

پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری در حوضه آبخیز اوغان

سمیه عمادالدین* - استادیار گروه جغرافیای دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
واله طاهری - دانش آموخته دکتری مخاطرات محیطی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
مسعود محمدقاسمی - دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
زهرآ نظری گزیک - دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی عوامل موثر در ایجاد پدیده زمین لغزش و تعیین مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان با استفاده از روش نسبت آماری و شاخص آماری انجام شده است. به این منظور مهم‌ترین عوامل موثر در زمین لغزش مانند درجه شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیم رخ، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص وضعیت توپوگرافی، بارش، کاربری اراضی، زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده بررسی و خصوصیات مربوط به هر یک از آن‌ها شناسایی شدند. به این منظور موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای گسترده میدانی که با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی صورت گرفت، شناسایی گردید. برای اعتبارسنجی مدل‌ها از منحنی ROC و سطح زیر منحنی ROC استفاده شد. یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که مدل شاخص آماری برای داده‌های تعلیمی و اعتبارسنجی به ترتیب مقادیر $0/925$ و $0/916$ را به خود نسبت می‌دهد و در مقایسه با مدل نسبت فراوانی کارایی بهتری برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش دارد که بر طبق آن $34/91$ ، $28/51$ و $36/59$ درصد از مساحت حوضه و $5/42$ ، $20/46$ و $35/72$ درصد از جمعیت منطقه مورد مطالعه به ترتیب در معرض خطر خیلی کم - کم، متوسط و زیاد - خیلی زیاد زمین لغزش قرار دارند. هم چنین عوامل زمین شناسی و بارش به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه معرفی گردیدند.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، روش نسبت فراوانی، روش شاخص آماری، منحنی ROC حوضه آبخیز اوغان، استان گلستان.

مقدمه

حرکات توده‌ای، از جمله پدیده‌های مورفودینامیک هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به وقوع می‌پیوندد و مهم‌ترین آن‌ها زمین‌لغزش در اشکال مختلف است (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۳). زمین‌لغزش، تحت تأثیر مستقیم جاذبه زمین صورت می‌گیرد و می‌تواند موجب حرکت سریع و قابل ملاحظه واریزه، خاک و سنگ در قسمت‌های پائینی شیب‌ها گردد (آچور^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). تعداد زمین‌لغزش‌ها به واسطه تغییرات آب و هوایی، جنگل زدایی، شهرنشین شدن‌های غیر برنامه‌ریزی شده و ... افزایش یافته است (پیراسته^۲ و همکاران، ۲۰۱۷) و به عنوان یک خطر طبیعی آسیب‌های زیادی به زندگی و زیرساخت‌های انسان وارد می‌کند (نفسلی اوغلو^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). آمارهای مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایای طبیعی نشان می‌دهد زمین‌لغزش‌ها مسئولیت حداقل ۱۷ درصد از تلفات ناشی از خطرات طبیعی در سرتاسر جهان را دارا می‌باشند (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲). در مناطق مختلف ایران نه تنها باعث خسارت مالی بلکه همچنین خسارات جانی افراد را هم به همراه داشته است. درک مکانیسم زمین‌لغزش و پهنه‌بندی مناطق مستعد به خطر وقوع زمین‌لغزش برای برنامه‌ریزی‌های کاربری زمین ضروری است و ممکن است به عنوان یک ابزار استاندارد برای حمایت از تصمیم‌گیری‌ها در مناطق مختلف در نظر گرفته شود (تین بویی^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). متن^۵ و همکاران (۲۰۱۵) اظهار دارند که نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش به مثابه سنگ بنایی برای تصمیم‌گیران برای پیشنهاد اقدامات فنی، نظارتی و یا ترکیبی از این دو می‌باشد. این نقشه‌ها همچنین ابزار مهمی برای مهندسان، دانشمندان علوم زمین، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران به منظور انتخاب مکان‌های مناسب برای کشاورزی، ساخت و ساز و سایر فعالیت‌های توسعه‌ای محسوب می‌شوند (کر نژاد و همکاران، ۱۳۹۹).

حوزه آبخیز اوغان در شرق استان گلستان به عنوان یکی از مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در استان گلستان شناسایی شده است و در طی چند سال گذشته خسارت‌های قابل توجهی به ساکنین روستای صفی‌آباد که در این حوضه واقع شده است، وارد شد. حتی سبب جابجایی روستای صفی‌آباد با صرف هزینه خیلی زیاد گردید. لذا به نظر می‌رسد شرایط خاص محیطی اعم از عوامل زمین‌شناختی حساس، شرایط آب و هوایی و فاکتورهای انسانی پویا مانند تغییرات کاربری اراضی از عوامل آغازگر اصلی وقوع زمین‌لغزش‌های این منطقه بوده است. تشخیص نواحی حساس به زمین‌لغزش و پهنه‌بندی مناطق مستعد به خطر وقوع زمین‌لغزش می‌تواند توجه برنامه‌ریزان را به نتایج پیش‌بینی شده فعالیت‌های انسانی جلب و آن‌ها را به هدایت درست این فعالیت‌ها بر اساس آسیب‌رسانی کمتر به منابع طبیعی و به طور کلی به سرمایه‌های ملی و حتی خصوصی دعوت کند. جهت پهنه‌بندی دقیق مناطق خطر زمین‌لغزش مدل‌های زیادی استفاده می‌شود اما از بین مدل‌های آماری، مدل نسبت فراوانی و شاخص آماری توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفت و در تحقیقات زیادی برتری خود را نسبت به مدل‌های آماری دو متغیره و چند متغیره اثبات نموده‌اند (تیموری یانسری و همکاران، ۱۳۹۵؛ خان^۶ و همکاران، ۲۰۱۸؛ تن^۷ و همکاران، ۲۰۱۹؛ سینتائولی^۸ و همکاران، ۲۰۱۹). وانگ^۹ و همکاران (۲۰۱۵) نتایج حاصل از ارزیابی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش در منطقه گونگلیو^{۱۰} (چین) را با استفاده از روش‌های شاخص آماری و شاخص آنتروپی مقایسه کردند. در نهایت صحت نقشه‌های حساسیت به وسیله سطح زیر منحنی ROC ارزیابی شد. نتایج

1-Achour
2-Pirasteh
3-Nefselioglu
1-Tien Bui
2-Meten
4-Khan
5-Thanh
6-Sinthauli
7-Wang
8-Gongliu

اعتبار سنجی نشان داد که سطح زیر منحنی ROC در مدل شاخص آماری برای نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی کمی بالاتر از مدل شاخص آنتروپی می‌باشد. چن^۱ و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی زمین‌لغزش منطقه نانژیک چین از بین مدل‌های رگرسیون لجستیک، شاخص آنتروپی و نسبت فراوانی و با بررسی منحنی ROC نشان دادند نسبت فراوانی عملکرد خوبی نسبت به مدل‌های دیگر دارد. فی^۲ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی زمین‌لغزش در منطقه جنوب غربی گاتس در هند پرداختند و به این نتیجه رسید فعالیت‌های انسانی نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه دارد. چن و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی ۲۶۳ نقطه لغزشی در شهر زیچانچ چین به روش رگرسیون لجستیک پرداختند و برای انتخاب لایه‌های موثر در وقوع زمین‌لغزش از روش آماری نسبت فراوانی استفاده کردند و در نهایت به بررسی ۱۴ عامل موثر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل PUKLR عملکرد بالایی در حساسیت به لغزش دارد. اما مطالعاتی که در داخل کشور انجام شد می‌توان به مواردی اشاره کرد. جباری و میرنظری (۱۳۸۶) به بررسی زمین‌لغزش در حوضه آبخیز پشت تنگ شهرستان سرپل ذهاب پرداختند و با استفاده از آزمون کای دو از بین یازده لایه در وقوع زمین‌لغزش، شش لایه به عنوان لایه‌های معنادار شناخته شد و پهنه‌بندی زمین‌لغزش را با روش سلسله مراتبی و ارزش اطلاعاتی انجام دادند و در نهایت روش تراکم سطح مناسبترین شیوه برای پیش‌بینی پراکندگی مکانی وقوع زمین‌لغزش‌ها معرفی شد. عرب‌عامری و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش در حوضه سرخون کارون با استفاده از روش‌های دمپستر شفیر و نسبت فراوانی پرداختند و از ۱۰ لایه اطلاعاتی به عنوان عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل نسبت فراوانی دارای سطح زیر منحنی ROC بالاتری (۰/۹۲۷) نسبت به مدل دمپستر شفیر (۰/۸۵۸) می‌باشد. از این رو می‌تواند نسبت به دمپستر شفیر، مدل بهتری برای ارزیابی استعداد اراضی نسبت به زمین‌لغزش باشد. زارع و همکاران (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی حساسیت به وقوع زمین‌لغزش با روش نسبت فراوانی در جنگل تحت مدیریت صنایع چوب و کاغذ مازندران پرداختند. نتایج ارتباط بین عامل موقعیت و لغزش‌های رخ داده نشان داد که بیشترین میزان لغزش‌ها در پایین دست جاده اتفاق افتاده و بالا رفتن سن جاده‌ها از میزان لغزش‌ها کاسته می‌شود. نتایج ارزیابی مدل با روش ROC نشان داد که سطح زیر نمودار (AUC) برابر با ۰/۶۸۸ (۶۸/۸) درصد می‌باشد. هدف از این تحقیق در مرحله نخست داده‌های مربوط به ۱۳ عامل موثر در وقوع زمین‌لغزش شامل درجه شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیم رخ، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص وضعیت توپوگرافی، بارش، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده جمع‌آوری شده است و در گام بعد به تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری و در آخرین گام به مقایسه دقت روش‌ها و انتخاب روش منطقی‌تر برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان اقدام شد.

