (نیهوسر و ترهوست[6]، ۲۰۰۷: ۱۲ و پرادهان[7]، ۲۰۱۱: ۷۷).

با توجه به کوهستانی بودن منطقه، احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای در محدوه مطالعاتی اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. همچنین در دهه‌های اخیر با افزوده شدن عوامل انسانی، ناپایداری شیب‌ها تشدید شده است.

نظر به اهمیت موضوع، شناخت عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش و مناطق مورد خطر امری ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو مطالعات مختلفی در بحث پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای صورت گرفته است.

پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل احتمالاتی بیزین نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش را در حوضه آبخیز هراز تهیه کردند. در این تحقیق عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل به‌عنوان عوامل موثر شناسایی و نقشه حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. همین پژوهشگر در تحقیقی مشابه در بخشی از استان گلستان در سال ۱۳۹۱، نقشه خطر زمین‌لغزش را با استفاده از تئوری بیزین تهیه نمود. در این تحقیق عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و پهنه‌های بارش منطقه به‌عنوان عوامل موثر در زمین‌لغزش مشخص گردید و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ١٤ رویکرد (استفاده از تمام عوامل موثر و حذف تک‌تک عوامل) تهیه گردید. نتایج نشان داد با حذف عامل شیب از تحلیل‌ها دقت نقشه به ۷۱/۳٪ رسید.

کرمی (۱۳۹۱)، با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره و مدل وزنی شاهد به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه زهکشی سعیدآباد چای پرداخت. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که عامل شیب با ۳/۹٦٥ با وقوع زمین‌لغزش بیش‌ترین همبستگی مثبت را دارد. حدود ٤٣/١ درصد مساحت حوضه سعیدآباد چای دارای حساسیت متوسط به بالا نسبت به بروز زمین‌لغزش برآورد گردید. از نمونه تحقیقات دیگر در این زمینه می‌توان به پژوهش فعله‌گری و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد. در این تحقیق اثر جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل پایداری دامنه (FLAC SLOP) برای حوضه آبخیز سد ایلام مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد جاده‌سازی در دامنه‌های با شیب بیش از ۱۵ درصد موجب کاهش پایداری دامنه می‌شود. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر

6- Neuhauser and Terhorst
7- Prahdan

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه عنوان پژوهشی است که توسط مقیمی و همکاران (۱۳۹۲)، انجام گرفت. در پژوهش پیش رو با تعیین عناصر موثر در وقوع خطر زمین‌لغزش شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، میانگین بارش سالانه، فاصله از گسل، آبراهه و مراکز مسکونی با اعمال نظر کارشناسان، پیشینه مطالعاتی و بازدیدهای میدانی و نیز استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه و وزن‌دهی این عناصر نسبت به یکدیگر هر عنصر بر مبنای نظر کارشناسان، نسبت به عملکرد وقوع خطر زمین‌لغزش شهری پهنه‌بندی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد از میان متغیرهای مورد بررسی، دو عامل شیب و لیتولوژی بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش رودبار داشته است.

لی و همکاران[8] (۲۰۰۲) برای تحلیل حساسیت زمین‌لغزش از تئوری بیزین استفاده کردند. در این تحقیق از ۱۳ عامل موثر برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده و نتایج ارزیابی نشان داد که مدل مذکور دقت بالایی در منطقه مورد مطالعه دارد.

لی و چوی[9] (۲۰۰٤)، ۱۵ عامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش را شناسایی و با استفاده از مدل بیزین نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را با رویکردهای مختلف تهیه نمودند. نتایج ارزیابی نشان داد که بیش‌ترین دقت مدل زمانی است که از ٦ عامل درجه شیب، شکل شیب، نوع توپوگرافی، قطر درخت، لیتولوژی و فاصله از جاده استفاده گردیده است.

گابت و همکاران[10] (۲۰۰٤)، با استفاده از داده‌های بارش و بار رسوبی حوضه‌ی آناپورنای هیمالایای نپال، به آثار بارش و ویژگی‌های شیب دامنه در شروع زمین‌لغزش‌ها در دوره بارش‌های موسمی این حوضه پی بردند. آن‌ها دریافتند هنگامی که طی دوره بارش‌های موسمی، آستانه بارش بیش از ۸٦۰ میلی‌متر برسد، حرکات لغزشی رخ خواهد داد. متو و همکاران[11] (۲۰۰۷)، با استفاده از مدل بیزین به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از دره‌ی Bhagirathi پرداختند. در این تحقیق از عواملی چون لیتولوژی، ساختار شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، پوشش اراضی و فاصله از جاده جهت تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش استفاده گردید و نهایتا نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش با دقت ۸٤/٦ ٪ تهیه گردید.

8- Lee et al
9- Lee and Choi
10- Gabet et al
11- Mathew et al

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رگمی[12] و همکاران (۲۰۱۰) از تئوری بیزین به‌منظور مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش در غرب کلرادوی امریکا استفاده کردند. در این پژوهش ۱۷ عامل در بررسی و پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت. دقت مدل مذکور در پیش‌بینی حوادث طبیعی بخصوص زمین‌لغزش ۷۸/٤٪ برآورد گردید. به‌طور کلی نتایج حاصله از تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از تئوری احتمالاتی بیزین می‌تواند در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان یک روش خوب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در بسیاری از تحقیقات انجام شده در زمینه حرکات دامنه‌ای وزن‌دهی معیارها براساس نظرات کارشناسان انجام شده است و این امر ممکن است منجر به عدم دقت نقشه تهیه شده گردد. همچنین در برخی موارد به تعداد محدودی از عوامل تاثیرگذار در لغزش پرداخته شده که این امر نیز احتمال کاهش دقت نقشه خطر را فراهم می‌سازد. لذا در پژوهش حاضر سعی بر آن است که با استفاده از تئوری بیزین در مسیر پیشنهادی طرقبه-درود، پتانسیل ظهور مخاطرات ناشی از تغییر کاربری زمین چون زمین‌لغزش در طول مسیر این جاده مورد ارزیابی قرار گیرد. در این روش وزن‌دهی معیارها براساس تعداد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش انجام می‌گیرد. لذا احتمال خطا کاهش می‌یابد. با توجه به کارآیی این روش، عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب، خاک و پهنه‌های بارش جهت تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در نظر گرفته شده است.

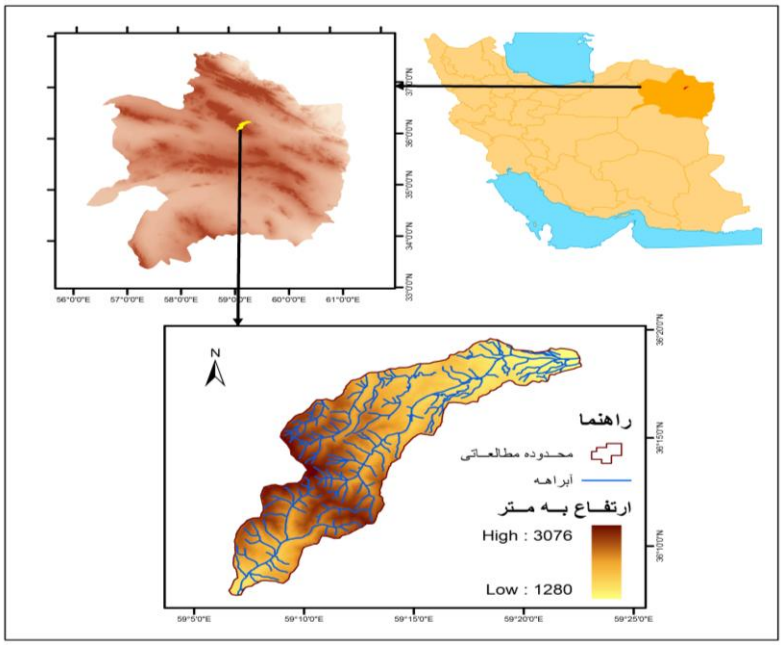
معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده منطقه مورد تحقیق، با مساحت تقریبی ۱٦۱/۵ کیلومترمربع در محدوده طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲ ثانیه تا ٥٤ درجه و ٤۱ دقیقه و ۹ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۸ دقیقه و ٤ ثانیه تا ۳٦ درجه و ۱۹ دقیقه و ٤۳ ثانیه و بخشی از دامنه‌های شمالی و جنوبی ارتفاعات بینالود می‌باشد که بین شهرستان‌های طرقبه و درود قرار دارد. از نظر تقسیمات کشوری به استان خراسان رضوی و شهرهای مشهد و نیشابور تعلق دارد. حداقل ارتفاع در محدوده مورد بررسی حدود ۱۲۸۰ متر می‌باشد که در قسمت شهرستان طرقبه واقع گردیده و حداکثر ارتفاع با حدود ۳۰۷٦ متر منطبق بر خط الراس ارتفاعات بینالود می‌باشد. متوسط بارش در منطقه نیز حدود ۳۳۱ میلی‌متر برآورد گردیده است. از لحاظ زمین‌شناسی بخش اعظم تشکیلات منطقه مربوط به تریاس و شامل فیلیت و شیل

