



مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مرکز تحقیقات، آموزش و توسعه کشاورزی

بررسی عامل‌های مؤثر بر رخدادهای زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن با استفاده از مدل دمپستر - شفر در آبخیز مزلقان چای میانی، استان مرکزی

سهیلا روشن‌ضمیر

مربی گروه جغرافیا دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

آبخیز مزلقان چای میانی در غرب شهرستان ساوه است. فعالیت گسل‌ها و وجود سنگ‌های حساس، شرایط مطلوبی را برای رخداد زمین‌لغزش‌های کوچک و بزرگ فراهم آورده است. یکی از راهکارهای مهم برای کاهش زیان‌های ناشی از رخداد زمین‌لغزش‌ها، دوری جستن از مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد است. از این رو، لازم است تا نقشه نسبتاً دقیقی از پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش از بین روش‌های موجود تهیه شود. یکی از بهترین روش‌ها برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش مدل دمپستر-شفر است. هدف از این پژوهش تعیین عامل‌های مؤثر در رخداد زمین‌لغزش و پیشنهاد نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش دمپستر-شفر و ارزیابی آن با استفاده از سطح زیر منحنی (AUC) بود.

مواد و روش‌ها

آبخیز مزلقان چای میانی با مساحت ۲۱۷۴۶ هکتار در استان مرکزی است. بیشترین بلندی در این آبخیز ۲۸۳۳ متر از سطح دریا در بلندی‌های شمالی آبخیز و کمترین بلندی در این آبخیز ۱۳۹۹ متر در محل خروجی رود بیوران است. میانگین دمای سالانه منطقه مطالعه شده 13°C است و میانگین بارش سالانه از ۲۴۶ میلی‌متر در جنوب تا ۵۰۰ میلی‌متر در شمال متغیر است. اقلیم منطقه خشک و نیمه‌خشک است. ۵۲٪ از خاک‌های منطقه مطالعه شده در رده خاک‌های انتی‌سول و بدون تکامل پروفیلی است و ۳۷٪ پوشش گیاهی شامل مراتع متوسط و ضعیف است. ابتدا، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعه شده با استفاده از کارهای میدانی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس، با استفاده از کارهای میدانی و بررسی‌های انجام شده، مهمترین عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعه شده شامل شیب، جهت، بلندی، فاصله تا گسل، فاصله تا جاده، فاصله از آبراهه، کاربری زمین، سنگ‌شناسی و بارش بررسی و تعیین شدند.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s_roshanzamir@pnu.ac.ir

استناد: روشن‌ضمیر، س. ۱۴۰۴. بررسی عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن با استفاده از مدل دمپستر-شفر در آبخیز مزلقان چای میانی، استان مرکزی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۱): ۱۲۷-۱۱۳.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2023.360607.1502

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۴۶، بهار ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۱۳ تا ۱۲۷.

©نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و وزن‌دهی در GIS، نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش با استفاده از روش دمپستر-شفر تهیه و طبقه‌بندی شد. سرانجام، کارایی روش دمپستر-شفر با استفاده از سطح زیر منحنی (AUC) ارزیابی شد.

نتایج و بحث

بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش در واحدهای سنگ آهک فسیل‌دار و تناوب خاکستر آتشفشانی سنگ‌شده و گدازه مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله بیش از ۱۰۰ متری از آبراهه‌ها و در فاصله‌های بیش از ۲۰۰ متر از جاده و گسل‌ها رخ داده‌اند. شیب‌های بیشتر از ۴۰٪، نسبت به رخداد زمین‌لغزش بیشترین حساسیت را دارند. بیشترین اندازه زمین‌لغزش در آبخیز مطالعه‌شده مربوط به جهت شیب شمالی، طبقه بلندی بیش از ۲۶۰۰ متر و بارش بیشتر از ۴۵۰ میلی‌متر بود. نتایج پهنه‌بندی با استفاده از مدل دمپستر-شفر نشان داد که ۲۲٪ از منطقه در پهنه‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد بود و ۷۵٪ زمین‌لغزش‌ها در پهنه‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد رخ داده‌اند. اندازه سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش نیز ۰/۸۴۹ به دست آمد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش نقاط زمین‌لغزش با استفاده از دستگاه جی پی اس به‌طور دقیق شناسایی شد. از این‌رو، نقشه پراکنش ۱۹۲ زمین‌لغزش تهیه شد و برای اولین بار در منطقه مطالعه‌شده، بررسی و ثبت شد. از میان واحدهای سنگ‌شناسی، بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش مربوط به واحدهای سنگ آهک فسیل‌دار و تناوب خاکستر آتشفشانی سنگ‌شده و گدازه بود و پهنه‌های حساسیت زمین‌لغزش در ارتباط کامل با ساختارهای زمین‌شناسی منطقه بود. پیشنهاد می‌شود که این مدل با دیگر مدل‌ها مقایسه شود و نتایج این پژوهش به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای برای مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی استفاده شود.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی حساسیت به رخداد زمین‌لغزش، عامل‌های مؤثر به زمین‌لغزش، مدل دمپستر-شفر، مزلقان چای‌میانی

مقدمه

زمین‌لغزش برای این مناطق از میان روش‌های موجود، تهیه شود. در راستای به‌کارگیری مدل دمپستر-شفر و مقایسه آن با مدل‌های دیگر و پهنه‌بندی زمین‌لغزش تاکنون پژوهش‌های پرشماری انجام شده است. شیرانی و همکاران (۲۰۱۸) پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش در آبخیز سرخون زاگرس را با استفاده از دو مدل احتمالاتی دمپستر-شفر و شاخص آنتروپی شانون و ۱۰ عامل مؤثر بر لغزش، انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که عامل کاربری زمین از میان عامل‌های استفاده‌شده، مهمترین عامل بود و کارآمدی مدل شاخص آنتروپی شانون در مقایسه با مدل دمپستر-شفر در پهنه‌بندی حساسیت نسبت به لغزش بیشتر بود. یوسف و همکاران (۲۰۱۶)، برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از مدل‌های نسبت فراوانی، وزن شاهد، شاخص آنتروپی و دمپستر-شفر استفاده کردند. نرخ پیش‌بینی به‌ترتیب

زمین‌لغزش به‌عنوان یک فرایند فرسایشی با پایین افتادن و یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها مشخص می‌شود که سرعت عملکرد و گستردگی آنها گاهی پدیده‌های فاجعه‌بار به‌وجود می‌آورد (محمودی ۲۰۰۷). پهنه‌بندی خطر شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی و بالقوه خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش بر روی شیب دامنه‌ها است (شریعت‌جعفری ۱۹۹۶) و این نمونه‌ای از اقدام‌های پایه در زمینه ارزیابی خطرات و زیان‌های ناشی از سوانح طبیعی است که می‌تواند مبنایی برای شناخت اندازه خطر زمین‌لغزش به منظور برنامه‌ریزی‌های بلندمدت عمرانی باشد. یکی از راهکارهای مهم برای کاهش زیان‌های ناشی از رخداد زمین‌لغزش‌ها، دوری جستن از این مناطق است. از این‌رو، لازم است تا نقشه نسبتاً دقیقی از پهنه‌بندی حساسیت

