دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های احتمالاتی وزن واقعه و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ونک، اصفهان)

**علیرضا عرب عامری[1]، کورش شیرانی و خلیل رضایی**

۱- دانشجوی دکتری، ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس و مدرس دانشکده علوم زمین دانشگاه دامغان، (نویسنده مسوول: alireza.ameri91@yahoo.com)
۲- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان
۳- استادیار، گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۳۰

**چکیده**

**در این پژوهش، ابتدا حوزه ونک به دلیل حساسیت بالای آن به زمین لغزش انتخاب گردید، سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عملیات میدانی با استفاده از GPS، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها به عنوان متغیر وابسته تهیه گردید. از تعداد کل ۱۱۰ زمین لغزش، ۷۷ زمین لغزش (۷۰٪) برای مدل‌سازی و ۳۳ زمین لغزش (۳۰٪) برای اعتبار سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. سپس لایه‌های عوامل موثر در زمین لغزش شامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال تهیه گردید. رابطه بین زمین لغزش‌ها و عوامل موثر در زمین لغزش با استفاده از مدل های وزن واقعه و نسبت فراوانی محاسبه گردید. نهایتا، نقشه حساسیت زمین لغزش در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید. جهت اعتبارسنجی، نتایج با زمین لغزش‌هایی که در مرحله آموزش مدل‌ها استفاده نشده بود، مقایسه گردید. متعاقبا، منحنی ROC رسم گردیده و مساحت زیر منحنی برای نقشه‌های حساسیت زمین لغزش محاسبه گردید. نتایج بدست آمده از اعتبارسنجی نشان داد که مقادیر AUC برای مدل‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه به ترتیب ۰/۷۳٤ (۷۳/٤٪) و ۰/٦۲۳ (٦۲/۳٪) می‌باشد. بنابراین، نتایج نشان داد که مدل نسبت فراوانی مناسب‌تر از مدل وزن واقعه می‌باشد. نهایتا، اعتبارسنجی تطابق رضایت بخشی را بین نتایج حاصل از نقشه حساسیت و داده‌های زمین لغزش موجود در منطقه نشان داد.**

**واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، زمین لغزش، روش نسبت فراوانی، روش وزن واقعه، حوزه ونک**

## مقدمه

مخاطرات محیطی همواره به عنوان یکی از عوامل تهدید کننده جوامع بشری محسوب می‌گردند (۲۶). حرکات توده ای عمدتا جزء فرسایش های طبیعی است، اما بشر با انجام عملیاتی مانند جاده سازی و از بین بردن پوشش گیاهی می‌تواند آن را تشدید کند (۱۶). زمین لغزش عبارت است از حرکت مواد تشکیل‌دهنده شیب، شامل صخره‌های طبیعی، خاک، انباشته‌ای مصنوعی و یا مخلوطی از آنها که توسط نیروی ثقل به سمت پایین جابه جا می‌شوند (۴۱). لغزش‌ها نتیجه فرآیندهای مکانی-زمانی به هم پیوسته شامل فرایندهای هیدرولوژیک (بارش، تبخیر و آب‌های زیر زمینی)، وزن پوشش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک، سنگ مادر، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی هستند (۴۲). عوامل متعددی مانند شرایط زمین شناسی، شرایط آب‌شناختی، وضعیت پستی و بلندی، ریخت‌شناسی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری یک دامنه تاثیر گذاشته و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند (۱۷). از آنجا که تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش به طور چشمگیری برنامه‌ریزی کاربری را بهبود می‌بخشد، می‌توان از آن به عنوان روشی کارآمد برای کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از زمین لغزش‌ها استفاده کرد، بنابراین تهیه نقشه زمین لغزش گامی مهم برای مدیریت خطر زمین لغزش به منظور امنیت زندگی انسان‌ها، توسعه زیر ساخت‌ها و حفاظت از محیط زیست است (۳۲). تاکنون برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با روش‌های ابتکاری، قطعی و آماری پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. روش ابتکاری روشی کیفی است که به طور کامل بر مشاهدات اولیه و دانش کارشناس استوار است، بنابراین تخصیص ارزش‌ها و وزن‌ها به صورت ذهنی و نتایج تکرار ناپذیر است (۴۳،۱۸،۱۱). در مقابل روش‌های قطعی بر اساس تحلیل ثبات دامنه می‌باشد و فقط زمانی که شرایط زمین در سراسر منطقه مورد مطالعه به نسبت همگن و انواع لغزش‌ها شناخته شده باشند، قابل اجرا می‌باشند (۱۹،۷). از سوی دیگر روش‌های آماری غیرمستقیم‌اند و تا حدودی مبتنی بر مشاهدات و دانش اولیه کارشناس و محاسبات آماری وزن یا احتمالات وقوع زمین لغزش می‌باشند (۵). در رابطه با روش‌های وزن واقعه و نسبت فراوانی مطالعات زیادی صورت گرفته است به طوری که ژو و همکاران (۴۶) به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از دو مدل ارزش اطلاعات و مدل احتمالاتی وزن واقعه استفاده کردند. با استفاده از عوامل فاصله از گسل، زمین شناسی، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که به ترتیب ۹۳/۲ و ۹۲/۲ درصد از زمین لغزش‌ها در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد برای هر یک از مدل‌های ارزش اطلاعات و وزن واقعه قرار گرفته است. رگمی و همکاران (۳۳) در غرب کلرادوی آمریکا به منظور مدل سازی حساسیت زمین لغزش از تئوری بیزین استفاده کردند. در این پژوهش از ۱۷ عامل موثر در وقوع زمین لغزش استفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل مذکور نشان داده که دقت آن ۷۸/۴

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

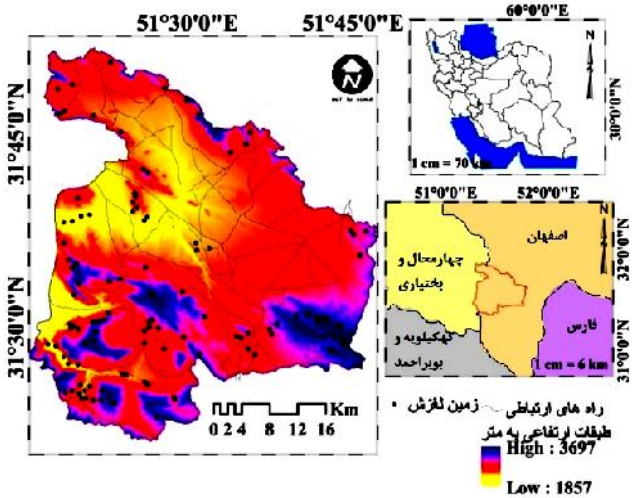
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