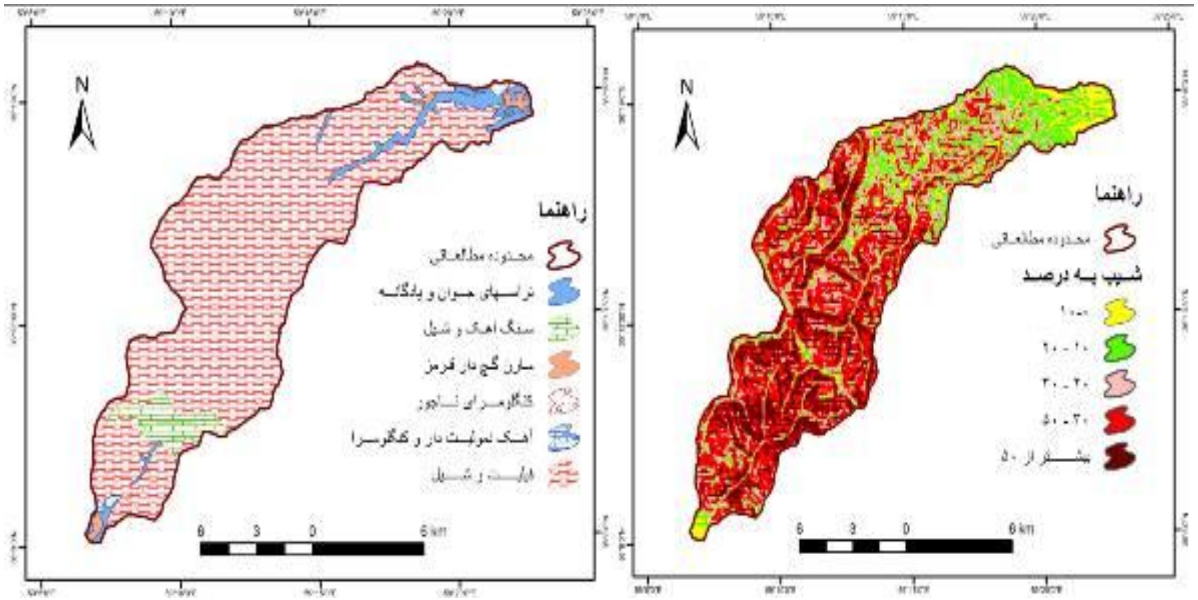
12- Regmi

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

می‌باشد. (شکل ۱) موقعیت محدوده مطالعاتی، (شکل ۲) نقشه شیب و (شکل ۳)، تشکیلات زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: نقشه شیب محدوده مورد مطالعه

شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

محدوده منطقه مورد مطالعه از شیت‌های گلمکان، طرقبه، درود و پیوه‌ژن نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش مشخص شد و لایه شیب، جهت شیب، شکل شیب و فاصله از آبراهه استخراج گردید. از نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ سازمان زمین‌شناسی ایران جهت استخراج لایه‌های زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه استفاده گردید. برای تهیه لایه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده ETM+ سال ۲۰۱٤) و روش طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت استفاده گردید. بدین منظور عملیات پیش پردازش شامل تصحیح اتمسفری و تصحیح هندسی با ۱۰ تعداد نقاط کنترل و دقت RMS به میزان ۰/۵ انجام شده است. برای به‌دست آوردن لایه خاک از نتایج نمونه‌برداری‌های آزمایشگاه مکانیک خاک و برای تهیه لایه فاصله از جاده از آمار و اطلاعات اداره راه و شهرسازی استان خراسان و بازدیدهای میدانی استفاده گردید. نقشه بارش نیز با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک محدوده مورد مطالعه و اطراف آن به‌دست آمد.

به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بیزین پس از تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی و ایجاد هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش شامل: درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، خاک، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و بارش، هر یک از لایه‌ها کلاس‌بندی و با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تلفیق گردید.

به‌منظور تعیین نقشه‌های شاخص توان آبراهه[۱۳] و شاخص حمل رسوب[۱٤] از روابط ۱ و ۲ استفاده گردید (مور و همکاران،[۱۵] ۱۹۹۳: ٤٤٥) (نفسلیوگلو و همکاران[۱٦]، ٤۰٤: ۲۰۰۸).

رابطه (۱) $SPI= A_s .\tan \beta$

(رابطه ۲) $STI = \left(\frac{A_s}{۲۲/۱۳}\right)^{۰/۶} . \left(\frac{\sin \beta}{۰/۰۸۹۶}\right)^{۱/۳}$

که در آن:

A_s= مساحت ویژه آبخیز

13- Stream Power Index (SPI)
14- Sediment Transport Index (STI)
15- Moore et al
16- Nefslioglu et al

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

β= گرادیان شیب برحسب درجه

STI= توان حمل آبراهه و یا به عبارتی عامل LS (Length and Slope) مدل AUSLE[17] است که مدل مذکور اصلاح شده‌ی معادله جهانی تلفات خاک[18] می‌باشد (پورقاسمی و همکاران، ۱۱۱: ۱۳۹۱).

برای محاسبه مساحت ویژه آبخیز[19] از تحلیل‌های مکانی در نرم‌افزار Arc GIS و گزینه Hydrology با ورود DEM استفاده گردید. عواملی چون filldem، folw direction وfolw Accumolation نیز ترسیم و از رابطه ۳، رستر مساحت ویژه آبخیز حاصل گردید.

Sca= (folw accumulation+1) .(ابعاد پیکسل) .(folw direct)/1000 (رابطه ۳)

- روش بیزین

شبکه‌های بیزین به نام شبکه‌های تصمیم[20]، شبکه‌های تصادفی[21] و نمودارهای تاثیر[22] نیز شناخته می‌شوند (شهابی و سعدالدین، ۱۳۸۸: ۲). این روش بر مبنای قضیه بیز[23] و به قانون احتمالات وابسته است که برای مطالعات پزشکی در ابتدای دهه ۱۹۹۰ به‌عنوان سیستم‌های پشتیبانی مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ٤) و در دهه اخیر کاربردهای زیادی در سایر علوم به‌ویژه در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش داشته است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۲). به این منظور با استفاده از رابطه‌های ۵ و ٦ وزن‌های محتمل هر عامل و طبقه‌های مربوط به آن محاسبه گردید.

$$P(b|a) = P(a|b) \times P(b) / P(a)$$ (رابطه ٤)

که در آن:

P(a): احتمال وقوع پیشامد a

P(b): احتمال وقوع پیشامد b

17- Adapted Universal Soil Loss Equation
18- Universal Soil Loss Equation
19- Specific Catchment Aria
20- Belief networks
21- Casual networks
22- Influence diagrams
23- Bayes theorem

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

P(b|a): احتمال وقوع پیش‌آمد b به شرطی که پیش‌آمد a اتفاق افتاده باشد و P(a|b): احتمال وقوع پیش‌آمد a به شرطی که پیش‌آمد b اتفاق افتاده باشد (ون وسترن[۲۴]، ۲۰۰۲: ۲۱).