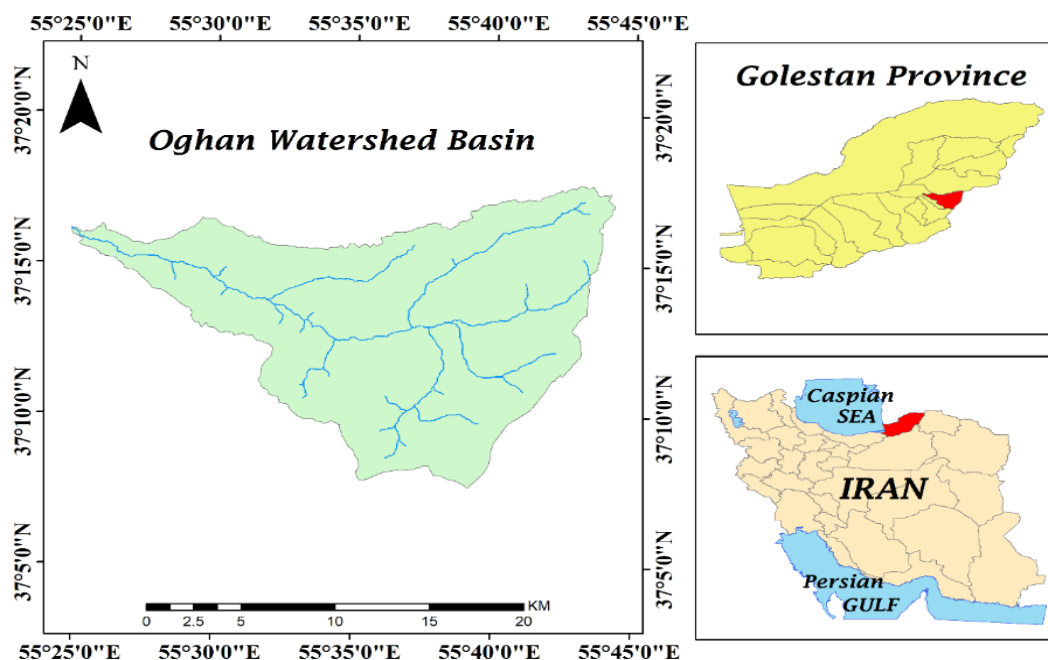
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز اوغان در شمال ایران در محدوده جغرافیایی ۳۷° ۹' تا ۳۷° ۱۵' عرض شمالی و ۵° ۵۵' تا ۴۳' ۵۵° طول شرقی با مساحت ۴۰۳۵۲ هکتار واقع است. از ویژگی‌های این محدوده اختلاف ارتفاع آن است که از حداقل ۱۹۱ متر تا ۲۵۰۰ متر از سطح دریا متغیر می‌باشد. مراکز جمعیتی واقع در حوضه اوغان شامل روستاهای دورجن، لیرو، اولنگ، سایر، برنجبین، اسفرانجان، براین، پنو، خسرو آباد، پای دل، فرنگ، عرب کلو، سیجان، کیارام و فارسین بوده که روستای صفی‌آباد به دلیل زمین‌لغزش کاملاً از محل قبل خود جابجا شده است (غلامی کلاته و همکاران، ۱۳۹۶). منطقه مورد مطالعه در حد واسط دو ایالت بزرگ ساختاری-رسوبی البرز شرقی و کپه داغ غربی قرار داشته تا جایی که با توالی موجود

^۱. Chen

^۲. Feby

در سازندهای دوران دوم (مزوزوئیک) گستردگی لایه‌های مزبور در این ناحیه زمین‌شناسی نشانگر کنتاکت و همبری پنجه‌ای شکل واحدهای لیتواستراتیگرافی گسلی بوده ولی توالی رخساره تا حدود مناطقی رعایت شده و هم ارزهای سنی این سازندها در آبخیزهای مجاور به وضوح ملاحظه و گستردگی خود را نشان می‌دهند. تا جایی که می‌توان روند ساختاری و ساختمانی موجود چون گسل‌ها و چین خوردگی‌ها همگی همسو با روند موجود در البرز شرقی می‌باشد و سایر مشخصات البرزی را در آن یافت. منطقه مورد مطالعه به دلیل دارا بودن میزان شدت بارندگی و سازندهای مستعد به زمین لغزش به طور بالقوه مستعد وقوع حرکت توده‌ای است. به طوری که در جاهایی که درصد شیب زیاد است و تحت تاثیر عوامل انسانی از قبیل جاده و تغییرات کاربری اراضی قرار داشته باشد حرکت‌های توده‌ای تشدید شده‌اند (وزارت جهاد و کشاورزی، ۱۳۸۳). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تعدادی از زمین لغزش‌های روستای صفی‌آباد که مورد بازدید محلی قرار گرفتند به ترتیب در اشکال ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

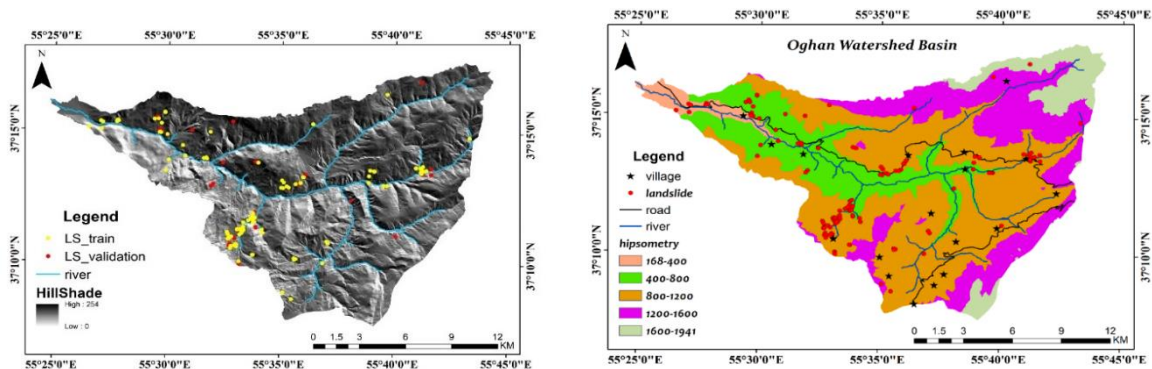
داده‌ها و روش‌ها

آماده سازی نقشه پراکنش زمین لغزش، مهم‌ترین مرحله در مطالعات مربوط به زمین لغزش است. این نقشه توزیع فضایی رخداد زمین لغزش‌های منفرد یا چندگانه را در طول زمان به تصویر می‌کشد (مالامود^۱ و همکاران، ۲۰۰۴، تیموری، ۱۳۹۷). به این منظور برای انجام تحقیق حاضر، ابتدا موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای گسترده میدانی که با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی صورت گرفت، شناسایی گردید و در مجموع ۱۴۳ زمین لغزش در منطقه تشخیص داده شد. در نهایت برای انجام تحقیق و اجرای مدل‌ها تعداد ۷۰ درصد زمین لغزش‌ها (۱۰۰ نقطه) برای آموزش مدل و ۳۰ درصد مابقی (معادل ۴۳ نقطه لغزشی) برای مرحله اعتبارسنجی به کار گرفته شد. شکل ۳ پراکنش زمین لغزش‌ها و آبادی‌ها، خطوط جاده‌ای، آبراهه‌ها و طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز اوغان و شکل ۴ موقعیت زمین لغزش‌ها برای مراحل آموزش و اعتبارسنجی مدل را به تصویر می‌کشند.

¹Malamud



شکل ۲: تعدادی از زمین لغزش‌های شناسایی شده در روستای صفی‌آباد



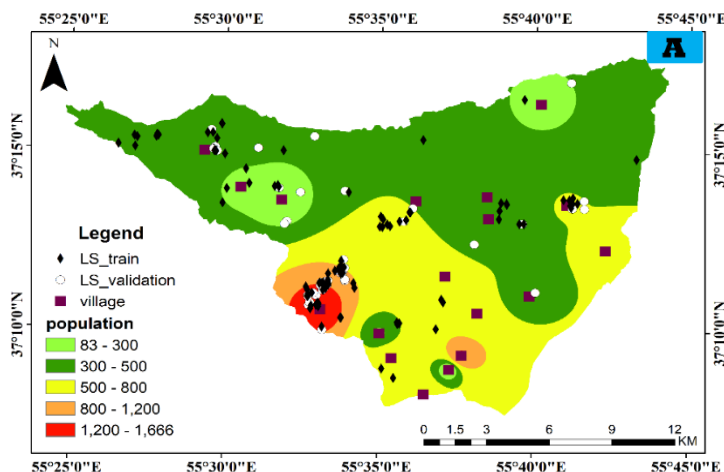
شکل ۴: نقشه موقعیت مین لغزش‌ها برای مراحل آموزشی و اعتبارسنجی

شکل ۳: موقعیت زمین لغزش‌های ثبت شده

مدل‌ها

متاسفانه دستورالعمل‌های واحدی برای انتخاب عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش وجود ندارد و بر اساس بررسی‌های انجام شده انتخاب متغیرها در بین مطالعات مختلف متفاوت است. بنابراین تهیه مجموعه‌ای از عوامل مورد استفاده در مطالعات ارزیابی حساسیت زمین لغزش می‌تواند به انتخاب بهتر متغیرهای ورودی در مطالعات پیش رو کمک کند. با توجه به شرایط محیطی منطقه از ۱۳ لایه شامل درجه شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیم رخ، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص وضعیت توپوگرافی، طبقات بارش، کاربری اراضی، زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده استفاده شد و به عنوان عوامل تاثیر گذار در رخداد زمین لغزش در نظر گرفته شدند. به این منظور از لایه مدل رقومی ارتفاعی زمین با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده شد و بر اساس آن نقشه‌های شیب و جهت شیب، انحنای طولی دامنه (انحنای پروفیل)، انحنای عرضی دامنه (انحنای پلان) و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) تهیه شد. نقشه طبقات بارش منطقه مورد مطالعه بر اساس دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ که از سازمان آب و منطقه‌ای استان گلستان گرفته شد، تهیه گردید. نقشه سنگ‌شناسی منطقه از رقومی کردن نقشه زمین‌شناسی ورقه‌های دوزین و گنبد کاووس در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در نرم افزار ArcGIS تهیه شد و لایه‌های فاصله از گسل از آن استخراج گردید. لایه‌های فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده نیز از نقشه‌های توپوگرافی تهیه گردید. لایه کاربری اراضی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شد و پس از به روز رسانی و انجام اصلاحات با استفاده از تصاویر گوگل ارث مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که میزان تراکم جمعیت و فعالیت‌های انسانی ناشی از آن نقش به‌سزایی در بی‌ثباتی دامنه‌های شیب‌دار در نواحی کوهستانی دارد و با توجه به وجود تعداد ۱۸ آبادی با جمعیتی در حدود ۹۶۵۶ نفر (سالنامه آماری استان گلستان،

۱۳۹۵) در حوضه اوغان که بعضی از آن‌ها در فاصله کمی از زمین‌لغزش‌ها قرار دارند، نقشه تراکم جمعیت مطابق شکل ۵ در محیط ARC GIS 10.4.1 با استفاده از ابزار IDW تهیه شد.