۲۹٪/۳۳ از مساحت (۵۴۸۶۴۹) در رده کم و ۲۳٪/۹۶ از مساحت (۴۴۸۲۴۷) در رده خیلی کم بود. مدل با استفاده از یک سوم نقاط لغزشی، نسبت فراوانی^۳(FR)، شاخص سطح سلول هسته^۴(SCAI) و منحنی ROC، ارزیابی و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد، نسبت فراوانی پیکسل‌ها (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) نشان‌دهنده صحت مناسب طبقه‌بندی در پنج طبقه حساسیت بود. همچنین، دقت منحنی مشخصه عملگر نسبی (ROC) مدل دمپستر شفر با سطح زیر منحنی (AUC) ۰/۷۳٪، نشان‌دهنده ارزیابی خوب مدل و همبستگی زیاد میان نقشه حساسیت تهیه‌شده و نقشه پراکنش زمین لغزش بود. در این راستا، هدف این پژوهش بررسی عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین به آن با استفاده از روش دمپستر-شفر در مزلقان چای میانی بود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه‌شده

آبخیز مزلقان چای میانی با مساحت ۲۱۷۴۶ هکتار در استان مرکزی شامل آبخیزهای بیوران و اردمین و سه آبخیز کوچک در حد فاصل طول‌های ۷۵' ۴۹° تا ۹۱' ۴۹° شرقی و در عرض‌های ۰۶' ۳۵° تا ۲۷' ۳۵° شمالی است. مزلقان چای میانی در غرب شهرستان ساوه در استان مرکزی است (شکل ۱). بیشترین بلندی در این آبخیز ۲۸۳۳ متر از سطح دریا در کوه تخت در بلندی‌های شمالی آبخیز و کمترین بلندی در این آبخیز ۱۳۹۹ متر در محل خروجی رود بیوران است. رودهای بیوران و اردمین از بلندی‌های شمالی آبخیز سرچشمه می‌گیرند و پس از مسافتی در جهت جنوب به رود مزلقان می‌پیوندند. بخش کوهستانی مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و طبقات آهک‌رس الیگوسن را در برمی‌گیرد و زمین‌های کم شیب‌تر و تپه‌ماهوری شامل جوش سنگ پلیوسن و نهشته‌های دوران چهارم می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه مطالعه‌شده ۱۳ °C است و میانگین بارش سالانه

۱۹۵، ۹۵۲، ۹۴۶، و ۹۳۴. به‌دست آمد. چن و همکاران (۲۰۱۶) روش‌های دمپستر شيفر، وایازی لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در استان شانکسی چین را با یکدیگر مقایسه کردند و دریافتند که بیشترین دقت (۰/۷۳/۱۹) مربوط به مدل شبکه عصبی مصنوعی بود. پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۳) حساسیت‌پذیری زمین لغزش در آبخیز هراز را با استفاده از دو مدل دمپستر شفر و وزن شاهد و بهره‌گیری از ۱۱ عامل مؤثر بر رخداد زمین لغزش، ارزیابی کردند. اندازه منحنی مشخصه عملگر نسبی^۱ (ROC) برای دمپستر- شفر و وزن شاهد به ترتیب ۷۲٪/۸۷ و ۷۹٪/۸۷ به‌دست آمد که نشان‌دهنده دقت بیشتر وزن شاهد در مقایسه با روش دمپستر- شفر بود. در پژوهشی، وانگ و همکاران (۲۰۱۶) نقشه حساسیت‌پذیری زمین لغزش به‌دست آمده از دو مدل دمپستر- شفر و وزن شاهد را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج ارزیابی سطح زیر منحنی^۲ (AUC) نشان داد که صحت پیش‌بینی نقشه حساسیت‌پذیری براساس مدل شفر ۸۰٪/۰۹ و برای وزن شاهد ۷۹٪/۷۹ بود. بر این اساس اندازه دقت برای هر دو مدل به ترتیب ۸۰٪/۱۹ و ۸۰٪/۷۵ به‌دست آمد. حسین‌پور میلاداران و همکاران (۲۰۱۶) نبودن اطمینان در پیش‌بینی رخداد زمین لغزش را با استفاده از نظریه دمپستر- شفر بررسی کردند و دریافتند که ۶۵٪ زمین لغزش‌ها در طبقه حساسیت خیلی زیاد رخداد داده‌اند. همچنین اندازه سطح زیر منحنی ۰/۷۴ به‌دست آمد. در آبخیز ونک استان اصفهان، عرب‌عامری و شیرانی (۲۰۱۶)، پژوهشی بر اساس تلفیق نقشه زمین لغزش با نقشه‌های عامل‌های مؤثر مانند اندازه شیب، فاصله از جاده، تراکم آبراهه، بلندی، بارش، کاربری زمین، فاصله از گسل، جهت شیب و سنگ‌شناسی انجام دادند و احتمال رخداد زمین لغزش‌ها را از حساسیت خیلی زیاد تا حساسیت خیلی کم طبقه‌بندی کردند. از کل مساحت منطقه، (۱۸۷۰۵۱۶) ۱۲٪/۶۸ از مساحت (۲۳۷۲۵۹) در رده خیلی زیاد، ۱۲٪/۷۸ از مساحت (۲۳۹۰۴۵) در رده زیاد، ۲۱٪/۲۴ از مساحت (۳۹۷۳۱۶) در رده متوسط،

