



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

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

ملیحه محمد نیا<sup>۱</sup>

ابوالقاسم امیراحمدی<sup>۲</sup>

الهه اکبری<sup>۳</sup>

شهرام بهرامی<sup>۴</sup>

## پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه جاغرق و دررود (مسیر پیشنهادی جدید طبقه-دررود)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۳۰

### چکیده

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

E-mail: malihe.mohamadnia@yahoo.com

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی - دانشگاه حکیم سبزواری.

۲- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی - دانشگاه حکیم سبزواری.

۳- دانشجوی دکتری سنجش از دور دانشگاه تهران و مربی گروه جغرافیای طبیعی - دانشگاه حکیم سبزواری.

۴- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی - دانشگاه حکیم سبزواری.

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 ۱۴ 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 ۸۶/۵٪ (خیلی خوب) 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 طرچه-دررود.

#### مقدمه

رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در نواحی کوهستانی موجب بروز برخی ناهنجاری‌های طبیعی در وضعیت ساکنین کوهی زمین شده است (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۶). 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، ۲۰۰۹: ۴۴۷).

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

به‌منظور برقراری امنیت زندگی، توسعه زیرساخت‌ها و حفاظت محیط‌زیست کمک می‌نماید (نیهوسر و ترهوست<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷: ۱۲ و پرادهان<sup>۷</sup>، ۲۰۱۱: ۷۷).

با توجه به کوهستانی بودن منطقه، احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای در محدوده 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 ۱۴ 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 ۳/۹۶۵ با وقوع زمین‌لغزش بیش‌ترین همبستگی مثبت را دارد. حدود ۴۳/۱ 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

زمین لغزش 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 زمین لغزش 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 زمین لغزش شهری پهنه‌بندی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد از میان متغیرهای مورد بررسی، دو عامل شیب و لیتولوژی بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش رودبار داشته است.

لی و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۲) برای تحلیل حساسیت زمین لغزش از تئوری بیزین استفاده کردند. در این تحقیق از ۱۳ عامل موثر برای پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش استفاده و نتایج ارزیابی نشان داد که مدل مذکور دقت بالایی در منطقه مورد مطالعه دارد.

لی و چوی<sup>۹</sup> (۲۰۰۴)، ۱۵ عامل موثر بر وقوع زمین لغزش را شناسایی و با استفاده از مدل بیزین نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را با رویکردهای مختلف تهیه نمودند. نتایج ارزیابی نشان داد که بیش‌ترین دقت مدل زمانی است که از ۶ عامل درجه شیب، شکل شیب، نوع توپوگرافی، قطر درخت، لیتولوژی و فاصله از جاده استفاده گردیده است.

گابت و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۴)، با استفاده از داده‌های بارش و بار رسوبی حوضه‌ی آناپورنای هیمالایای نپال، به آثار بارش و ویژگی‌های شیب دامنه در شروع زمین لغزش‌ها در دوره بارش‌های موسمی این حوضه پی بردند. آن‌ها دریافتند هنگامی که طی دوره بارش‌های موسمی، آستانه بارش بیش از ۸۶۰ میلی‌متر برسد، حرکات لغزشی رخ خواهد داد. متو و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۷)، با استفاده از مدل بیزین به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش 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 زمین لغزش استفاده گردید و نهایتاً نقشه‌ی خطر زمین لغزش با دقت ۸۴/۶٪ تهیه گردید.

8- Lee et al

9- Lee and Choi

10- Gabet et al

11- Mathew et al

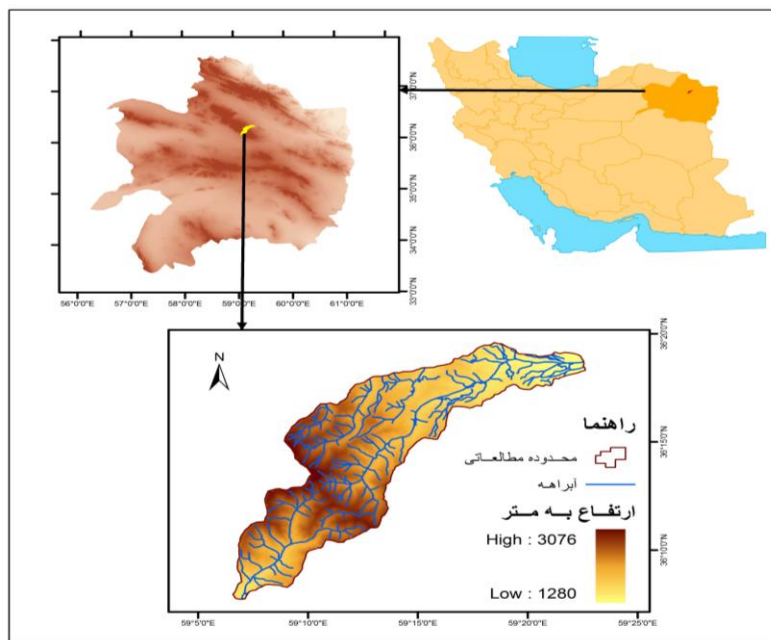
رگمی<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) از تئوری بیزین به منظور مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش در غرب کلرادوی امریکا استفاده کردند. در این پژوهش ۱۷ عامل در بررسی و پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت. دقت مدل مذکور در پیش‌بینی حوادث طبیعی بخصوص زمین‌لغزش ۷۸/۴٪ برآورد گردید. به‌طور کلی نتایج حاصله از 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 طرقلبه-دررود، 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 کارایی 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.