شکل ۵: نقشه تراکم جمعیت حوضه اوغان و موقعیت زمین‌لغزش‌های مراحل آموزشی و اعتبارسنجی

در میان روش‌های آماری دو متغیره، روش نسبت فراوانی، ارتباط کمی میان رخداد زمین‌لغزش‌ها و متغیرهای مختلف تاثیر گذار در آن را مشخص می‌نماید. مراحل محاسبه نسبت فراوانی برای هر کلاس از فاکتورهای مؤثر در لغزش در رابطه (۲) بیان شده است (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۶).

$$FR = \frac{(A/B)}{(C/D)} = \frac{E}{F} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، A تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در هر کلاس، B مجموع پیکسل‌های لغزشی کل حوضه، C تعداد پیکسل‌های هر زیر کلاس از فاکتورهای مؤثر در لغزش، D تعداد کل پیکسل‌های یک منطقه می‌باشد. E درصد رخداد لغزش در هر زیر کلاس از فاکتورهای مؤثر و F درصد نسبی مساحت هر زیر کلاس از کل مساحت می‌باشد. برای به دست آوردن شاخص حساسیت به رخداد زمین‌لغزش نتایج فاکتورها در محیط GIS با یکدیگر جمع می‌گردد:

$$LSI = \sum(FR)_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن، LSI شاخص پتانسیل رخداد زمین‌لغزش، FR نسبت فراوانی فاکتور و n مجموع فاکتورهای ورودی است. برای اجرای این مدل ابتدا در محیط اکسل نسبت فراوانی (FR) برای هر کلاس از فاکتورهای ۱۳ گانه به دست آمد و اطلاعات حاصل از آن به محیط ARC GIS 10.4.1 برای انجام مراحل بعدی و تهیه نقشه نهایی حساسیت منتقل شد. مدل شاخص آماری که اولین با توسط ون وسترن^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۷ ارائه گردید، تحلیل آماری ۲ متغیره است که در آن وزن هر یک از کلاس‌های عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش به وسیله لگاریتم طبیعی تراکم زمین‌لغزش آن کلاس از عوامل مؤثر بر تراکم زمین‌لغزش‌های کل منطقه به دست می‌آید (رابطه ۴) (رگمی^۲ و همکاران، ۲۰۱۴).

$$W_{ij} = \ln \left(\frac{N_{ij}/A_{ij}}{N/A} \right) \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن W_{ij} : وزن به دست آمده برای هر یک از کلاس‌های عوامل مؤثر، N_{ij} : تعداد زمین‌لغزش‌ها در هر یک از کلاس‌های عوامل مؤثر، A_{ij} : مساحت هر یک از کلاس‌های عوامل، N: تعداد کل زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه و A: مساحت کل منطقه مورد مطالعه است. وقتی تراکم زمین‌لغزش‌ها بالاتر از حد نرمال باشد، وزن حاصل از آن عامل

1-Van westen

2-Regmi

(Wij) مثبت خواهد بود و در حالی که تراکم زمین لغزش‌ها کمتر از حد نرمال باشد وزن به دست آمده منفی خواهد بود (تیموری یانسری و همکاران، ۱۳۹۵).

به منظور ارزیابی صحت مدل‌های مورد استفاده، از منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) استفاده شد. منحنی ROC از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (سوات^۱، ۱۹۸۸). سطح زیر منحنی ROC که AUC نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع (عدم وقوع زمین لغزش) آن است (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۷). در موضوع ارزیابی صحت نقشه مکان‌های حساس به وقوع زمین لغزش سطحی هم از داده‌های تعلیمی و هم از داده‌های صحت سنجی استفاده می‌شود. بهترین حالت این منحنی‌ها زمانی است که مقدار سطح زیر این منحنی‌ها برابر عدد یک باشد و بالعکس هر چه به سمت صفر نزدیک‌تر شود، پیش‌بینی ضعیف‌تری حاصل می‌گردد (تین بویی^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به این که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند (کماچ^۳، ۲۰۰۶) از بین نقاط لغزشی ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (بای^۴ و همکاران، ۲۰۱۱). پس از محاسبه منحنی نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی برای ارائه کمی نرخ پیش‌بینی و نرخ موفقیت، مساحت زیر منحنی صرف نظر از نوع منحنی آن‌ها به صورت درصد بیان می‌شود. در نتیجه مساحت زیر منحنی نرخ پیش‌بینی می‌تواند دقت پیش‌بینی را به صورت کیفی ارزیابی کند (لی^۵، ۲۰۰۴). مساحت زیر منحنی (AUC) می‌تواند عددی بین ۰/۵ تا ۱ باشد. عدد ۰/۵ نشان‌دهنده رد شدن مدل و اعداد نزدیک ۱ نشان‌دهنده صحت بیشتر مدل است (چن و همکاران، ۲۰۱۹). همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت زیر است: ۱- ۰/۹ عالی، ۰/۸ - ۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷ - ۰/۸ خوب، ۰/۶ - ۰/۷ متوسط، ۰/۵ - ۰/۶ ضعیف.

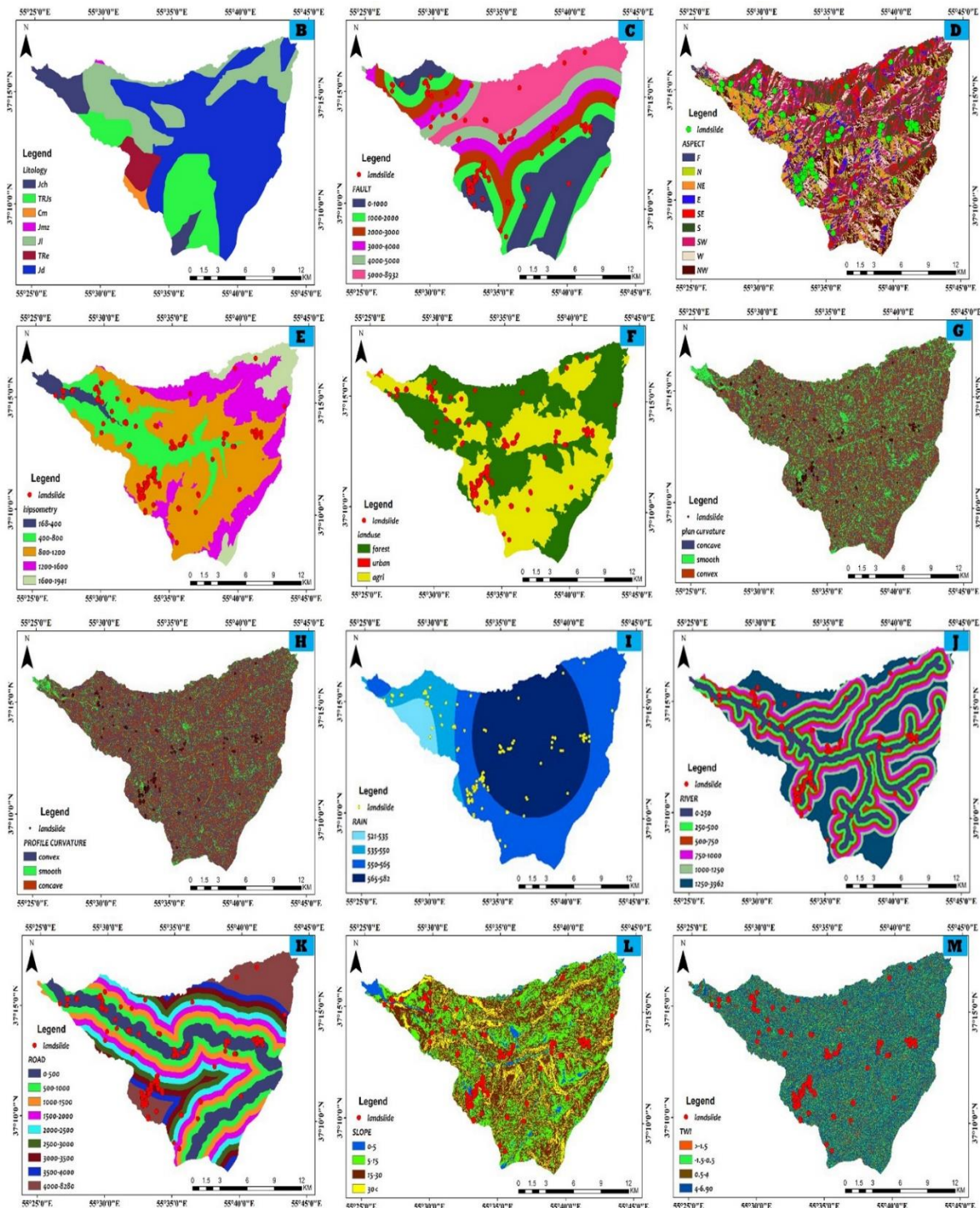
^۱. Swets

^۲. TinBui

^۳. Komac

^۴. Bai

^۵. Lee



شکل ۵: نقشه‌های فاکتورهای مؤثر در بروز زمین‌لغزش به ترتیب: B) (لیتولوژی)، C) (فاصله از گسل)، D) (جهت شیب)، E) (ارتفاع)، F) (کاربری اراضی)، G) (انحنای طولی دامنه)، H) (انحنای عرضی دامنه)، I) (بارندگی)، J) (فاصله از رودخانه)، K) (فاصله از جاده)، L) (شیب)، M) (شاخص رطوبت توپوگرافی)