3- Frequency Ratio

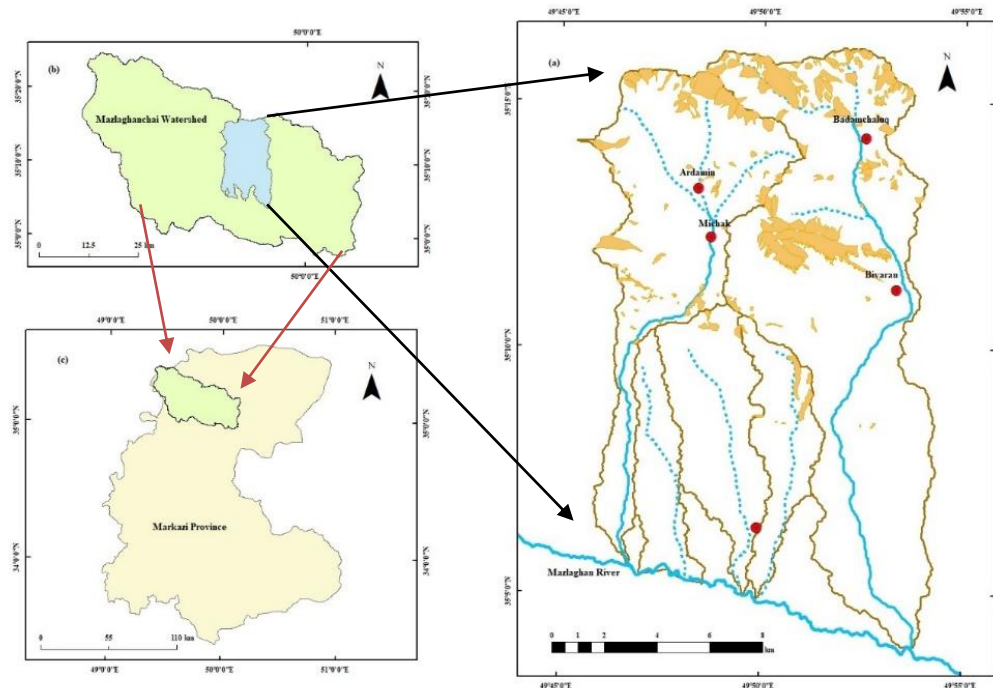
4- Seed Cell Area Index

1- Receiver Operating Characteristic Curve

2- Area Under Curve

با میان لایه‌های آهک‌رس در بلندی بیش از ۲۰۰۰ متر در یک پستی و بلندی ناهموار، شرایط مطلوبی را برای وقوع زمین‌لغزش‌های کوچک و بزرگ فراهم کرده‌است. (روشن ضمیر ۲۰۰۸). بطوریکه رخداد پدیده زمین‌لغزش موجب تخریب دامنه‌ها و انتقال رسوبات به کف دره‌ها و آبراهه‌ها (شکل ۲) و جابه‌جایی جاده‌ها و تخریب باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی شده است (شکل ۳).

از ۲۴۶ میلی‌متر در جنوب تا ۵۰۰ میلی‌متر در شمال متغیر است. اقلیم منطقه خشک و نیمه‌خشک است. ۵۲٪ از خاک‌های منطقه مطالعه‌شده در رده خاک‌های انتی‌سول و بدون تکامل پروفیلی است و ۳۷٪ پوشش گیاهی شامل مراتع متوسط و ضعیف است (روشن‌ضمیر ۲۰۰۸). قرار گرفتن این آبخیز در منطقه سنندج_سیرجان و فعالیت گسل‌های راندگی و راستگرد و وجود پلمه سنگ، ماسه سنگ، جوش سنگ و توده‌های آهکی



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مطالعه‌شده و پراکنش زمین‌لغزش.

Figure 1- Geographical location of the studied area and spatial distribution of landslides.

روش پژوهش

استفاده از منابع اطلاعاتی مانند تفسیر عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای گوگل‌ارث و نقشه‌های پستی و بلندی، مناطق مستعد رخداد زمین‌لغزش شناسایی شد. سپس بوسیله بازدیدهای میدانی و ثبت موقعیت آنها به‌وسیله دستگاه GPS، نقشه رقومی پراکنش زمین‌لغزش‌ها شامل ۱۹۲ پهنه لغزشی در گستردگی ۱۶۸۰ هکتار در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد (شکل ۳). در نواحی سنگلاخی شمال منطقه، بیشتر ریزش و جریان واریزه‌ای و در بخش‌های با بلندی کمتر با پوشش خاک، عمدتاً

معیارها و لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در این پژوهش عبارت از سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، بلندی، کاربری زمین، فاصله از جاده، بارش و فاصله از آبراهه بود که در محیط نرم افزار Arc GIS 10.8 تهیه شدند. سپس با استفاده از روابط حاکم بر مدل مپستر-سفر مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن بررسی شد. ابتدا، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها از طریق بررسی‌های کتابخانه‌ای و بازدیدهای میدانی تهیه شد. در بررسی‌های کتابخانه‌ای با

۱۷۰۰، ۲۰۰۰-۲۳۰۰، ۲۳۰۰-۲۶۰۰ و بیشتر از ۲۶۰۰ متر طبقه‌بندی شد. کاربری زمین یکی از شاخص‌های اصلی در بررسی پایداری دامنه‌ها و پهنه‌بندی حساسیت آن‌ها در یک ناحیه است. لایه اطلاعاتی کاربری زمین با استفاده از نقشه‌های پستی‌بلندی، گوگل‌ارث و بررسی‌های میدانی در هفت طبقه شامل کشاورزی دیمی، کشاورزی آبی، مرتع خوب، مرتع متوسط، مرتع ضعیف، منطقه مسکونی و بستر رود تهیه شد.

فاصله از جاده یکی از عامل‌های مهم برای زمین‌لغزش‌ها و نقشی موازی با عامل فاصله از رود دارد (یالسن ۲۰۱۱؛ عظیم‌پور مقدم ۲۰۱۵). برای رسم جاده‌ها از تصویر گوگل‌ارث استفاده شد و نقشه فاصله از جاده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در چهار طبقه ۰-۵۰، ۵۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ متر تهیه و طبقه‌بندی شد. نقشه بارش با استفاده از معادله وایزی خطی رابطه میان بلندی و اندازه میانگین سالانه بارندگی تهیه شد. این رابطه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) اعمال شد و میانگین سالانه بارش در پنج طبقه >300 ، ۳۵۰-۴۰۰، ۴۰۰-۴۵۰ و ۴۵۰-۵۰۰ میلی‌متر تهیه شد. برای تهیه نقشه فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه‌های منطقه مطالعه شده با استفاده از ابزار Hydrology در محیط نرم افزار Arc GIS 10.8 استخراج شد و در چهار طبقه ۰-۲۰، ۲۰-۵۰، ۵۰-۱۰۰ و بیشتر از ۱۰۰ متر طبقه‌بندی شد (شکل ۴). سرانجام سطح زیر منحنی مربوط به نقشه حساسیت به زمین‌لغزش ارائه شد. باید گفت طبقه‌بندی متغیرها با توجه به روند تغییرات منحنی نمودار ستونی و طبقه‌بندی‌های موجود است.