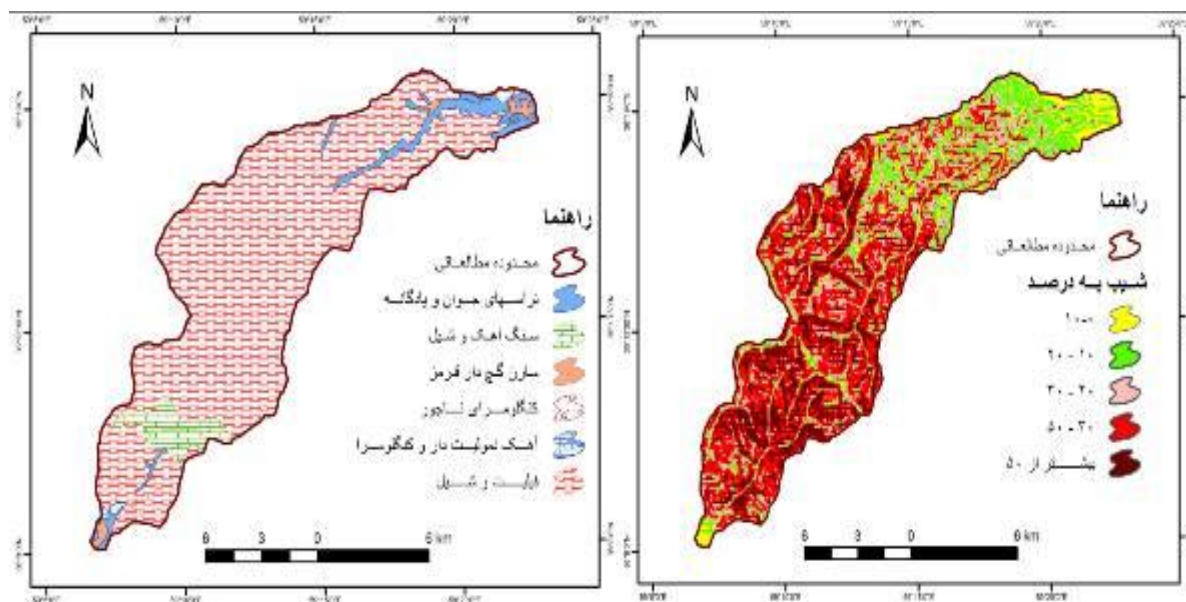
#### معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده منطقه مورد تحقیق، با مساحت تقریبی ۱۶۱/۵ کیلومترمربع در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه و ۹ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و ۴ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۳ ثانیه و بخشی از دامنه‌های شمالی و جنوبی ارتفاعات بینالود می‌باشد که بین شهرستان‌های طرقلبه و دررود 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 طرقلبه واقع گردیده و حداکثر ارتفاع با حدود ۳۰۷۶ 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

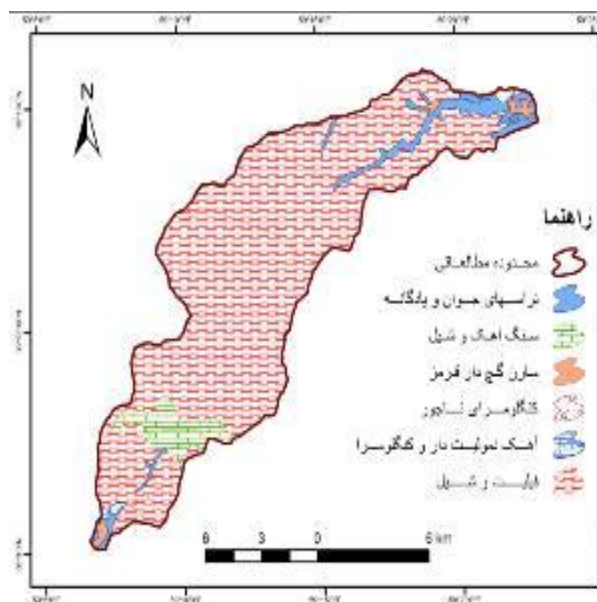
می‌باشد. (شکل ۱) موقعیت محدوده مطالعاتی، (شکل ۲) نقشه شیب و (شکل ۳)، تشکیلات زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: نقشه شیب محدوده مورد مطالعه



شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

محدوده منطقه مورد مطالعه از شیت‌های گلمکان، طرقله، دررود 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 ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی ایران جهت استخراج لایه‌های زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه استفاده گردید. برای تهیه لایه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجده ETM+ سال ۲۰۱۴) 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 زمین لغزش با استفاده از تئوری بیزین پس از تهیه نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مطالعاتی و ایجاد هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش 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 زمین لغزش‌ها تلفیق گردید. به‌منظور تعیین نقشه‌های شاخص توان آبراهه<sup>۱۳</sup> و شاخص حمل رسوب<sup>۱۴</sup> از روابط ۱ و ۲ استفاده گردید (مور و همکاران، ۱۹۹۳: ۴۴۵) (نفسلیوگلو و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۸).

$$SPI = A_s \cdot \tan \beta \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$STI = \left( \frac{A_s}{22/13} \right)^{1/6} \cdot \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1/3} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن:

$A_s$  = مساحت ویژه آبخیز

13- Stream Power Index (SPI)

14- Sediment Transport Index (STI)

15- Moore et al

16- Nefsioglu et al

$\beta$  = گرادیان شیب برحسب درجه

STI = توان حمل آبراهه و یا به عبارتی عامل LS (Length and Slope) مدل AUSLE<sup>۱۷</sup> است که مدل مذکور اصلاح شده‌ی معادله جهانی تلفات خاک<sup>۱۸</sup> می‌باشد (پورقاسمی و همکاران، ۱۱۱: ۱۳۹۱).