بحث و یافته‌ها

پس از تهیه نقشه‌های عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و هم‌پوشانی آن‌ها با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، ارتباط زمین لغزش با عوامل تاثیر گذار با استفاده از روش نسبت فراوانی (FR) و شاخص آماری (SI) در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مقادیر نسبت فراوانی و شاخص آماری رخداد زمین لغزش برای هر طبقه

شاخص آماری SI	نسبت فراوانی FR	درصد نقاط لغزشی	تعداد نقاط لغزشی	درصد پیکسل‌های هر طبقه	تعداد پیکسل‌های هر طبقه	طبقه
-۱,۶۶	۰,۱۹	۱	۱	۵,۲۶	۱۳۹۴۲۸	۰-۵
-۰,۳۶	۰,۷۰	۲۳	۲۳	۳۳,۰۱	۸۷۵۲۱۴	۵-۱۵
۰,۱۵	۱,۱۶	۵۵	۵۵	۴۷,۵۰	۱۲۵۹۵۴۲	۱۵-۳۰
۰,۳۹	۱,۴۷	۲۳	۲۳	۱۲,۲۴	۳۷۷۵۶۲	۳۰<
-۱,۰۶	۰,۳۵	۱	۱	۲,۹۰	۷۶۸۷۳	جهت شیب هموار
-۱,۵۰	۰,۲۲	۱	۱	۴,۴۶	۱۱۸۳۷۸	شمال
-۰,۳۵	۰,۷۰	۷	۷	۹,۹۳	۲۶۳۳۹۳	شمال شرق
۰,۷۴	۲,۰۹	۱۷	۱۷	۸,۱۲	۲۱۵۱۹۱	شرق
۰,۲۲	۱,۲۵	۱۵	۱۵	۱۲,۰۵	۳۱۹۴۴۴	جنوب شرق
۰,۳۹	۱,۴۷	۲۳	۲۳	۱۵,۶۲	۴۱۴۲۱۵	جنوب
۰,۲۹	۱,۳۳	۱۸	۱۸	۱۳,۵۱	۳۵۸۱۹۱	جنوب غرب
-۰,۳۱	۰,۷۳	۹	۹	۱۲,۲۷	۳۲۵۲۹۱	غرب
-۰,۸۲	۰,۴۴	۷	۷	۱۵,۹۲	۴۲۲۰۲۳	شمال غرب
-۰,۹۶	۰,۳۸	۲	۲	۵,۲۴	۱۳۸۸۲۷	شمال
۰,۹۳	۲,۵۲	۸	۸	۳,۱۷	۸۴۰۳۴	ارتفاع ۱۶۸-۴۰۰
۰,۳۸	۱,۴۶	۲۸	۲۸	۱۹,۱۵	۵۰۷۹۳۹	۴۰۰-۸۰۰
۰,۲۳	۱,۲۶	۶۰	۶۰	۴۷,۵۹	۱۲۶۱۹۲۲	۸۰۰-۱۲۰۰
-۱,۷۳	۰,۱۸	۴	۴	۲۲,۵۷	۵۹۸۴۵۵	۱۲۰۰-۱۶۰۰
۰	۰	۰	۰	۷,۵۲	۱۹۹۳۹۶	۱۶۰۰<
-۰,۱۰	۰,۹۰	۳۳	۳۳	۳۶,۵۱	۹۶۸۲۱۹	انحنای سطح مقعر
۰	۱	۲۴	۲۴	۲۴,۱۰	۶۳۹۰۵۹	یکنواخت
۰,۰۹	۱,۰۹	۴۳	۴۳	۳۹,۳۹	۱۰۴۴۴۶۸	محدب
۰,۱۳	۱,۱۳	۵۱	۵۱	۴۵	۱۱۹۳۳۲۴	انحنای نیم رخ محدب
۰,۰۵	۱,۰۵	۱۴	۱۴	۱۳,۳۶	۳۵۴۳۲۵	یکنواخت
-۰,۱۷	۰,۸۴	۳۵	۳۵	۴۱,۶۴	۱۱۰۴۰۹۷	مقعر
۰,۲۲	۱,۲۵	۹	۹	۷,۲۱	۱۹۱۱۶۵	شاخص رطوبت توپوگرافی >۱,۵-
-۰,۰۶	۰,۹۴	۲۴	۲۴	۲۵,۵۴	۶۷۷۳۵۰	۰,۵-۱,۵
-۰,۰۴	۰,۹۶	۱۶	۱۶	۱۶,۶۴	۴۴۱۲۶۵	۰,۵-۴
۰,۰۱	۱,۰۱	۵۱	۵۱	۵۰,۶۱	۱۳۴۱۹۶	۴-۶,۹۰

	۶						
سنگ شناسی	چمن بید	۱۶۱۶۶۰	۶,۱۰	۸	۸	۱,۳۱	۰,۲۷
	شمشک	۴۵۶۶۱۲	۱۷,۲۲	۹	۹	۰,۵۲	-۰,۶۵
	مبارک	۲۶۴۵۳	۱,۰۰	۵	۵	۵,۰۱	۱,۶۱
	مزدوران	۲۴۹۶	۰,۰۹	۰	۰	۰	۰
	لار	۵۳۸۶۳۳	۲۰,۳۱	۱۸	۱۸	۰,۸۹	-۰,۱۲
	ایلیکاه	۱۰۴۹۳۸	۳,۹۶	۲۹	۲۹	۷,۳۳	۱,۹۹
	دالیچای	۱۳۶۰۹۵	۵۱,۳۲	۳۱	۳۱	۰,۶۰	-۰,۵۰
	۴						
کاربری اراضی	جنگل	۱۳۵۹۵۲	۵۱,۲۷	۲۵	۲۵	۰,۴۹	-۰,۷۲
	۲						
	کشاورزی	۳۲۹۳	۰,۱۲	۷۵	۷۵	۱,۵۴	۰,۴۳
	مسکونی	۱۲۸۱۹۳	۴۸,۶۱	۰	۰	۰	۰
	۱						
فاصله از گسل	۱۰۰۰>	۶۷۷۲۶۲	۲۵,۵۴	۳۵	۳۵	۱,۳۷	۰,۳۲
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۴۷۸۲۱۶	۱۸,۰۳	۲۸	۲۸	۱,۵۵	۰,۴۴
	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۳۴۵۱۶۳	۱۳,۰۲	۱۶	۱۶	۱,۲۳	۰,۲۱
	۳۰۰۰-۴۰۰۰	۲۹۰۴۲۸	۱۰,۹۵	۳	۳	۰,۲۷	-۱,۲۹
	۴۰۰۰-۵۰۰۰	۲۹۶۲۵۹	۱۱,۱۷	۱۴	۱۴	۱,۲۵	۰,۲۳
	۵۰۰۰<	۵۶۴۴۱۸	۲۱,۲۸	۴	۴	۰,۱۹	-۱,۶۷
فاصله از آبراهه	۲۵۰>	۵۰۰۷۴۴	۱۸,۸۸	۴۵	۴۵	۲,۳۸	۰,۸۷
	۲۵۰-۵۰۰	۴۵۴۱۲۱	۱۷,۱۳	۱۶	۱۶	۰,۹۳	-۰,۰۷
	۵۰۰-۷۵۰	۴۱۹۱۱۱	۱۵,۸۱	۱۴	۱۴	۰,۸۹	-۰,۱۲
	۷۵۰-۱۰۰۰	۳۷۶۰۵۷	۱۴,۱۸	۱۲	۱۲	۰,۸۵	-۰,۱۷
	۱۰۰۰-۱۲۵۰	۳۲۱۳۵۸	۱۲,۱۲	۹	۹	۰,۷۴	-۰,۳۰
	۱۲۵۰<	۵۸۰۳۵۵	۲۱,۸۹	۴	۴	۰,۱۸	-۰,۷۰
فاصله از جاده	۵۰۰>	۴۸۵۳۸۳	۱۸,۳۰	۴۰	۴۰	۲,۱۹	۰,۷۸
	۵۰۰-۱۰۰۰	۴۰۷۰۸۸	۱۵,۳۵	۶	۶	۰,۳۹	-۰,۹۴
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۳۶۰۳۰۷	۱۳,۵۹	۶	۶	۰,۴۴	-۰,۸۲
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۳۲۰۳۱۰	۱۲,۰۸	۲	۲	۰,۱۷	-۱,۸۰
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۲۷۵۵۸۸	۱۰,۳۹	۶	۶	۰,۵۸	-۰,۵۵
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۲۲۱۹۵۷	۸,۳۷	۸	۸	۰,۹۶	-۰,۰۵
	۳۰۰۰-۳۵۰۰	۱۵۰۰۸۰	۵,۶۶	۴	۴	۰,۷۱	-۰,۳۵
	۳۵۰۰-۴۰۰۰	۱۰۶۶۲۲	۴,۰۲	۱۲	۱۲	۲,۹۸	۱,۰۹
	۴۰۰۰<	۳۳۴۴۰۱	۱۲,۲۳	۱۶	۱۶	۱,۳۱	۰,۲۷
بارش	۵۳۱-۵۳۵	۱۱۹۰۲۳	۴,۴۹	۵	۵	۱,۱۱	۰,۱۱
	۵۳۵-۵۵۰	۲۵۷۳۱۸	۹,۷۰	۱۶	۱۶	۱,۶۵	۰,۵۰

	۵۵۰-۵۶۵	۱۰۴۱۳۳۸	۳۹,۲۷	۳۸	۳۸	۰,۹۷	-۰,۰۳
	۵۶۵-۵۸۲	۱۲۳۴۰۶۷	۴۶,۵۴	۴۱	۴۱	۰,۸۸	-۰,۱۳
		۲۶۵۱۷۴۶		۱۰۰			