درصد برآورد گردیده است. لی و چوی (۲۴) جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش از GIS و تئوری احتمالی بیزین استفاده کردند. در این پژوهش ۱۵ عامل موثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه شناسایی و پهنه‌بندی با رویکردهای مختلف انجام گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که بیشترین دقت مدل زمانی است که از ۶ عامل درجه شیب، شکل شیب، نوع توپوگرافی، قطر درخت، لیتولوژی و فاصله از جاده استفاده گردید. متیو و همکاران (۲۸) در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در کشور هند از تئوری بیزین استفاده کردند. پورقاسمی و همکاران (۳۲) به ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های آنتروپی شانون، رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش پرداختند. محمدی و همکاران (۲۵) به مقایسه روش‌های نسبت فراوانی، دمپستر شیفر و وزن واقعه جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در استان گلستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل نسبت فراوانی دارای کارایی بالاتری نسبت به مدل‌های دیگر است. هدف از این پژوهش ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های وزن واقعه و نسبت فراوانی جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از ۱۲ فاکتور شامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی، شاخص پوشش گیاهی و شکل شیب می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سمیرم در محدوده‌ی سیاسی شهرستان سمیرم از استان اصفهان واقع گردیده است. وسعت حوزه در حدود ۱۶۸۵۴۷ هکتار بوده و در محدوده‌ی طول‌های جغرافیایی ″۵۰ ′۱۴ °۵۱ تا ″۱۵ ′۴۸ °۵۱ و عرض‌های جغرافیایی ″۰۵ ′۲۱ °۳۱ تا ″۱۰ ′۵۲ °۳۱ قرار دارد (شکل ۱). این حوزه در زون ساختاری سنندج- سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد. با توجه به نقشه زمین شناسی سازندهای رخنمون یافته از قدیم به جدید شامل شیل، آهک و ماسه سنگ سازند سورمه در ژوراسیک ، سازندهای فهلیان، گدوان، داریان، تاربور و واحدهای آهکی کرتاسه ، تناوب مارن، آهک و دولومیت، ماسه سنگ و کنگلومرا مربوط به سازندهای کشکان، شهبازان، جهرم، پابده، آسماری، رازک، آغاجاری مربوط به دوران دوم و کنگلومرای بختیاری همراه با رسوبات آبرفتی قدیمی و جدید، مخروط افکنه‌ها، پهنه‌های رسی و سیلتی و ماسه ای و رسوبات بستر رودخانه متعلق به عهد حاضر می‌باشد. بیشترین رخنمون مربوط به واحد Qt2 مخروط افکنه‌ها و تراس‌های آبرفتی جدید است و کمترین رخنمون مربوط به سازند پابده Epd تناوب مارن و آهک مارنی است.




شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area

### روش تحقیق

شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش، مهم‌ترین مرحله پهنه‌بندی رویداد این خطر است . بدین منظور، هر یک از عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در منطقه با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه تحقیقات پیشین (۲،۱،۱۵). شناسایی و نقشه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزار AreGIS10.2 رقومی گردید. بر اساس مقیاس، موقعیت منطقه مطالعاتی و روش پهنه‌بندی استفاده شده، به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، معیارهای طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی، شاخص پوشش گیاهی و شکل شیب مورد ارزیابی قرار گرفت. برای آنالیز خطر احتمالی زمین لغزش، شناسایی صحیح مناطق لغزشی امری ضروری به حساب می آید. لذا با استفاده از عکس‌های هوایی موجود، نقاط لغزشی شناسایی و به منظور ارزیابی نتایج تفسیر عکس‌های هوایی، بازدیدهای میدانی از منطقه مورد نظر صورت پذیرفت. نقشه‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از نقشه زمین شناسی در

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای +ETM (آگوست سال ۲۰۰۶) می‌باشد. در ذیل ۱۲ فاکتور مورد استفاده در این پژوهش و نحوه تهیه نقشه‌های آن بیان شده است

ارتفاع از سطح دریا: تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل موثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شود (۴۴). این عامل جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند. با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور و درون‌یابی آن، لایه رستری مدل رقومی ارتفاعی در ۵ کلاس تهیه گردیده است (شکل ۲).

شیب: در یک دامنه یک شکل، با خواص مواد برابر، افزایش شیب دامنه، بیشترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده ای دارد (۱۲). با افزایش زاویه شیب، سطح ثیقلی کاهش یافته، تنش برشی در خاک‌های آبرفتی و نهشته‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین دامنه‌های آرامتر کمتر در معرض زمین لغزش هستند (۱۳). نقشه شیب در محیط ArcGIS10.2 از روی مدل رقومی ارتفاعی ساخته شده سپس با دستور Reclassify در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. مبنای این محاسبات به درصد می‌باشد (شکل ۳).

جهت شیب: جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است (۲۲). نقشه جهت شیب با استفاده از نرم‌افزار AreGIS10.2 از روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تهیه گردید. بدین صورت که از گزینه Surfaceanalysis منوی 3DAnalysis را انتخاب و گزینه Aspect را اجرا کرده تا نقشه جهت شیب در ۸ جهت شامل شمال، جنوب، شرق، غرب، شمال غرب، شمال شرق، جنوب غرب و جنوب شرق تهیه گردد (۴).

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)[1]: این شاخص، شاخص ترکیب پستی و بلندی بوده که نسبت بین شیب‌ها را در حوزه به نمایش می‌گذارد. شاخص خیسی، شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم انداز زمین است که بوسیله رابطه ۱ قابل محاسبه می‌باشد (۲۹).

$$TWI = In\ (A_S/\tan\beta) \quad (1)$$

که در آن AS: مساحت حوزه آبخیز و β: گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد. شکل ۵ شاخص رطوبت در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

شکل شیب (Curvature): محاسبه شکل شیب این است که آیا بخش مشخصی از یک سطح محدب (Convex) یا مقعر (Concave) است. تحدب و تقعر یک سطح با استفاده از فواصل بین خطوط توپوگرافی متوالی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعیین می‌شود. به‌طور کلی انحنای زمین بین مقادیر مثبت (محدب) و منفی (مقعر) در نوسان است (۳۰). جهت تولید شکل شیب از مدل رقومی ارتفاعی استفاده گردید (شکل ۶).

تراکم شبکه زهکشی: تراکم زه‌کشی نسبت طول کل آبراهه‌ها به مساحت حوزه آبریز است. هرچه تراکم زه کش‌ها بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد (۴۳). نقشه تراکم شبکه زهکشی با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور در محیط ArcGIS تهیه گردید (شکل ۷).

فاصله از شبکه زهکشی: نقشه فاصله از شبکه زه‌کشی با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور و اعمال توابع Distance و Reclassify و Union کردن آن با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در محیط ArcGIS تهیه گردید (شکل ۸).

فاصله از جاده: فعالیت‌های انسانی مانند جاده سازی نیز از مهم‌ترین عوامل رخداد زمین لغزش در مناطق شیب دار محسوب می‌گردد (۱۵). نقشه فاصله از جاده با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و اعمال توابع Distance و Reclassify و Union کردن آن با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در محیط ArcGIS تهیه گردید (شکل ۹).

فاصله از گسل: گسل نقش مهمی در وقوع زمین لغزش دارد (۱۲). برای تهیه این لایه اطلاعاتی، ابتدا خطوط مربوط به گسل‌های منطقه از روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج گردید که پس از رقومی‌سازی، لایه رستری فاصله از گسل در ۵ کلاس در محیط AreGIS تهیه گردید (شکل ۱۰).