رابطه (۵) $$W_i^+ = \log_e\left[P(B_i)|S / P(B_i)|\bar{S}\right]$$

رابطه (٦) $$W_i^- = \log_e\left[P(\bar{B}_i)|S / P(\bar{B}_i)|\bar{S}\right]$$

به‌منظور درک هرچه بهتر روابط ۵ و ٦ و سهولت کار، به‌ویژه در محیط GIS مدل براساس (جدول ۱) و به‌صورت رابطه‌های ۷ و ۸ ارائه شد (یسیلناسر[۲۵]، ۲۰۰۵: ٤۲۳) و وزن نهایی براساس روابط ۹ و ۱۰ برای هر عامل به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت (لی و چوی[۲٦]، ۲۰۰٤: ۷۹۳).

جدول ۱- چهار حالت احتمال ایجاد زمین‌لغزش

عوامل ایجاد زمین‌لغزش		
زمین‌لغزش	حضور	عدم حضور
حضور	Npix1	Npix2
عدم حضور	Npix3	Npix4

(رابطه ۷) $$W_i^+ = \log_e\left[(N_{pix1}/(N_{pix1}+N_{pix2}))/(N_{pix3}/(N_{pix3}+N_{pix4}))\right]$$

(رابطه ۸) $$W_i^- = \log_e\left[(N_{pix2}/(N_{pix1}+N_{pix2}))/(N_{pix4}/(N_{pix3}+N_{pix4}))\right]$$

که در آن:

Npix1: تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس

Npix2: (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه)- تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس

24- Van vestern
25- Yesilnasar
26- Lee and Choi

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

Npix3: (تعداد پیکسل‌های یک کلاس)-(تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)

Npix4: (تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه)-(تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه)- (تعداد پیکسل‌های یک کلاس)+ (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)

$$C = [(W^{+}) - (W^{-})]$$ (رابطه ۹)

$$W_{final} = C / S_c$$ رابطه (۱۰)

که در آن:

C: تفاضل وزن‌های مثبت و منفی

Wfinal: وزن نهایی استاندارد شده

Sc: انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی می‌باشد (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۷).

وزن مثبت نشان می‌دهد که عامل وقوع در محل زمین‌لغزش وجود دارد و بزرگی این وزن، همبستگی بین آن عامل وقوع زمین‌لغزش را بیان می‌کند؛ اما وزن منفی بیانگر عدم عامل مورد نظر در محل بروز زمین‌لغزش بوده، سطح همبستگی منفی را نشان می‌دهد. اختلاف بین دو وزن مثبت و منفی (Wfinal)، بزرگی ارتباط مکانی عامل علتی و زمین‌لغزش را نشان‌می‌دهد (کرمی، ۲۹: ۱۳۹۱).

برای به‌دست آوردن واریانس وزن‌های مثبت و منفی از روابط ۱۱ و ۱۲ استفاده گردید.

Sw+= ۱/ تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس (رابطه ۱۱)

Sw-= ۱/(تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)- (جمع پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) (رابطه ۱۲)

ارزیابی روش پهنه‌بندی

پس از تهیه نقشه‌های وزنی براساس روابط ذکر شده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ١٤ رویکرد (استفاده از تمام عوامل موثر و حذف تک‌تک عوامل) تهیه و براساس شکست‌های طبیعی (Natural Break) به چهار کلاس (خطر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد) طبقه‌بندی گردید. لذا نمی‌توان جهت ارزیابی نقشه‌های مورد نظر و تعیین دقت آن‌ها، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه استفاده کرد (کوماک[۲۷]، ۲۳: ۲۰۰۶). جهت حل این مشکل تعدادی از نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل مذکور (به‌ترتیب ۷۰ درصد و ۳۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت (کنستانتین و همکاران[۲۸]، ۲۰۱۰: ۱۰). سپس با استفاده از منحنی ROC یا Relative Operating Characteristics Curve (زو و وانگ[۲۹]، ۳٤۲: ۲۰۰۹) صحت نقشه‌های تهیه شده مورد تایید قرار گرفت. نهایتا نقشه‌ای که دارای بیش‌ترین دقت بود به‌عنوان نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد. منحنی ROC (شکل ٤) یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیات تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌ها است که میزان دقت مدل را به‌صورت کمی برآورد می‌کند (ون وسترن[۳۰]، ۲۳: ۲۰۰۲). در منحنی ROC ایده‌ال‌ترین مدل، بیش‌ترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیرمنحنی برابر با یک داشته باشد، بیانگر بهترین دقت از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه‌شده است. همبستگی کمی-کیفی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین بدین صورت است: (۱-۰/۹ عالی، ۰/۹-۰/۸ خیلی‌خوب، ۰/۸-۰/۷ خوب، ۰/۷-۰/٦ متوسط، ۰/٦-۰/۵ ضعیف)(ون وسترن[۳۱]، ۲۵: ۲۰۰۲).

یافته‌ها و بحث

نتایج به‌دست آمده از ارتباط هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و مدل احتمالاتی بیزین در (جدول ۲) ارائه شده است. بررسی عامل شیب نشان می‌دهد که اکثر لغزش‌های منطقه (حدود ۵۱ درصد) در شیب‌های بیش‌تر از ۲۰ درجه رخ داده است. در شیب‌های کم برآیند نیروها به صورتی است که نیروهای مقاوم (عمودی) بیش‌تر از نیروی محرکه (افقی) بوده و شرایط وقوع زمین‌لغزش فراهم نمی‌شود (پورقاسمی، ۱۱۸: ۱۳۹۱). با افزایش شیب نیروهای افقی بیش‌تر و شرایط وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌شود. همچنین دامنه‌های جنوبی (به دلیل آفتاب‌گیری بیش‌تر) و

27- Komac
28- Konstantin et al
29- Zhu and Wang
30- Van vestern
31- Van vestern

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

پس از آن دامنه‌های غربی (به علت نفوذ بیش‌تر سیستم‌های باران‌آور غربی)، وزن بیش‌تری را به خود اختصاص داده است.

در بررسی شکل شیب در محدوده مورد مطالعه مشاهده شد که بیش‌تر لغزش‌های منطقه در شیب‌های مقعر رخ داده، این عامل می‌تواند نقش به سزایی در همگرایی و واگرایی جریان انتقالی از بالادست حوضه به پایین‌دست آن داشته باشد. در دامنه‌های مقعر جریان آب به‌صورت همگرا است و این امر موجب انرژی بیش‌تر رواناب شده و تاثیر بیش‌تری بر زمین‌لغزش دارد. کلاس ارتفاعی ۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر و پس از آن ارتفاع ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر بیش‌ترین پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را داشته است (به ترتیب با ۲۱/۸ و ۳۶/۷ درصد از لغزش‌های به وقوع پیوسته). همچنین بررسی عامل زمین‌شناسی نشان داد که بیش‌ترین وزن مربوط به سازندهای سیلورین-دونین شامل ماسه‌سنگ کوارتزیت، سنگ‌آهک سفیدرنگ، شیل و سیلتستون می‌باشد و پس از آن در اراضی لخت بدون پوشش خاکی شامل سنگ‌های آهکی سخت بیش‌ترین زمین‌لغزش رخ داده است. مراتع فقیر (با وزن ۵۵/۹۴) و نواحی جنگلی (با وزن ۱۶/۷۸) بیش‌ترین همبستگی را با رخداد ناپایداری‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲- ارتباط بین هر یک از عوامل موثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی بیزین

