دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی کارایی پارامترهای کمی ژئومورفومتریک در افزایش صحت نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه فریدون شهر، استان اصفهان)

علیرضا عرب عامری[۱]، خلیل رضایی[۲] مسعود سهرابی[۳] و کورش شیرانی[۴]

۱- دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: alireza.ameri91@yahoo.com)
۲- استادیار رسوب شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
۳- کارشناس ارشد عمران، خاک و پی، بخش عمران، گروه خاک و پی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد ارومیه
۴- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۲ تاریخ پذیرش:۹۷/۲/۱

چکیده

یکی از اهداف ژئومورفولوژیست‌ها در کار با مدل‌های لندفرم‌های مختلف، بدست آوردن روابط بهتر در درک واقعیت‌های فیزیکی محیط است. در این پژوهش به ارزیابی کارایی پارامترهای ژئومورفومتریک در افزایش دقت نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش پرداخته شد. به این صورت که در ابتدا با استفاده از ۹ پارامتر اولیه موثر در رخداد زمین‌لغزش شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی گردید و در گام بعد پارامترهای ژئومورفومتریک موثر در رخداد زمین‌لغزش شامل شاخص موقعیت توپوگرافیک (TPI)، انحنای سطح، انحنای مقطع، طول شیب (LS)، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI)، شاخص توان آبراهه (SPI) و شاخص نسبت مساحت سطح (SAR) به مدل اضافه و اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی گردید و در آخرین گام صحت نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از یک مدل ترکیبی جدید استفاده گردید، بدین‌صورت که برای تعیین وزن معیارها از روش رگرسیون چند متغیره و برای تعیین وزن کلاس‌ها از روش نسبت فراوانی استفاده شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که شاخص‌های ژئومورفومتریک تأثیر به‌سزایی در افزایش دقت تشخیص مناطق حساس به زمین‌لغزش داشت و باعث افزایش صحت نقشه پهنه‌بندی از ۰/۷۳۱ به ۰/۹۳۸ گردید، همچنین قدرت تفکیک بین طبقات لغزش را نیز افزایش دادند. طبق نتایج پارامترهای شاخص موقعیت توپوگرافی، انحنای سطح و نسبت مساحت سطح بیشترین تأثیر را در افزایش صحت نقشه پهنه‌بندی داشتند. بر اساس نتایج رویکرد برتر، ۸/۶۸ درصد (۶۷۳۷ هکتار) از مساحت منطقه در رده خطر خیلی‌زیاد و ۱۵/۳۳ درصد (۱۱۹۰۶ هکتار) در رده زیاد قرار دارد. با توجه به توان بالای پارامترهای ژئومورفومتریک در تشخیص مناطق حساس به زمین‌لغزش استفاده از این پارامترها در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفومتری، صحت‌سنجی، پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، استان اصفهان

مقدمه

در ژئومورفولوژی کمی ویژگی‌های فضایی و آماری و همچنین ارتباطات ویژگی‌های نقطه ای مورد مطالعه قرار می‌گیرد (۱۹). ژئومورفومتری به عنوان یک روش مدرن با رویکرد کارتوگرافیکی- تحلیلی برای نمایش پستی و بلندی‌های سطح زمین، زیر مجموعه‌ای از ژئومورفولوژی است که دارای رویکرد اندازه گیری کمی و کیفی عوارض سطح زمین (۴۷،۳۶) و اصولا بر مبنای تجزیه و تحلیل و تنوع در ارتفاع و مشتقات آن و توابع فاصله ای بنا نهاده شده است (۴۶،۴۵). اگرچه ژئومرفومتری اغلب به عنوان یک فعالیت صحرایی با دامنه‌ای شامل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک شناسی و جغرافیا در نظر گرفته می‌شود، اما بخش قابل توجهی از آن شامل تکنیک‌های رایانه‌ای نظیر سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور است. این فناوری‌آوری جدید و نو کاربردهای بسیاری در علوم طبیعی دارد. از آن جمله می‌توان به تولید نقشه‌های خاک و پوشش گیاهی، حرکت‌های توده ای و زمین‌لغزه، مطالعات کشاورزی دقیق و غیره اشاره کرد (۱۶). گسترش سریع شهرنشینی در کنار رشد سریع جمعیت چالش‌های گسترده‌ای را برای محیط طبیعی ایجاد کرده است (۵۲). در طی فرآیند بهره‌برداری از زمین در مناطق کوهستانی، اکوسیستم حساس و شرایط پیچیده زمین در این مناطق، آن را نسبت به فجایع محیطی حساس‌تر کرده است (۱۴). زمین لغزش‌ها، در مناطق کوهستانی شایع می‌باشند (۲۴) و خسارات جدی را به اقتصاد، محیط و انسان‌ها در سراسر جهان وارد می‌کنند (۲۵). شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش جهت اجتناب از خطرات آن بسیار ضروری می‌باشد (۲۴). ارزیابی پتانسیل مناطق نسبت به زمین‌لغزش از طریق تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش امکان‌پذیر است (۴۹). در دو دهه گذشته، نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش جهت ارزیابی خطرات لغزش بسیار مهم و تبدیل به یک روش موثر شده است (۵۳). نتایج حاصل از این نقشه‌ها جهت مدیریت زمین و کاهش خطرات لغزش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۱۲،۲۴). افزایش صحت نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش می‌تواند در این زمینه اطلاعات دقیق‌تر و کامل‌تری را در اختیار برنامه‌ریزان قرار دهد (۱۸). روش‌های تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش بر اساس روش‌های کیفی یا دانش بنیان (۳۹) و روش‌های کمی (۵۱) طبقه‌بندی می‌گردند. مبنای پهنه‌بندی در روش کیفی بر اساس ویژگی‌های ذاتی و طبیعی لغزش‌ها می‌باشد. روش‌های کمی بر اساس ارتباط بین عوامل کنترلی و زمین لغزش‌ها با بیان عددی استوار است که به دو گروه روش‌های جبری و آماری تقسیم می‌گردد (۲۳،۳۰) روش‌های آماری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

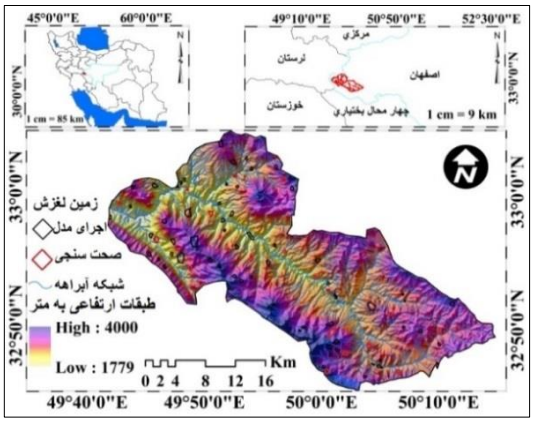
دو صورت دومتغیره و چند متغیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های چند متغیره بر مبنای تجزیه و تحلیل آماری در ارتباط با ترکیب نموده متغیرها و زمین لغزش‌ها می‌باشد (۱۰). در حالی که روش‌های دو متغیره مقایسه آماری بین زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته و عوامل مستقل در ایجاد ناپایداری می‌باشد (۵۲). تاکنون مطالعات زیادی در زمینه زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی (۹،۲۴) و رگرسیون چند متغیره (۴۰،۴۱،۴۸) صورت گرفته است. در زمینه استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک مطالعات کمی صورت گرفته (۴۴). شیرانی و همکاران (۴۲) به مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در حوضه ونک اصفهان با استفاده از معیارهای لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده و تراکم زهکشی پرداخته اند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل دارای دقت مناسبی جهت پیش‌بینی مناطق حساس به رخداد لغزش می‌باشند. دولتخواهی و همکاران (۱۷) با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون دو و چند متغیره به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز شمال تهران با استفاده از ۹ عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، سنگ شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بارندگی و کاربری اراضی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که پارامترهای فاصله از جاده، شیب و فاصله از گسل بیشترین تأثیر را در رخداد زمین لغزش داشته‌اند و همچنین روش رگرسیون چند متغیره دارای دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به رگرسیون دو متغیره می‌باشد. عرب عامری و همکاران (۴) با استفاده از معیارهای شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی به پهنه‌بندی خطر ز مین‌لغزش پرداخته‌اند و بدین‌منظور از روش‌های وزن واقعه و نسبت فراوانی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل نسبت فراوانی دارای دقت بالاتری نسبت به مدل وزن واقعه می‌باشد. عرب عامری و همکاران (۵) به اجرای سناریوی مختلف جهت تهیه نقشه حساسیت رخداد لغزش با استفاده از ۱۳ پارامتر موثر و روش‌های هوش محاسباتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پارامترهای ارتفاع، جهت شیب، تراکم آبراهه و فاصله از ابراهه بیشترین تأثیر را در رخداد زمین لغزش داشته‌اند. رسایی و همکاران (۳۸) به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چند متغیره در حوزه آق مشهد، استان مازندران با استفاده از ۸ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، و کاربری اراضی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که فاصله از آبراهه بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است. هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی شاخص‌های ژئومورفومتریک در افزایش صحت نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش می‌باشد، بدین‌صورت که در ابتدا با استفاده از پارامترهای اولیه موثر در وقوع زمین‌لغزش اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی گردید و در گام بعد پارامترهای ژئومورفومتریک نیز به پارامترهای اولیه اضافه گردید و نقشه پهنه‌بندی تهیه گردید و در نهایت صحت نقشه‌های پهنه بندی با یکدیگر مقایسه گردید. برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از یک روش ترکیبی استفاده گردیده است. بدین صورت که برای تعیین وزن معیارها از روش رگرسیون چند متغیره تحلیل ممیزی و برای تعیین وزن کلاس‌ها از مدل نسبت فراوانی استفاده گردیده است. برای صحت‌سنجی نقشه‌های پهنه‌بندی از منحنی ROC استفاده گردید. استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک انحنای سطح، انحنای مقطع، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI)، شاخص توان آبراهه (SPI)، طول شیب (LS)، نسبت مساحت سطح (SAR) و شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) در تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش و ارزیابی نقش آنها در افزایش صحت نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش و همچنین استفاده از یک روش ترکیبی در تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش نوآوری پژوهش حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این منطقه در حد فاصله طول جغرافیایی ۳۶` ۴۹° تا ۱۹` ۵۰° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ ۳۲° تا ۰۵` ۳۳° شمالی قرار دارد. وسعت منطقه مورد مطالعه ۷۷۶۴۶ هکتار است. در شکل ۱ موقعیت عمومی حوضه نسبت به مرز سیاسی استان و کشور نشان داده شده است. شهرستان فریدون‌شهر با ارتفاع میانگین ۲۵۰۰ متر از سطح دریا منطقه‌ای کوهستانی است که به صورت زبانه‌ای در میان استان‌های لرستان، خوزستان و چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه در بالاترین بخش‌های حوضه آبریز دو رودخانه بزرگ ایران، یعنی زاینده‌رود و کارون واقع است. به‌طور کلی، این شهرستان دارای ۵ دهستان است که عبارتند از: برف انبار، عشایر، پیشکوه موگویی، پشتکوه موگویی، چشمه لنگان که هر کدام از این دهستان‌ها شامل تعداد زیادی روستا است.