برای محاسبه مساحت ویژه آبخیز<sup>۱۹</sup> از تحلیل‌های مکانی در نرم‌افزار Arc GIS و گزینه Hydrology با ورود DEM استفاده گردید. عواملی چون folw direction، filldem و folw Accumulation نیز ترسیم و از رابطه ۳، رستر مساحت ویژه آبخیز حاصل گردید.

$$\text{Sca} = (\text{folw accumulation} + 1) \cdot (\text{ابعاد پیکسل}). \quad (\text{folw direct}) / 1000 \quad (\text{رابطه ۳})$$

- روش بیزین

شبکه‌های بیزین به نام شبکه‌های تصمیم<sup>۲۰</sup>، شبکه‌های تصادفی<sup>۲۱</sup> و نمودارهای تاثیر<sup>۲۲</sup> نیز شناخته می‌شوند (شهابی و سعدالدین، ۱۳۸۸: ۲). این روش بر مبنای قضیه بیز<sup>۲۳</sup> و به قانون احتمالات وابسته است که برای مطالعات پزشکی در ابتدای دهه ۱۹۹۰ به‌عنوان سیستم‌های پشتیبانی مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۴) 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 ۶ وزن‌های محتمل هر عامل و طبقه‌های مربوط به آن محاسبه گردید.

$$P(b|a) = P(a|b) \times P(b) / P(a) \quad (\text{رابطه ۴})$$

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 Area

20- Belief networks

21- Casual networks

22- Influence diagrams

23- Bayes theorem



$P(b|a)$ : 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<sup>۲۴</sup>، ۲۰۰۲: ۲۱).

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

$$W_i^- = \log_e \left[ \frac{P(\bar{B}_i|S)}{P(\bar{B}_i)|\bar{S}} \right] \quad \text{رابطه (۶)}$$

به‌منظور درک هرچه بهتر روابط ۵ و ۶ و سهولت کار، به‌ویژه در محیط GIS مدل براساس (جدول ۱) و به‌صورت رابطه‌های ۷ و ۸ ارائه شد (یسیلناسر<sup>۲۵</sup>، ۲۰۰۵: ۴۲۳) و وزن نهایی براساس روابط ۹ و ۱۰ برای هر عامل به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت (لی و چوی<sup>۲۶</sup>، ۲۰۰۴: ۷۹۳).

جدول ۱- چهار حالت احتمال ایجاد زمین لغزش

عوامل ایجاد زمین لغزش		
زمین لغزش	حضور	عدم حضور
حضور	$N_{pix1}$	$N_{pix2}$
عدم حضور	$N_{pix3}$	$N_{pix4}$

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

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

که در آن:

$N_{pix1}$ : تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس

$N_{pix2}$ : (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) - تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس

24- Van vestern

25- Yesilnasar

26- Lee and Choi

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)

$$C = [(W^+) - (W^-)] \quad \text{(رابطه ۹)}$$

$$W_{\text{final}} = C / S_c \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

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 نشان می‌دهد (کریمی، ۲۹: ۱۳۹۱).

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

$$S_{w+} = 1 / \text{تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس} \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

$$S_{w-} = 1 / \text{(جمع پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه)} \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

ارزیابی روش پهنه‌بندی

پس از تهیه نقشه‌های وزنی براساس روابط ذکر شده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ۱۴ رویکرد (استفاده از تمام عوامل موثر و حذف تک‌تک عوامل) تهیه و براساس شکست‌های طبیعی (Natural Break) به چهار کلاس (خطر

کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی گردید. لذا نمی‌توان جهت ارزیابی نقشه‌های مورد نظر و تعیین دقت آن‌ها، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه استفاده کرد (کوماک<sup>۲۷</sup>، ۲۳: ۲۰۰۶). جهت حل این مشکل تعدادی از نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل مذکور (به ترتیب ۷۰ درصد و ۳۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت (کنستانتین و همکاران<sup>۲۸</sup>، ۲۰۱۰: ۱۰). سپس با استفاده از منحنی ROC یا Relative Operating Characteristics Curve (زو و وانگ<sup>۲۹</sup>، ۳۴۲: ۲۰۰۹) صحت نقشه‌های تهیه شده مورد تایید قرار گرفت. نهایتاً نقشه‌ای که دارای بیش‌ترین دقت بود به‌عنوان نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد. منحنی ROC (شکل ۴) 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<sup>۳۰</sup>، ۲۳: ۲۰۰۲). در منحنی ROC ایده‌آل‌ترین 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 زیر منحنی 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: (۰/۹-۱ عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۵-۰/۶ ضعیف) (ون وسترن<sup>۳۱</sup>، 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