درجه شیب یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر پایداری دامنه است. زمین لغزش در دامنه می‌تواند به دلیل برهم کنش شرایط مختلفی از جمله شرایط مورفولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و کاربری زمین رخ دهد (چانگ و فابری^۱، ۲۰۱۳). در منطقه مورد مطالعه بیشترین فراوانی زمین لغزش در شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد می‌باشد. به علت دخالت عوامل انسانی از طریق جاده‌سازی و تغییر کاربری بر ناپایداری دامنه‌ها افزوده شده و شرایط جهت وقوع لغزش فراهم شده است که با نتایج شیرانی و عرب عامری (۱۳۹۶)؛ خان و همکاران (۲۰۱۸) و سینتاوولی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. جهت شیب همانند درجه شیب یکی از عوامل مهم در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش است که نقش مهمی در شروع زمین لغزش از طریق تأثیر بر روی پوشش گیاهی، حفظ رطوبت خاک و در نتیجه مقاومت خاک دارد (پونیم رانا^۲، ۲۰۱۷). در مناطقی که در طی ماه‌های مختلف سال اختلاف فاحشی در دمای دامنه‌های رو به آفتاب وجود دارد و این نوسان دما، در محدوده بالاتر و پایین‌تر از نقطه انجماد آب (در دامنه‌های خصوصاً برف‌گیر) صورت می‌گیرد، بین توزیع فراوانی ناپایداری‌های دامنه‌ای و جهت شیب دامنه ارتباط معنی‌داری برقرار می‌گردد. به نحوی که تراکم ناپایداری‌های دامنه‌ای در دامنه‌های شمالی (پشت به آفتاب) افزایش و در دامنه‌های جنوبی (رو به آفتاب) کاهش می‌یابد (همتی و حجازی، ۱۳۹۶). اما در منطقه مورد مطالعه فراوانی زمین لغزش‌ها در جهت‌های مختلف جنوبی بیشتر و توزیع نسبتاً یکسانی دارد. این مسئله می‌تواند به علت دریافت و توزیع نسبتاً یکسان رطوبت در جهت‌های مختلف دامنه‌ها و همچنین اثر گذاری عوامل دیگر بر وضعیت رطوبت و پایداری جهت‌های مختلف شیب باشد (تیموری، ۱۳۹۷). نتایج به دست آمده مطابق با نتایج پورقاسمی و روسی (۲۰۱۶)، ونگ^۳ و همکاران (۲۰۱۶) می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، بیشتر زمین لغزش‌های رخ داده در ارتفاعات ۱۶۸ تا ۱۶۰۰ متری واقع شده‌اند. تعداد زیادی آبادی، با جمعیت تقریبی ۹۶۵۶ نفر در حوضه اوغان وجود دارد که تا ارتفاع ۱۶۰۰ متری قرار دارند. با افزایش ارتفاع از فراوانی لغزش‌ها کاسته شده است. تغییرات ارتفاعی موجب تفاوت در شرایط اقلیمی و به دنبال آن تغییر در نوع خاک و پوشش گیاهی می‌شود. با وجود اینکه در ارتفاعات بالا شرایط برای هوازگی سنگ‌ها از طریق ذوب یخ فراهم است اما در ارتفاعات پایین دست امکان تشکیل نهشته‌های ضخیم وجود دارد. در منطقه مورد مطالعه، به علت وجود خاک‌های عمیق‌تر در ارتفاعات پایین و همچنین دخالت عوامل انسانی در پایین دست مناطق کوهستانی شرایط برای وقوع زمین لغزش فراهم‌تر است که مطابق با نتایج پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۲) است.

نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین زمین لغزش‌ها با انحنا، نیمرخ و انحنا، سطح، بیانگر آن است که بالاترین مقدار متعلق به دامنه‌های محدب بوده است. انحنا، پروفیل معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان، در طول مسیر جریان است و بنابراین انحنا، پروفیل نشان دهنده شدت جریان آب و فرآیندهای حمل و رسوبگذاری می‌باشد. به طوری که مقدار منفی این انحنا، سطح محدب (کوژ) و مقدار مثبت آن سطوح مقعر (کاو) را نشان می‌دهد (پیک^۴، ۲۰۰۰). در منطقه مورد مطالعه به علت واگرایی جریان آب در این دامنه‌ها و انبساط و انقباض خاک دامنه‌های محدب می‌باشد که شرایط را جهت فرسایش و وقوع زمین لغزش‌ها فراهم کرده است. ارتباط بین زمین لغزش با شاخص وضعیت توپوگرافی نشان داده که بیشتر زمین لغزش‌های منطقه در دره‌ها اتفاق افتاده است. هرچند انتظار می‌رود بیشتر لغزش‌ها در دامنه‌ها رخ دهند اما در منطقه

^۱. Chung and Fabbri

^۲. pooname Rana

^۳. Wang

^۴. Pike

مورد مطالعه بیشتر زمین‌لغزش‌ها در دره‌ها (نسبت فراوانی: ۱,۲۵) دیده شده است، شاید دلیل این امر نقش آبراهه‌ها در فرسایش و پاشویی باشد که شرایط را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم کرده است (تیموری، ۱۳۹۷).

شاخص رطوبت توپوگرافی، وضعیت حوضه را از نظر اشباع نشان می‌دهد. هر چه میزان اشباع بیشتر باشد، مقاومت خاک و سنگ کاهش یافته و به وقوع زمین‌لغزش کمک می‌کند (باسو و پل، ۲۰۱۷). هرچند با افزایش رطوبت توپوگرافی انتظار افزایش رخداد لغزش را داریم (گوا^۲ و همکاران، ۲۰۱۵)، اما در منطقه مورد مطالعه، فراوانی رخداد زمین‌لغزش با افزایش رطوبت توپوگرافی روند کاهشی را نشان داد. این مسئله به علت دخالت پارامترهای دیگری همچون وجود سازندهای حساس به زمین‌لغزش و برهم خوردن تعادل شیب در اثر فعالیت‌های انسانی در این مناطق است. نتایج به دست آمده مطابق با نتایج کونفرتی^۳ و همکاران (۲۰۱۳)، پورقاسمی و روسی (۲۰۱۶) می‌باشد.

پایداری شیب نتیجه شرایط محلی ژئومورفیک، سنگ‌شناسی و هیدرولوژی است، که در میان آن‌ها سنگ‌شناسی مهمترین فاکتور را تشکیل می‌دهد که پایداری شیب را کنترل می‌کند (آچو^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی ارتباط زمین‌لغزش با واحدهای سنگ‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی زمین‌لغزش‌ها در طبقات دالیچای، ایلیکاه و لار رخ داده است علت آن حساس بودن این گروه‌ها نسبت به وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. این گروه‌ها متشکل از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌آهک با میان لایه‌های شیل و مارن می‌باشند. مارن معمولاً از هوازدگی بالایی برخوردار بوده و به ویژه در شرایط مرطوب به راحتی چسبندگی مواد خود را از دست می‌دهد. هم‌چنین شیل با ایجاد یک سطح غیر قابل نفوذ و هدایت جریان آب در راستای سطح خود به ایجاد یک سطح جدایش مواد دامنه‌ای تبدیل می‌گردد (کر نژاد، ۱۳۹۹). نتایج به دست آمده مطابق با نتایج شیرانی و عرب عامری (۱۳۹۴)، تیموری (۱۳۹۷)، هوانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۷) سینتاولی^۶ و همکاران (۲۰۱۹) می‌باشد.

در منطقه مورد مطالعه بیشتر زمین‌لغزش‌ها در کاربری کشاورزی (نسبت فراوانی: ۱,۵۴) اتفاق افتاده است و کاربری جنگل در رتبه بعدی قرار دارد. بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه به اراضی زراعی دیم و آبی تبدیل شده است که جهت شخم در بخش اعظم این مناطق در جهت شیب می‌باشد. افزایش سرعت رواناب افزایش سرعت فرسایش، بالا آمدن مصنوعی سطح آب زیرزمینی در مناطق تحت آبیاری، متراکم شدن مصنوعی لایه‌های سطحی در اثر تردد ابزار آلات کشاورزی از جمله تأثیرات کشت بی‌رویه به ویژه در جهت شیب می‌باشد. نمونه بارز تأثیر اراضی زراعی در تحریک حرکات دامنه‌ای، زمین‌لغزش بزرگ صفی‌آباد می‌باشد (کر نژاد، ۱۳۹۹). نتایج ارتباط بین وقوع زمین‌لغزش با فاصله از گسل نشان داد که بالاترین مقدار (نسبت فراوانی: ۱,۳۷) و (شاخص آماری: ۰,۳۲) متعلق به طبقه کمتر از ۱۰۰۰ متری از گسل‌ها است. نزدیکی به گسل‌های اصلی، یکی از فاکتورهای موثر در بی‌ثباتی دامنه‌ها محسوب می‌گردد.