کاربری اراضی: چگونگی کاربری اراضی در وقوع پدیده زمین لغزش مؤثر است (۱۰،۳) و در بسیاری از موارد، ایجاد تغییر در نوع استفاده از زمین، باعث بروز این پدیده شده است (۹). بر اساس طبقه‌بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست +ETM و بازدید صحرایی و کنترل صحت نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه گردید (شکل ۱۱).

لیتولوژی: زمین‌شناسی و ساختار متنوع آن اغلب باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع جنس خاک و در نتیجه وقوع زمین لغزش می‌شود (۴). به منظور استخراج این لایه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده گردید (شکل ۱۲).

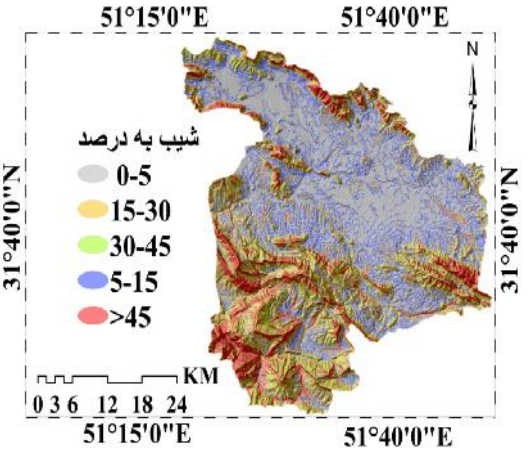
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)[2]: پس از تصحیحات لازم و زمین مرجع کردن تصویر +ETM سال ۲۰۰۶، مقدار NDVI محاسبه شد که به عنوان شاخصی برای وجود گیاهان در آبراهه‌ها از آن استفاده شد (۳۰) (شکل ۱۳).

1- Topographic Wetness Index

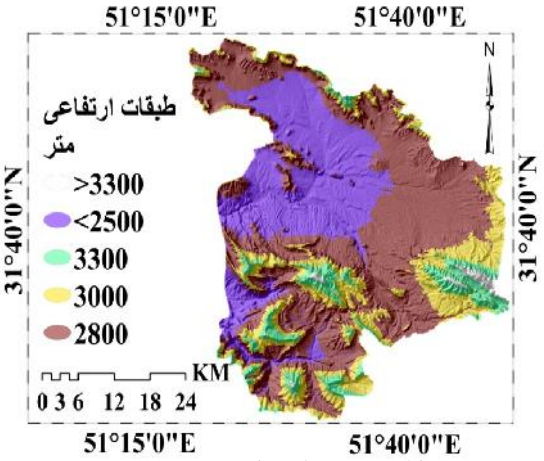
2- Normalized Difference Vegetation Index

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

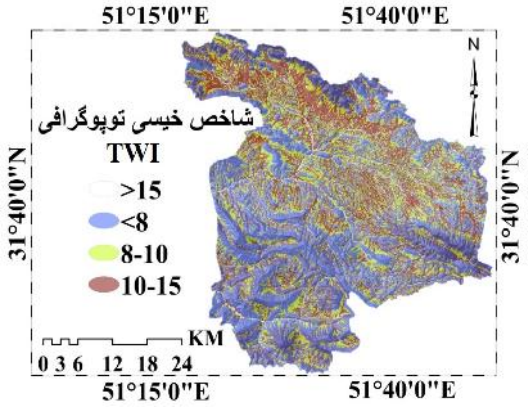
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]