لغزش‌های انتقالی کنار رودخانه و گاهی هم لغزش‌های چرخشی مشاهده شد. نقشه سنگ‌شناسی آبخیز مورد مطالعه با استفاده از برگه زمین‌شناسی نوبران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ رقومی شد. عامل گسل که یکی از عامل‌های مهم در تعیین ناپایداری شیب‌ها و پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش است (شیرانی و همکاران ۲۰۰۶؛ مقیمی و همکاران ۲۰۰۹) با استفاده از نقشه فوق رقومی و در چهار کلاس ۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۵۰۰ و بیشتر از ۵۰۰ متر در محیط GIS طبقه‌بندی شد. شیب یکی از مهمترین و تأثیرگذارترین عامل‌ها در ارزیابی ثبات شیب است و نقش مهمی در نقشه حساسیت به لغزش دارد (کروستا و کلاگ ۲۰۰۹؛ زو و همکاران ۲۰۱۲). نقشه شیب بر اساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) سازمان نقشه‌برداری با دقت ۱۰ متر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در پنج طبقه ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و بیشتر از ۴۰٪ تهیه و طبقه‌بندی شد. جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور خورشید، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های گوناگون است (کوماک ۲۰۰۶). نقشه جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در نه جهت شمال، شمال‌شرق، شرق، جنوب‌شرق، جنوب، جنوب‌غرب، غرب، شمال‌غرب و هموار تهیه شد. تغییرات بلندی هر منطقه، به‌عنوان عامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش به‌شمار می‌آید (یلسیلناکار ۲۰۰۵). این عامل جهت رواناب‌ها و اندازه تراکم زهکشی را مهار می‌کند (عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۷). نقشه طبقات بلندی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد و به شش طبقه >1700 ، ۲۰۰۰-



شکل ۲- زمین‌لغزش‌های قدیمی در رسوبات جوش سنگ.

Figure 2- Old landslides in conglomerate deposits.



شکل ۳- زمین‌لغزش‌های فعال در رسوبات دوران چهارم در بادام چالوق.
Figure 3- Active landslides in Quaternary sediments in Badamchaluq.

نظریه دمپستر - شفر

دمپستر این نظریه را در سال ۱۹۶۷ به کار برد. و شفر ساختار ریاضی این نظریه را در سال ۱۹۷۶ تشریح کرد. این نظریه تعمیمی از نظریه بیزین که مبتنی بر احتمالات است می‌باشد (مرادی و همکاران ۲۰۱۰). از آن جا که نظریه بیزین برای هر سوال نیازمند احتمالات است بنابراین توابع اعتقادی بیانگر درجات اعتقاد برای یک سوال و یا یک احتمال مربوط به آن است (صابرچناری و همکاران ۲۰۱۷).

اگر فرض شود چندین لایه پرشمار از داده‌های مکانی موجود در منطقه حساس به زمین‌لغزش باشد، هر لایه‌ای از داده‌های مکانی به صورت $E_i (i=1,2,\dots,1)$ برای تابع هدف T_p در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب E_{ij} بدست می‌آید که در این رابطه i ویژگی طبقه‌ای از E_i و دارای توزیع فراوانی از موقعیت‌ها یا ویژگی‌های مثبت و منفی در بروز زمین‌لغزش‌هاست. وزن مثبت با علامت $\lambda(T_p)E_{ij}$ نشان داده می‌شود که به صورت روابط زیر تعریف می‌شود (پارک ۲۰۱۰؛ صابرچناری و همکاران ۲۰۱۷)

$$\lambda(T_p)E_{ij} = \frac{\frac{N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(E_{ij}) - N(L \cap E_{ij})}{N(A) - N(L)}} \quad (1)$$

$$\lambda(\bar{T}_p)E_{ij} = \frac{\frac{N(L) - N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(A) - N(L) - N(E_{ij}) + N(L \cap E_{ij})}{N(A) - N(L)}} \quad (2)$$

$$m(T_p)E_{ij} = \frac{\lambda(T_p)E_{ij}}{\sum \lambda(T_p)E_{ij}} \quad (3)$$

$$m(\bar{T}_p)E_{ij} = \frac{\lambda(\bar{T}_p)E_{ij}}{\sum \lambda(\bar{T}_p)E_{ij}} \quad (4)$$

$$m(\theta) = 1 - m(T_p)E_{ij} - m(\bar{T}_p)E_{ij} \quad (5)$$

$N(A)$: تعداد کل پیکسل‌های آبخیز، $N(L)$: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی آبخیز، $N(E_{ij})$: تعداد پیکسل‌ها در هر طبقه، $N(L \cap E_{ij})$: اعداد پیکسل‌های لغزشی در هر طبقه، T_p : وضعیت هدف که در این جا مربوط به ویژگی‌های مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش است، (\bar{T}_p) : مربوط به عامل‌هایی که روی زمین‌لغزش تأثیری ندارند، $\lambda(T_p)E_{ij}$: نسبت احتمال گزاره هدف مثبت، $\lambda(\bar{T}_p)E_{ij}$: نسبت احتمال گزاره هدف منفی یا قرینه، $m(T_p)E_{ij}$: تابع باور، $m(\bar{T}_p)E_{ij}$: تابع ناباوری، $1 - m(\bar{T}_p)E_{ij}$: تابع مقبولیت است.

بر پایه روابط نامبرده تمام طبقه‌های هر عامل وزن‌دهی و نقشه‌های وزنی عامل‌ها تهیه شد و آبخیز بررسی شده به پهنه‌های گوناگون حساسیت تقسیم شد (شکل ۵).

اعتبارسنجی نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش

به منظور اعتبارسنجی نقشه زمین‌لغزش از معیار ارزیابی روش سطح زیر منحنی (AUC) استفاده شد. سطح زیر منحنی عددی است که یک جنبه از کارایی را سنجش