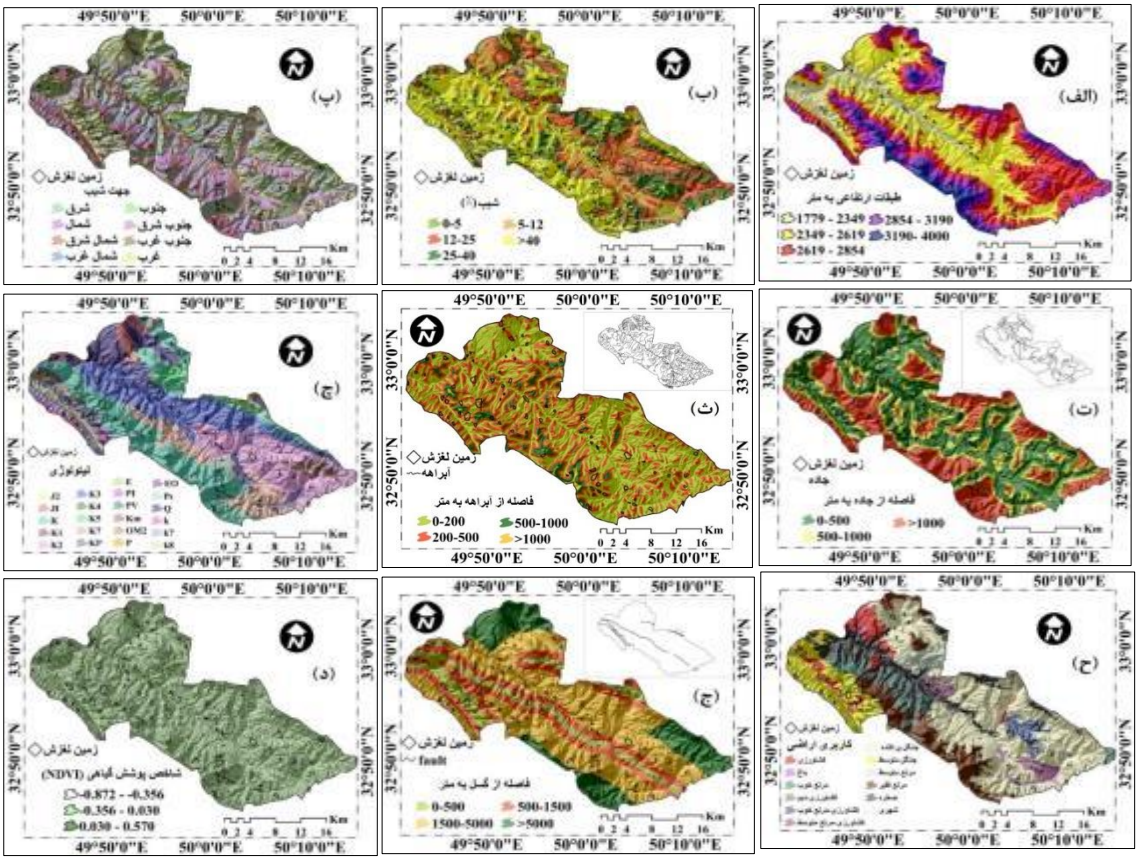
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Area of study

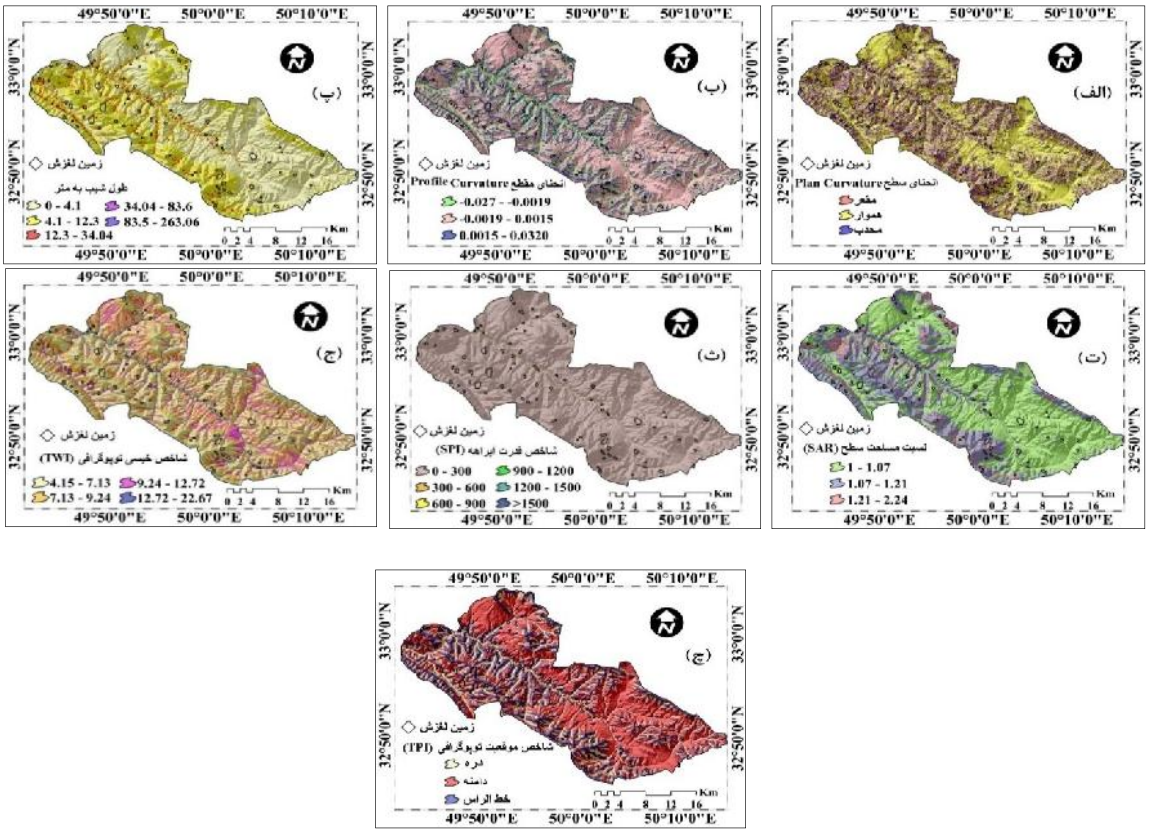
روش تحقیق

نقشه‌های پایه مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای ETM+ . متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش شامل ۹ پارامتر اولیه شامل ارتفاع (شکل۲. الف)، شیب (شکل۲. ب)، جهت شیب (شکل۲. پ)، فاصله از جاده (شکل۲. ت)، آبراهه (شکل۲. ث)، گسل (شکل۲. ج)، لیتولوژی (شکل۲. چ)، کاربری اراضی (شکل۲. ح) و شاخص پوشش گیاهی (شکل۲. د) و ۷ پارامتر ژئومورفومتریک شامل انحنای سطح (شکل۳. الف)، انحنای مقطع (شکل۳. ب)، طول شیب (شکل۳. پ)، نسبت مساحت سطح (شکل۳. ت)، شاخص موقعیت توپوگرافی (شکل۳. ث)، شاخص خیسی توپوگرافی (شکل۳. ج)، و شاخص توان آبراهه (شکل۳. چ) می‌باشد.