عامل	کلاس	[۳۲]a	[۳۳]b	[۳۴]C	[۳۵]d	W+	W-	S2 (w+)	S2 (w-)	S (C)	C/S (C)
شیب	۰-۵	۲۹۲۱۶	۱۸/۵	۳۰۲۳	۱۴/۸	-۰/۲۱	۰/۴	۰/۰۰۰۳	۵/۸	۰/۰۱۹	-۱۳/۲۷
	۵-۱۰	۱۹۹۸۰	۱۲/۶	۱۵۲۳	۷/۴	-۰/۵۲	۰/۰۵	۰/۰۰۰۷	۵/۳	۰/۰۲۶	-۲۱/۸۱
	۱۰-۲۰	۲۷۳۴۸	۱۷/۳	۲۷۹۷	۱۳/۷	-۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۰۰۰۴	۵/۷	۰/۰۲	-۱۳/۳۵
	۲۰-۳۰	۳۷۲۵۳	۲۳/۵	۵۲۴۵	۲۵/۸	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۰۰۲	۶/۶	۰/۰۱۶	۷/۴۴
	بیش‌تر از ۳۰	۴۴۰۷۷	۲۷/۹	۷۷۲۹	۳۸	۰/۳	-۰/۱۵	۰/۰۰۰۱	۷/۹	۰/۰۱۴	۳۱/۸۸
جهت	شمال	۱۸۰۰۵	۱۱/۴	۱۸۲۰	۶/۶	-۱/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۰۲۲	۷/۶	۰/۰۶۶	-۳۳/۴
	شمال شرق	۲۰۶۴۷	۱۳/۱۴	۳۴۰۳	۱۲/۴۶	-۰/۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۴/۲	۰/۰۱	-۳/۲۴
	شرق	۲۸۸۲۰	۱۸/۳۳	۴۵۱۵	۱۶/۵۴	-۰/۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۲	۴/۴	۰/۰۱	-۷/۶۳

۳۲- تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش

۳۳- درصد پیکسل‌های فاقد لغزش

۳۴- تعداد پیکسل‌های لغزشی

۳۵- درصد پیکسل های لغزشی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۲- ارتباط بین هر یک از عوامل موثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی بیزین

عامل	کلاس	a	b	c	d	W+	W-	C	S2 (w+)	S2 (w-)	S (C)	C/S (C)
	جنوب شرق	۲۶۹۹۴	۱۷/۱۷	۲۶۲۲	۹/۶	-۰/۵۸	۰/۰۸	-۰/۶۶	۰/۰۰۰۴	۴/۱	۰/۰۲	-۳۲/۵۲
	جنوب	۱۹۰۳۵	۱۲/۱	۸۸۴۹	۳۱/۴۲	۰/۹۸	-۰/۲۶	۱/۲۴	۰/۰۰۰۱	۵/۴	۰/۰۱	۹۶/۴۹
	جنوب غرب	۹۹۵۱	۶/۳۳	۱۳۶۳	۴/۹۹	-۰/۲۳	۰/۰۱	-۰/۲۵	۰/۰۰۰۷	۳/۹	۰/۰۲	-۹/۰۳
	غرب	۱۳۹۴۹	۸/۸۷	۲۳۶۸	۸/۶۷	-۰/۰۲	۰/۰۰۲	-۰/۰۲	۰/۰۰۰۴	۴	۰/۰۲	-۱/۱۴
	شمال‌غرب	۱۹۸۰۶	۱۲/۵۹	۲۳۵۱	۶۱,۸	-۰/۳۸	۰/۰۴	-۰/۴۲	۰/۰۰۰۴	۴	۰/۰۲	-۱۹/۶۸
شکل شیب	مقعر	۷۷۲۶۰	۴۸/۹	۱۰۴۷۷	۵۲/۸۷	۰/۰۷	-۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۰۰۱	۱/۱	۰/۰۱	۱۱/۱۴
	محدب	۸۰۶۷۷	۵۱/۰۸	۹۳۳۶	۴۷/۱۲	-۰/۰۸	۰/۰۷	-۰/۱۵	۰/۰۰۰۱	۹/۵	۰/۰۱	-۱۱/۱۴
ارتفاع به متر	۱۲۸۰-۱۵۰۰	۱۲۷۵۵	۸	۰	۰	∞	۰/۰۸	∞	∞	۴/۹	∞	∞
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۵۲۳۱۴	۳۳/۰۹	۲۷۸۸	۱۳/۷۲	-۰/۸۸	۰/۲۵	-۱/۱۳	۰/۰۰۰۴	۵/۷	۰/۰۲	-۵۵/۶
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۵۸۱۴۵	۳۶/۷	۱۰۰۹۴	۴۹/۷	۰/۳	-۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۰۰۰۱	۹/۸	۰/۰۱	۳۷/۷
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۴۵۰۸	۲۱/۸۳	۷۳۸۵	۳۶/۳	۰/۵۱	۰/۲	۰/۷۱	۰/۰۰۰۱	۷/۷	۰/۰۱	۴۹/۰۷
	بیش‌تر از ۳۰۰۰	۳۴۷	۰/۲۲	۴۳	۰/۲۱	-۰/۰۳	۰	-۰/۰۳	۰/۰۲	۴/۹	۰/۱۵	-۰/۲۳
زمین شناسی	سیلورین-دونین (ماسه‌سنگ کوارتزیت)	۶۳۶۶	۴	۲۳۴۶	۱۱/۵	۱/۰۵	-۰/۰۸	۱/۱۳	۰/۰۰۰۴	۵/۵	۰/۰۲	۵۱/۷۶
	تریاس (فیلیت و شیل)	۱۳۹۹۷۶	۸۸/۱	۱۷۸۰۹	۸۷/۳	-۰/۰۰۹	۰/۰۶۳	-۰/۰۷	۰/۰۰۰۱	۳/۹	۰/۰۲	-۳/۴۲
	ژوراسیک (کنگلومرای ناجور)	۶۳۷	۰/۴	۰	۰	∞	۰/۰۰۴	∞	∞	۴/۹	∞	∞
	پالئوژن (آهک نمولیت‌دار)	۶۵۰	۰/۴	۲۶	۰/۱۲	-۱/۱۶	۰/۰۰۳	-۱/۱۶	۰/۰۳	۴/۹	۰/۱۹	-۵/۵۹
	نئوژن (مارن گچ‌دار قرمز)	۱۶۳۳	۱/۰۲	۰	۰	∞	۰/۰۱	∞	∞	۴/۹	∞	∞
	تراس‌های جوان	۷۸۸۵	۴/۹۶	۲۰۸	۱/۰۲	-۱/۵۸	۰/۰۴	-۱/۶۲	۰/۰۰۴	۵	۰/۰۶	-۲۳/۲۸
	پادگانه آبرفتی	۱۶۹۸	۱/۰۶	۰	۰	∞	۰/۰۱	∞	∞	۴/۹	∞	∞
کاربری	اراضی لخت بدون پوشش خاکی	۶۳۳۳۴	۳۹/۸۹	۱۰۶۰۲	۵۱/۹۸	۰/۲۶	-۰/۲۲	۰/۴۸	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۱	۳۴/۹
	خاک‌های خیلی کم‌عمق سنگ‌ریزه	۲۲۴۵۴	۱۴/۱۴	۸۳۰۹	۴۰/۷۲	۱/۰۵	-۰/۳۷	۱/۴۲	۰/۰۰۰۱	۸/۳	۰/۰۱	۱۰۰/۲

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۲- ارتباط بین هر یک از عوامل موثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی بیزین