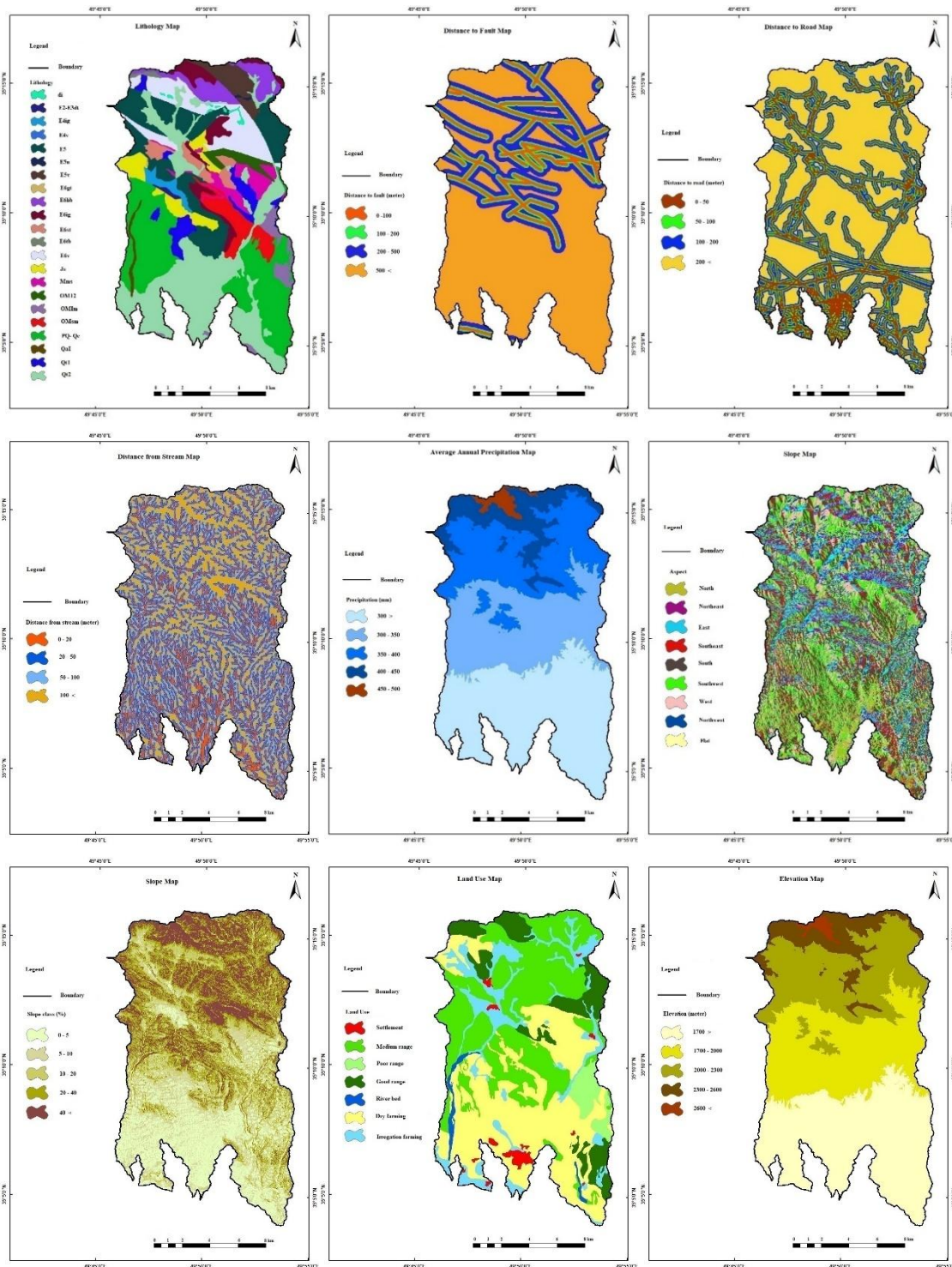
می‌کند و اندازه آن میان صفر و یک است (شکل ۶). اندازه ۰/۵ برابر پیش‌بینی تصادفی است و مقدار ۱ برابر پیش‌بینی عالی است. مطابق با طبقه‌بندی یسیلناکار (۲۰۰۵) عملکرد مدل‌ها براساس درصد سطح زیر منحنی به شرح زیر می‌باشد: صحت ضعیف (۵۰-۶۰٪)، صحت متوسط (۶۰-۷۰٪)، صحت خوب (۷۰-۸۰٪)، صحت خیلی خوب (۸۰-۹۰٪) و صحت عالی (۹۰-۱۰۰٪).

نتایج و بحث

از میان واحدهای سنگ شناسی، بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش مربوط به واحدهای سنگ آهک فسیل‌دار (OM12) و تناوب خاکستر آتشفشانی سنگ‌شده و گدازه با ترکیب اسیدی تا حد واسط (E6tb) بود. این یافته با نتایج پژوهش تقوی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۳) در آبخیز میرآباد در کوه بینالود که پهنه‌های حساسیت زمین‌لغزش در منطقه را در ارتباط کامل با ساختارهای زمین‌شناسی منطقه می‌دانستند، هم‌راستا است.

بررسی عامل خطی فاصله از آبراهه نشان داد که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله بیشتر از ۱۰۰ متر از آبراهه‌ها اتفاق رخ داده‌اند که این یافته با نتایج پژوهش‌های با

نظرات پور قاسمی و همکاران (۲۰۱۳)، دوکوتا و همکاران (۲۰۱۳)، ثروتی و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. بررسی عامل فاصله از جاده نیز نشان داد که بیشترین درصد زمین‌لغزش‌ها در فاصله بیشتر از ۲۰۰ متر از جاده رخ داده‌اند که با نتایج مطالعات پورقاسمی (۲۰۰۷) مطابقت دارد. بررسی عامل فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیشترین درصد زمین‌لغزش‌ها تا فاصله ۲۰۰ متر از گسل‌ها رخ داده‌اند. این یافته با نتایج پژوهش‌های خالدی و همکاران (۲۰۱۲) که متغیر فاصله از گسل را مهمترین عامل مؤثر در پدیده زمین‌لغزش در آبخیز طالقان معرفی کردند، مطابقت دارد. ظرفیت رخداد زمین‌لغزش‌ها ارتباط مستقیمی با مناطق پر شیب آبخیز دارد به طوری که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های بیشتر از ۴۰٪، اتفاق رخ داده‌اند که با نتایج پژوهش روستایی و جانانه (۲۰۲۰) در آبخیز بالقلوچای اردبیل که مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده و مؤثر در رخداد زمین‌لغزش را عامل شیب معرفی نمودند، مطابقت دارد. بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش در آبخیز مطالعه‌شده نیز مربوط به طبقه جهت شیب شمالی، بلندی بیشتر از ۲۶۰۰ متر و بارش بیشتر از ۴۵۰ میلی‌متر بود (جدول ۱).



شکل ۴ - نقشه عوامل مؤثر بر زمین لغزش‌های منطقه مطالعه‌شده
 Figure 4- Affective factors maps on landslides in the studied area

جدول ۱- نتایج تلفیق نقاط لغزشی با نقشه عامل های موثر در زمین لغزش.

Table 1- Obtained results from combining landslide points with affective factors map on landslide.