شکل ۲- پارامترهای اولیه موثر در لغزش
Figure 2. Initial conditioning factors

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]



شکل ۳- پارامترهای ژئومورفومتریک موثر در لغزش
Figure 3. Geomorphometric conditioning factors

در ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۷)، وضعیت زمین‌شناسی منطقه به خوبی بررسی، سپس با مطالعه و بررسی فتوژئولوژیکی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور (۳۲) و بررسی‌های میدانی، اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی گردید. پس از تهیه نقشه واحدهای سنگی و خطواره‌ها، اقدام به رقومی نمودن آنها گردید. نقشه‌های لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و فاصله از جاده به همین ترتیب در محیط ArcGIS تهیه گردید. به منظور تهیه نقشه مدل ارتفاعی رقومی DEM، نقشه شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی و همچنین پارامترهای ژئومورفومتریک، از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۷،۲۰) استفاده گردید. تمامی نقاط ارتفاعی و منحنی‌های میزان ۱۰۰ متری حوضه مورد مطالعه رقومی و تمامی اقدامات لازم جهت استفاده از این اطلاعات در محیط نرم-افزار ILWIS3.8 انجام گرفت. با استفاده از منحنی‌های میزان و نقاط ارتفاعی رقومی شده و روش درون یابی، اقدام به تهیه مدل ارتفاعی رقومی گردید. پس از ایجاد مدل رقومی ارتفاعی، نقشه شیب، جهت شیب، ارتفاع و پارامترهای ژئومورفومتریک با دقت ۱۰ در ۱۰ مترمربع تهیه گردید. نقشه کاربری اراضی منطقه نیز از طریق تصاویر سنجنده ETM+ در محیط نرم‌افزار ENVI 4.8 تصحیح و تهیه گردید، نقشه NDVI با استفاده از تصاویر IRS با سنسورهای LISS III با قدرت تفکیک (۲۵ × ۲۵ متر) و پانکروماتیک (۲/۵ × ۲/۵ متر) استخراج گردید. طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم بیشترین شباهت برای استخراج این نقشه طراحی گردید. پارامترهای ژئومورفومتریک مورد استفاده در این پژوهش شامل انحنای سطح، انحنای مقطع، نسبت مساحت سطح، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص خیسی توپوگرافی، شاخص توان آبراهه و طول شیب می‌باشد. انحنای سطح و انحنای مقطع نوع شیب‌ها را توصیف می‌کنند و فاکتورهای مهمی هستند که می‌توانند در وقوع زمین لغزش ها نقش داشته باشند (۸). انحنای سطح بیانگر تغییرات جهت در طول یک منحنی می‌باشد. تأثیر انحنای سطح بر روی فرآیند فرسایش شیب به صورت همگرایی و واگرایی آب در طول جریان سرازیری می‌باشد (۳۳). انحنای مقطع، معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان در طول مسیر جریان است. زمانی که تقعر انحنای سطح در حال افزایش است، مقادیر آن منفی و در موارد برعکس مقادیر آن مثبت می‌باشد (۲۲). این شاخص بیانگر سرعت جریان، فرسایش (در مقادیر منفی)، رسوبگذاری (در مقادیر مثبت) و همچنین ژئومورفولوژی منطقه می باشد (۵۰). انحنای مقطع هممچنین به دلیل کنترل تغییر سرعت توده‌هایی که به سمت پایین شیب حرکت می کنند، مهم می‌باشد (۲۸). پارامترهای انحنای سطح و مقطع در محیط SAGAGIS 2.1. 1 استخراج گردید. نسبت مساحت سطح[1] مبنایی برای اندازه‌گیری پستی و بلندی

1- Surface Area Ratio (SAR)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

چشم‌انداز می‌باشد. شیب‌های با پستی و بلندی بالا به دلیل تغییرات شیب به سود نفوذ بارندگی در خاک و بنابراین بی‌ثباتی آن، برای وقوع زمین لغزش مساعدتر می‌باشند. نسبت مساحت سطح هر منطقه در چشم انداز با استفاده از فرمول ۱ قابل محاسبه می‌باشد (۲۹). شاخص موقعیت توپوگرافی[1] ارتفاع هر پیکسل در مدل رقومی ارتفاعی را با میانگین ارتفاع پیکسل‌های اطراف آن مقایسه می‌کند. این فاکتور شرایط طبقه‌بندی چشم‌انداز به کلاس‌های مرفولوژیک را فراهم می‌سازد. مقادیر مثبت و منفی آن بیانگر این است که پیکسل بالاتر و پایین‌تر از پیکسل‌های اطراف می‌باشد (۲۹). شاخص خیسی توپوگرافی[2]، شاخص ترکیب پستی و بلندی بوده که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد. شاخص خیسی، شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم‌انداز زمین است (۴۹). شاخص توان آبراهه[3] می‌تواند برای توصیف پتانسیل فرسایش جریان و فرآیندهای مرتبط مورد استفاده قرار گیرد. با افزایش مساحت حوضه و میزان شیب، مقدار آب فراهم شده بوسیله مناطق پرشیب و شدت جریان آب افزایش می‌یابد و در نتیجه قدرت جریان و پتانسیل فرسایش افزایش پیدا می‌کند. به منظور محاسبه شاخص‌ها از معادلات زیر استفاده گردید (۳۱).

$$SAR = \left(\frac{A}{A_S}\right) \quad (۱)$$

$$TWI = In\,(A_S/\tan\beta) \quad (۲)$$

$$SPI = As \times \tan\sigma \quad (۳)$$

$$SL = (A_S/22.13)^{0.6} \times (\sin\beta/\,0.0896)^{1.3} \quad (۴)$$

که در رابطه یک A مساحت سطح منطقه به کیلومتر مربع، و A_S مساحت پلانی متریک می‌باشد و در روابط ۲ تا ۴، A_S مساحت حوضه آبخیز σ شیب به درجه و β گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد.

روش چند متغیره خطی

مدل رگرسیون چند متغیره یک روش آماری است که از طریق آن می‌توان رابطه یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل را تجزیه و تحلیل کرد. روش رگرسیون چند متغیره یک ابزار استنباطی است که برای بررسی روابط موجود میان پارامترهای مستقل و تأثیر هم‌زمان بر پارامترهای غیر مستقل به کار گرفته می‌شود. از آنجا که پدیده‌های طبیعی نظیر زمین‌لغزش ناشی از عملکرد همزمان چند متغیر بوده، لذا استفاده از این روش‌ها مناسب می‌باشد. در مدل رگرسیون چند متغیره خطی با در دست داشتن مقادیر X_i معین (متغیر مستقل)، مقادیر Y_i یا متغیر وابسته را می‌توان به صورت خطی برآورد کرد. مدل کلی تابع رگرسیون به صورت معادله زیر است

$$Y_i = B_۱ + B_۲X_i + \cdots. + B_jX_i \quad (۵)$$

که در آن، Y_i: تخمین متغیر وابسته، $B_۱$: ضریب ثابت یا عرض از مبدا، $B_۲$: ضریب متغیر X_i و X_i: متغیر مستقل می‌باشد (۴۲).

در تحلیل خطر زمین‌لغزش در برخی موارد پارامترها کمی (شیب، بارندگی) و در مواردی نیز کیفی (جهت شیب، لیتولوژی) می‌باشند. از آنجایی که روش‌های آماری از داده‌های کمی استفاده می‌کنند، در نتیجه لازم است که داده‌های کیفی به کمی تبدیل گردد. برای تجزیه و تحلیل اثرات هر کدام از عوامل موثر در ایجاد زمین‌لغزش و نیز کمی کردن و وزن‌دهی به عوامل به طریق رگرسیون چند متغیره خطی نیاز به نقشه واحدهای همگن می‌باشد. بدین‌صورت که پس از تهیه انواع نقشه‌های مربوطه با توجه به متغیرهایی که اثرات آنها در وقوع زمین‌لغزش‌ها مورد نظر می‌باشد، نسبت به هم مقایسه و نقشه‌های مربوط به این متغیرها هم‌پوشانی گردیده و واحدهای همگن به دست می‌آید. این کار از طریق نرم‌افزار ArcGIS10.2 قابل انجام است. واحدهای همگن واحدهایی هستند که دارای خصوصیات مشترکی از نظر عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند و به واسطه داشتن اختلاف با واحدهای مجاور خود از نظر یکی از عوامل ذکر شده از آنها متمایز می شوند. کمی کردن عوامل و وزن دهی به طبقات مختلف آنها با توجه به درصد سطح لغزش یافته در واحدهای همگنی صورت می‌گیرد که از نظر تمامی عوامل در نظر گرفته شده مشابه بوده و به واسطه تغییر تنها یکی از عوامل متفاوت می‌باشند. به این منظور ابتدا نقشه واحدهای همگن و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها را هم‌پوشانی کرده و مساحت زمین‌لغزش‌های موجود در هر واحد همگن به دست می‌آید. نسبت مساحت لغزش‌ها به مساحت واحد همگن به عنوان Y در نظر گرفته می‌شود که در واقع بیانگر درصد سطح لغزیده شده در هر واحد همگن می‌باشد و به این دلیل درصد سطح لغزش یافته مدنظر است که می‌توان اثر هر کدام از عوامل کلیدی یا برتر را نسبت به درصد سطح لغزش یافته مقایسه کرد که در اینجا Y تابعی از هر کدام از عوامل موثر خواهد بود. در این مرحله از کار برای وزن‌دهی به کلاسه‌های مختلف، به کلاسی که بیشترین درصد سطح لغزش یافته را داراست امتیاز ۱۰ داده و بقیه کلاسه‌ها به صورت نسبتی از این کلاس امتیاز داده می‌شوند. پس از دستیابی به نرخ‌های مربوط به طبقات هریک از عوامل، این اطلاعات برای ۷۲۳۴۲۵ واحد همگن به صورت ۷۲۳۴۲۵ تکرار و ۱۶ تیمار به محیط نرم‌افزار SPSS22 منتقل گردید. از بین روش‌های رگرسیون چند متغیره روش Enter با سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد برای هر یک از عوامل انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره، برای تمامی عوامل ضریب معنی‌داری بالاتر از ۹۸ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده آن است که از نظر آماری رابطه قوی با درصد سطح لغزش یافته در واحدهای همگن داشته اند.