عامل	کلاس	a	b	c	d	W+	W-	C	S2 (w+)	S2 (w-)	S (C)	C/S (C)
خاک	خاک‌های کم‌عمق و غیریکنواخت سنگ‌ریزه دار	٤٢٤٠٧	٢٦/٧١	١٢٠٦	٥/٩١	-١/٥	٠/٢٥	-١/٧٥	٠/٠٠٠٨	٥/٢	٠/٠٢	-٥٩/٢
	خاک‌های کم‌عمق و نسبتا سنگ‌ریزه دار	٢٩٣٢٥	١٨/٤٧	٢٧٧	١/٣٥	-٢/٦	٠/١٩	-٢/٨	٠/٠٠٣	٥	٠/٠٦	-٤٦/٢
	خاک‌هایی با بافت متوسط تا عمیق	١٢١٩	٠/٧٦	٠	٠	∞	٠/٠٠٨	∞	∞	٤/٩	∞	∞
کاربری اراضی	زمین کشاورزی	٨٢٤	٠/٥١	٠	٠	∞	٠/٠٠٥	∞	∞	٤/٩	∞	∞
	باغ	١١٩٥٨	٧/٥٣	١٢٦٠	٦/١٨	-٠/١٩	٠/٠١	-٠/٢١	٠/٠٠٠٨	٥/٢	٠/٠٢	-٧/٢٨
	مرتع متوسط	١٠٤٦٠٣	٦٥/٩٤	١١٢٦٤	٥٥/٣٢	-٠/١٧	٠/٢٧	-٠/٤٤	٠/٠٠٠١	١/١	٠/٠١	-٣١/٧
	جنگل	٣٣٩٥٤	٢١,٤	٥٣٤٣	٢٦/٢٤	٠/٢	٠/٠٦	٠/٢٦	٠/٠٠٠٢	٦/٧	٠/٠١	١٦/٧٨
	مرتع فقیر	٦٤١٨	٤/٠٤	٢٤٩٢	١٢/٢٤	١/١	-٠/٠٨	١/١٩	٠/٠٠٠٤	٥/٦	٠/٠٢	٥٥/٩٤
	مراکز شهری	٨١٦	٠/٥١	٠	٠	∞	٠/٠٠٥	∞	∞	٤/٩	∞	∞
	آب	٥١	٠/٠٣	٠	٠	∞	٠	∞	∞	٤/٩	∞	∞
فاصله از جاده به متر	١٠٠-٠	٢٢٨٥٢	١٤/٣٧	٢٤٥٠	١٢/٠٤	-٠/١٧	٠/٠٢	-٠/٢	٠/٠٠٠٤	٥/٦	٠/٠٢١	-٩/٤٥
	٢٠٠-١٠٠	١٨٨٧٠	١١/٨٧	٢١٢٤	١٠/٤٤	-٠/١٢	٠/٠١	-٠/١٤	٠/٠٠٠٥	٥/٥	٠/٠٢٢	-٦/٢٨
	٣٠٠-٢٠٠	١٩٠٢٦	١١/٩٦	٢٢٧٤	١١/١٨	-٠/٠٦	٠/٠٠٩	-٠/٠٧	٠/٠٠٠٤	٥/٥	٠/٠٢٢	-٣/٤٥
	٤٠٠-٣٠٠	١٤٧٦١	٩/٢٨	١٨٧٩	٩/٢٣	-٠/٠٠٥	٠/٠٠١	-٠/٠٠٦	٠/٠٠٠٥	٥/٤	٠/٠٢٤	-٠/٢٢
	٥٠٠-٤٠٠	١٤٥٨٩	٩/١٧	١٩٩٨	٩/٨٢	٠/٠٦	-٠/٠٠٧	٠/٠٧	٠/٠٠٠٥	٥/٥	٠/٠٢٣	٣/١٩
	١٠٠٠-٥٠٠	٥١٦١٨	٣٢/٤٧	٦٧١٦	٣٣/٠٢	٠/٠١	-٠/٠٠٨	٠/٠٢	٠/٠٠٠١	٧/٣	٠/٠١٤	١/٦٧
	بیش‌تر از ١٠٠٠	١٧٢٥٣	١٠/٨٥	٢٨٩٧	١٤/٢٤	٠/٢٧	-٠/٠٣	٠/٣١	٠/٠٠٠٣	٥/٧	٠/٠٢	١٥/٤٨
فاصله از رودخانه به متر	١٠٠-٠	٥٤٣٤١	٣٤/١٥	٦٣٧١	٣١/٢٢	-٠/٠٩	٠/٠٤	-٠/١٣	٠/٠٠٠٢	٧/١	٠/٠١٥	-٨/٨٣
	٢٠٠-١٠٠	٣٧٨٨٨	٢٣/٨١	٥٢٩١	٢٥/٩٢	٠/٠٨	-٠/٠٢	٠/١١	٠/٠٠٠٢	٦/٦	٠/٠١٦	٧/٠٨
	٣٠٠-٢٠٠	٢٩٩٥٩	١٨/٨٣	٤٣١٧	٢١/١٥	٠/١١	-٠/٠٢	٠/١٤	٠/٠٠٠٢	٦/٢	٠/٠١٧	٨/٤٨
	٤٠٠-٣٠٠	١٥٨٩٧	٩/٩٩	١٩٦٦	٩/٦٣	-٠/٠٣	٠/٠٠٤	-٠/٠٤	٠/٠٠٠٥	٥/٤	٠/٠٢٣	-١/٧
	٥٠٠-٤٠٠	١٠١٧٨	٦/٣٩	١٠١٢	٤/٥٩	-٠/٢٥	٠/٠١	-٠/٢٧	٠/٠٠١	٥/٢	٠/٠٣٢	-٨/٣٧
	١٠٠٠-٥٠٠	١٠٦٠٦	٦/٦٦	١٤٤٠	٧/٠٥	٠/٠٥	-٠/٠٠٤	٠/٠٦	٠/٠٠٠٧	٥/٣	٠/٠٢٧	٢/٢٣
	بیش‌تر از ١٠٠٠	٢٣٢	٠/١٤	١٠	٠/٠٤	-١/٠٩	٠/٠٠١	-١/٠٩	٠/١	٤/٩	٠/٣١	-٣/٤٥
	١٠٠-٠	٢٢٥١٠	١٤/١٥	٤٠٦١	١٩/٨٩	٠/٣٤	-٠/٠٦	٠/٤	٠/٠٠٠٢	٦/١	٠/٠١٧	٢٣/٣٣

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۲- ارتباط بین هر یک از عوامل موثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی بیزین