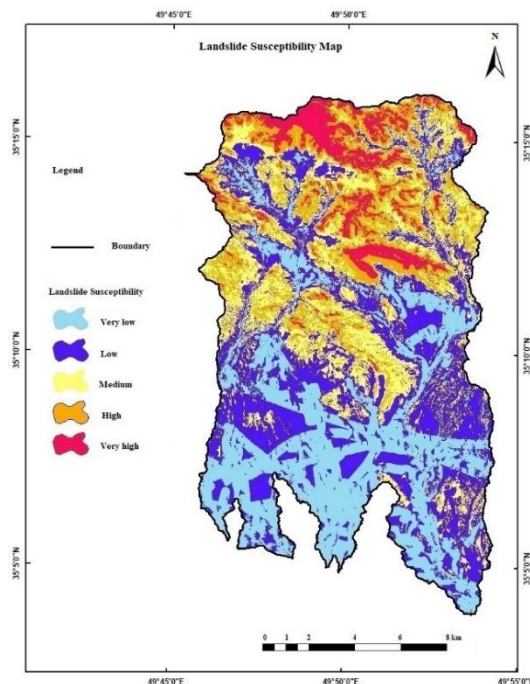
Factor	Class	Total Pixcels	Landslide Pixcels	Mtp(Believe function)	MTp(Unbelieve function)	Mteta(Uncertainty)
Lithology	OMIm	47765	0	0.000	0.046	0.954
	Pl-Q	422959	2547	0.001	0.056	0.942
	OMsm	86403	664	0.002	0.047	0.951
	Qt1	770099	210	0.002	0.047	.0952
	Qal	13573	0	0.000	0.045	0.955
	Qt2	530160	2726	0.001	0.060	0.939
	Js	82053	13921	0.043	0.043	0.914
	Mms	67727	5484	0.019	0.045	0.936
	E2-E3dt	6456	1121	0.55	0.045	0.900
	E6ig	89909	23420	0.075	0.040	.0855
	E5	291726	18243	0.014	0.047	0.939
	E6st	50635	6338	0.030	0.044	0.925
	E4ig	24816	1155	0.010	0.045	0.944
	E6gt	1066	4	0.001	0.045	0.954
	E6v	169100	14846	0.020	0.045	0.935
	OMI2	36926	23512	0.373	0.039	0.588
	di	8163	650	0.017	0.045	0.938
	E5v	66960	20860	0.096	0.040	0.863
	E5n	2043	0	0.000	0.045	0.955
	E4v	378	46	0.029	0.045	0.925
E6hb	93340	28345	0.093	0.039	0.868	
E6tb	6350	2271	0.118	0.045	0.837	
Distance to road(meter)	0 - 50	431347	13226	0.128	0.306	0.567
	50 - 100	269668	9696	0.151	0.284	0.565
	100 -200	372749	17697	0.201	0.285	0.513
	> 200	1100852	125699	0.520	0.125	0.355
Distance to fault(meter)	0 - 100	199885	29976	0.339	0.210	0.459
	100 - 200	172880	26432	0.347	0.204	0.449
	200 -500	396323	39361	0.212	0.209	0.579
	> 500	1405528	70549	0.102	0.386	0.512
Distance from river(meter)	0 - 20	531141	25424	0.139	0.281	0.580
	20 - 50	576381	29642	0.150	0.280	0.570
	50 - 100	622821	41514	0.197	0.262	0.541
	> 200	444273	69738	0.514	0.177	0.309
Aspect	North	92480	13772	0.208	0.106	0.686
	Northeast	168372	22223	0.181	0.104	0.716
	East	234137	13506	0.073	0.115	0.813
	Southeast	436364	17743	0.050	0.125	0.824
	South	449946	33523	0.096	0.112	0.793
	Southwest	368052	39801	0.144	0.101	0.755
	West	174227	16294	0.123	0.109	0.769
	Northwest	97487	9260	0.125	0.110	0.766
Average annual precipitation(mm)	Flat	153551	197	0.002	0.120	0.879
	300 >	803311	2140	0.002	0.312	0.686
	300 - 350	580351	16346	0.018	0.239	0.743
	350 - 400	517161	60634	0.083	0.156	0.761
	400 - 450	236422	68200	0.253	0.122	0.625
Slope(%)	450 - 500	37371	18989	0.644	0.170	0.185
	0 - 5	458589	1269	0.006	0.255	0.739
	5 - 10	407566	2324	0.012	0.245	0.743
	10 - 20	359518	8287	0.049	0.229	0.722
	20 - 40	528433	43362	0.186	0.193	0.621
Elevation	> 40	420510	111076	0.747	0.078	0.175
	1700 >	803311	2140	0.002	0.312	0.686
	1700 - 2000	613228	18509	0.018	0.240	0.742
	2000 -2300	547718	69238	0.083	0.146	0.771
	2300 - 2600	187090	64634	0.304	0.124	0.572
> 2600	23369	11797	0.178	0.178	0.229	

Factor	Class	Total Pixcels	Landslide Pixcels	Mtp(Believe function)	MTp(Unbelieve function)	Mteta(Uncertainty)
Landuse	Poor range	79286	124	0.004	0.149	0.847
	Medium range	737223	94022	0.395	0.091	0.513
	settlement	31080	105	0.009	0.145	0.846
	Irrigation farming	262414	7711	0.082	0.156	0.762
	Dry farming	808960	37563	0.132	0.180	0.688
	River bed	26145	223	0.023	0.145	0.832
	Good range	229508	26570	0.354	0.134	0.512

پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه مطالعه‌شده

۶/۲۰٪، ۱۷/۷۸٪، ۳۶/۴۵٪ و ۳۸/۸۲٪ بود. نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش و درصد مساحت طبقات پهنه‌های حساسیت و اندازه زمین‌لغزش رخ داده در هر یک از پهنه‌ها به ترتیب در شکل ۵ جدول ۲ نشان داده شده است.

پهنه‌بندی زمین‌لغزش نشان داد که طبقات حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲۷/۱۰۶٪، ۳۰/۱۴۵٪، ۳۰/۱۶۶٪، ۱۴/۶۲٪ و ۷/۲۱٪ از منطقه مطالعه‌شده را تشکیل می‌دهند. اندازه زمین‌لغزش رخ داده در هر یک از کلاس‌های حساسیت به ترتیب ۰/۷۵٪،



شکل ۵- نقشه پهنه بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل دمپستر-شافر در منطقه مطالعه‌شده.
Figure 5- Landslides susceptibility zonation map using Dempster-Shafer model in the studied area.