روش نسبت فراوانی

نسبت فراوانی ارتباط کمی میان رخداد زمین لغزش‌ها و متغیرهای مختلف تأثیرگذار در آن را مشخص می‌نماید. در تعیین نرخ نسبت فراوانی، نسبت رخداد لغزش در هر کلاس از فاکتورهای تأثیرگذار نسبت به کل لغزش‌ها به دست آمده و نسبت سطح هر کلاس نسبت به کل مساحت منطقه نیز محاسبه می‌گردد. در نهایت با تقسیم نرخ رخداد لغزش‌ها در

1- Topographic position index (TPI) 2- Topography Wetness Index (TWI) 3- Stream power index (SPI

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

هر کلاس بر نرخ مساحت هر کلاس نسبت به کل منطقه مورد مطالعه، نسبت فراوانی کلاس‌های هر فاکتور محاسبه می‌گردد. مراحل محاسبه نسبت فراوانی برای هر کلاس از فاکتورهای موثر در لغزش در رابطه ۴ بیان شده است:

$$FR = \frac{(A/B)}{(C/D)} = \frac{E}{F}$$ (رابطه ۴)

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 موثر در لغزش، D: تعداد کل پیکسل‌های یک منطقه می‌باشد، E: درصد رخداد لغزش در هر زیر کلاس از فاکتورهای موثر و F: درصد نسبی مساحت هر زیر کلاس از کل مساحت می‌باشد. برای بدست آوردن شاخص حساسیت به رخداد زمین لغزش نتایج فاکتورها در محیط GIS با یکدیگر جمع می‌گردد (۱۹).

(رابطه ۵)

$$LSI = \sum(FR)_i \qquad (i = 1,2, \dots, n)$$

که در آن LSI: شاخص پتانسیل رخداد زمین‌لغزش، FR: نسبت فراوانی فاکتور و n: مجموع فاکتورهای ورودی است (۵۱). پس از تعیین وزن ۹ پارامتر اولیه موثر در زمین لغزش و ۷ پارامتر ژئومورفومتریک با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره خطی و ضرب آن در وزن کلاس‌های عوامل مذکور که با استفاده از روش نسبت فراوانی حاصل شده است، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک و بدون پارامترهای ژئومورفومتریک حاصل گردید، سپس نقشه‌های مذکور بر اساس شکست‌های طبیعی (۱،۲،۳،۴۲) به پنج کلاس خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم تقسیم‌بندی گردید. پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش، به منظور ارزیابی نقش پارامترهای ژئومورفومتریک در افزایش صحت نقشه‌های پهنه‌بندی اقدام به صحت‌سنجی نقشه‌ها با استفاده از منحنی ROC گردید. در این پژوهش، با استفاده از منحنی ویژگی عملگرنسبی (ROC) صحت روش‌ها و با استفاده از نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) دقت تفکیک بین طبقات مورد بررسی و تایید قرار گرفت. با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده اند (۱۵)، از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۲۱).

نتایج و بحث

رابطه ۶ نتیجه نهایی حاصل از تجزیه و تحلیل آماری به دست آمده با ضریب R معادل ۰/۹۲ را در روش رگرسیون چند متغیره خطی نشان می‌دهد. وزن هر یک از پارامترهای اولیه و پارامترهای ژئومورفومتریک در جدول (۱) نشان داده شده است.

(رابطه ۶)

Y= ۰/۰۹۳ + (Xaltitute × ۰/۳) + (Xslope × ۰/۱۳۵) + (Xaspect × ۰/۲۳۵) + (Xdisfault × ۰/۰۷۵) + (Xdisdrinage × −۰/۰۲۳) + (Xdisroad × −۰/۰۰۱۳) + (XNDVI × ۰/۰۴۳۵) + (Xlithology × ۰/۵۰۳) + (Xlanduse × ۰/۰۸۲۳) + (XSPI × ۰/۲۰۵) + (XLS × ۰/۱۹۸) + (XTWI × -۰/۰۱۳۴) + (XProfile × -۰/۲۹۵) + (XTPI × ۰/۵۳۱) + (XPlan × ۰/۴۳۲) + (XSAR × ۰/۲۶۲)

نتایج حاصل از تعیین میزان اهمیت معیارها در رخداد زمین لغزش با روش رگرسیون خطی چند متغیره نشان داد که پارامترهای شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، لیتولوژی و انحنای سطح به ترتیب با کسب بیشترین امتیازات (۰/۵۳۱، ۰/۵۰۳ و ۰/۴۳۲) بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی داشته‌اند که با نتایج حاصل از تحقیقات آلزووانی و همکاران (۶) و چن و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. در مقابل پارامترهای تراکم آبراهه، شاخص خیسی توپوگرافی و فاصله از آبراهه با کسب پایین‌ترین امتیازات (۰/۰۲۳− ، ۰/۰۱۳۴− و ۰/۰۰۱۳−) کمترین ارتباط را با رخداد زمین‌لغزش داشته‌اند. پارامترهای ارتفاع، انحنای مقطع، نسبت مساحت سطح، جهت شیب، شاخص قدرت جریان، طول شیب، شیب، کاربری اراضی، فاصله از گسل و شاخص پوشش گیاهی به‌ترتیب با کسب (۰/۳، ۰/۲۹۵، ۰/۲۶۲، ۰/۲۳۵، ۰/۲۰۵، ۰/۱۹۳، ۰/۱۳۵، ۰/۰۸۲۳، ۰/۰۷۵، ۰/۰۴۳) امتیاز در رتبه‌های چهارم تا سیزدهم قرار گرفته‌اند. پس از محاسبه وزن پارامترها، وزن کلاس‌های پارامترها با استفاده از روش نسبت فراوانی محاسبه گردید. بدین صورت که مقادیر کل سطح هر کلاس تعیین گردید و سطح لغزشی نیز در هر کلاس مشخص گردید و با استفاده از رابطه شماره ۲ وزن هر کلاس محاسبه گردید. وزن کلاس‌های پارامترهای ژئومورفومتریک در جدول ۱ و وزن کلاس‌های پارامترهای اولیه در جدول ۲ نشان داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

جدول ۱- وزن پارامترهای ژئومورفومتریک موثر در لغزش به همراه کلاس‌های آنها

Table 1. Weight of Geomorphometric conditioning factors along with their classes

پارامتر	کلاس	مدل نسبت فراوانی: مساحت کل		مساحت لغزش		نسبت فراوانی	مدل رگرسیون خطی: وزن عامل	معنی‌داری
		مساحت	(٪)	مساحت	(٪)			
طول شیب (متر)	۰-۴/۱۲	۳۵۹۹۷/۲۷	۴۳/۰۲	۵۷۳/۴۸	۴۶/۷۵	۱/۰۸۶	۰/۱۹۸	۰/۰۰۰
	۴/۱۲-۱۲/۳۷	۲۳۸۵۸/۸۲	۲۸/۵۱	۵۸۴/۸۱	۴۷/۶۸	۱/۶۷۱		
	۱۲/۳۷-۳۴/۰۴	۲۳۵۵۵/۵۸	۲۸/۱۵	۶۰/۱۸	۴/۹	۰/۱۷۴		
	۳۴/۰۴-۸۳/۵۶	۲۰۶/۸۱	۰/۲۴۷	۶/۹۶	۰/۵۶۷	۲/۲۹۵		
	۸۳/۵۶-۲۶۳/۰۶	۴۰/۲۱	۰/۰۴۸	۱/۰۱	۰/۰۸۲	۱/۷۱۳		
شاخص خیسی	۴/۱۵-۷/۱۳	۲۵۸۷۹/۶	۱۷/۳۴	۷۱۱/۱۲	۲۷/۰۳	۱/۵۵	۰/۰۲۳۴	۰/۰۰۰
	۷/۱۳-۹/۲۴	۲۴۸۲۲/۱	۱۶/۶۳	۳۳۲/۹۸	۱۲/۶۵	۰/۷۶۰		
	۹/۲۴-۱۲/۷۲	۹۶۳۶۵/۵	۶۴/۵۹	۱۵۶۰/۰۳	۵۹/۳	۰/۹۱۸		
	۱۲/۷۲-۲۲/۶۷	۲۱۲۰/۳	۱/۴۲۱	۲۶/۳۵	۱/۰۰۱	۰/۷۰۴		
انحنای مقطع	-۰/۰۲ - -۰/۰۰۱	۱۰۴۶۲/۱۸	۱۶/۷۵	۱۸۸۶/۶۷	۳۳/۵۶	۲/۰۰۳	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۰
	-۰/۰۰۱ -۰/۰۰۱	۴۲۷۲۲/۵۶	۶۸/۴	۷۳۸/۲	۱۳/۱۳	۰/۱۹۲		
	۰/۰۰۱-۰/۰۳	۹۲۷۳/۹۷	۱۴/۸۴	۲۹۹۵/۵۹	۵۳/۲۹	۳/۵۸۹		
شاخص موقعیت توپوگرافی	دره	۳۶۱۸۷/۶۸	۵۷/۹۳	۵۳۱/۳۸	۴۳/۴۳	۰/۷۴۹	۰/۵۳۱	۰/۰۰۱
	دامنه	۱۲۳۷۶/۸۴	۱۹/۸۱	۴۴۱/۱۲	۳۶/۰۵	۱/۸۱۹		
	خط الراس	۱۳۸۹۳/۵۴	۲۲/۲۴	۲۵۰/۹۵	۲۰/۵۱	۰/۹۲۲		
	مقعر	۱۰۹۸۹/۹۴	۱۷/۵۹	۲۶۵/۹	۲۱/۶۸	۱/۲۳۲		
انحنای سطح	هموار	۳۸۵۵۳/۸	۶۱/۷۲	۶۳۱/۷	۵۱/۵	۰/۸۳۴	۰/۴۳۲	۰/۰۰۰
	محدب	۱۲۹۱۴/۳	۲۰/۶۷	۳۲۸/۸	۲۶/۸۱	۱/۲۹۶		
شاخص موقعیت توپوگرافی	۰-۳۰۰	۶۲۰۲۲/۰۷	۹۹/۳۱	۱۲۱۹/۲	۹۹/۴۰	۱/۰۰۱	۰/۲۰۵	۰/۰۰۰
	۳۰۰-۶۰۰	۲۳۱/۳۵	۰/۳۷	۲/۶۸	۰/۲۱۸	۰/۵۸۹		
	۶۰۰-۹۰۰	۹۳/۸۶	۰/۱۵	۳/۴۸	۰/۲۸۳	۱/۸۸		
	۹۰۰-۱۲۰۰	۶۸/۶۰	۰/۱۰	۰	۰	۰		
	۱۲۰۰-۱۵۰۰	۳۳/۱۷	۰/۰۵۳	۱/۰۸	۰/۰۸۸	۱/۶۵۸		
	>۱۵۰۰	۹/۶۵	۰/۰۱۵	۰	۰	۰		
نسبت مساحت سطح	۱-۱/۰۷	۳۸۴۴۸/۷۶	۶۲/۷۶	۵۴۶/۷	۴۴/۸۳	۰/۷۱۴	۰/۲۶۲	۰/۰۰۱
	۱/۰۷-۱/۲۱	۱۸۴۵۵/۰۳	۳۰/۱۲	۵۵۳/۸	۴۵/۴۱	۱/۵۰		
	۱/۲۱-۲/۲۴	۴۳۵۰/۴۶	۷/۱۰	۱۱۸/۸	۹/۷۴	۱/۳۷		