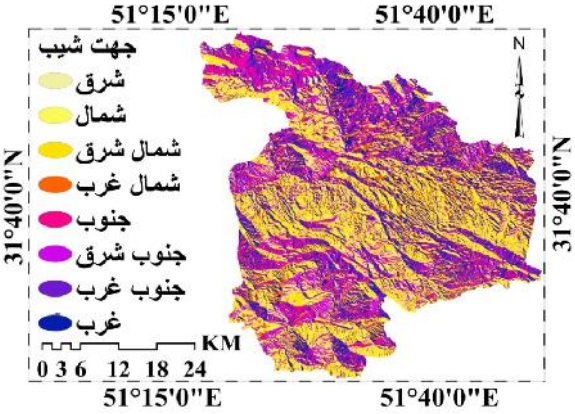

شکل ۳- نقشه شیب
Figure3. Slope map



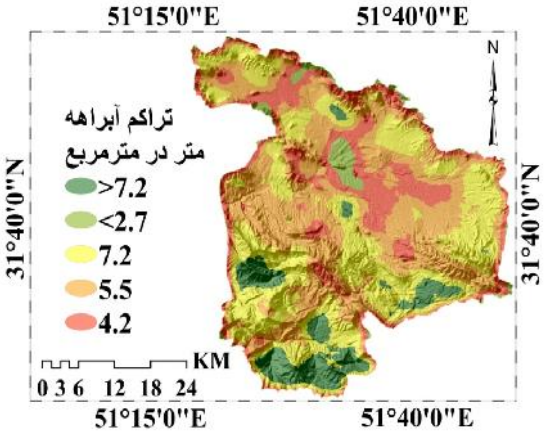

شکل ۲- نقشه طبقات ارتفاعی
Figure 2. altitude map



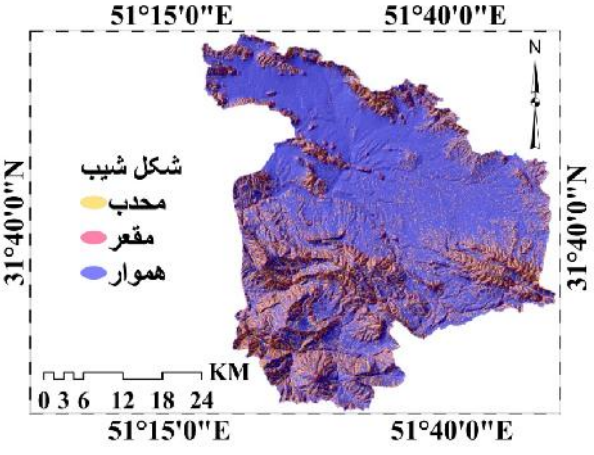

شکل ۵- نقشه شاخص رطوبت
Figure 5. Topography wetness




شکل ۴- نقشه جهت شیب
Figure 4. aspect map



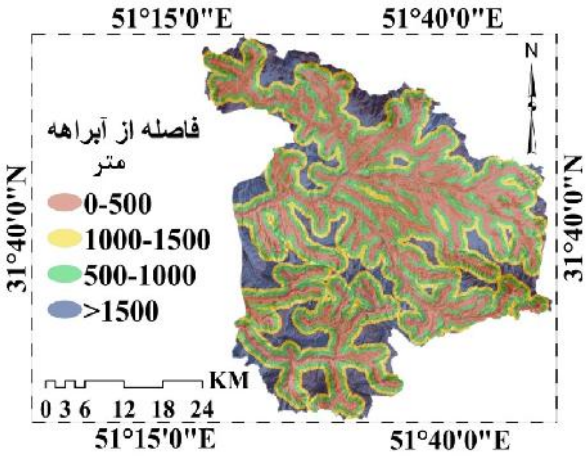

شکل ۷- نقشه تراکم آبراهه
Figure 7. stream density map



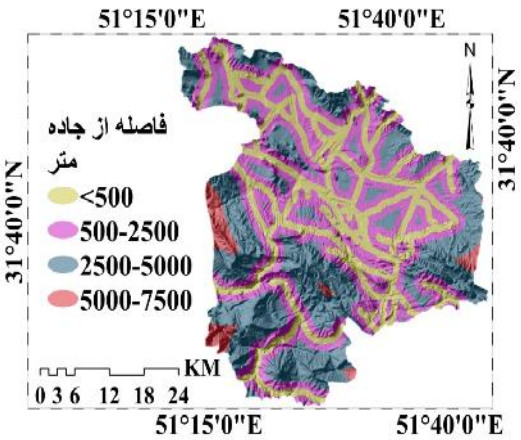

شکل ۶- نقشه شکل شیب
Figure 6. Plan curvature map index

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

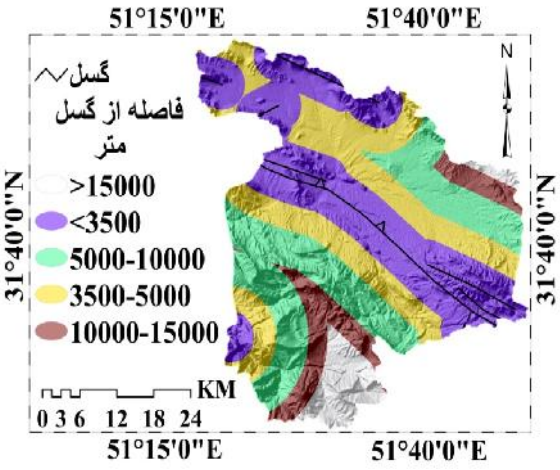
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]




شکل ۸- نقشه فاصله از آبراهه
Figure 8. Distance from river



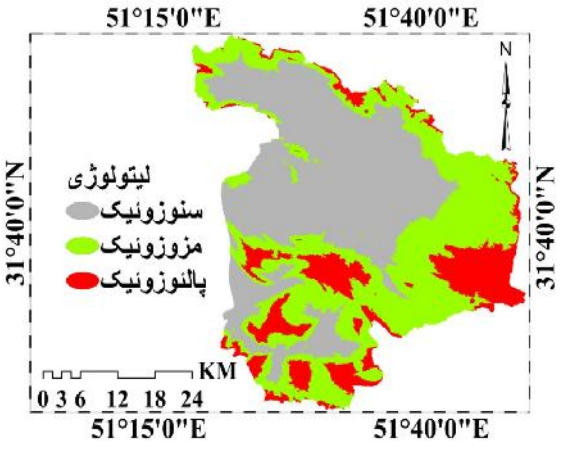

شکل ۹- نقشه فاصله از جاده
Figure 9. Distance from road



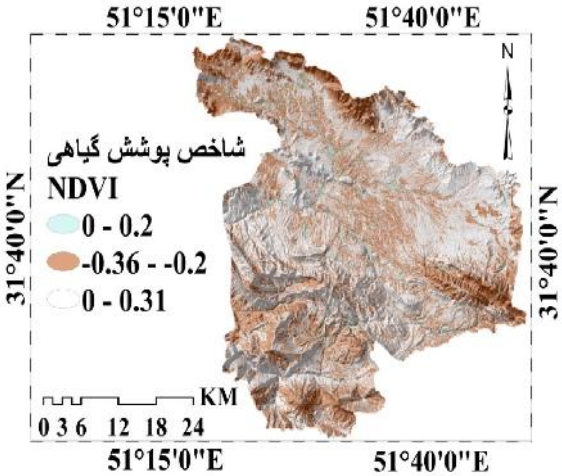

شکل ۱۰- فاصله از گسل
Figure 10. Distance from fault




شکل ۱۱- نقشه کاربری اراضی
Figure 11. Land use map




شکل ۱۲- نقشه لیتولوژی
Figure 12. Lithology map



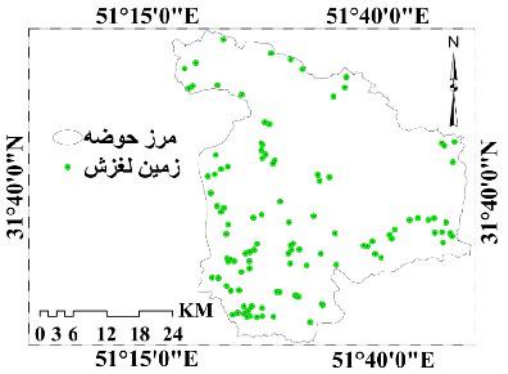

شکل ۱۳- نقشه شاخص پوشش گیاهی
Figure 13. NDVI index

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

## نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها

نقشه‌های پراکنش بر اساس هدف و اطلاعات در دسترس در مقیاس‌های مختلفی تهیه می‌گردند. نقشه‌های پراکنش متوسط مقیاس در مطالعات ژئومورفولوژی، در تجزیه و تحلیل توزیع منطقه‌ای انواع و الگوهای زمین لغزش (۲۰) و در ایجاد پایگاه داده به منظور ارزیابی آماری خطر و ریسک زمین لغزش کاربرد دارند. جهت به نقشه در آوردن انواع لغزش‌های رخ داده در محدوده مطالعاتی، ابتدا عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به روش استریوسکوپی و همچنین داده‌های ماهواره‌ای لندست هفت با استفاده از نرم‌افزار ENVI تفسیر شده‌اند و مناطق مشکوک به لغزش تعیین شد، در مرحله بعد با انجام پیمایش صحرایی دقیق، موقعیت لغزش‌ها با استفاده از دستگاه GPS با دقت زیاد به نقشه درآمد (شکل ۱۴). از بین ۱۱۰عدد لغزش شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه، ۴۴ عدد زمین لغزش سطحی، ۲۰ عدد جریان واریزه‌ای، ۲۸ عدد سنگ افت و ۱۸ عدد زمین لغزش قدیمی می‌باشد.در شکل (۱۵) نمونه‌ای از زمین لغزش های رخ داده در غرب ونک نمایش داده شده است.