بررسی رخداد زمین‌لغزش با فاصله از آبراهه، بیانگر وقوع بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله کمتر از ۲۵۰ متری از شبکه آبراهه است. (نسبت فراوانی: ۲,۳۸) و (شاخص آماری: ۰,۸۷) با افزایش فاصله از آبراهه از فراوانی رخداد زمین‌لغزش کاسته شده است. علت این موضوع به جهت آن است که رودخانه‌ها با عمل زیرشویی در پای دامنه و اشباع شدن قسمت‌های پایین

۱. Basu&Pa

۲. Guo

۳. Conforti

۴. Achu

۵. Huang

۶. Sinthauli

دست اثرات نامطلوبی بر ثبات شیب دامنه‌ها می‌گذارند. نتایج به دست آمده با نظرات فیبی^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، گورم^۲ و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

بین رخداد زمین‌لغزش با عامل فاصله از جاده بیانگر وقوع بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله کمتر از ۵۰۰ متری جاده‌ها است. (نسبت فراوانی: ۲,۱۹) و (شاخص آماری: ۰,۷۸) که متاثر از عملیات باربرداری و بارگذاری ناشی از جاده‌سازی است که شامل لغزش‌های جدید و کوچک می‌باشند، در نهایت عدم در نظر گرفتن خصوصیات زمین‌شناسی محل احداث جاده (اعم از جنس، مقاومت و حساسیت ذاتی خاک زیرین) از جمله عوامل انسانی است که وقوع زمین‌لغزش را تشدید ساخته است. اما بیشتر زمین‌لغزش‌هایی که فواصل دور از جاده‌ها رخ داده‌اند، زمین‌لغزش‌های بزرگ و قدیمی می‌باشند که متاثر از عواملی دیگر همچون حساسیت بالای سازندهای زمین‌شناسی این مناطق به همراه شیب زیاد و وجود رطوبت فراوان ناشی از بارش و ذوب برف می‌باشند. در مناطق کوهستانی، ساختار شبکه ارتباطات شامل جاده‌ها و خطوط راه آهن است، که اغلب به ناپایداری دامنه‌ای و متعاقباً زمین‌لغزش می‌انجامد (پونیم رانا و همکاران، ۲۰۱۷) و نقش موثری در وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند (گریکو^۳، ۲۰۰۷ و نفسلی اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸). که با نتایج چن و همکاران (۲۰۱۷)، تیموری (۱۳۹۷) و فیبی و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. اکثر زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه ناشی از بارش باران بوده و پراکنش زمین‌لغزش‌ها با زون‌های پرباران منطقه همبستگی بالایی دارد. به طوری که بارش‌های شدید یا مداوم با نفوذ به عمق خاک تا سطح نفوذناپذیر توده مواد دامنه‌ای پیش رفته، سپس به موازات سطح نفوذناپذیر حرکت کرده، به مرور این سطح به سطح جدایش تبدیل شده و در نهایت سبب حرکت رو به پایین توده و وقوع زمین‌لغزش می‌شود.

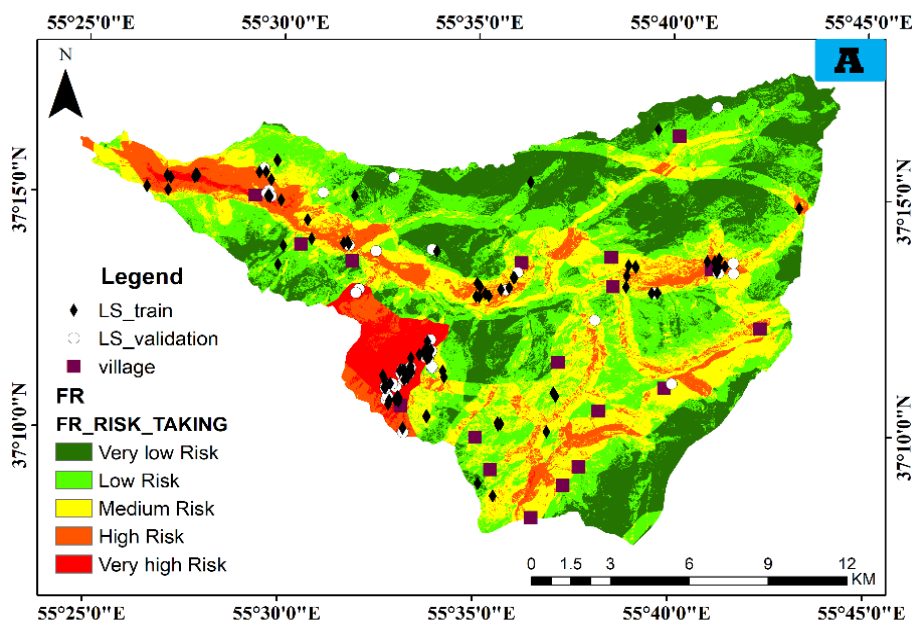
پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل نسبت فراوانی و شاخص آماری

شکل ۶، نقشه نهایی حساسیت زمین‌لغزش با روش نسبت فراوانی را نشان می‌دهد که بر طبق آن بیشتر مساحت حوضه در منطقه خطر کم و خیلی کم قرار گرفته است و این مناطق بیشتر نواحی شمالی، مرکزی و جنوبی محدوده را در بر می‌گیرد و پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد بیشتر در مناطق غربی محدوده مورد مطالعه قرار دارد. پهنه‌های با خطر متوسط به صورت رگه‌هایی در نواحی مرکزی، شرقی، جنوبی و شمال غرب پراکنده‌اند. ضمن این که قسمت‌های مرکزی نیز به صورت جزئی در منطقه خطر بالای این مخاطره قرار دارند. رده‌های خطر، مساحت و درصد لغزش در هر رده خطر در جدول ۲ ارائه شده است. ضمن این که جدول ۴ روستاهای حوضه اوغان همراه با جمعیت و پهنه خطر مربوط به مدل نسبت فراوانی و شاخص آماری را نشان می‌دهد که بر طبق آن روستاهای صفی آباد، آب پران و پای دل به ترتیب در منطقه خطر خیلی زیاد، و زیاد زمین‌لغزش قرار دارند.

۱. Feby

۲. Gorum

۳. Greco

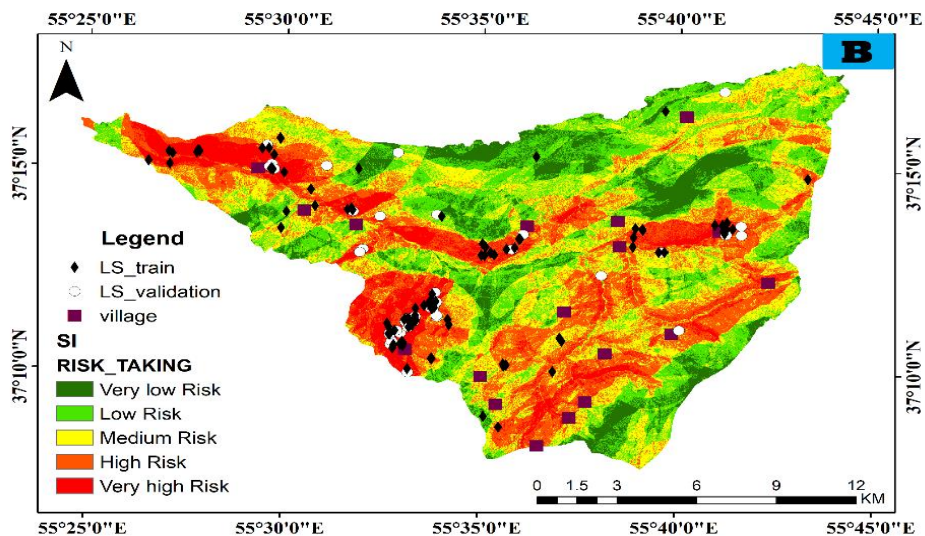


شکل ۶: نقشه حساسیت حاصل از مدل نسبت فراوانی

جدول ۲- درصد لغزش‌های رخ داده در رده‌های خطر در مدل نسبت فراوانی

مدل	رده‌های خطر	مساحت رده خطر (هکتار)	تعداد لغزش در هر رده خطر	مساحت هر رده خطر (درصد)	درصد لغزش در هر رده خطر
نسبت فراوانی	خیلی کم	۶۷۲۶,۳۸	۱	۲۵,۳۷	۰,۷۰
	کم	۹۰۱۲,۱۲	۱۵	۳۳,۹۹	۱۰,۴۹
	متوسط	۶۹۲۳,۰۲	۲۹	۲۶,۱۱	۲۰,۲۸
	زیاد	۲۷۵۶,۶۳	۳۹	۱۰,۴۰	۲۷,۲۷
	خیلی زیاد	۱۰۹۷,۹۶	۵۹	۴,۱۴	۴۱,۲۶

شکل ۷ نقشه نهایی حساسیت با روش شاخص آماری را نشان می‌دهد درصد کمتری از مساحت حوضه در منطقه خطر کم و خیلی کم قرار گرفته است و این مناطق بیشتر نواحی شمالی و به مقدار کمتر در مناطق دیگر حوضه قرار دارد و مناطق غربی در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد زمین لغزش قرار دارد. پهنه‌های با خطر متوسط در کل حوضه پراکنده‌اند و پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد به میزان خیلی کمی در نواحی شمالی و جنوب شرقی واقع شده است و در سایر نواحی قابل رویت می‌باشند. رده‌های خطر، مساحت و درصد لغزش در هر رده خطر در جدول ۳ ارائه گردید. ضمن اینکه جدول ۴ روستاهای حوضه اوغان همراه با جمعیت و پهنه خطر مربوط به مدل شاخص آماری را نشان می‌دهد که بر طبق آن روستاهای صفی‌آباد، آب‌پاران و پای‌دل در منطقه خطر خیلی زیاد زمین لغزش و روستاهای براین، فرنگ، پنو، کلاسره، اولنگ، درجن، برنج‌بن و یورت‌زینل در معرض خطر زیاد قرار دارند.