جدول ۲- وزن پارامترهای اولیه موثر در لغزش به همراه کلاس‌های آنها

Table 2. weight of Initial conditioning factors along with their classes

پارامتر	کلاس	مدل نسبت فراوانی: مساحت کل (هکتار)		مساحت لغزش (هکتار)		نسبت فراوانی	مدل رگرسیون خطی: وزن عامل	معنی‌داری
		مساحت	(٪)	مساحت	(٪)			
ارتفاع (متر)	۱۷۷۹-۲۳۴۹	۶۵۸۹/۲۴	۱۰/۵۴	۱۲۳/۱۹	۱۰/۰۴	۰/۹۵۲	۰/۳	۰/۰۰۵
	۲۳۴۹-۲۶۱۹	۲۱۸۸۴/۵۷	۳۵/۰۳	۴۰۳/۵۴	۳۲/۹	۰/۹۳۹		
	۲۶۱۹-۲۸۵۴	۱۹۸۱۵	۳۱/۷۲	۲۴۰/۴۲	۱۹/۶	۰/۶۱۷		
	۲۸۵۴-۳۱۹۰	۹۷۴۵/۴۷	۱۵/۶۰	۲۷۴/۱۱	۲۲/۳۵	۱/۴۳۲		
	۳۱۹۰-۴۰۰۰	۴۴۲۴/۴۳	۷/۰۸	۱۸۵/۱۸	۱۵/۰۹	۲/۱۳۱		
شیب (٪)	۰-۵	۲۶۳۸/۹۲	۳/۳۹	۱۸/۲۴	۱/۱۹	۰/۳۵۲	۰/۱۳۵	۰/۰۰۰
	۵-۱۲	۶۲۱۲/۶۰	۸	۲۵/۲۹	۱/۶۵	۰/۲۰۷		
	۱۲-۲۵	۱۶۸۵۴/۸۷	۲۱/۷	۱۹۹/۴۵	۱۳/۰۹	۰/۶۰۳		
	۲۵-۴۰	۱۹۳۶۳/۷	۲۴/۹۳	۳۱۵/۲۶	۲۰/۶۹	۰/۸۲۹		
	>۴۰	۳۲۵۷۶/۷۸	۴۱/۹۵	۹۶۵/۳	۶۳/۳۵	۱/۵۱		
جهت شیب	جنوب شرق	۸۸۱۹/۵۱	۱۱/۳۵	۱۳۶/۵۸	۸/۹۶	۰/۷۸۹	۰/۲۳۵	۰/۰۰۰
	غرب	۸۰۹۷/۶۶	۱۰/۴۲	۱۵۸/۶۳	۱۰/۴۱	۰/۹۹۸		
	شرق	۷۴۴۱/۶۳	۹/۵۸	۱۷۹/۰۱	۱۱/۷۴	۱/۲۲		
	جنوب	۱۰۶۹۰/۸	۱۳/۷۶	۱۷۹/۴۳	۱۱/۷۷	۰/۸۵۵		
	شمال غرب	۹۰۲۹/۱۲	۱۱/۶۲	۱۹۶/۱۵	۱۲/۸۷	۱/۱۰		
	شمال	۱۰۲۸۹/۵۳	۱۳/۲۵	۱۹۷/۸۸	۱۲/۹۸	۰/۹۸۰		
	شمال شرق	۱۱۲۶۹/۱۸	۱۴/۵۱	۲۰۲/۹۰	۱۳/۳۱	۰/۹۱۷		
	جنوب غرب	۱۲۰۰۹/۴۳	۱۵/۴۶	۲۷۲/۹۶	۱۷/۹۱	۱/۱۵		
فاصله از گسل (متر)	۰-۵۰۰	۹۶۲۹/۸۹	۱۲/۴	۲۱۶/۰۸	۱۴/۱۸	۱/۱۴	۰/۰۷۵	۰/۰۰۵
	۵۰۰-۱۵۰۰	۱۵۲۲۶/۳۶	۱۹/۶	۲۶۶/۳۸	۱۷/۴۸	۰/۸۹۱		
	۱۵۰۰-۵۰۰۰	۳۷۸۸۳/۱۱	۴۸/۷۸	۸۳۵/۵۶	۵۴/۸۴	۱/۱۲		
	>۵۰۰۰	۱۴۹۰۷/۵۱	۱۹/۱۹	۲۰۵/۵۳	۱۳/۴۹	۰/۷۰۲		
فاصله از آبراهه (متر)	۰-۲۰۰	۴۷۱۴۰/۳۹	۶۰/۷۱	۷۶۸/۲۸	۵۰/۴۲	۰/۸۳۰	-۰/۰۲۳	۰/۰۰۰
	۲۰۰-۵۰۰	۲۴۶۳۰/۳۸	۳۱/۷۲	۶۵۳/۴۷	۴۲/۸۹	۱/۳۵		
	۵۰۰-۱۰۰۰	۵۴۹۳/۵۳	۷/۰۷	۱۰۱/۸	۶/۶۸	۰/۹۴۴		
	>۱۰۰۰	۳۸۲/۵۷	۰/۴۹۲	۰	۰	۰		
شاخص پوشش گیاهی	-۰/۰۳۵ - -۰/۸۷	۲۱۱۲/۴	۳/۰۱	۸۴/۰۶	۴۹/۸	۲/۸۱	۰/۰۴۳۵	۰/۰۰۵
	-۰/۰۳ -۰/۳۵	۲۷۸۷۴/۵	۳۹/۸	۵۰۵/۶	۵۱/۰۶	۱/۲۸		
	۰/۰۳-۰/۵۷	۴۰۰۳۹/۷	۵۷/۱۷	۴۰۰/۳۹	۴۰/۴۴	۰/۷۰۷		
فاصله از جاده (متر)	۰-۵۰۰	۳۳۴۵۱/۰۵	۴۳/۰۸	۶۳۰/۳۴	۴۱/۳۷	۰/۹۶۰	-۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰
	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۷۴۷۲/۵۵	۲۲/۵	۳۷۸/۴۱	۲۴/۸۳	۱/۱۰		
	>۱۰۰۰	۲۶۷۲۳/۲۷	۳۴/۴۱	۵۱۴/۸	۳۳/۷۸	۰/۹۸۱		

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]

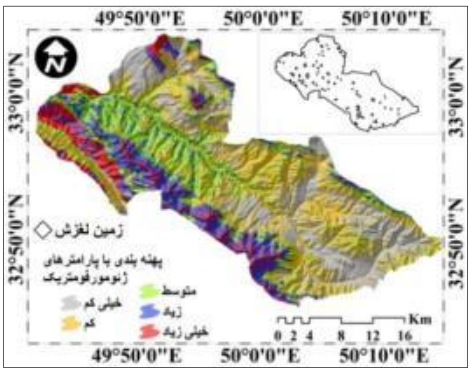
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