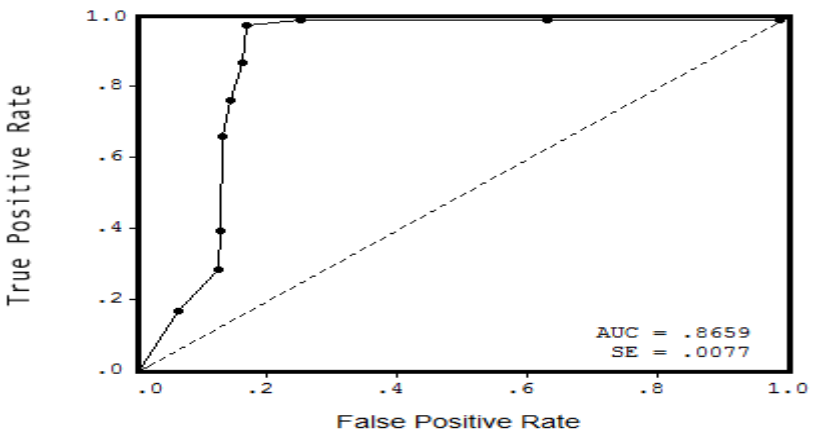
عامل	کلاس	a	b	c	d	W+	W-	C	S2 (w+)	S2 (w-)	S (C)	C/S (C)
فاصله از رودخانه به متر	۱۰۰-۲۰۰	۱۸۰۰۶	۱۱/۳۲	۳۸۴۷	۱۸/۸۴	۰/۵	-۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۰۰۰۳	٦	۰/۰۱۷	۳۳/۳۹
	۲۰۰-۳۰۰	۱۷۳۱٤	۱۰/۸۹	۳۲۲۰	۱۵/۷۷	۰/۳۷	-۰/۰۵	۰/٤۲	۰/۰۰۰۳	۵/۸	۰/۰۱۹	۲۲/۲۲
	۳۰۰-٤۰۰	۱۳٤۱۲	۸/٤۳	۲۰۹۰	۱۰/۲۳	۰/۱۹	-۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۰۰۰۵	۵/۵	۰/۰۲۳	۹/۲٤
	٤۰۰-۵۰۰	۱۲۵۵۰	۷/۸۹	۱٦۵٤	۸/۱	۰/۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰٦	۵/۳	۰/۰۲۵	۱/۱
	۵۰۰-۱۰۰۰	٤۲۵۳۷	۲٦/۷۵	۳۷۳۳	۱۸/۲۸	-۰/۳۸	۰/۱	-۰/٤۹	۰/۰۰۰۳	٦	۰/۰۱۸	-۲۷/۰۷
	بیش‌تر از ۱۰۰۰	۳۲٦٦۲	۲۰/۵٤	۱۸۱۲	۸/۸۷	-۰/۸۳	۰/۱۳	-۰/۹۷	۰/۰۰۰٦	۵/٤	۰/۰۲٤	-۳۹/٦۷
بارش به میلی‌متر	کم‌تر از ۲۹۰	۳٤٦۸۱	۲۱/۹۳	۷۱٦	۳/۵۲	-۱/۸۲	۰/۲۱	-۲/۰۳	۰/۰۰۱	۵/۱	۰/۰۳۸	-۵۳/۵۷
	۲۹۰-۳۵۰	۷۲٦۰٦	٤۵/۹۱	۹٦۹۵	٤۷/۷۸	۰/۰٤	-۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۰۰۱	۹/٤	۰/۰۱٤	۵/۳۳
	۳۵۰-٤۰۰	٤۸۷۷۰	۳۰/۸٤	۹۱۱۳	٤٤/۹۱	۰/۳۷	-۰/۲۲	۰/٦	۰/۰۰۰۱	۸/۹	۰/۰۱٤	٤۲/۷۵
	بیش‌تر از ٤۰۰	۲۰٦٦	۱/۳	۷٦۵	۳/۷۷	۱/۰٦	-۰/۰۲	۱/۰۸	۰/۰۰۱	۵/۱	۰/۰۳٦	۲۹/٤٤
شاخص توان آبراهه	۰-۲	۱۰۷۹٤٤	٦۸/٦	۱٤۱۹۵	٦۹/۸	۰/۰۱۷	-۰/۰۳	۰/۰۵٦	۷/۰٤	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۵	۳/٦٦
	۲-۵	۱٤۹۷۷	۹/۵۲	۱۹۱٦	۹/٤۲	-۰/۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۱	۵/۲۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۲	-۰/٤۷
	۵-۲۰	۲۱۲۰۰	۱۳/٤۸	۲۷۹۷	۱۳/۷٦	۰/۰۲	-۰/۰۰۳	۰/۰۲	۳/۵۸	۰/۰۰۰۰٦	۰/۰۲	۱/۱٦
	۲۰-۵۰	۸٤۸۰	۵/۳۹	۸۵٦	٤/۲۱	-۰/۲٤	۰/۰۱	-۰/۲۵	۱/۱۷	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۳	-۷/٤۳
	بیش‌تر از ۵۰	٤٦۵۹	۲/۹٦	۵٦۳	۲/۷۷	-۰/۰٦	۰/۰۰۱	-۰/۰٦	۱/۷۸	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰٤	-۱/٦۲
شاخص حمل رسوب	۰-۱۰	۹۲۳۷٦	۵۸/۵۳	۱۱۸۸۹	۵۸/۲۳	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۱	۸/٤	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱٤	-۰/۸۵
	۱۰-۲۰	۱٦۵۳۸	۱۰/٤۷	۲۲۲۷	۱۰/۹	۰/۰٤	-۰/۰۰٤	۰/۰٤	٤/٤۹	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۲	۲/۰۰٤
	۲۰-۳۰	۲٤٤۰۳	۱۵/٤٦	۳۱٦۸	۱۵/۵۱	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۰٦	۰/۰۰٤	۳/۱٦	۰/۰۰۰۰٦	۰/۰۱	۰/۲۱
	۳۰-۵۰	۲۱٦۳۸	۱۳/۷۱	۲۷۸۷	۱۳/٦۵	-۰/۰۰٤	۰/۰۰۰٦	-۰/۰۰٤	۳/۵۹	۰/۰۰۰۰٦	۰/۰۲	-۰/۲٤
	بیش‌تر از ۵۰	۲۸۵۸	۱/۸۱	۳٤۳	۱/٦۸	-۰/۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۷	۲/۹۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۵	-۱/٤

در اراضی جنگلی می‌توان این‌گونه استدلال کرد که وقوع زمین‌لغزش مربوط به نفوذ بیش‌تر آب در اراضی جنگلی و آبگذری کم‌تر این اراضی باشد که با نظرات پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) تطابق دارد. انتظار می‌رفت با بررسی فاصله از جاده این نتیجه حاصل شود که در محدوده‌های اطراف جاده زمین‌لغزش بیش‌تر اتفاق افتاده باشد اما نتیجه این‌گونه نبوده است. بلکه با فاصله گرفتن از جاده پتانسیل وقوع زمین‌لغزش افزایش یافته به‌طوری که در فواصل بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر به حداکثر وزن خود رسیده است (با وزن ۱۵/٤۸) و با نزدیک شدن به جاده میزان حساسیت به

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

زمین‌لغزش کم گردیده است که این نتیجه، عکس نظرات پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) می‌باشد. شاید دلیل این امر در این مطالعه این باشد که در محدوده مطالعاتی جاده‌ها آسفالت نبوده و بیش‌تر شوسه و مال‌رو بوده و هنوز این جاده احداث نشده، بنابراین تاثیر زیادی در وقوع زمین‌لغزش در منطقه نداشته است. بررسی لایه فاصله از گسل نشان داد که کلاس ۱۰۰-۲۰۰ متر بیش‌ترین وقوع زمین‌لغزش را داشته و پس از آن در فواصل ۰-۱۰۰ و ۲۰۰-۳۰۰ متری زمین‌لغزش بیش‌تری رخ داده است. با دور شدن از حریم گسل اوزان حاصله کاهش چشمگیری داشته است که این امر بیانگر همبستگی وقوع زمین‌لغزش با حریم گسل می‌باشد. همچنین در بررسی لایه فاصله از رودخانه مشخص گردید که فواصل ۲۰۰-۳۰۰ و ۱۰۰-۲۰۰ متری از رودخانه بیش‌ترین وزن را در وقوع زمین‌لغزش داراست. در ارزیابی عامل بارش نیز معلوم گردید که بیش‌تر لغزش‌های منطقه زمانی اتفاق می‌افتد که بارندگی در منطقه به ۳۵۰ میلی‌متر و بیش‌تر برسد. بررسی شاخص توان آبراهه و شاخص حمل رسوب نیز نشان داد که بیش‌ترین وزن لغزشی به‌ترتیب مربوط به طبقه‌های ۰-۲ (با وزن ۳/٦٦٥) و ۱۰-۲۰ (با وزن ۲/۰۰٤) بوده است.