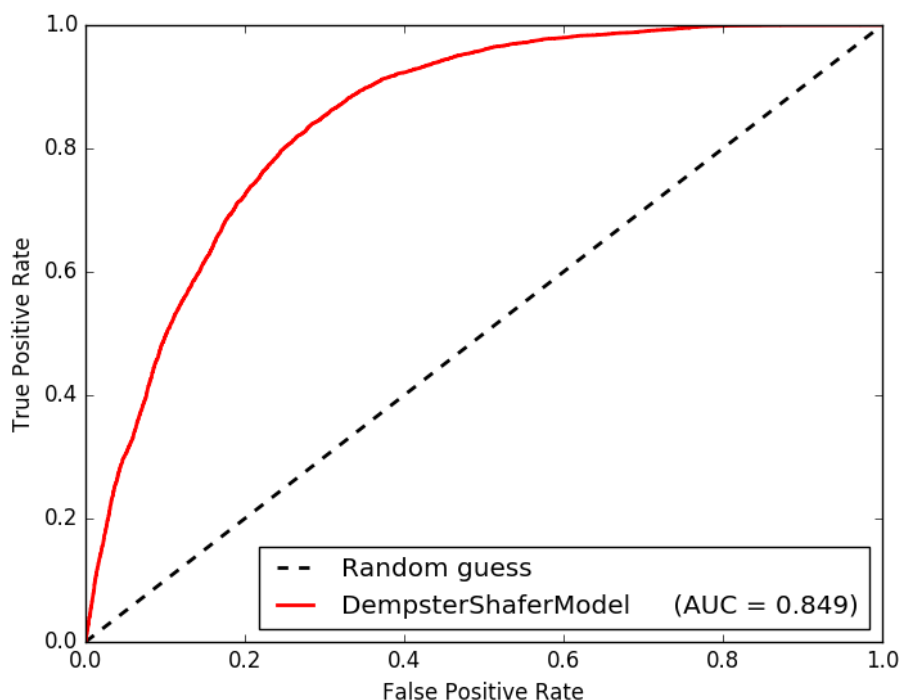
جدول ۲- مساحت طبقات پهنه بندی حساسیت لغزش با استفاده از روش دمپستر-شفر.

Table 2- Landslide susceptibility zonation classes area using Dempster-Shafer model.

Landslide (%)	Number of pixels (landslide)	Class (%)	Number of pixels (class)	Susceptibility zone
0.75	1251	27.06	588470	Very low
6.20	10319	30.45	662252	low
17.78	29564	20.66	449172	Medium
36.45	60615	14.62	317872	High
38.82	64569	7.21	156850	Very high

(جدول ۲). اندازه سطح زیر منحنی (AUC) مربوط به نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش نیز ۰/۸۴۹ به دست آمد (شکل ۶). این یافته نشان دهنده دقت قابل قبول برای تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش است.

نتایج پهنه بندی با استفاده از مدل دمپستر- شفر نشان داد که ۲۲٪ منطقه مطالعه شده در پهنه های حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار بود. همچنین، ۷۵٪ زمین لغزشها در پهنه های حساسیت زیاد و خیلی زیاد رخ داده اند



شکل ۶- سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل دمپستر- شفر در منطقه مطالعه شده.

Figure 6- The area under curve of susceptibility zonation map using Dempster-Shafer model in the studied area.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که ۷۵٪ از زمین‌لغزش‌ها در پهنه‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد بودند و برای بررسی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه مطالعه‌شده دقت مدل دمپستر-شفر مطلوب بود. بر اساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود، در مناطقی که زمین ارزش زیادی دارد و استفاده از زمین‌ها در پهنه‌های حساسیت زیاد ضروری است، قبل از هر گونه بهره‌برداری از زمین، بررسی‌های دقیق و تثبیت شیب انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود زمین‌های کشاورزی که در پهنه‌های حساسیت زیاد هستند، سامانه آبیاری و نوع کشت متناسب با نوع و درجه ناپایداری اصلاح شود. همچنین مسیر راه‌های

کوهستانی به‌شکلی طراحی شود که از مناطق پایدار عبور کند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسنده مسئول این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافی در زمینه نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارد.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

تمامی بخش‌های مقاله به‌وسیله نویسنده مسئول انجام شده است.

فهرست منابع

- Arabameri A, Shirani K. 2016. Identification of effective factors on landslide occurrence and its Hazard zonation using Dempster-Shafer theory, Case study: Vanak Basin, Isfahan Province. *Watershed Engineering and Management*. 8(1): 93-106. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.105975>
- Arabameri A, Shirani K, Rezaei K. 2017. A Comparative Assessment between weights-of-evidence and frequency ratio models for landslide Hazard zonation in Vanak Basin. *Journal of Watershed Management Research*. 8(15):147-160. (In Persian). doi:10.29252/jwmr.8.15.147
- Azimpour Moghadam V. 2015. Landslide risk zoning using bayesian and Dempster-Shafer theory (Case study: A part of Babolrud Watershed). Master's Thesis. Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources. University of Sari. 135 p (In Persian).
- Chen W, Pourghasemi HR, Zhao Z. 2016. A GIS-based comparative study of Dempster-Shafer, logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility mapping. *Geocarto International*. 32(4): 367-385 DOI:10.1080/10106049.2016.1140824
- Crosta G, Clague JJ. 2009. Dating, triggering, modeling, and Hazard assessment of large landslides. *Geomorphology*. 103(1):1-4 DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.04.007
- Devkota K, Regmi AD, Pourghasemi HR, Yoshida K, Pradhan B, Ryu CY, Dhital MR, Althuwayee OF. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, Index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural Hazards*. 65(1):135–165 DOI:10.1007/s11069-012-0347-6
- Hoseinpour Milaghardan A, Delavar M, Chehreghan A. 2016. Uncertainty in landslide occurrence prediction using Dempster–Shafer theory, model. *Earth Syst. Environ*. 2(4):1-10. DOI:10.1007/s40808-016-0240-5
- Khaledi S, Derafshi K, Mehrjounzhad A, Gharch Chahi S. 2012. Assessment of the landslide effective factors and zonation of this event using logistic regression in the GIS environment: The Taleghan Watershed Case Study. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 1(1): 65-82 (In Persian). 10.22067/geo.v1i1.16523
- Komac M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. *Geomorphology*. 74(1):17-28. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.07.005
- Mahmoudi F. 2007. Dynamic Geomorphology. Payameh Noor University. 326 p. (In Persian).
- Moghimi E, Alavipanah SK, Timuri J. 2009. Evaluation and zonation of effective factors on landslide occurrence of Aladagh northern slopes (Case study: Chenaran drainage basin in north Khorasan Province). *Geographical Research Journal*. 40(64): 53-75. (In Persian).