ادامه جدول ۲

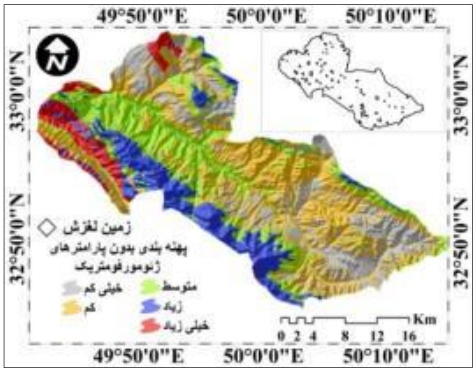
Table 2. Continue

پارامتر	کلاس	مدل نسبت فراوانی					مدل رگرسیون خطی	
		مساحت کل		مساحت لغزش		نسبت فراوانی	وزن عامل	معنی‌داری
		مساحت	(٪)	مساحت	(٪)			
لیتولوژی	شیل و مارن	۱۰۹۵/۷۳	۱/۸۹	۱۰/۷۲	۰/۷۳۴	۰/۳۸۷	۰/۵۰۳	۰/۰۰۵
	آبرفت و پادگانه قدیمی	۸۲۶۶/۸۵	۱۴/۳	۹۱/۶۳	۶/۲۷	۰/۴۳۸		
	آهک مارنی،رسی ماسه ای	۷۷۶۴/۳۸	۱۳/۴۴	۱۰۳/۳۵	۷/۰۷	۰/۵۲۶		
	کنگلومرا و ماسه سنگ	۱۳۶/۱۳	۰/۲۳۵	۰/۲۴۷	۱۶/۹۱	۷۱/۷۸		
	آهک مارنی و ماسه سنگی	۶۹۸/۳۹	۱/۲۰	۳۴/۶۶	۲/۳۷	۱/۹۶		
	آهک سفید، مارنی و دولومیتی	۴۳۶/۰۴	۰/۷۵۴	۱۶/۷۴	۱/۱۴	۱/۵۱		
	آهک نازک لایه رسی	۱۳۱۲۹/۰۸	۲۲/۷۲	۱۸۱/۷۱	۱۲/۴۴	۰/۵۴۷		
	آهک ریفی با شیل	۲۱۶۸۰/۸	۳۷/۵۲	۵۲۲/۸۰	۳۵/۸	۰/۹۵۳		
	آهک اوربیتولین دار	۸۱۹/۰۷	۱/۴۱	۱۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۵۱۷		
	آهک دولومیتی	۲۳۹۶/۷۹	۴/۱۴	۱۵۲/۹۶	۱۰/۴	۲/۵۲		
	رادیولاریت و کنگلومرا	۱۳۴۷/۴	۲/۳۳	۸۸	۶/۰۲	۲/۵۸		
کاربری اراضی	کشاورزی	۴۲۹۱/۹۶	۵/۵۲	۹۴/۲۷	۶/۰۱	۱/۰۸	۰/۰۸۲۳	۰/۰۰۰
	باغ	۶۹۹/۱۶	۰/۹۰۰	۱۹/۶۰	۱/۲۴	۱/۳۸		
	مرتع خوب	۳۴۵۰/۰۹	۴/۴۴	۱۱۰/۸۳	۷/۰۶	۱/۵۹		
	کشاورزی و دیم	۳۴۷/۹۹	۰/۴۴۸	۰	۰	۰		
	کشاورزی و مرتع خوب	۲۲۴۲/۳۲	۲/۸۸	۷۳/۸۸	۷۳/۸۸	۱/۶۳		
	کشاورزی و مرتع متوسط	۲۳۱۶/۷۹	۲/۹۸	۱۶/۰۶	۱/۰۲	۰/۳۴۳		
	مرتع خوب و جنگل پراکنده	۳۳۶۲۶/۹۲	۴۳/۳	۳۹۸/۸۵	۲۵/۴۲	۰/۵۸۷		
	جنگل متوسط	۸۲۰۳/۵۸	۱۰/۵۶	۲۷۶/۶۸	۱۷/۶۳	۱/۶۶		
	مرتع متوسط	۲۵۳۸/۹۷	۳/۲۶	۰	۰	۰		
	مرتع فقیر	۹۳۰۱/۱۷	۱۱/۹۸	۳۷۲/۷۸	۲۳/۷۶	۱/۹۸		
	صخره	۱۰۵۳۴/۵۴	۱۳/۵۶	۲۰۵/۵۸	۱۳/۱	۰/۹۶۶		
	شهری	۹۳/۳۴	۰/۱۲۰	۰	۰	۰		

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش همراه با پارامترهای ژئومورفومتریک در شکل (۴) و بدون پارامترهای ژئومورفومتریک در شکل (۵) نشان داده شده است. در شکل ۶ نمونه‌ای از لغزش‌های رخداده در منطقه نشان داده شده است. نتایج حاصل از نقشه حساسیت به همراه پارامترهای ژئومورفومتریک نشان داد که ۸/۶۸ درصد از منطقه مطالعاتی در کلاس حساسیت خیلی‌زیاد قرار گرفته است و ۱۵/۳۳ درصد در کلاس حساسیت زیاد و در مقابل به‌ترتیب ۲۶/۵، ۲۶/۹۷ و ۲۲/۵۲ درصد در کلاس‌های حساسیت خیلی‌کم، کم و متوسط قرار گرفته است و از کل لغزش‌های منطقه مطالعاتی نیز ۲۹/۱۵ درصد در کلاس حساسیت خیلی‌زیاد و ۲۴/۵۷ درصد در کلاس حساسیت زیاد قرار گرفته است و در مقابل به‌ترتیب ۴/۸۹، ۲۰/۵۶، و ۲۰/۸۲ درصد در کلاس حساسیت خیلی کم، کم و متوسط قرار گرفته است. نتایج حاصل از تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش بدون پارامترهای ژئومورفومتریک نشان داد که به ترتیب ۲۲/۶۸، ۳۳/۱۱، ۲۳/۶۵، ۱۴/۴۵ و ۶/۱۱ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی در کلاس‌های حساسیت خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد قرار گرفته است و در مقابل ۴/۶۷، ۲۵/۹، ۲۱/۶۶، ۲۸/۳۷ و ۱۹/۴۱ درصد از زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی در کلاس‌های حساسیت خیلی کم تا خیلی‌زیاد قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج حاصل از دو رویکرد، کمترین مساحت منطقه مطالعاتی در کلاس حساسیت خیلی‌زیاد قرار گرفته است که با نتایج چن و همکاران (۱۱) و چوزیانیتیس و همکاران (۱۴) مطابقت دارد.



شکل۴- پهنه‌بندی با پارامترهای ژئومورفومتریک
Figure 4. Zonation with Geomorphometric Factors



شکل ۵- پهنه‌بندی بدون پارامترهای ژئومورفومتریک
Figure 5. Zonation without Geomorphometric Factors

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

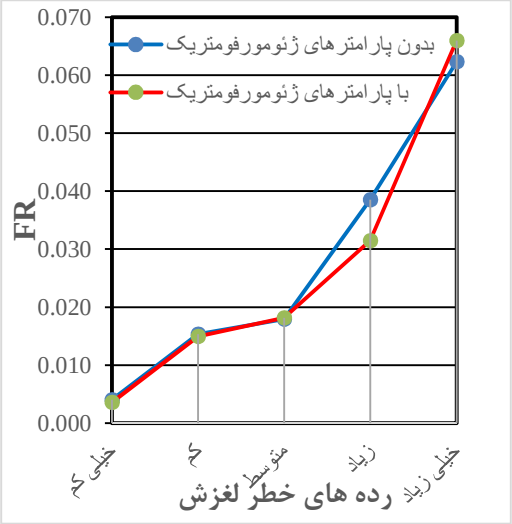
شکل ۶- نمونه‌ای از لغزش‌های منطقه مورد مطالعه
Figure 6. A sample of landslides in the study area

نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی بر مبنای پهنه‌بندی با پارامترهای اولیه و بدون پارامترهای ژئومورفومتریک و پهنه‌بندی به همراه پارامترهای ژئومورفومتریک با استفاده از شاخص‌های SCAI و FR در جدول (۳) و اشکال (۷،۸) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در هر دو نقشه پهنه‌بندی با افزایش حساسیت خطر از خیلی‌کم به خیلی‌زیاد مقادیر نسبت فراوانی (FR) روند صعودی داشته (شکل ۷) اما شاخص SCAI روند نزولی قابل توجه را نشان می‌دهد (شکل ۸) و نشان‌دهنده همبستگی بالای رده‌های خطر لغزش با مناطق لغزشی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین از این حیث ترتیب تفکیک‌پذیری بین طبقات، مناسب ارزیابی گردید. در نقشه پهنه‌بندی با استفاده از پارامترهای اولیه به همراه پارامترهای ژئومورفومتریک این همبستگی بین رده‌های خطر لغزش با مناطق لغزشی نمود بارزتری دارد. نتایج حاصل از مساحت زیرمنحنی (AUC)، بیانگر این است که با افزایش پارامترهای ژئومورفومتریک در فرآیند تهیه نقشه پهنه‌بندی مقدار AUC افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است و دقت نقشه پهنه‌بندی افزایش یافته است (اشکال ۹،۱۰). این نتایج با نتایج تحقیقات اوه و همکاران (۳۴) و پائولوس زک و همکاران (۳۵) مطابقت دارد.

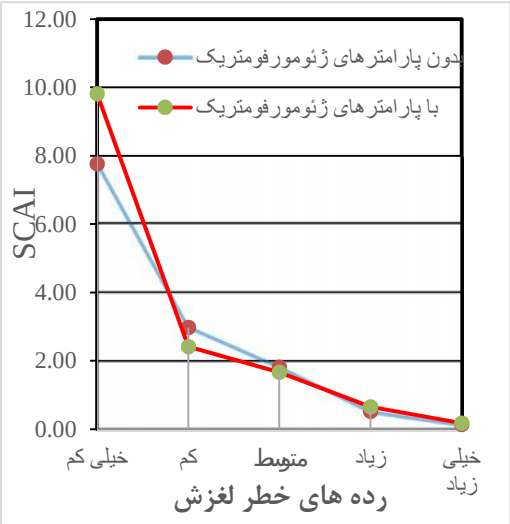
جدول ۳- مقادیر نسبت فراوانی و شاخص سطح سلول هسته مناطق حساس زمین لغزش
Table 3. Amount of Frequency Ratio and Seed Cell Area Index in landslide susceptibility areas