به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه از ١٤ رویکرد مدل‌سازی (جدول ۳) استفاده گردید. با حذف عامل شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و عامل بارش دقت نقشه را به ٦١/٤٤، ٦٥/٧٨ و ٦٠/١٢ درصد رسید. دقت در رویکرد ١٤ (حذف عامل بارش) نشان می‌دهد زمانی که عامل بارش از تحلیل‌ها حذف گردید، دقت مدل بیش‌ترین کاهش را داشت. این نتایج نشان می‌دهد که عامل بارش تاثیر زیادی در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته است و از این عامل می‌توان به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل در منطقه مورد مطالعه یاد کرد. پس از بارش عامل توان آبراهه از عوامل تاثیرگذار در منطقه می‌باشد.



شکل ٤: منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حذف عامل فاصله از گسل)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

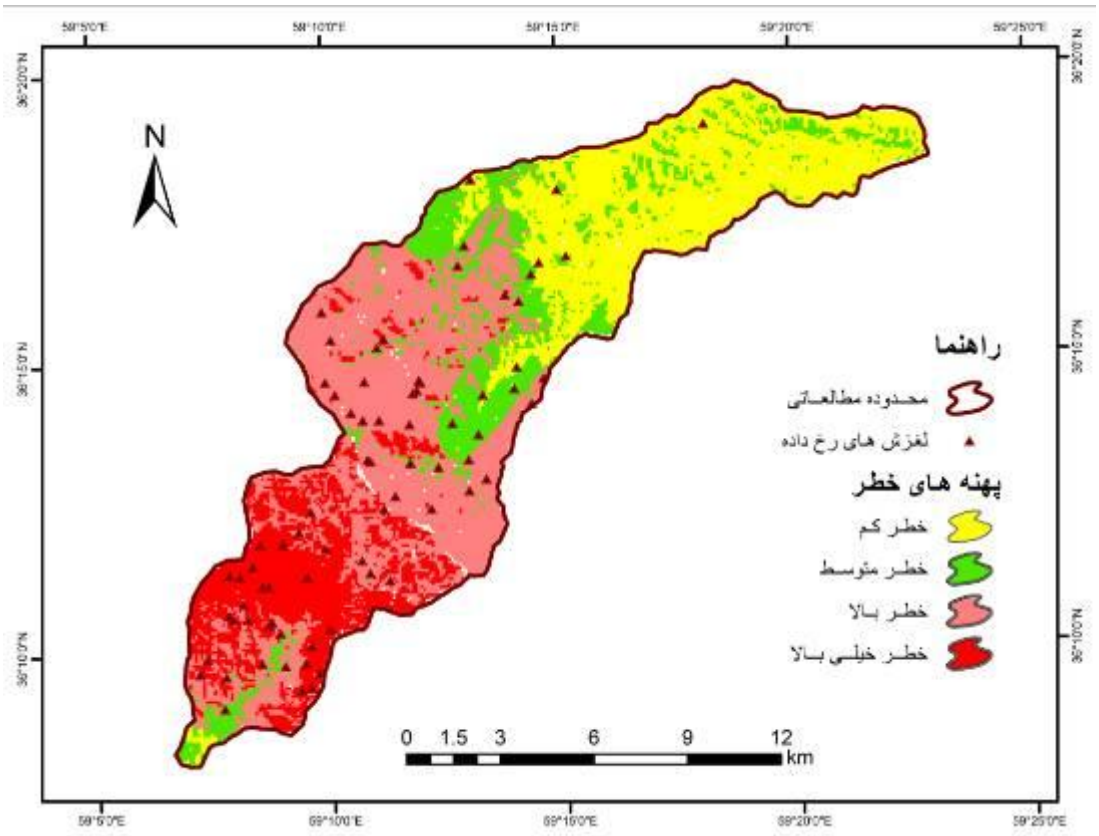
نقشه‌های تهیه شده با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نقشه‌ای با بالاترین دقت، به‌عنوان نقشه نهایی برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردید (شکل ۵). براساس نتایج منحنی ROC مقدار سطح زیر منحنی در رویکرد اول (استفاده از تمام عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش) دارای دقتی برابر با ٦٨/١٣ درصد بوده است. با حذف عامل جهت شیب دقت نقشه به ٦٢/٢ درصد کاهش یافت. هنگامی که عامل شیب از تحلیل‌ها حذف گردید، دقت نقشه به ٧١/٧ درصد رسید. با حذف عامل شکل شیب (محدب و مقعر بودن دامنه) از تحلیل‌ها نقشه به دقتی در حدود ٦٤/١٪ رسید. به‌ترتیب حذف عوامل ارتفاع، کاربری اراضی و لیتولوژی دقت نقشه ها را به ٦٦/٢٨٪، ٦٦/٩٧٪ و ٧٩/١٨٪ رساند.

جدول ۳- توصیف آماری هر یک از رویکردهای مدل‌سازی خطر زمین‌لغزش و میزان دقت مدل‌های مذکور

رویکردها[۳٦]	مینیمم مقادیر	ماکزیمم مقادیر	سطح زیر منحنی
۱	-۳۳٦/۵۰٦	٤٨٨/٢٥٥	۰/٦٨١٣
۲	-۳۰٤/٤٤٥	۳۹۱/۷۵۷	۰/٦٢٢٣
۳	-۳۱۵/۲۳٦	٤٥٦/۳۷۳	۰/۷۰۷۱
٤	-۳۳۲/۲۵۲	٤۷۹/۸٤٤	۰/٦٤١١
۵	-۲۸۰/۸۷۸	٤٤١/۷۹٦	۰/٦٦٢٨
٦	-۳۱۰/٤۸۲	٤۳۲/۳۱۲	۰/٦٦۹۷
۷	-۳۱۳/۲۲۱	٤۳٦/٤۹٤	۰/۷۹۱۸
۸	-۲۷۷/۲۹٤	۳۸۸/۰۰۸	۰/۸۰٤۹
۹	-۳۳۰/۲۲۲	٤۸۵/۰٦۱	۰/۷۱٤٦
۱۰	-۳۲۷/٦۷۱	٤۷۹/۷٦۹	۰/۷۱۵۷
۱۱	-۳۰۹/٤۳۷	٤٥٦/۱۹۱	۰/۸٦۵۹
۱۲	-۳٦۱/۷۲۳	۵٤۰/۵۳۳	۰/٦۱٤٤
۱۳	-۳۳۸/۵۱۱	٤۸۸/۰۳٦	۰/٦۵۷۸
۱٤	-۲۸۲/۹۲۸	٤۵۵/۵۰٤	۰/٦۰۱۲

۳٦- استفاده از تمام عوامل موثر ۲- حذف عامل جهت شیب ۳ - حذف عامل شیب ٤- حذف عامل شکل شیب۵ - حذف عامل ارتفاع ٦- حذف عامل کاربری اراضی ۸- حذف عامل خاک ۹- حذف عامل فاصله از جاده ۱۰- حذف عامل فاصله از آبراهه ۱۱- حذف عامل فاصله از گسل ۱۲- حذف عامل توان آبراهه ۱۳-حذف عامل شاخص حمل رسوب ۱٤- حذف عامل بارش

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه مورد مطالعه (رویکرد ۱۱)

با حذف عامل لیتولوژی سطح زیر منحنی به بین ۰/۷-۰/۸ رسید که در ارزیابی منحنی ROC به‌عنوان نقشه‌ای با دقت خوب در نظر گرفته می‌شود. حذف عامل خاک موجب گردید سطح زیر منحنی به بیش‌تر از ۰/۸ رسیده و نقشه دارای دقت خیلی‌خوب ارزیابی گردید.