شکل ۱۴– نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها
Figure 14. Inventory map



شکل ۱۵– زمین لغزش انتقالی در غرب ونک
Figure 15. transition Landslide in west of vanak

## روش احتمالاتی وزن واقعه

روش وزن واقعه (WOE) یا احتمال شرطی ابتدا برای شناسایی و اکتشاف نهشته‌های معدنی توسعه داده شد (۶). در دهه گذشته این روش در قالب چند پژوهش ارزیابی حساسیت زمین لغزش آزمایش شده است. کرارا و همکاران (۹) معتقدند که آنالیز احتمال شرطی ابزاری ارزشمند در تعیین پهنه‌بندی خطر می‌باشد، بویژه وقتی عوامل مناسب و آگاهی خوبی از عامل لغزش در دسترس باشد. تئوری وزن واقعه روشی داده محور است (۱۰) که به عنوان یکی از مدل‌های نظریه بیزین در قالب لگاریتم خطی شناخته شده است و از احتمال قبلی (غیر شرطی) و خلفی (شرطی) بهره می گیرد (۳۴). از این روش زمانی که داده‌های کافی به منظور برآورد اهمیت نسبی موضوعات مستدل از طریق آماری مدنظر باشد استفاده می‌گردد (۹). به این منظور ابتدا با استفاده از رابطه‌های ( ۲ و ۳) وزن‌های محتمل هر عامل و طبقه‌های مربوط به آن محاسبه می‌گردد.

$$W_i^+ = log_e\,[P\,(B_i|S)/P\,(B_i|\bar{S})] \quad (۲)$$

$$W_i^- = log_e\,[P\,(\bar{B}_i|S)/P\,(\bar{B}_i|\bar{S})] \quad (۳)$$

به منظور درک بهتر روابط فوق و سهولت کار، به ویژه در محیط GIS. مدل بر اساس جدول ۱ و به صورت رابطه های (۴ و ۵) ارائه می‌گردد (۴۵) و نهایتا وزن نهایی بر اساس روابط (۶،۷) برای هر عامل به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت (۳۶)

جدول ۱– چهار حالت پتانسیل ایجاد لغزش (۳۹)
Table1. Four possible combinations of a potential landslide conditioning factor

| زمین لغزش | حضور | عدم حضور |
|---|---|---|
| حضور | $N_{pix1}$ | $N_{pix2}$ |
| عدم حضور | $N_{pix3}$ | $N_{pix4}$ |

$$W_i^+ = log_e \frac{(N_{pix1}/(N_{pix1}+N_{pix2}))}{(N_{pix3}/(N_{pix3}+N_{pix4}))} \quad (۴)$$

$$W_i^- = log_e \frac{(N_{pix2}/(N_{pix1}+N_{pix2}))}{(N_{pix4}/(N_{pix3}+N_{pix4}))} \quad (۵)$$

که در آن: $N_{pix1}$: تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس، $N_{pix2}$: (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه)- (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)، $N_{pix3}$: (تعداد پیکسل‌های یک کلاس)- (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)، $N_{pix4}$: (تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه)- (تعداد

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

کل پیکسل‌های لغزشی یک نقشه)- (تعداد پیکسل‌های یک کلاس).

$$C = [(W^+) - (W^-)] \quad (۶)$$

$$W_{final} = C/S_C \quad (۷)$$

که در آن: C: تفاضل وزن‌های مثبت و منفی، $W_{final}$: وزن نهایی استاندارد شده و $S_C$: انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی می‌باشد.

**روش نسبت فراوانی**

نسبت فراوانی ارتباط کمی میان رخداد زمین لغزش‌ها و متغیرهای مختلف تاثیرگذار در آن را مشخص می‌نماید. در تعیین نرخ نسبت فراوانی، نسبت رخداد لغزش در هر کلاس از فاکتورهای تاثیرگذار 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 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 ۸ بیان شده است.

$$FR = \frac{(A/B)}{(C/D)} = \frac{E}{F} \quad (۸)$$

که در آن A: تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در هر کلاس، B: مجموع پیکسل‌های لغزشی کل حوزه، 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 (رابطه ۹) (۲۳).

$$LSI = \sum(FR)_i \qquad (i = 1,2,\dots.,n) \quad (۹)$$

که در آن LSI: شاخص پتانسیل رخداد زمین لغزش، FR: نسبت فراوانی فاکتور و n: مجموع فاکتورهای ورودی است.

**ارزیابی مدل‌ها**

در این پژوهش، با استفاده از منحنی ویژگیع ملگرنسبی (ROC) صحت روش و با استفاده از نسبت فراوانی (FR)[1] و شاخص سطح سلول هسته (SCAI)[2] دقت تفکیک بین طبقات در مدل‌های وزن واقعه و نسبت فراوانی مورد بررسی و تایید قرار گرفت. با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند (۱۹)، از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۱۰). نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI دو شاخصی هستند که دقت طبقه‌بندی مدل را می‌توانند تعیین کنند (۲۱). در حقیقت نسبت فراوانی (FR) نسبت مساحت سطح لغزشی در هر طبقه به مساحت سطح آن طبقه می‌باشد (۲۹). و شاخص SCAI نسبت درصد مساحت هر یک از طبقات پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر طبقه است (۴۵) هر دو شاخص که از نظر مقدار، رابطه عکس با همدیگر دارند، برای ارزیابی دقت تفکیک طبقات مدل استفاده می‌گردد (جدول ۳). به منظور اعتبار سنجی یا صحت مدل از منحنی ROC استفاده گردید (۳۳). منحنی ROC از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (۳۸،۳۵). سطح زیر منحنی ROC که AUC[3] نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداده (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین لغزش) آن است. نرخ پیش‌بینی (منحنی ROC) بیانگر ارزیابی مدل و متغیرهای پیش‌بینی کننده که زمین لغزش را پیش‌بینی می‌کند، می‌باشد (۸).

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از ارتباط بین زمین لغزش و عوامل موثر در زمین لغزش و میزان اثر هر یک از آنها با استفاده از روش‌های وزن واقعه و نسبت فراوانی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج حاصل از ارتفاع نشان داد که ارتفاع کمتر از ۲۵۰۰ متر بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است، در روش نسبت فراوانی (۲/۸۳) امتیاز و در روش وزن واقعه (۲/۵۸) امتیاز و با افزایش ارتفاع میزان حساسیت به خطر زمین لغزش کاهش یافته است که این موضوع نشان‌دهنده لیتولوژی مقاوم منطقه در ارتفاعات بالا و دستکاری‌های انسانی در ارتفاعات پایین‌تر از ۲۵۰۰ متر می‌باشد. بررسی شیب منطقه نشان داد که شیب بالاتر از ۴۵ درصد بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. به ترتیب (۲/۴۳، ۶/۲۶) امتیاز در روش‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه و با کاهش شیب میزان حساسیت به زمین لغزش کاهش می‌یابد. در شیب کم برآیند نیروها به صورتی است که نیروهای مقاوم بیشتر از نیروی محرکه بوده و شرایط وقوع زمین لغزش را در منطقه فراهم نکرده است، در مقابل در شیب‌های خیلی زیاد نیز فرآیندهای فرسایشی دیگر غالب بوده و خاک کافی برای وقوع زمین لغزش فراهم نمی شود. بررسی جهت شیب نشان می‌دهد که جهت شمال غرب به ترتیب با (۱/۵۲، ۱/۷۵) امتیاز بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است که دلیل آن جهت وزش بادهای بارانزا و وجود رطوبت بیشتر در جهت شمال غرب می‌باشد. نتایج حاصل از شکل شیب نشان می‌دهد که شیب‌های محدب به ترتیب با (۱/۹۱، ۳/۹۳) امتیاز تاثیر زیادی در وقوع زمین لغزش داشته است و این عامل می‌تواند نقش زیادی در همگرایی و واگرایی جریان‌های انتقالی از بالادست حوزه به پایین دست آن داشته باشد. بررسی فاکتورهای فاصله از جاده نشان داد که با فاصله از جاده میزان تاثیر آن در وقوع زمین لغزش کاهش می‌یابد به طوری که کلاس کمتر از ۵۰۰ متر به ترتیب با (۲/۴۵، ۳/۸۳) امتیاز بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است. علت اصلی این موضوع آن است که جاده‌ها وضعیت طبیعی و به عبارت دیگر شیب تعادلی منطقه را به‌هم‌زده و بریدگی‌های عمودی به وجود می‌آورند و بر بخش‌های پایین جاده فشار اضافی وارد می‌کنند و باعث افزایش زمین لغزش در نزدیکی‌های جاده می‌شوند. رابطه