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 به‌سزایی 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	"a	"b	"C	"d	W+	W-	C	S2 (w+)	S2 (w-)	S (C)	C/S (C)
بیش‌ترین خطر	۵-۰	۲۹۲۱۶	۱۸/۵	۳۰۲۳	۱۴/۸	-۰/۲۱	۰/۴	-۰/۲۶	۰/۰۰۰۳	۵/۸	۰/۰۱۹	-۱۳/۲۷
	۱۰-۵	۱۹۹۸۰	۱۲/۶	۱۵۲۳	۷/۴	-۰/۵۲	۰/۰۵	-۰/۵۸	۰/۰۰۰۷	۵/۳	۰/۰۲۶	-۲۱/۸۱
	۲۰-۱۰	۲۷۳۴۸	۱۷/۳	۲۷۹۷	۱۳/۷	-۰/۲۳	۰/۰۴	-۰/۲۷	۰/۰۰۰۴	۵/۷	۰/۰۲	-۱۳/۳۵
	۳۰-۲۰	۳۷۲۵۳	۲۳/۵	۵۲۴۵	۲۵/۸	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۰۰۲	۶/۶	۰/۰۱۶	۷/۴۴
بیش‌تر از ۳۰	۴۴۰۷۷	۲۷/۹	۷۷۲۹	۳۸	۰/۳	-۰/۱۵	۰/۴۶	۰/۰۰۰۱	۷/۹	۰/۰۱۴	۳۱/۸۸	
بیش‌کم خطر	شمال	۱۸۰۰۵	۱۱/۴	۱۸۲۰	۶/۶	-۱/۰۸	۰/۰۴	-۱/۱۲	۰/۰۰۲۲	۷/۶	۰/۰۶۶	-۳۳/۴
	شمال شرق	۲۰۶۴۷	۱۳/۱۴	۳۴۰۳	۱۲/۴۶	-۰/۰۵	۰/۰۰۸	-۰/۰۶	۰/۰۰۰۳	۴/۲	۰/۰۱	-۳/۲۴
	شرق	۲۸۸۲۰	۱۸/۳۳	۴۵۱۵	۱۶/۵۴	-۰/۱	۰/۰۲۲	-۰/۱۲	۰/۰۰۰۲	۴/۴	۰/۰۱	-۷/۶۳

۳۲- تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش

۳۳- درصد پیکسل‌های فاقد لغزش

۳۴- تعداد پیکسل‌های لغزشی

۳۵- درصد پیکسل‌های لغزشی

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)
شیب	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
	شمال غرب	۱۹۸۰۶	۱۲/۵۹	۲۳۵۱	۶۱/۸	-۰/۳۸	۰/۰۴	-۰/۴۲	۰/۰۰۰۴	۴	۰/۰۲	-۱۹/۶۸
	مقعر	۷۷۲۶۰	۴۸/۹	۱۰۴۷۷	۵۲/۸۷	۰/۰۷	-۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۰۰۱	۱/۱	۰/۰۱	۱۱/۱۴
ارتفاع به متر	محدب	۸۰۶۷۷	۵۱/۰۸	۹۳۳۶	۴۷/۱۲	-۰/۰۸	۰/۰۷	-۰/۱۵	۰/۰۰۰۱	۹/۵	۰/۰۱	-۱۱/۱۴
	۱۵۰۰-۱۲۸۰	۱۲۷۵۵	۸	۰	۰	∞	۰/۰۸	∞	∞	۴/۹	∞	∞
	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۵۲۳۱۴	۳۳/۰۹	۲۷۸۸	۱۳/۷۲	-۰/۸۸	۰/۲۵	-۱/۱۳	۰/۰۰۰۴	۵/۷	۰/۰۲	-۵۵/۶
	۲۵۰۰-۲۰۰۰	۵۸۱۴۵	۳۶/۷	۱۰۰۹۴	۴۹/۷	۰/۳	-۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۰۰۰۱	۹/۸	۰/۰۱	۳۷/۷
	بیش تر از ۳۰۰۰	۳۴۵۰۸	۲۱/۸۳	۷۳۸۵	۳۶/۳	۰/۵۱	۰/۲	۰/۷۱	۰/۰۰۰۱	۷/۷	۰/۰۱	۴۹/۰۷
نمایندگی	سیلورین-دونین (ماسه سنگ 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 نمولیت دار)	۶۵۰	۰/۴	۲۶	۰/۱۲	-۱/۱۶	۰/۰۰۳	-۱/۱۶	۰/۰۳	۴/۹	۰/۱۹	-۵/۵۹
	نتوژن (مارن گچ دار قرمز)	۱۶۳۳	۱/۰۲	۰	۰	∞	۰/۰۱	∞	∞	۴/۹	∞	∞
	تراس های 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	∞	∞
	اراضی لخت بدون پوشش خاکی	۶۳۳۳۴	۳۹/۸۹	۱۰۶۰۲	۵۱/۹۸	۰/۲۶	-۰/۲۲	۰/۴۸	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۱	۳۴/۹
	خاک های خیلی کم عمق سنگ ریزه	۲۲۴۵۴	۱۴/۱۴	۸۳۰۹	۴۰/۷۲	۱/۰۵	-۰/۳۷	۱/۴۲	۰/۰۰۰۱	۸/۳	۰/۰۱	۱۰۰/۲