- Moradi HR, Mohammadi M, Pourghasemi HR, Mustafa Zadeh R. 2010. Landslide risk analysis in Golestan province using Dempster-Shafer theory. *Researches in Earth Sciences*. 1(3): 1-14
- Park NW. 2011. Application of Dempster-Shafer theory of evidence to GIS-based landslide susceptibility analysis. *Environmental Earth Science*. 62(2): 367-376. DOI:10.1007/s12665-010-0531-5
- Pourghasemi HR. 2007. Landslide risk assessment using fuzzy logic (Case study of part of Haraz Watershed). Master Thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University. 92 p. (In Persian).
- Pourghasemi HR, Moradi HR, Fatemiaghda S, Gokceoglu C, Pradhan, B. 2013. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran). *Arabian Journal of Geosciences*. 7(5): 1857-1878. DOI:10.1007/s12517-012-0825-x
- Roostaei S, Jananeh C. 2020. Slope instability hazard zonation in Baleghluchai watershed in Ardabil using AHP Fuzzy method. *The Journal of Geography and Planning*. 23(70): 169-188
- Rowshanzamir S. 2008, Research project, Investigation of effective factors on landslides in Maragheh Saveh Basin. Payame Noor University. 74 p. (In Persian).
- Saberchenari K, Soleimani H, Maryam Sadat Mirabdini MS. 2017. Landslide risk zoning using Demester-Shafer theory, Case study: Ziarat Watershed, Golestan Province. *Geological Engineering*. 11(4): 385-404. (In Persian).
- Shariat jafari M. 1996. Landslide (Basics and principles of Stability of natural slopes). Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 218p. (In Persian).
- Servati MR, Hosseinzadeh MM, Khezri S, Mansouri A. 2008, The zoning of mass movement in Sanandaj-Dehgolan road using analytical hierarchy process (AHP). *Geographical Data (SEPEHR)*. 17(68): 25-32 (In Persian).
- Shirani K, Chavoshi S, Ghayoumian J. 2006. Investigation and evaluation of landslide risk zoning methods in semirom upper Padna. *Research Journal of University of Isfahan "Science"*. 23(1): 23-38. (In Persian).
- Shirani K, Pasandi M, Arabameri A. 2018. Landslide susceptibility assessment by Dempster-Shafer and index of entropy models, Sarkhoun Basin, Southwestern Iran. *Natural Hazards*. 93(3): 1379-1418 DOI:10.1007/s11069-018-3356-2
- Taghavimoghadam E, Kalali Moghadam Z, Pourhashemi S, Motamedi Rad M. 2013, Landslide risk zoning in mirabad neyshabour basin using the method AHP in GIS invironment. 8th Conference of the Iranian Association of Engineering Geology and the Environment. 16p (In Persian).
- Wang Q, Li W, Wu Y, Pei Y, Xing M, Yang D. 2016. A comparative study on the landslide susceptibility mapping using evidential belief function and weight of evidence models. *Journal of Earth System Science*. 125(3): 646-662. DOI:10.1007/s12040-016-0686-x
- Xu C, Xu X, Dai F, Saraf AK. 2012. Comparison of different models for susceptibility mapping of earthquake triggered landslides related with the 2008 Wenchuan earthquake in China. *Computers and Geosciences*. 46: 317-329. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.01.002
- Yalcin A, Reis S, Aydinoglu A, Yomralioglu T. 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*. 85(3): 274-287.
- Yesilnacar EK. (2005). The Application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, Ph.D Thesis Department of Geomatics the University of Melbourne. 423 p.
- Youssef AM, Pourghasemi HR, El-Haddad BA, Dhahry BK. 2016. Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir region, Saudi Arabia. *Bull Eng Geol Environmental*. 75(1): 63-87. DOI:10.1007/s10064-015-0734-9



Investigation of Effective Factors on Landslide Occurrence and Susceptibility Zonation Using the Dempster-Shafer Model in the Middle Mazlaghan Chai, Markazi Province

Soheila Rowshanzamir^{ORCID}

Lecturer of Geography Department, Pyame Noor University, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Middle Mazlaghan Chai watershed located in west of Saveh county. The activity of faults and the presence of sensitive rocks have created suitable conditions for the occurrence of small and large landslides. One of the important strategies for reducing losses caused by landslides is avoiding high-risk and very high-risk areas. For this purpose, it is necessary to prepare a relatively accurate landslide susceptibility zoning map from among the existing methods. One of the best methods for landslide zonation is the Dempster-Shafer model. The purpose of this research is determination of the factors affecting the occurrence of landslide, presentation and evaluation of the landslide susceptibility zonation map using the Dempster-Shaffer method and area under curve (AUC), respectively in Middle Mazlaghan Chai.

Materials and Methods

The Middle Mazlaghan Chai watershed, with an area of 21,746 ha, is located in Markazi Province. Maximum elevation is 2833 m above sea level in the northern heights of the watershed and minimum elevation is 1399 m at the outlet of the Bivaran River. The average annual temperature of the study area is 13 °C and the average annual precipitation varies from 246 mm in the south to 500 mm in the north. The climate of the region is arid and semi-arid. 52% of the soils in the study area are in the type of entisol and without profile development, and 37% of the vegetation cover consists of moderate and poor rangeland. Initially, a landslide inventory map was prepared in environment of geographic information system using fieldworks, aerial photography and satellite imagery. Then using fieldworks and related research, the most important factors affecting landslides in the study area, including slope, aspect, elevation, distance to fault, distance to road, distance from stream, land-use, lithology and precipitation were investigated and determined.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** s_roshanzamir@pnu.ac.ir

Citation: Rowshanzamir, S. 2025. Investigation of Effective Factors on Landslide Occurrence and Susceptibility Zonation Using the Dempster-Shafer Model in the Middle Mazlaghan Chai, Markazi Province. *Watershed Management Research*. 38(1): 113-127.

DOI: 10.22092/wmrj.2023.360607.1502

Received: 16 November 2022, **Received in revised form:** 05 December 2023, **Accepted:** 21 December 2023 **Published online:** 21 March 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.1, Ser. No:146, Spring 2025, pp. 113-127.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

© Author(s)



After preparing the information layers and weighting in the GIS, a landslide susceptibility zonation map was prepared and classified using Dempster Shafer method. Finally, the efficiency of the Dempster Shafer method was evaluated using the area under curve (AUC).

Results and Discussion

Fossiliferous limestone units and tuff and lava alternations showed the highest susceptibility to landslides. The results of this research showed the most landslides occurred more than 100 m from streams and at distances greater than 200 m from the roads and faults. Slopes more than 40% are most susceptible to landslides. The northern aspect, elevation more than 2600 m, and precipitation more than 450 mm also showed the highest susceptibility to landslides in the studied area. The zoning results showed that about 22% of the study area is located in high and very high susceptibility zones and approximately 75% of landslides occurred in high and very high susceptibility zones. The area under the curve of the landslide susceptibility zonation map was also obtained 0.849.

Conclusion and Suggestions

Accurate identification of landslide locations using GPS device is one of the results obtained from this research. As a result, the landslide distribution map of 192 landslides was prepared and it was checked and recorded for the first time in the study area. Among the lithological units, fossiliferous limestone units and alternations of tuff and lava showed the highest susceptibility to landslide, and the landslide susceptibility zones are in complete relation to the geological structures of the region. It is suggested that this model be compared with other models and the results of this research will be used as basic information for environmental management and planning.

Keyword: Dempster-Shafer model, effective factors on landslide, landslide susceptibility zonation, Middle Mazlaghan Chai

Article Type: Research Article

Conflicts of interest:

The corresponding author of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' Contribution

All parts of the article were written by the corresponding author.