در رویکرد نهم و دهم مدل‌سازی؛ حذف عامل فاصله از جاده و فاصله از آبراهه، سطح زیر منحنی به‌ترتیب به ۰/۷۱٤ و ۰/۷۱۵ رسید. حذف عامل فاصله از گسل دقت کار را به حداکثر رساند و سطح زیر منحنی برابر با ۰/۸٦ گردید که نشان‌دهنده‌ی ارزیابی خیلی خوب مدل احتمالاتی بیزین برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است (شکل ۵). پس از تحلیل منحنی ROC می‌توان نقشه‌ای را که دارای بیش‌ترین دقت و سطح زیر منحنی است (رویکرد ۱۱) را به‌عنوان نقشه‌ی نهایی خطر زمین‌لغزش در نظر گرفت. مدل برتر دارای سطح زیر منحنی ۰/۸٦۵۹ بوده که در همبستگی کمی و کیفی و ارزیابی تخمین دارای دقت خیلی‌خوب می‌باشد (شکل ٤).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نتیجه‌گیری

حرکات دامنه‌ای و به‌طور اخص زمین‌لغزش یکی از مخاطرات عمده در مناطق کوهستانی به‌شمار می‌رود که موجب خسارات مالی در مناطق مستعد زمین‌لغزش می‌گردد. در دهه‌های اخیر با افزوده شدن عوامل انسانی، ناپایداری شیب‌ها تشدید شده است. محدوده مورد مطالعه بخشی از دامنه‌های شمالی و جنوبی ارتفاعات بینالود می‌باشد که به علت ماهیت کوهستانی منطقه مستعد وقوع انواع زمین‌لغزش‌هاست؛ بنابراین این مطالعه با استفاده از روش بیزین و بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در این محدوده پرداخته است. یکی از مزیت‌های این روش این است که غیرجانبدارانه، وزن عوامل در هر لایه را مشخص می‌کند. همچنین استفاده از ١٤ رویکرد مدل‌سازی برای منطقه مذکور نیز به توانایی‌های نقشه خطر زمین‌لغزش تهیه شده افزوده است. رابطه بین توزیع زمین‌لغزش‌ها با عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب، خاک و پهنه‌های بارشی بررسی شد.

در این زمینه صحت و دقت مدل با استفاده از منحنی ROC بررسی گردید و نقشه‌ای که دارای بیش‌ترین دقت بود به‌عنوان نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش برای محدوده مطالعاتی پیشنهاد گردید. در این منطقه، نقشه پهنه‌بندی با رویکرد حذف عامل گسل با دقت ٨٦/٥ درصد به‌عنوان بیش‌ترین دقت و با سطح زیر منحنی ٠/٨٦٥٩ ارزیابی گردید. نتایج تحقیق پورقاسمی و همکاران که در بخشی از استان گلستان در سال (١٣٩١) انجام گرفت نشان داد که عامل لیتولوژی در محدوده مورد مطالعه موثرترین عامل در بروز زمین‌لغزش به‌شمار می‌رود. همچنین در پژوهش کرمی که در همان سال در حوضه سعیدآبادچای انجام گرفت عامل شیب بیش‌ترین همبستگی مثبت را با وقوع زمین‌لغزش داشته است. براساس این ارزیابی به ترتیب حدود ٢٨/٣٥، ١٢/٦٩، ٤٠/٥١ و ١٨/٤٣ درصد از منطقه مورد مطالعه در طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. همان‌طور که مشهود است ٥٨/٩٤ درصد از منطقه در طبقه زیاد و بسیار زیاد از زمین‌لغزش قرار دارند که این نواحی بیش‌تر در جنوب‌غرب منطقه قرار دارند. با این شناسایی و ارزیابی در محدوده مورد مطالعه، توجه به دینامیک محیط طبیعی و نواحی حساس به زمین‌لغزش در اجرای برنامه‌های عمرانی، فعالیت‌های کشاورزی و زیرساخت‌های ترابری ضروری به نظر می‌رسد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

منابع

- امامی، سیدنعیم؛ غیومیان، جعفر (۱۳۸۲)، «پژوهشی بر ساز و کار زمین‌لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه‌ای (مطالعه موردی لغزش افسر آباد استان چهار محال و بختیاری)»، مجموعه مقالات سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ویراستاری و تدوین: غلامرضا خانلری، صص ۱۲۶-۱۱۳.

- پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ گلی‌جیرنده، عباس (۱۳۹۱)، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بیزین»، ***مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک***، شماره ٦۲، صص ۱۲۳-۱۰۹.

- پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید (۱۳۸۹)، «کاربرد سامانه اطلاعات مکانی و مدل احتمالی weight of Evidence در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش»، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی رسانه‌های اطلاعات مکانی GIS 89، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

- خالدی، شهریار؛ درفشی، خه‌بات؛ مهرجونژاد، اکبر؛ قره‌چاهی، سعید؛ خالدی، شاهین (۱۳۹۱)، «ارزیابی عامل‌های موثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان)»، ***مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی***، شماره ۱، صص ۸۲-٦۵.

- عابدینی، موسی؛ فتحی، محمدحسین (۱۳۹۳)، «پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره»، ***پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی***، شماره ٤، صص ۸۵-۷۱.

- فعله‌گری، محسن؛ طالبی، علی؛ کیااشکوریان، یاسر (۱۳۹۲)، «بررسی اثر جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل پایداری دامنه FlAC SlOP (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد ایلام)»، ***مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک***، شماره ۱، صص ۲۳۹-۲۲۷.

- کرمی، فریبا (۱۳۹۱)، «ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد (مطالعه موردی: حوضه زهکشی سعیدآباد چای- شمال غرب ایران)»، ***فصلنامه تحقیقات جغرافیایی***، شماره ۲۷، صص ٤٤-۲۱.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- مقیمی، ابراهیم؛ یمانی، مجتبی؛ رحیمی‌هرآبادی، سعید (۱۳۹۲)، «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه»، ***پژوهش‌های ژئومرفولوژی کمی***، شماره ٤، صص ۱۱۸-۱۰۳.

- Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M. C., Vlaicu, M., (2010), "Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin(Romania)", ***Enviromental Earth Science Journal***, 63: 397-406.

- Gabet, E., J., Burbank, D. W., patkonen, J. k., (2004), "Rainfall thresholds for Landsliding in the Himalayas of Nepal", ***Geomorphology***, 63: 131-143.

- Hattanji, T., Moriwaki, H., (2009), "Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides", ***Journal of Geomorphology***, 103:447-454.

- Komac, M. A., (2006), "Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni", ***Geomorphology***, 74: 17-28.

-Lee, S., choi, J., Min. K., (2002), "Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model", ***Environ.Geol***, 43: 120-131.

-Lee, S., Choi. J., (2004), "Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model", ***Intle.J. Geograph. Inform. Sci.*** 18(8):789-814.

- Mathew, J., Jha , V. K., rawat. G. S., (2007), "Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi Valley, uttarakhand", ***Current Science***, 5: 628-638.

- Moore, I. D., Gessler, P. E., Neslesn G. A., Peterson. G. A., (1993), "Soil atteibutes prediction using terrain analysis", ***Soil Sci. Soc. Amer***, 57: 443-452.

- Nefeslioglu, H., Duman, T. Y., Durmaz, S., (2008), "Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea Region of Turkey), ***Geomorphology***, 94: 401-418.

- Neuhauser, B., Terhorst, B., (2007), "Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW. Germany)", ***Geomorphology,*** 86:12-24.

- Pradhan, B., (2011), "An assessment of the use of an advanced neural network model with five different training strategies for the preparation of land slide susceptibility maps", ***Jornal of Data science***, 9: 65-81.

- Regmi, N. R., Giardino, J. R., Vitek, J. D., (2010), "Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA", ***Geomorphology***, 115: 172–187. Measuring the accuracy of diagnostic system, science, 240: 1285-1293.

VanWestern, C. J., (2002), "Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping", International Institute for Geoinformation Science and Earth observation (ITC), Enschede, The Netherlands.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

-Yesilnacar, E. K., (2005), "The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in measuring the accuracy of diagnostic systems", Ph.D Thesis, Department of Geomatics the University of Melbourne, Turke.

- Zhu, C., Wang, X., (2009), "Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in three Gorges Area", ***International Conference on Environmental Science and Information Application Technology***, 187: 342-346.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]