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)
کلاس ۱	خاک‌های کم عمق و غیریکنواخت سنگریزه دار	۴۲۴۰۷	۲۶/۷۱	۱۲۰۶	۵/۹۱	-۱/۵	۰/۲۵	-۱/۷۵	۰/۰۰۰۸	۵/۲	۰/۰۲	-۵۹/۲
	خاک‌های کم عمق و نسبتاً سنگریزه دار	۲۹۳۲۵	۱۸/۴۷	۲۷۷	۱/۳۵	-۲/۶	۰/۱۹	-۲/۸	۰/۰۰۰۳	۵	۰/۰۶	-۴۶/۲
	خاک‌هایی با بافت متوسط تا عمیق	۱۲۱۹	۰/۷۶	۰	۰	۰	∞	∞	∞	∞	∞	∞
کلاس ۲	زمین کشاورزی	۸۲۴	۰/۵۱	۰	۰	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	باغ	۱۱۹۵۸	۷/۵۳	۱۲۶۰	۶/۱۸	-۰/۱۹	۰/۰۱	-۰/۳۱	۰/۰۰۰۸	۵/۲	۰/۰۲	-۷/۲۸
	مرتع متوسط	۱۰۴۶۰۳	۶۵/۹۴	۱۱۲۶۴	۵۵/۳۲	-۰/۱۷	۰/۲۷	-۰/۴۴	۰/۰۰۰۱	۱/۱	۰/۰۱	-۳۱/۷
	جنگل	۳۳۹۵۴	۲۱/۴	۵۳۴۳	۲۶/۲۴	۰/۲	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۰۰۰۲	۶/۷	۰/۰۱	۱۶/۷۸
	مرتع فقیر	۶۴۱۸	۴/۰۴	۲۴۹۲	۱۲/۲۴	۱/۱	-۰/۰۸	۱/۱۹	۰/۰۰۰۴	۵/۶	۰/۰۲	۵۵/۹۴
	مراکز شهری	۸۱۶	۰/۵۱	۰	۰	۰	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	آب	۵۱	۰/۰۳	۰	۰	۰	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	۱۰۰-۰	۲۲۸۵۲	۱۴/۳۷	۲۴۵۰	۱۲/۰۴	-۰/۱۷	۰/۰۲	-۰/۲	۰/۰۰۰۴	۵/۶	۰/۰۲۱	-۹/۴۵
کلاس ۳	۲۰۰-۱۰۰	۱۸۸۷۰	۱۱/۸۷	۲۱۲۴	۱۰/۴۴	-۰/۱۲	۰/۰۱	-۰/۱۴	۰/۰۰۰۵	۵/۵	۰/۰۲۲	-۶/۲۸
	۳۰۰-۲۰۰	۱۹۰۲۶	۱۱/۹۶	۲۲۷۴	۱۱/۱۸	-۰/۰۶	۰/۰۰۹	-۰/۰۷	۰/۰۰۰۴	۵/۵	۰/۰۲۲	-۳/۴۵
	۴۰۰-۳۰۰	۱۴۷۶۱	۹/۲۸	۱۸۷۹	۹/۲۳	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۵	۵/۴	۰/۰۲۴	-۰/۲۲
	۵۰۰-۴۰۰	۱۴۵۸۹	۹/۱۷	۱۹۹۸	۹/۸۲	۰/۰۶	-۰/۰۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰۰۵	۵/۵	۰/۰۲۳	۳/۱۹
	۱۰۰۰-۵۰۰	۵۱۶۱۸	۳۲/۴۷	۶۷۱۶	۳۳/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱	۷/۳	۰/۰۱۴	۱/۶۷
	بیش تر از ۱۰۰۰	۱۷۲۵۳	۱۰/۸۵	۲۸۹۷	۱۴/۲۴	۰/۲۷	-۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۰۰۰۳	۵/۷	۰/۰۲	۱۵/۴۸
	۱۰۰-۰	۵۴۳۴۱	۳۴/۱۵	۶۳۷۱	۳۱/۲۲	-۰/۰۹	۰/۰۴	-۰/۱۳	۰/۰۰۰۲	۷/۱	۰/۰۱۵	-۸/۸۳
	۲۰۰-۱۰۰	۳۷۸۸۸	۲۳/۸۱	۵۲۹۱	۲۵/۹۲	۰/۰۸	-۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۰۰۲	۶/۶	۰/۰۱۶	۷/۰۸
کلاس ۴	۳۰۰-۲۰۰	۲۹۹۵۹	۱۸/۸۳	۴۳۱۷	۲۱/۱۵	۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۰۰۰۲	۶/۲	۰/۰۱۷	۸/۴۸
	۴۰۰-۳۰۰	۱۵۸۹۷	۹/۹۹	۱۹۶۶	۹/۶۳	-۰/۰۳	۰/۰۰۴	-۰/۰۴	۰/۰۰۰۵	۵/۴	۰/۰۲۳	-۱/۷
	۵۰۰-۴۰۰	۱۰۱۷۸	۶/۳۹	۱۰۱۲	۴/۵۹	-۰/۲۵	۰/۰۱	-۰/۲۷	۰/۰۰۰۱	۵/۲	۰/۰۳۲	-۸/۳۷
	۱۰۰۰-۵۰۰	۱۰۶۰۶	۶/۶۶	۱۴۴۰	۷/۰۵	۰/۰۵	-۰/۰۰۴	۰/۰۶	۰/۰۰۰۷	۵/۳	۰/۰۲۷	۲/۲۳
	بیش تر از ۱۰۰۰	۲۳۲	۰/۱۴	۱۰	۰/۰۴	-۱/۰۹	۰/۰۰۱	-۱/۰۹	۰/۱	۴/۹	۰/۳۱	-۳/۴۵
	۱۰۰-۰	۲۲۵۱۰	۱۴/۱۵	۴۰۶۱	۱۹/۸۹	۰/۳۴	-۰/۰۶	۰/۴	۰/۰۰۰۲	۶/۱	۰/۰۱۷	۲۳/۳۳