1- Frequency Ratio 2- SeedCellArea Index 3- Area Under Curve

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

فاکتورهای فاصله از گسل و آبراهه با وقوع زمین لغزش نیز مانند فاکتور فاصله از جاده می‌باشد. به طور کلی بررسی فاصله از جاده، رودخانه و گسل نشان می‌دهد که کلاس‌های کمتر از ۵۰۰ متر، ۵۰۰– ۰ و کمتر از ۱۵۰۰ متر بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته اند که بیانگر همبستگی زمین لغزش با حریم جاده، آبراهه و گسل است. در رابطه با شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، مناطق با پوشش گیاهی تنک و پراکندهو خاک لخت بیشترین احتمال رخداد زمین لغزش و مناطق با پوشش گیاهی متراکم و جنگلی کمترین احتمال وقوع زمین لغزش را دارند که با نظرات (۳۷) مطابقت دارد. نتایج حاصل از دیگر فاکتورها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲– ارتباط بین هر یک از عوامل موثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه و نسبت فراوانی

Table 2. Spatial relationship between each landslide conditioning factor and landslide by WOE and FR models

| پارامترها | کلاس | مساحت | مساحت لغزش (٪) | مساحت لغزش (٪) | FR | W+ | W- | C | S2 (W+) | S2 (W-) | S© | C/S© |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ارتفاع | ۲۵۰۰< | ۵۰۶۸۹۳ | ۲۷/۰۷ | ۱۸ | ۲/۸۳ | ۰/۲۰ | −۰/۰۳ | ۰/۲۴ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۲/۵۸ |
| | ۲۵۰۰–۲۸۰۰ | ۸۹۹۸۲۴ | ۴۸/۰۵ | ۵۰ | ۱/۱۴ | ۰/۵۶ | ۰/۱۰ | ۰/۶۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۱/۳۴ |
| | ۲۸۰۰–۳۰۰۰ | ۳۱۲۳۸۲ | ۱۶/۶ | ۱۶ | ۱/۰۸ | −۰/۱۳ | ۰/۰۶ | −۰/۲۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۷۳ |
| | ۳۰۰۰–۳۳۰۰ | ۱۳۳۷۳۰ | ۷/۱۴ | ۱۳ | ۱/۸۲ | −۰/۱۸ | ۰/۰۵ | −۰/۲۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | −۱/۲۳ |
| | ۳۳۰۰> | ۱۹۸۷۵ | ۱/۰۶ | ۳ | ۰/۷۴ | −۰/۲۴ | ۰/۰۳ | −۰/۲۸ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | −۲/۸۹ |
| جهت شیب | شمال | ۲۷۷۸۸۷ | ۱۴/۸۴ | ۱۱/۹۳ | ۰/۸۰ | −۰/۲۱ | ۰/۰۳ | −۰/۲۵ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۲۹ | −۰/۸۵ |
| | شمال شرق | ۲۵۰۵۵۶ | ۱۳/۳۸ | ۱۲/۸۴ | ۰/۹۶ | −۰/۰۴ | ۰/۰۰ | −۰/۰۴ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۲۸ | −۰/۱۶ |
| | شرق | ۱۸۱۲۵۹ | ۹/۶۸ | ۱۴/۶۸ | ۱/۱۲ | ۰/۴۱ | −۰/۰۵ | ۰/۴۷ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰/۲۷ | ۰/۷۶ |
| | جنوب شرق | ۱۶۸۷۰۴ | ۹/۰۱ | ۱۱/۰۱ | ۱/۲۲ | ۰/۲۰ | −۰/۰۲ | ۰/۲۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰/۳۰ | ۰/۷۳ |
| | جنوب | ۲۴۱۴۷۵ | ۱۲/۸۹ | ۱۲/۸۴ | ۱ | −۰/۰۰۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۲۸ | −۰/۰۲ |
| | جنوب غرب | ۲۷۹۰۵۲ | ۱۴/۹۰ | ۱۳/۷۶ | ۰/۹۲ | −۰/۰۷ | ۰/۰۱ | −۰/۰۹ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰/۲۷ | −۰/۳۳ |