مدل	رده‌های خطر لغزش	مساحت فاقد لغزش (هکتار)	مساحت لغزش (هکتار)	درصد مساحت لغزش	مساحت هر رده خطر (هکتار)	درصد مساحت رده	درصد نسبت فراوانی	درصد Seed	SCAI
همراه با پارامترها	خیلی کم	۲۰۵۰۱/۱	۷۴/۵۲	۴/۸۹	۲۰۵۷۵/۶	۲۶/۵	۰/۰۰	۲/۷	۹/۸۱
	کم	۲۰۶۲۶	۳۱۳/۲۹	۲۰/۵۶	۲۰۹۳۹/۳	۲۶/۹۷	۰/۰۱	۱۱/۱	۲/۴۲
	متوسط	۱۷۱۷۱/۴	۳۱۷/۲۸	۲۰/۸۲	۱۷۴۸۸/۶	۲۲/۵۲	۰/۰۲	۱۳/۵	۱/۶۶
	زیاد	۱۱۵۳۱/۷	۳۷۴/۳۲	۲۴/۵۷	۱۱۹۰۶	۱۵/۳۳	۰/۰۳	۲۳/۴	۰/۶۵
	خیلی زیاد	۶۲۹۲/۹	۴۴۴/۱۳	۲۹/۱۵	۶۷۳۷	۸/۶۸	۰/۰۷	۴۹/۱	۰/۱۸
بدون پارامترها	خیلی کم	۱۷۵۳۷/۹	۷۱/۰۹	۴/۶۷	۱۷۶۰۹	۲۲/۶۸	۰/۰۰۴	۲/۹۲	۷/۷۶
	کم	۲۵۳۱۱/۶	۳۹۴/۶	۲۵/۹	۲۵۷۰۶/۳	۳۳/۱۱	۰/۰۱۵	۱۱/۱۱	۲/۹۸
	متوسط	۱۸۰۳۶/۹	۳۲۹/۹	۲۱/۶۶	۱۸۳۶۶/۸	۲۳/۶۵	۰/۰۱۸	۱۳	۱/۸۲
	زیاد	۱۰۷۸۸/۱	۴۳۲/۲	۲۸/۳۷	۱۱۲۲۰/۴	۱۴/۴۵	۰/۰۳۹	۲۷/۸۸	۰/۵۲
	خیلی زیاد	۴۴۴۸/۵	۲۹۵/۶	۱۹/۴۱	۴۷۴۴/۱	۶/۱۱	۰/۰۶۲	۴۵/۱	۰/۱۴

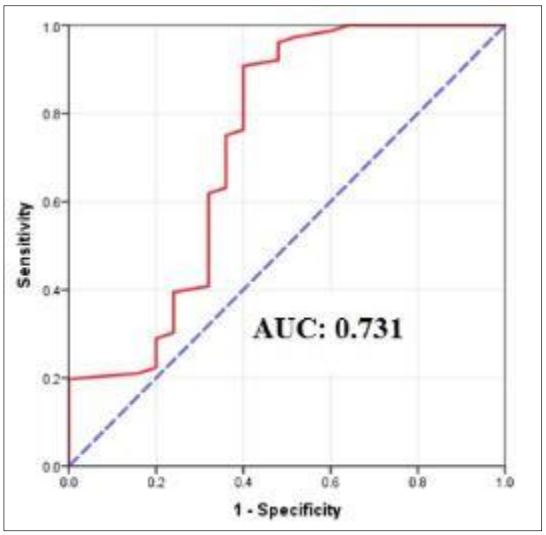
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]



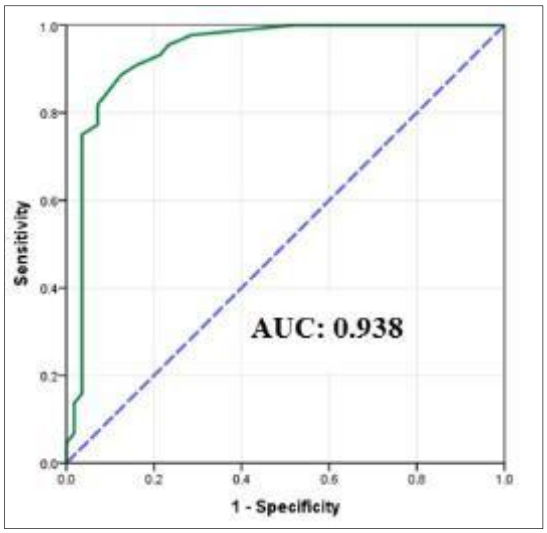
شکل ۷- روند شاخص نسبت فراوانی
Figure 7. Frequency Ratio Trend



شکل ۸- روند شاخص سطح سلول هسته
Figure 8. Seed Cell Area Index Trend



شکل ۹- مساحت زیر منحنی بدون پارامترهای ژئومورفومتریک
Figure 9. Area Under Curve without Geomorphometric Factors



شکل ۱۰- مساحت زیر منحنی با پارامترهای ژئومورفومتریک
Figure 10. Area Under Curve with Geomorphometric Factors

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که پارامترهای ژئومورفومتریک تأثیر زیادی در افزایش دقت شناسایی مناطق حساس به لغزش داشته‌اند به گونه‌ای که با افزایش پارامترهای ژئومورفومتریک به مدل، دقت آن از ۰/۷۳ به ۰/۹۳ افزایش یافت. در این میان پارامترهای شاخص موقعیت توپوگرافی، انحنای سطح و شاخص نسبت مساحت سطح به ترتیب با کسب (۰/۵۳۱، ۰/۴۳۲، ۰/۲۶۲) امتیاز بیشترین تأثیر را در افزایش صحت نقشه پهنه‌بندی داشته‌اند و پارامترهای قدرت جریان آبراهه (SPI)، طول شیب (SL)، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI) و انحنای مقطع در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. طبق نتایج حاصل از پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین‌لغزش با استفاده از پارامترهای اولیه و پارامترهای ژئومورفومتریک ۸/۶۸ درصد (۶۷۳۷ هکتار) از مساحت منطقه در رده خطر خیلی‌زیاد، ۱۵/۳۳ درصد (۱۱۹۰۶ هکتار) در رده خطر زیاد، ۲۲/۵۲ درصد (۱۷۴۸۸/۶ هکتار) در رده خطر متوسط، ۲۶/۹۷ (۲۰۹۳۹/۳ هکتار) در رده خطر کم و ۲۶/۵ درصد (۲۰۵۷۵/۶ هکتار) در رده خیلی‌کم قرار گرفته‌اند. با توجه به این که نتایج روش‌های داده محور وابسته به دقت داده‌های ورودی به آنها می‌باشد (۱۷،۲۵،۲۶،۲۷) و با توجه به ارتباط قوی بین رخداد زمین‌لغزش در منطقه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

مطالعاتی و ویژگی‌های توپوگرافیک و ژئومورفومتریک، در نظر گرفتن این پارامترها به عنوان داده‌های ورودی باعث افزایش دقت در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش گردیده است که با نتایج حاصل از تحقیقات جیبور و همکاران (۲۸) و پورقاسمی و همکاران (۳۷) مطابقت دارد. با توجه به تأثیر شایان توجه پارامترهای ژئومورفومتریک در افزایش صحت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه توصیه می‌گردد در پژوهش‌های آتی که در زمینه پهنه‌بندی زمین‌لغزش صورت می‌گیرد از این پارامترها نیز در فرآیند پهنه‌بندی به عنوان پارامترهای موثر استفاده گردد.

منابع

1. Arabameri, A.R. and A.H. Halabian. 2015. Landslide Hazard Zonation Using Statistical Model of AHP (Case Study: Zarand Saveh Basin), Physical Geomorphology, 28: 65-86.
2. Arabameri, A.R. and K. Shirani. 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.
3. Arabameri, A.R. and K. Shirani. 2016. Prioritization of Effective Factors on Landslide Occurrence and its Susceptibility Zonation Using Statistical Methods, A Case Study: Vanak catchment. Geodynamics Research International Bulletin, 3(05): 22-38.
4. Arabameri, A.R., K. Shirani and Kh. Rezaei. 2017. A Comparative Assessment between Weights-of-Evidence and Frequency Ratio Models for Landslide Hazard Zonation in Vanak Basin, Watershed Management Research, 8(15): 147-160.
5. Arabameri, A.R., H.R. Pourghasemi, M. Yamani. 2017. Applying different scenarios for landslide spatial modeling using computational intelligence methods. Environmental Earth Sciences, 76: 832.
6. Althuwaynee, O.F., B. Pradhan and S. Lee. 2016. A novel integrated model for assessing landslide susceptibility mapping using CHAID and AHP pair-wise comparison. International Journal of Remote Sensing, 37: 1190-1209.
7. Armed Forces Geographical Organization, 1:50000 Topographic maps, Chqagrg 59561V, Sary Valley 5556II, Pare Pit 59551V, Hercan shit 5955I, Fereydoon shahr 50551V.
8. Atkinson, P.M. and R. Massari. 2011. Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines. Geomorphology, 130: 55-64.
9. Chalkias, C., M. Ferentinou and C. Polykretis. 2014. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping on the Peloponnese Peninsula. Geosciences, 4: 176-190.
10. Chen, Z. and W. Jinfei. 2007. Landslide hazard mapping using logistic regression model in Machenzie Valley. Natural Hazard, 42: 75-89.
11. Chen, W., H. Chai, X. Sun, Q. Wang, X. Ding and H. Hong. 2016a. A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping. Arabian Journal of Geosciences, 9: 1-16.
12. Chen, W., X. Ding, R. Zhao and S. Shi. 2016b. Application of frequency ratio and weights of evidence models in landslide susceptibility mapping for the Shangzhou District of Shangluo City, China. Environment Earth Sciences, 75:1-10.
13. Chen, W., W. Li, H. Chai, E. Hou, X. Li and X. Ding. 2016c. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the Baozhong region of Baoji City, China. Environment Earth Sciences, 75:1-14.
14. Chousianitis, K., V. Del Gaudio, N. Sabatakakis, K. Kavoura, G. Drakatos, G.D. Bathrellos and H.D. Skilodimou. 2016. Assessment of Earthquake-Induced Landslide Hazard in Greece: From Arias Intensity to Spatial Distribution of Slope Resistance Demand.Bulletin of the Seismological Society of America, 106:174-188.
15. Constantin, M., M. Bednarik, M.C. Jurchescu and M. Vlaicu. 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). Environment Earth Sciences, 63: 397-406.
16. Dikau, R. 1989. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: Raper, J. (Ed.), Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems, Taylor and Francis, London: 51-77.
17. Dolatkhahi, Z., M.R. Javadi and M. Vafakhah. 2017. Using of two and multi variate regression models on landslide hazard zonation (a case study: North Tehran Watershed). Watershed Mmanagement Research, 8 (15): 171-179.
18. Dymond, J.R., A.G. Ausseil, J.D. Shepherd and L. Buettner. 2006. Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu–Wanganui region of New Zealand. Geomorphology, 74: 70-79.
19. Evans, I.S. 1972. General Geomorphology, Derivatives of Altitude and Descriptive Statistics. In R.J. Chorley (Ed.), Spatial Analysis in Geomorphology: 17-90.
20. Geological Survey of Iran. 1998. 1:250000 Geological maps, Golpayegan and Shahrkord sheets.
21. Guzzetti, F., A.C. Mondini, M. Cardinali, F. Fiorucci, M. Santangelo and K.T. Chang. 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews, 112: 42-66.
22. Hengl, T., S. Gruber and D.P. Shrestha. 2003. Digital terrain analysis in ILWIS. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. Netherlands: 62.
23. Holloway, J., C.A. Rudy, S.F. Lamoureux and P.M. Treitz. 2017. Determining the terrain characteristics related to the surface expression of subsurface water pressurization in permafrost landscapes using susceptibility modeling, The Cryosphere, 11: 1403-1415.
24. Hong, H., B. Pradhan, M.N. Jebur, D.T. Bui, C. Xu and A. Akgun. 2015. Spatial prediction of landslide hazard at the Luxi area (China) using support vector machines. Environmental Earth Sciences, 75(40).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