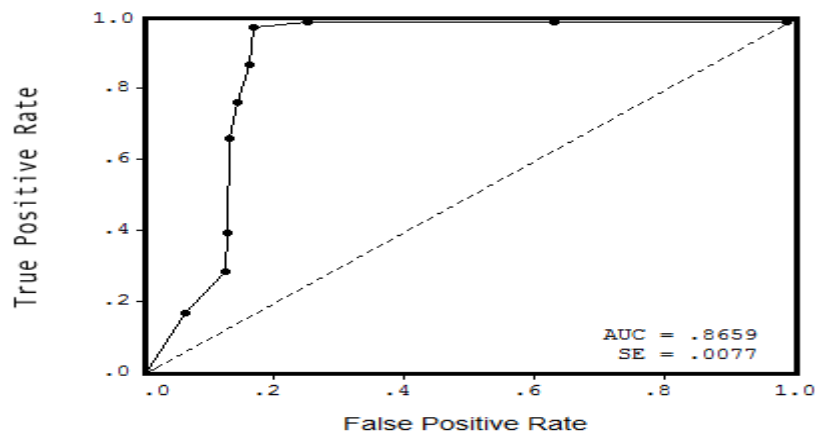
ادامه جدول ۲- ارتباط بین هر یک از عوامل موثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی بیزین

عامل	کلاس	a	b	c	d	W+	W-	C	S2 (w+)	S2 (w-)	S (C)	C/S (C)
متر بیشتر از ۱۰۰۰	۲۰۰-۱۰۰	۱۸۰۰۶	۱۱/۳۲	۳۸۴۷	۱۸/۸۴	۰/۵	-۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۰۰۰۳	۶	۰/۰۱۷	۳۳/۳۹
	۳۰۰-۲۰۰	۱۷۳۱۴	۱۰/۸۹	۳۲۲۰	۱۵/۷۷	۰/۳۷	-۰/۰۵	۰/۴۲	۰/۰۰۰۳	۵/۸	۰/۰۱۹	۲۲/۲۲
	۴۰۰-۳۰۰	۱۳۴۱۲	۸/۴۳	۲۰۹۰	۱۰/۲۳	۰/۱۹	-۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۰۰۰۵	۵/۵	۰/۰۲۳	۹/۲۴
	۵۰۰-۴۰۰	۱۲۵۵۰	۷/۸۹	۱۶۵۴	۸/۱	۰/۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰۶	۵/۳	۰/۰۲۵	۱/۱
	۱۰۰۰-۵۰۰	۴۲۵۳۷	۲۶/۷۵	۳۷۳۳	۱۸/۲۸	-۰/۳۸	۰/۱	-۰/۴۹	۰/۰۰۰۳	۶	۰/۰۱۸	-۲۷/۰۷
	بیشتر از ۱۰۰۰	۳۲۶۶۲	۲۰/۵۴	۱۸۱۲	۸/۸۷	-۰/۸۳	۰/۱۳	-۰/۹۷	۰/۰۰۰۶	۵/۴	۰/۰۲۴	-۳۹/۶۷
متر بیشتر از ۴۰۰	کمتر از ۲۹۰	۳۴۶۸۱	۲۱/۹۳	۷۱۶	۳/۵۲	-۱/۸۲	۰/۲۱	-۲/۰۳	۰/۰۰۱	۵/۱	۰/۰۳۸	-۵۳/۵۷
	۳۵۰-۲۹۰	۷۳۶۰۶	۴۵/۹۱	۹۶۹۵	۴۷/۷۸	۰/۰۴	-۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۰۰۱	۹/۴	۰/۰۱۴	۵/۳۳
	۴۰۰-۳۵۰	۴۸۷۷۰	۳۰/۸۴	۹۱۱۳	۴۴/۹۱	۰/۳۷	-۰/۲۲	۰/۶	۰/۰۰۰۱	۸/۹	۰/۰۱۴	۴۲/۷۵
	بیشتر از ۴۰۰	۲۰۶۶	۱/۳	۷۶۵	۳/۷۷	۱/۰۶	-۰/۰۲	۱/۰۸	۰/۰۰۱	۵/۱	۰/۰۳۶	۲۹/۴۴
متر بیشتر از ۲۰	۲-۰	۱۰۷۹۴۴	۶۸/۶	۱۴۱۹۵	۶۹/۸	۰/۰۱۷	-۰/۰۳	۰/۰۵۶	۷/۰۴	۷/۰۴	۰/۰۱۵	۳/۶۶
	۵-۲	۱۴۹۷۷	۹/۵۲	۱۹۱۶	۹/۴۲	-۰/۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۱	۵/۲۲	۵/۲۲	۰/۰۰۰۰۵	-۰/۴۷
	۲۰-۵	۲۱۲۰۰	۱۳/۴۸	۲۷۹۷	۱۳/۷۶	۰/۰۲	-۰/۰۰۳	۰/۰۲	۳/۵۸	۳/۵۸	۰/۰۰۰۰۶	۱/۱۶
	۵۰-۲۰	۸۴۸۰	۵/۳۹	۸۵۶	۴/۲۱	-۰/۲۴	۰/۰۱	-۰/۲۵	۱/۱۷	۱/۱۷	۰/۰۰۰۰۵	-۷/۴۳
	بیشتر از ۵۰	۴۶۵۹	۲/۹۶	۵۶۳	۲/۷۷	-۰/۰۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۶	۱/۷۸	۱/۷۸	۰/۰۰۰۰۵	-۱/۶۲
متر بیشتر از ۱۰	۱۰-۰	۹۲۳۷۶	۵۸/۵۳	۱۱۸۸۹	۵۸/۲۳	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۱	۸/۴	۸/۴	۰/۰۰۰۰۱	-۰/۸۵
	۲۰-۱۰	۱۶۵۳۸	۱۰/۴۷	۲۲۲۷	۱۰/۹	۰/۰۴	-۰/۰۰۴	۰/۰۴	۴/۴۹	۴/۴۹	۰/۰۰۰۰۵	۲/۰۰۴
	۳۰-۲۰	۲۴۴۰۳	۱۵/۴۶	۳۱۶۸	۱۵/۵۱	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۴	۳/۱۶	۳/۱۶	۰/۰۰۰۰۶	۰/۲۱
	۵۰-۳۰	۲۱۶۳۸	۱۳/۷۱	۲۷۸۷	۱۳/۶۵	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۴	۳/۵۹	۳/۵۹	۰/۰۰۰۰۶	-۰/۲۴
	بیشتر از ۵۰	۲۸۵۸	۱/۸۱	۳۴۳	۱/۶۸	-۰/۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۷	۲/۹۲	۲/۹۲	۰/۰۰۰۰۵	-۱/۴