ادامه جدول ۲

| پارامترها | کلاس | مساحت | مساحت لغزش (٪) | مساحت لغزش (٪) | FR | W+ | W- | C | S2 (W+) | S2 (W-) | S© | C/S© |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | غرب | ۲۴۹۱۰۱ | ۱۳/۳۰ | ۸/۲۶ | ۰/۶۲ | −۰/۴۷ | ۰/۰۵ | −۰/۵۳ | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | ۰/۳۴ | −۱/۵۳ |
| | شمال غرب | ۲۲۴۶۷۰ | ۱۲ | ۱۴/۶۸ | ۱/۵۲ | ۰/۲۰۱ | −۰/۰۳ | ۰/۲۳ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰/۲۷ | ۱/۲۰ |
| فاصله از گسل | ۳۵۰۰< | ۶۲۳۸۹۵ | ۳۳/۳۲ | ۳۴/۸۶ | ۱/۰۵ | ۰/۰۴ | −۰/۰۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۲۰ | ۰/۳۴ |
| | ۳۵۰۰ – ۵۰۰۰ | ۴۷۸۲۱۰ | ۲۵/۵۴ | ۱۵/۶۰ | ۰/۶۱ | −۰/۴۹ | ۰/۱۲ | −۰/۶۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۲۶ | −۲/۳۴ |
| | ۵۰۰۰ – ۱۰۰۰۰ | ۴۸۳۹۶۳ | ۲۵/۸۴ | ۲۷/۵۲ | ۱/۰۷ | ۰/۰۶ | −۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۲۱ | ۰/۴۰ |
| | ۱۰۰۰۰ – ۱۵۰۰۰ | ۱۶۱۵۸۵ | ۸/۶۳ | ۱۵/۶۰ | ۱/۸۱ | ۰/۵۹ | −۰/۰۷ | ۰/۶۷ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۲۶ | ۲/۵۴ |
| | ۱۵۰۰۰> | ۱۲۵۰۵۱ | ۶/۶۸ | ۶/۴۲ | ۰/۹۶ | −۰/۰۳ | ۰/۰۰ | −۰/۰۴ | ۰/۱۴ | ۰/۰۰ | ۰/۳۹ | −۰/۱۱ |
| لیتولوژی | رسوبات مخروط افکنه ای | ۳۹۸۴۱۳ | ۲۱/۲۷ | ۸/۲۶ | ۰/۳۹ | −۰/۹۴ | ۰/۱۵ | −۱/۰۹ | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | ۰/۳۴ | −۳/۱۶ |
| | آهک متامرف و شیل | ۱۶۱۴۰ | ۰/۸۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | −۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۰۹ |
| | سنگ آهک کمی متامرف | ۳۰۶۸۲ | ۱/۶۴ | ۰/۹۲ | ۰/۵۶ | −۰/۵۷ | ۰/۰۰ | −۰/۵۸ | ۱ | ۰/۰۰ | ۱ | −۰/۵۸ |
| | سنگ آهک | ۳۱۳۰۴۶ | ۱۶/۷۲ | ۲۸/۴۴ | ۱/۷ | ۰/۵۳ | −۰/۱۵ | ۰/۶۸ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۲۱ | ۳/۲۲ |
| | آهک، شیل، مارن | ۷۷۴۲۶ | ۴/۱۳ | ۷/۳۴ | ۱/۷۸ | ۰/۵۷ | −۰/۰۳ | ۰/۶۰ | ۰/۱۲ | ۰/۰۰ | ۰/۳۶ | ۱/۶۶ |
| | شیل | ۱۲۱۸۳ | ۰/۶۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | −۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۰۷ |
| | سنگ آهک واریزه ای | ۴۴۵۰۶ | ۲/۳۸ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | −۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۲۵ |
| | سنگ آهک کمی متامرف | ۴۴۶۲۰ | ۲/۳۸ | ۷/۳۴ | ۳/۰۸ | ۱/۱۲ | −۰/۰۵ | ۱/۱۷ | ۰/۱۲ | ۰/۰۰ | ۰/۳۶ | ۳/۲۱ |
| | رسوبات رودخانه ای | ۸۶۰۰ | ۰/۴۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | −۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۰۵ |
| | آهک و کنگلومرا | ۱۷۵۰۴۴ | ۹/۳۵ | ۱۴/۶۸ | ۱/۵۷ | ۰/۴۵ | −۰/۰۶ | ۰/۵۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰/۲۷ | ۱/۸۹ |
| | تالوس | ۳۸۳۴۱ | ۲/۰۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | −۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۲۲ |
| | رسوب رودخانه ای | ۱۲۳۳۲۵ | ۶/۵۹ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۶ | −۰/۰۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۷۱ |
| | کنگلومرا و آهک | ۱۵۷۹۳۱ | ۸/۴۳ | ۳/۶۷ | ۰/۴۴ | −۰/۸۳ | ۰/۰۵ | −۰/۸۸ | ۰/۲۵ | ۰/۰۰ | ۰/۵ | −۱/۷۳ |
| | سنگ آهک و مارن | ۲۱۷۶۷۸ | ۱۱/۶۲ | ۲/۷۵ | ۰/۲۴ | −۱/۴۴ | ۰/۰۹ | −۱/۵۳ | ۰/۳۳ | ۰/۰۰ | ۰/۵۸ | −۲/۶۲ |
| | مارن آسماری | ۲۳۶۲۹ | ۱/۲۶ | ۳/۶۷ | ۲/۹۱ | ۱/۰۶ | −۰/۰۲ | ۱/۰۹ | ۰/۲۵ | ۰/۰۰ | ۰/۵ | ۲/۱۴ |
| | آهک، کنگلومرا و شیل | ۱۶۰۴۰۲ | ۸/۵۷ | ۲۲/۰۲ | ۲/۵۷ | ۰/۹۴ | −۰/۱۵ | ۱/۱ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۲۳ | ۴/۷۷ |
| | کنگلومرا با سیمان آهک | ۲۴۱۴۵ | ۱/۲۹ | ۰/۹۲ | ۰/۷۱ | −۰/۳۴ | ۰/۰۰ | −۰/۳۴ | ۱ | ۰/۰۰ | ۱ | −۰/۳۴ |
| | کنگلومرای قدیمی | ۶۵۹۳ | ۰/۳۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | −۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۰۴ |
| NDVI | −۰/۳۶ _ −۰/۲ | ۱۳۷۳۵ | ۰/۷۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | −۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | −۰/۰۸ |
| | ۰/۲–۰ | ۸۰۴۲۰۹ | ۴۲/۹۴ | ۳۸/۵۳ | ۰/۹۰ | −۰/۱۰ | ۰/۰۷ | −۰/۱۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | −۰/۹۳ |
| | ۰.–۰/۳۱ | ۱۰۵۴۷۶۰ | ۵۶/۳۲ | ۶۱/۴۷ | ۱/۰۹ | ۰/۰۸ | −۰/۱۲ | ۰/۲۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۱۹ | ۱/۰۸ |
| تراکم آبراهه | ۲/۷< | ۵۸۵۱۲ | ۳/۱۲ | ۱/۸۳ | ۰/۵۹ | −۰/۵۳ | ۰/۰۱ | −۰/۵۴ | ۰/۵ | ۰/۰۰ | ۰/۷۱ | −۰/۷۶ |
| | ۴/۲–۲/۷ | ۳۱۸۸۰۳ | ۱۷/۰۲ | ۴/۵۹ | ۰/۲۷ | −۱/۳۱ | ۰/۱۳ | −۱/۴۵ | ۰/۲ | ۰/۰۰ | ۰/۴۵ | −۳/۱۷ |
| | ۵/۵ – ۴/۲ | ۷۲۵۹۴۰ | ۳۸/۷۶ | ۳۹/۴۵ | ۱/۰۲ | ۰/۰۱ | −۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | ۰/۱۵ |
| | ۷/۲–۵/۵ | ۶۰۹۸۲۷ | ۳۲/۵۶ | ۳۷/۶۱ | ۱/۱۶ | ۰/۱۴ | −۰/۰۷ | ۰/۲۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | ۱/۱۲ |
| | ۷/۲> | ۱۵۹۶۲۲ | ۸/۵۲ | ۱۶/۵۱ | ۱/۹۴ | ۰/۶۶ | −۰/۰۹ | ۰/۷۵ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۲۵ | ۲/۹۲ |

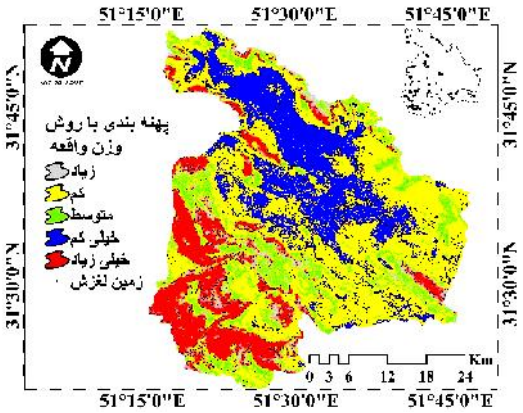
[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