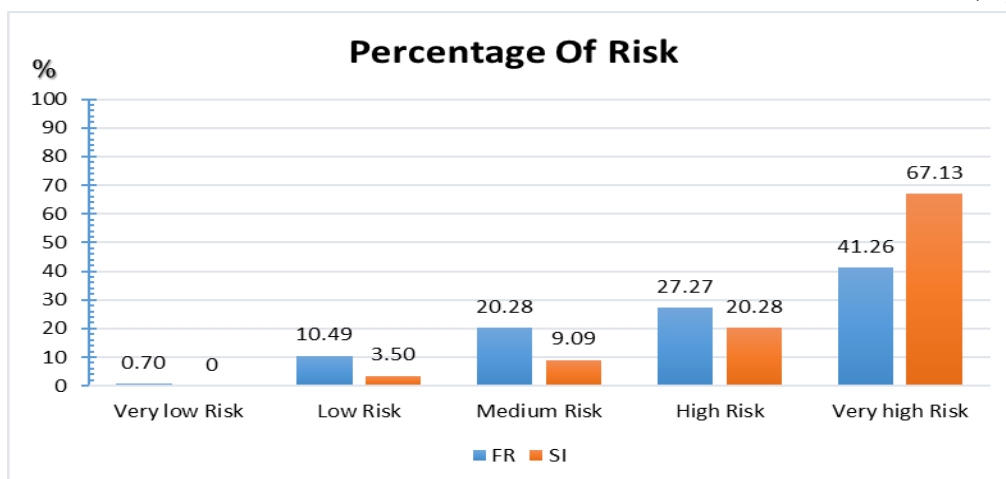


شکل ۷: نقشه حساسیت حاصل از روش شاخص آماری

جدول ۳: درصد لغزش‌های رخ داده در رده‌های خطر در مدل شاخص آماری

مدل	رده‌های خطر	مساحت هر رده خطر (هکتار)	تعداد لغزش در هر رده خطر	مساحت هر رده خطر (درصد)	درصد لغزش در هر رده خطر
شاخص آماری	خیلی کم	۲۷۹۳,۵۶	۰	۱۰,۵۴	۰
	کم	۶۴۶۳,۲۸	۵	۲۴,۳۷	۳,۵۰
	متوسط	۷۵۵۸,۶۴	۱۳	۲۸,۵۱	۹,۰۹
	زیاد	۶۶۸۹,۲۶	۲۹	۲۵,۲۳	۲۰,۲۸
	خیلی زیاد	۳۰۱۱,۳۷	۹۶	۱۱,۳۶	۶۷,۱۳

همچنین شکل ۸، درصد لغزش در ۵ رده خطر را نشان می‌دهد که در مدل شاخص آماری درصد زمین لغزش‌های بیشتری را در خود جا داده است.



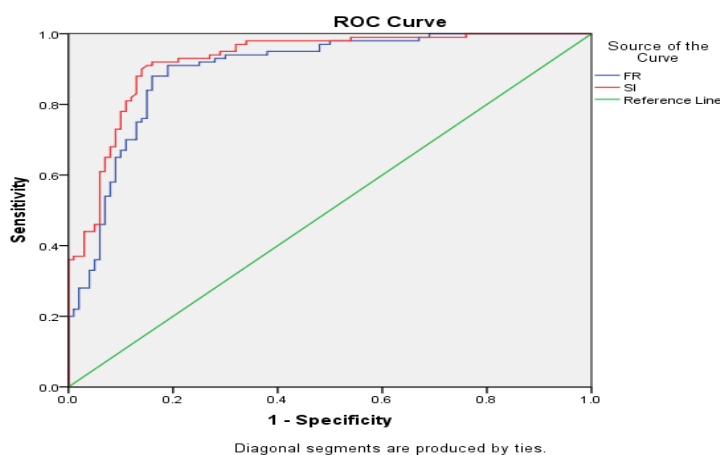
شکل ۸: نمودار ستونی پهنه‌های خطر و درصد زمین لغزش‌های موجود در ۲ مدل مورد استفاده

جدول ۴- رده‌های خطر روستاهای منطقه نسبت به زمین‌لغزش در مدل نسبت فراوانی و مدل شاخص آماری

نام آبادی	جمعیت	منطقه خطر در مدل شاخص آماری	منطقه خطر در مدل نسبت فراوانی
صفی آباد	۱۶۶۶	خطر خیلی زیاد	خطر خیلی زیاد
اب پیران	۴۶۰	خطر خیلی زیاد	خطر زیاد
سیجان	۲۰۸	خطر متوسط	خطر کم
یورت کاظم	۱۲۸	خطر خیلی کم	خطر خیلی کم
فارسیان	۵۰۰	خطر متوسط	خطر کم
کیارام	۳۹۶	خطر کم	خطر متوسط
فرنگ	۴۱۲	خطر زیاد	خطر متوسط
لیرو	۵۰۵	خطر متوسط	خطر کم
براین	۴۰۵	خطر زیاد	خطر متوسط
سایر	۴۹۸	خطر متوسط	خطر کم
اسفرانجان	۲۶۵	خطر متوسط	خطر متوسط
پی دل دل	۵۰۷	خطر خیلی زیاد	خطر زیاد
پنو	۵۳۰	خطر زیاد	خطر متوسط
کلاسره	۱۲۸۸	خطر زیاد	خطر متوسط
اولنگ	۸۳	خطر زیاد	خطر متوسط
درجن	۸۲۱	خطر زیاد	خطر متوسط
برنج بن	۷۳۱	خطر زیاد	خطر متوسط
یورت زینل	۲۵۳	خطر زیاد	خطر کم

اعتبارسنجی مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری

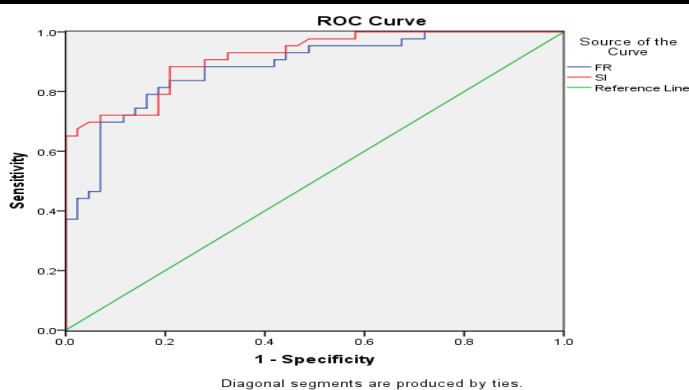
اشکال ۹ و ۱۰ و جداول ۵ و ۶ نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های پیش‌بینی مکانی زمین‌لغزش‌های سطحی منطقه مورد مطالعه را با داده‌های تعلیمی و صحت سنجی نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌شود مدل نسبت فراوانی برای داده‌های آموزشی و داده‌های صحت سنجی به ترتیب دارای سطح زیر منحنی (AUC) ۰/۸۹۶ و ۰/۸۸۲ می‌باشد که نشان می‌دهد این مدل دارای عملکرد بسیار خوب در ارزیابی حساسیت می‌باشد. همچنین سطح زیر منحنی (AUC) برای داده‌های آموزشی و داده‌های صحت سنجی در مدل شاخص آماری به ترتیب برابر است با: ۰/۹۲۵ و ۰/۹۱۶ که نشان‌دهنده عملکرد عالی مدل شاخص آماری در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش می‌باشد.



شکل ۹: منحنی نرخ موفقیت نقشه‌های خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری

جدول ۵: سطح زیر منحنی نرخ موفقیت به همراه خطای استاندارد و سطح اطمینان حاصل از آن

Test	Result Variable(s)	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
dimension0	FR	.896	.023	.000	.852	.941
	SI	.925	.019	.000	.888	.961



شکل ۱۰- منحنی نرخ پیش‌بینی نقشه‌های خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری

جدول ۶- سطح زیر منحنی نرخ پیش‌بینی به همراه خطای استاندارد و سطح اطمینان حاصل از آن

Test	Result Variable(s)	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
dimension0	FR	.882	.036	.000	.811	.952
	SI	.916	.028	.000	.860	.971

نتیجه‌گیری

با توجه به پژوهش صورت گرفته و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان، همچنین فعالیت‌های عمرانی به خصوص جاده‌سازی و احداث و وجود اماکن روستایی متعدد در حوضه پیشنهاد می‌گردد قبل از انجام پروژه‌های مذکور از نقشه‌های خطر وقوع زمین‌لغزش استفاده شده تا نقاط و پهنه‌های لغزشی در نظر گرفته شود.

با شناسایی نقاط حادثه‌خیز و خطرات موجود در آن‌ها و همچنین بررسی‌های میدانی راهکارهای مطمئن‌تر و واقع بینانه‌تری در خصوص کاهش ریسک مخاطرات مرتبط با زمین‌لغزش می‌توان ارائه نمود. ثبت محل دقیق نقاط متاثر از پدیده‌های زمین‌لغزش با توجه به شرایط محیطی منطقه می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی از نظر صرف هزینه و زمان موثر واقع شود. بر اساس نتایج به دست آمده دو عامل زمین‌شناسی و بارندگی بیشترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه دارند. همچنین با بررسی‌های که بر روی داده‌های میدانی و نتایج حاصل از روش‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری به عمل آمد، ملاحظه گردید که پهنه‌های حساس لغزشی به دست آمده با روش شاخص آماری انطباق و همخوانی بیشتری نسبت به روش نسبت فراوانی دارد. در روش نسبت فراوانی ۶۹ درصد از مساحت حوضه آبخیز اوغان (بیشتر مساحت) در پهنه‌های خطر خیلی کم، کم زمین‌لغزش قرار دارند که ۲۱/۶ درصد از جمعیت کل حوضه را در بر می‌گیرد و بقیه مساحت حوضه در پهنه خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد و در مدل شاخص آماری ۳۴/۹۱ درصد از مساحت حوضه

در پهنه خطر خیلی کم و کم زمین لغزش واقع شده است و بیشتر مساحت حوضه در پهنه خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارند و ۵/۴۲ درصد جمعیت حوضه در پهنه خطر خیلی کم و کم قرار دارند و بیشتر جمعیت حوضه در پهنه‌های متوسط، زیاد و خیلی زیاد زندگی می‌کنند. نتایج اعتبار سنجی نشان می‌دهد که سطح زیر منحنی ROC برای داده‌های آموزشی و صحت‌سنجی در مدل شاخص آماری اندکی بیشتر، در محدوده عالی می‌باشد که گویای این مطلب است که روش شاخص آماری دارای ضریب اعتماد بالاتر و عملکرد نسبی بهتری نسبت به روش نسبت فراوانی می‌باشد.