در اراضی جنگلی می‌توان این‌گونه استدلال کرد که وقوع زمین لغزش مربوط به نفوذ بیشتر آب در اراضی جنگلی و آنگذری 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 زمین لغزش بیشتر اتفاق افتاده باشد اما نتیجه این‌گونه نبوده است. بلکه با فاصله گرفتن از جاده پتانسیل وقوع زمین لغزش افزایش یافته به‌طوری که در فواصل بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر به حداکثر وزن خود رسیده است (با وزن ۱۵/۴۸) و با نزدیک شدن به جاده میزان حساسیت به

زمین لغزش 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 به ترتیب مربوط به طبقه‌های ۰-۲ (با وزن ۳/۶۶۵) و ۱۰-۲۰ (با وزن ۲/۰۰۴) بوده است.

به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه از ۱۴ رویکرد مدل‌سازی (جدول ۳) استفاده گردید. با حذف عامل شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و عامل بارش دقت نقشه را به ۶۱/۴۴، ۶۵/۷۸ و ۶۰/۱۲ درصد رسید. دقت در رویکرد ۱۴ (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 تأثیرگذار در منطقه می‌باشد.



شکل ۴: منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حذف عامل فاصله از گسل)

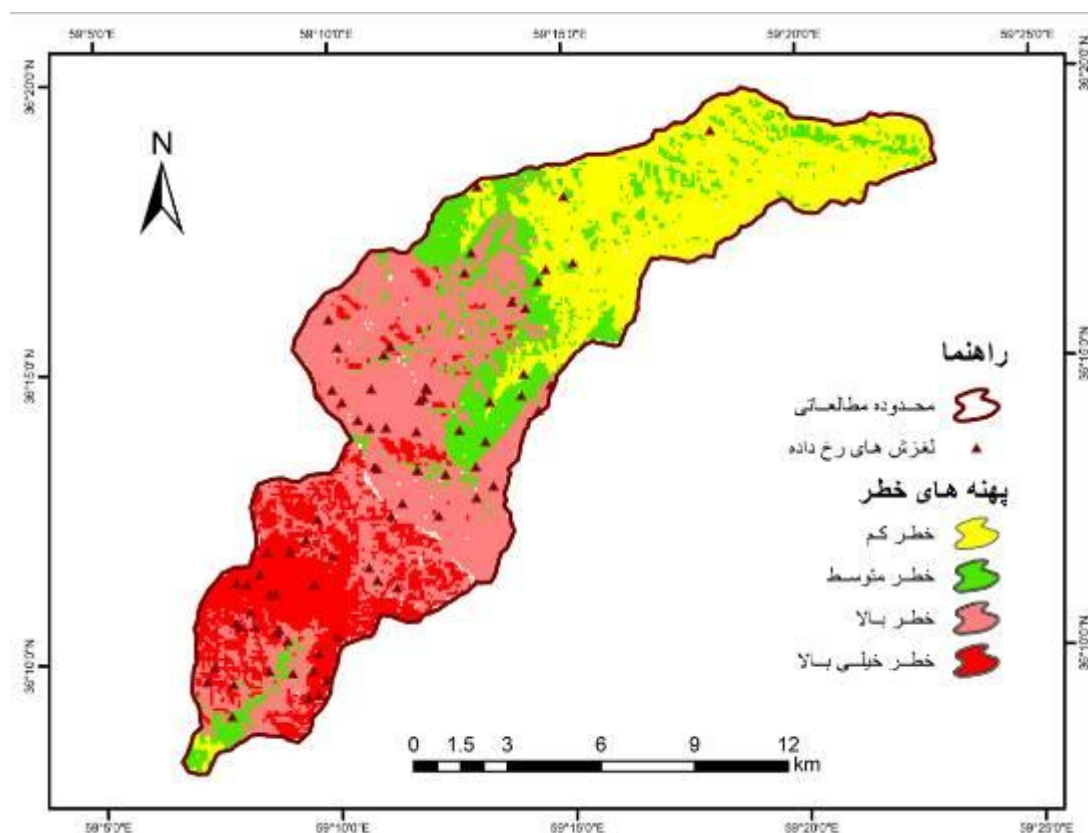


نقشه‌های تهیه شده با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نقشه‌ای با بالاترین دقت، به‌عنوان نقشه نهایی برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردید (شکل ۵). براساس نتایج منحنی ROC مقدار سطح زیر منحنی در رویکرد اول (استفاده از تمام عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش) دارای دقتی برابر با ۶۸/۱۳ درصد بوده است. با حذف عامل جهت شیب دقت نقشه به ۶۲/۲ درصد کاهش یافت. هنگامی که عامل شیب از تحلیل‌ها حذف گردید، دقت نقشه به ۷۱/۷ درصد رسید. با حذف عامل شکل شیب (محدب و مقعر بودن دامنه) از تحلیل‌ها نقشه به دقتی در حدود ۶۴/۱٪ رسید. به‌ترتیب حذف عوامل ارتفاع، کاربری اراضی و لیتولوژی دقت نقشه‌ها را به ۶۶/۲۸٪، ۶۶/۹۷٪ و ۷۹/۱۸٪ رساند.

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

سطح زیر منحنی	ماکزیمم مقادیر	مینیمم مقادیر	رویکردها <sup>۳۶</sup>
۰/۶۸۱۳	۴۸۸/۲۵۵	-۳۳۶/۵۰۶	۱
۰/۶۲۲۳	۳۹۱/۷۵۷	-۳۰۴/۴۴۵	۲
۰/۷۰۷۱	۴۵۶/۳۷۳	-۳۱۵/۲۳۶	۳
۰/۶۴۱۱	۴۷۹/۸۴۴	-۳۳۲/۲۵۲	۴
۰/۶۶۲۸	۴۴۱/۷۹۶	-۲۸۰/۸۷۸	۵
۰/۶۶۹۷	۴۳۲/۳۱۲	-۳۱۰/۴۸۲	۶
۰/۷۹۱۸	۴۳۶/۴۹۴	-۳۱۳/۲۲۱	۷
۰/۸۰۴۹	۳۸۸/۰۰۸	-۲۷۷/۲۹۴	۸