25. Hong, H., H.R. Pourghasemi and Z.S. Pourtaghi. 2016. Landslide susceptibility assessment in Lianhua County (China): a comparison between a random forest data mining technique and bivariate and multivariate statistical models. Geomorphology, 259: 105-118.
26. Hong, H., W. Chen, C. Xu, A.M. Youssef, B. Pradhan and D. Tien Bui. 2016. Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio, certainty factor, and index of entropy. Geocarto International, 23(2): 139-154.
27. Hong, H., W. Chen, C. Xu, A.M. Youssef, B. Pradhan, and D. Tien Bui. 2017. Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio, certainty factor, and index of entropy. Geocarto International, 32: 139-154.
28. Jebur, M.N., B. Pradhan and M.S. Tehrany. 2014. Optimization of landslide conditioning factors using very highresolution airborne laser scanning (LiDAR) data at catchment scale. Remote Sensing of Environmental, 152: 150-165.
29. Jenness, J. 2002. Surface Areas and Ratios from Elevation Grid. Jenness Enterprises.
30. Lee, S. and B. Pradhan. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslides, 4: 33-41.
31. Moore, I.D., R.B. Grayson and A.R. Ladson. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological. Geomorphological and biological applications, Hydrology Process, 5: 3-30.
32. National mapping agency. 1997. 1:40000 Aerial photos, Pishkuh Fereydūnshahr region.
33. Oh, H.J. and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computer Geosciences, 37(9:1264-1276).
34. Oh, H.J. and S. Lee. 2017. Shallow Landslide Susceptibility Modeling Using the Data Mining Models Artificial Neural Network and Boosted Tree, Applied science, 7: 1000.
35. Pawluszek, K. and A. Borkowski. 2017. Impact of DEM-derived factors and analytical hierarchy process on landslide susceptibility mapping in the region of Rozno´w Lake, Poland, Natural Hazards, 86: 919-952.
36. Pike, R.J., I.S. Evans and T. Hengl. 2009. Geomorphometry: A Brief Guide. Developments in Soil Science, 33(1).
37. Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi, S.F. Aghda, C. Gokceoglu and B. Pradhan. 2014. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). Arabian Journal of Geosciences 7(5):1857-1878.
38. Rasai, A., K. Khosravi, M. Habibnejad Roshan, A. Heidari and A. Mashayekh Khan. 2015. Lnadslide Hazard Zonation using Multivariate Regression in GIS Environment (Case Study: Aghmashhad Watershed, Mazandaran). Journal of watershed management research, 6 (12): 205-215.
39. Regmi, N.R., J. Giardio and J. Vitek. 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence: Western Colorado, USA. Geomorphology, 115: 172-187.
40. Shirani. K. 2003. Evaluation of the most important of zonation hazard landslide methods for selection appropriate method in south of Isfahan Province (Case Study: Semirom Region across Marbor River). Final report of research plan. Record No. 83/961.
41. Shirani, K and A.R. Arabameri. 2015. Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study: Dez-e-Oulia Basin), journal of water and soil science, 72: 321-334.
42. Shirani, K., F. Heydari, A.R. Arabameri. 2017. Landslide Risk Zoning Potential by Analytical Comparison of artificial neural network and multivariate regression methods in landslide hazard zonation, case study: Vanak Basin. Watershed Engineering and Management, 9(4): 45-464.
43. Tagil, S. and J. Jenness. 2008. GIS-based automated landform classification and topographic, land cover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Poje. Turkey. Applied Sciences, 8(6): 910-921.
44. Talebi, A., R. Uijlenhoet and P.A. Troch. 2007. Soil moisture storage and hillslope stability. Nat Hazards Earth System Science, 7: 523-534.
45. Taze, M., M. Asadi and S. Kalantari. 2015. Evaluation of capacity the Geomorphomety indicators in extracting drainage map (Seghale Sambusarayan water catchment). Quantitative Geomorphological Research, 1:134-144
46. Taze, M., S. Kalantari, H. Fathizad, R. Taghizade Mehrherdi. 2014. Classification of glacis based on Geomorphomety parameters (Aghda, Yazd). Quantitative Geomorphological Research, 4: 105-116.
47. Tobler, W.R. 1976. Analytical cartography, The American Cartographer, 3(1): 21-31.
48. Van Western, C.J., T.H. Van Asch and R. Soeters, 2005. Landslide Hazard and Risk Zonation: Why is it Still so Difficult, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2: 176-184.
49. Wang, Q., D. Wang, Y. Huang, Z. Wang, L. Zhang, Q. Guo, W. Chen, W. Chen and M. Sang. 2015. Landslide Susceptibility Mapping Based on Selected Optimal Combination of Landslide Predisposing Factors in a Large Catchment. Sustainability7: 16653-16669.
50. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, Ph.D Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne: 423 pp.
51. Yilmaz, I. 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). Computers and Geosciences, 35: 1125-1138.
52. Zhou, S., G. Chen, L. Fang and Y. Nie. 2016. GIS-Based Integration of Subjective and Objective Weighting Methods for Regional Landslides Susceptibility Mapping. Sustainability, 8(334).
53. Zhou, S. and L. Fang. 2015. Support vector machine modeling of earthquake-induced landslides susceptibility in central part of Sichuan province. Geoenvironmental disasters, 2(2).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]

Evaluating of Quantitative Geomorphometric Parameters Efficiency in Increasing the Accuracy of Landslide Sensitivity Maps (Case Study: Fereydoun Shahr Basin, Isfahan Province)

Alireza Arabameri[1], Khalil Rezaei[2], Masoud Sohrabi[3] and Kourosh Shirani[4]

1- PhD of Geomorphology, Faculty of Geomorphology, Tarbiat Modarres University
(Corresponding Author: Alireza.ameri91@yahoo.com)
2- Assistant Professor of sedimentology, Geology Department, Kharazmi University, Tehran.
3- M.Sc. Department Of Civil Engineering,Urmia Branch,Islamic Azad University,Urmia,Iran.
4- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
Received: 13 July, 2017 Accepted: 21 Apr, 2018

Abstract

One of the goals of geomorphologists in working with the models of different landforms is to obtain better relations in realizing the physical realities of environment. In this study, to evaluate the performance of geomorphometric parameters to increase accuracy of zoning landslide susceptibility map has been studied. As the first step by the application of nine initial conditioning factors including slope, aspect, elevation, land use, lithology, distance from roads, rivers and vegetation index (NDVI) the zoning map was provided. In the next step geomorphometric parameters influential on the occurrence of landslide including topographic location index (TPI), surface curvature, curved sections, slope length (LS), Topographic wetness index (TWI), stream flow power (SPI), surface area ration index (SAR), was added to the model and then the zoning map was obtained. In the final step, the zoning maps was evaluated by using ROC curve. To provide zoning maps a new mixed model was applied, so, for determination of criteria weights multivariate regression and to determine weight of the classes' frequency ratio method was utilized. The findings of this research indicated that geomorphometric factors have a considerable influence on the increase of identification of regions that are susceptible to the landslides and enhance the accuracy of zoning maps from 0.731 to 0.938. These factors have also increased the resolution of the slip classes. According to the results, topography position index, plan curvature and surface area ratio have the highest influence on the accuracy of zoning maps. Based on superior approach, 8.68% (6737 ha) of the region are at very high risk and 15.3% (11906 ha) have been identified as high risk areas. According to the high ability of geomorphologic parameters in the identification of susceptible areas to the landslide, the application of these parameters is recommended in landslide hazard zonation.

Keywords: Geomorphometry, Validation, Zonation, Landslide, Isfahan Province

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.17.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.220]