منابع

- اداره کل منابع طبیعی استان گلستان (مدیریت آبخیزداری)، ۱۳۸۸. مطالعات سازه‌های کنترل سیل و رسوب حوضه آبخیز اوغان-گالیکش، شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، مطالعات پایه.
- تیموری یانسری، ز.، پورقاسمی، ح. ر.، حسین زاده، س. ر.، کاویان، ع.، ۱۳۹۵. ارزیابی کارایی مدل شاخص آماری در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، سی و پنجمین گرد همایی علوم زمین.
- تیموری یانسری، ز.، حسین زاده، س. ر.، کاویان، ع.، و پور قاسمی، ح. ر.، ۱۳۹۵. تعیین پهنه‌های حساس به وقوع لغزش با استفاده از روش آنترپوی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چهار دانگه- استان مازندران)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۲، صص ۲۰۴-۱۸۳.
- تیموری یانسری، ز.، ۱۳۹۷. مطالعه حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز چهاردانگه با تاکید بر مقایسه تطبیقی روش‌های ارزیابی، رساله دکتری به راهنمایی سید رضا حسین زاده، دانشگاه فردوسی مشهد.
- جباری، ا.، میرنظری، ج.، ۱۳۸۶. پهنه بندی رویداد زمین لغزش در حوضه آبریز پشت تنگ شهرستان سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹.
- زارع، ن.، حسینی، س. ع.، حقیقی، م. ک.، نجفی، ا.، مجنونیان، پ.، . پهنه‌بندی حساسیت به وقوع زمین لغزش با روش نسبت فراوانی (مطالعه موردی: جنگل تحت مدیریت صنایع چوب و کاغذ مازندران)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز سال دهم، شماره ۲۰.
- سالنامه آماری استان گلستان، ۱۳۹۵.
- شیرزادی، ع. ا.، سلیمانی، ک.، حبیب نژاد روشن بها، م.، کاویانی، ع. ا.، .، چپی، ک.، ۱۳۹۶. معرفی یک مدل جدید ترکیبی الگوریتم مینا به منظور پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش‌های سطحی اطراف شهر بیجار. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۴۶، صص ۲۴۶-۲۲۵.
- شیرانی، ک.، عامری، ع. ر.، ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۱۹ شماره ۷۲، صص ۳۳۴-۳۲۱.
- عابدینی، م.، فتحی، م. ح.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، بهار، صص ۸۵-۷۱.
- عرب عامری، ع. ر.، شیرانی، ک.، رضایی، خ.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین لغزش با روش‌های دمپستر شیفر و نسبت فراوانی در حوضه سرخون کارون. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۴، شماره سوم، صص ۵۷-۴۱.
- غلامی کلاته، غ. ر.، کردوانی، پ.، رنجبر، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۶، صص ۶۶-۴۷.
- قاسمیان، ب.، عابدینی، م.، روستایی، ش.، شیرزادی، ع. ا.، .، ۱۳۹۷. بررسی مقایسه‌ای مدل‌های ماشین پشتیبان بردار و لجستیک درختی برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش- مطالعه موردی: شهرستان کامیاران، استان کردستان، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال یازدهم، شماره ۳۹، صص ۶۸-۴۷.

- کر نژادی، آ، اونق، م، پورقاسمی، ح.ر، بهره مند، ع.ر، معتمدی، م، ۱۳۹۹. پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ترکیبی فاصله ماهالانویس و یادگیری ماشین (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اوغان، استان گلستان)، مجله پژوهش‌های دانش زمین، پیاپی ۴۲، صص ۱۸-۱.
- وزارت جهاد و کشاورزی، ۱۳۸۳. طرح تفصیلی اجرایی آبخیز چهل‌چای، جلد اول، مطالعات پایه بخش زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، شرکت خدمات مهندسی مشاور گلستان، صص ۱۷-۲۲.
- همتی، ف، حجازی، س.ا، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در حوضه آبخیز لواسانات. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۴۵، صص ۲۴-۷.
- Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V., Bendaoud, E.A., 2017. Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. *Arabian J.Geosci.* 10(8),194.
- Achu, A.L., Aju, C.D., Reghunath, R., 2020. Spatial modelling of shallow landslide susceptibility: a study from the southern Western Ghats region of Kerala, India. *Annals of GIS* 26 (2), 113–131.
- Bai, S., Lü, G., Wang, J., Zhou, P., Ding, L., 2011, GIS-based rare events logistic regression for landslidesusceptibility mapping of Lianyungang, China. *J. Envir nmental Earth Sciences*, 62, 139-149.
- Basu, T. and Pal, S. 2017. Identification of landslide susceptibility zones in Gish River basin, West Bengal, India. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*,1, 1-15.
- Feby, B., Achu, A.L., Jimnisha , K., Ayisha, V.B., , Reghunath, R., 2020. Landslide susceptibility modelling using intergrated evidential belief function based logistic regression method: A study from Southern Western Ghats, India., *Remote Sensing Applications: Society and Environment*20.
- Bonham-Carter; G.F., 1994. *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS.* In: Bonham-Carter F (ed) *Computer methods in the geosciences*, Pergamon, Oxford, 398.
- Chen W, Pourghasemi H.R., Zhao, Z., 2017. A GISbased comparative study of Dempster-Shafer, logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility mapping. *Geocarto International*, 32(4), 367-385
- Chen, W., Li, Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., Hong, H., 2019. Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve Bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. *Science of the Total Environment*.
- Chen, X, Chen,W, 2021, GIS-based landslide susceptibility assessment using optimized hybrid mechine learning methods, *Catena*,196.
- -Chung, C.F., Fabbri, A., 2003. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Nat Hazard* 30:451–472.
- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., Sdao, F., 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena*, 113, 236-250.
- Feby, B., Achu, A.L., jimnisha, K., Ayisha, V.A., Reghunath, R., 2020. Land slide susceptibility modelling using integrated evidential belief function based logistic regression method: a study from southern western Ghats, India, *remote sensing applications: society and environment*,20.
- Greco, R., Sorriso-Valvo, R.M, Catalano, E., 2007. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movements susceptibility: The Aspromonte case study, Calabria, Italy. *J. Eng. Geology* 89: 47-66.
- Gorum, T., Fan, X., van Westen, C.J., Huang, R.Q., Xu, Q., Tang, C., Wang, G., 2011. Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008

- Wenchuan earthquake. *Geomorphology* 133 (3–4), 152–167. Elisseeff, A., 2003. *An introduction to variable and feature selection. J. Mach. Learn. Res.* 3 (Mar), 1157–1182.
- Guo, C., Montgomery, D. R., Zhang, Y., Wang, K., Yang, Z., 2015. *Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China. Geomorphology*, 248, 93-110.
 - Hong, H. and Xu, C. and Chen, W., 2017. *Providing a Landslide Susceptibility Map in Nancheng County, China, by Implementing Support Vector Machines. Geographic Information System*, 6(1A), 1-13.
 - Khan, h., shafique, m.,A, Khan, M.,A. Bacha, M., U. Shah, S., and Calligaris, C., 2018. *Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. The Egyption Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 22, 11-24.
 - Komac, M., 2006, *A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, Geomorphology*, No. 74, 17-28.
 - Lee, S., 2004. *Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. Environ. Manag.* 34, 223–232.
 - Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., & Reichenbach, P., 2004. *Landslide inventories and their statistical properties. Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6), 687-711
 - Meten, M., PrakashBhandary, N. and Yatabe, R., 2015. *Effect of Landslide Factor Combinations on the Prediction Accuracy of Landslide Susceptibility Maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia: Geoenvironmental Disasters*, v. 2, p. 1-17.
 - Nefeslioglu, H., Gokceoglu, C., Sonmez, H., 2008. *An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. Eng. Geol.* 97, 171–191.
 - Pike, R.J., 2000. *Geomorphology - Diversity in quantitative surface analysis, Progress in Physical Geography*, No. 24, 1-20.
 - Pirasteh, S., Li, J., 2017. *a Probabilistic frequency ratio (PFR) model for quality improvement of landslides susceptibility mapping from LiDAR point clouds; Geo environmental Disaster J.* 4–19,
 - Poonam Rana, N., Bisht, P., Bagri, D.S., Wasson, R.J., Sundriyal, Y., 2017. *Identification of landslide-prone zones in the geomorphically and climatically sensitive Mandakini valley, (central Himalaya), for disaster governance using the Weights of Evidence method. Geomorphology* 284, 41–
 - Pradhan, B., Lee, S., 2010. *Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis:back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling, Environmental Modelling & Software*, No. 25, 747-759.
 - Pourghasemi, H. R., Mohammady, M., Pradhan, B., 2012. *Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. Catena*, 97, 71-84.
 - Pourghasemi, H. R., & Rossi, M., 2016. *Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, north of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods. Theoretical and Applied Climatology*, 1-25.
 - Regmi, A. D., Devkota, K. Ch., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., Kumamoto, T., Akgun, A., 2014. *"Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya". Arabian Journal of Geoscience* 7, 725–742.
 - Sinthauli Silalahi , F.E., Yukni Arifianti, P., Hidayat, F., 2019. *Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model in Bogor, West Java, Indonesia, Geoscience Letters*,6.
 - Swets, J.A., 1988. *Measuring the accuracy of diagnostic system. Science.* 240, 1285-1293.

- Thanh, D.Q., Nguyen, D.H., Prakash, I., Jaafari, A., Nguyen, V.T., 2019. GIS based frequency ratio method for Landslide susceptibility mapping at Da Lat City, Lam Dong province, Vietnam, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 42(1), 55-66.
- Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O.B., 2012. Landslide susceptibility mapping at HoaBinh province (Vietnam) using an adaptive neuro fuzzy inference system and Gis. *Computers & Geosciences*, 45, 199-211.
- Tien Bui, D., Tran Anh, T., Klempe, H., Pradhan, B., Revhaug, I., 2015. Spatial Prediction Models for Shallow Landslide Hazards: A Comparative Assessment of the Efficacy of Support Vector Machines, Artificial Neural Networks, kernel Logistic Regression, and Logistic Model Tree, *Landslides*
- Wang, Q., Wang, D., Huang, Y., Wang, Z., 2015. Landslide susceptibility mapping based on selected optimal combination of landslide predisposing factors in a large catchment, *Sustainability*, Vol. 7, 16653-16669.
- Wang, Q., Li, W., Wu, Y., Pei, Y., Xie, P., 2016. Application of statistical index and index of entropy methods to landslide susceptibility assessment in Gongliu (Xinjiang, China). *Environmental Earth Sciences*, 75(7), 599.
- Zhou, S. Fang, L., 2015. Support vector machine modeling of earthquake-induced landslides susceptibility in central part of Sichuan province, China, *Geo environmental Disasters*, Vol. 2(2), 234-243.