۰/۷۱۴۶	۴۸۵/۰۶۱	-۳۳۰/۲۲۲	۹
۰/۷۱۵۷	۴۷۹/۷۶۹	-۳۲۷/۶۷۱	۱۰
۰/۸۶۵۹	۴۵۶/۱۹۱	-۳۰۹/۴۳۷	۱۱
۰/۶۱۴۴	۵۴۰/۵۳۳	-۳۶۱/۷۲۳	۱۲
۰/۶۵۷۸	۴۸۸/۰۳۶	-۳۳۸/۵۱۱	۱۳
۰/۶۰۱۲	۴۵۵/۵۰۴	-۲۸۲/۹۲۸	۱۴

۳۶- استفاده از تمام عوامل موثر ۲- حذف عامل جهت شیب ۳- حذف عامل شیب ۴- حذف عامل شکل شیب ۵- حذف عامل ارتفاع ۶- 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 ۱۴- حذف عامل بارش



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

با حذف عامل لیتولوژی سطح زیر منحنی به بین  $0/7-0/8$  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  $0/8$  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  $0/714$  و  $0/715$  رسید. حذف عامل فاصله از گسل دقت کار را به حداکثر رساند و سطح زیر منحنی برابر با  $0/86$  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  $0/8659$  بوده که در همبستگی کمی و کیفی و ارزیابی تخمین دارای دقت خیلی‌خوب می‌باشد (شکل ۴).

## 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 ۱۴ 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 ۸۶/۵ درصد به‌عنوان بیش‌ترین دقت و با سطح زیر منحنی ۰/۸۶۵۹ ارزیابی گردید. نتایج تحقیق پورقاسمی و همکاران که در بخشی از استان گلستان در سال (۱۳۹۱) 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 ۲۸/۳۵، ۱۲/۶۹، ۴۰/۵۱ و ۱۸/۴۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. همان‌طور که مشهود است ۵۸/۹۴ 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.

## 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 ۶۲، 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؛ مهرجونزاد، 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 ۸۲-۶۵.
- 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 ۴، صص ۸۵-۷۱.
- فعله‌گری، محسن؛ طالبی، علی؛ کیااشکوریان، یاسر (۱۳۹۲)، «بررسی اثر جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل پایداری دامنه FIAC SIOP (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 ۴۴-۲۱.

- مقیمی، ابراهیم؛ یمانئ، مجتبی؛ رحیمی‌هرآبادئ، سعید (۱۳۹۲)، «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه»، *پژوهش‌های ژئومرفولوژی کمی*، شماره ۴، 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.

- 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.