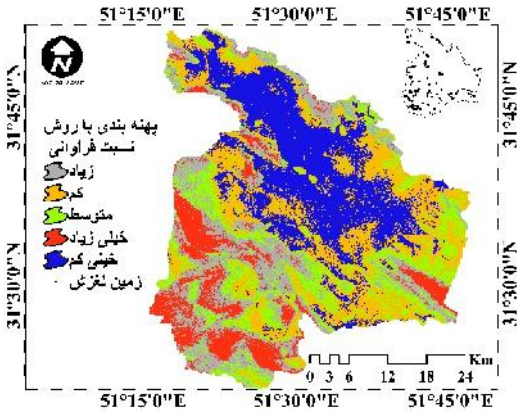
ادامه جدول ۲

| پارامترها | کلاس | مساحت | مساحت (٪) | مساحت لغزش (٪) | FR | W+ | W- | C | S2 (W+) | S2 (W-) | S© | CS© |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کاربری اراضی | زراعت آبی، باغات، دیم | ۴۲۲۵۸۸ | ۲۲/۵۷ | ۸/۲۶ | ۰/۳۷ | -۱/۰ | ۰/۱۶ | -۱/۱۷ | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | ۰/۳۴ | -۳/۳۸ |
| | مرتع و دیمزار | ۳۴۶۸۷۲ | ۱۸/۵۲ | ۱۵/۶۰ | ۰/۸۴ | -۰/۱۷ | ۰/۰۳ | -۰/۲۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۲۶ | -۰/۷۹ |
| | ارتفاعات بایر، مرتع | ۵۵۴۱۵۳ | ۲۲/۵۹ | ۵۷/۸۰ | ۲/۹۱ | ۰/۶۶ | -۰/۵۱ | ۱/۱۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۱۹ | ۶/۰۹ |
| | دیمزار، ارتفاعات بایر | ۴۴۷۸۵۲ | ۲۳/۹۱ | ۱۳/۷۶ | ۰/۵۸ | -۰/۵۵ | ۰/۱۲ | -۰/۶۷ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۲۷ | -۲/۴۴ |
| | مرغزار، مرتع | ۸۵۸۸ | ۰/۴۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | -۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | -۰/۰۵ |
| | مرتع، دیمزار | ۲۳۶۰۵ | ۱/۲۶ | ۳/۶۷ | ۱/۱۱ | ۰/۰۰ | -۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | ۰/۲۵ |
| | مرتع، باغات | ۵۴۸۰۰ | ۲/۹۳ | ۰/۹۲ | ۰/۳۱ | -۱/۱۵ | ۰/۰۲ | -۱/۱۸ | ۱ | ۰/۰۰ | ۱/۰ | -۱/۱۷ |
| | زراعت آبی،باغات،مرتع | ۱۴۲۴۶ | ۰/۷۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | -۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | -۰/۰۸ |
| فاصله از جاده | ۵۰۰< | ۴۹۵۹۴۹ | ۲۶/۴۸ | ۵۶/۸ | ۲/۴۵ | -۱/۰۶ | ۰/۲۱ | -۱/۲۷ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۰/۳۳ | ۳/۸۳ |
| | ۵۰۰ – ۲۵۰۰ | ۶۵۱۸۲۴ | ۳۴/۸۱ | ۲۵/۶۹ | ۱/۶۱ | -۰/۳۰ | ۰/۱۳ | -۰/۴۳ | ۰/۰۳ | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | -۱/۱۸ |
| | ۲۵۰۰ – ۵۰۰۰ | ۶۶۱۸۶۳ | ۳۵/۳۴ | ۱ | ۰/۷۴ | ۰/۴۷ | -۰/۴۰ | ۰/۸۸ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | -۱/۵۶ |
| | ۵۰۰۰ – ۷۵۰۰ | ۶۳۰۶۸ | ۳/۳۷ | ۸/۲۶ | ۰/۳۵ | ۰/۸۹ | -۰/۰۵ | ۰/۹۴ | ۰/۱۱ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴ | -۲/۷۳ |
| شیب | ۰–۵ | ۴۸۵۱۰۰ | ۲۵/۹۰ | ۸/۲۶ | ۰/۳۲ | -۱/۱۴ | ۰/۲۱ | -۱/۳۵ | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | ۰/۳۴ | -۳/۹۰ |
| | ۵ – ۱۵ | ۴۵۰۴۰۳ | ۲۴/۰۵ | ۱۲/۸۴ | ۰/۵۳ | -۰/۶۲ | ۰/۱۳ | -۰/۷۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۲۸ | -۲/۶۷ |
| | ۱۵ – ۳۰ | ۳۷۹۱۸۵ | ۲۰/۲۵ | ۱۵/۶۰ | ۰/۷۷ | -۰/۲۶ | ۰/۰۵ | -۰/۳۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۲۶ | -۱/۲۰ |
| | ۳۰ – ۴۵ | ۲۴۶۳۹۹ | ۱۳/۱۶ | ۱۲/۹۴ | ۱/۷۴ | ۰/۵۵ | -۰/۱۱ | ۰/۶۷ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۲۲ | ۲/۹۶ |
| | ۴۵> | ۳۱۱۶۱۷ | ۱۶/۶۴ | ۴۰/۳۷ | ۲/۴۳ | ۰/۸۸ | -۰/۳۳ | ۱/۲۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | ۶/۲۶ |
| TWI | <۸ | ۹۶۶۹۱۲ | ۵۱/۶۳ | ۶۵/۱۴ | ۱/۲۶ | ۰/۲۳ | -۰/۳۲ | ۰/۵۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۲۰ | ۲/۷۹ |
| | ۸–۱۰ | ۴۶۷۶۷۳ | ۲۴/۹۷ | ۲۲/۰۲ | ۰/۸۸ | -۰/۱۲ | ۰/۰۳ | -۰/۱۶ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۲۳ | -۰/۷۱ |
| | ۱۰ – ۱۵ | ۳۸۳۱۶۳ | ۲۰/۴۶ | ۹/۱۷ | ۰/۴۵ | -۰/۸۰ | ۰/۱۳ | -۰/۹۳ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۰/۳۳ | -۲/۸۲ |
| | ۱۵> | ۵۴۹۵۶ | ۲/۹۳۴ | ۳/۶۶۹ | ۱/۲۵ | ۰/۲۲ | -۰/۰۰ | ۰/۲۳ | ۰/۲۵ | ۰/۰۰ | ۰/۵۰ | ۰/۴۳ |
| شکل شیب | مقعر | ۲۸۷۵۱۸ | ۱۵/۳۵ | ۲۹/۳۶ | ۱/۲۵ | ۰/۶۴ | -۰/۱۸ | ۰/۸۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۲۱ | ۳/۹۴ |
| | هموار | ۱۲۵۵۲۰۵ | ۶۷/۰۳ | ۴۸/۶۲ | ۰/۷۳ | -۰/۳۲ | ۰/۴۴ | -۰/۷۶ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | -۳/۹۹ |
| | محدب | ۳۲۹۹۸۱ | ۱۷/۶۲ | ۲۲/۰۲ | ۱/۹۱ | ۰/۲۲ | -۰/۰۵ | ۰/۲۷ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۲۳ | ۳/۹۳ |
| فاصله از آبراهه | ۰–۵۰۰ | ۷۰۱۰۰۳ | ۳۷/۴۳ | ۳۵/۷۸ | ۰/۹۶ | -۰/۰۴ | ۰/۰۲ | -۰/۰۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | -۰/۳۶ |
| | ۵۰۰–۱۰۰۰ | ۴۸۹۸۴۰ | ۲۶/۱۶ | ۱۹/۲۷ | ۰/۷۴ | -۰/۳۰ | ۰/۰۸ | -۰/۳۹ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۲۴ | -۱/۶۳ |
| | ۱۰۰۰–۱۵۰۰ | ۳۲۴۴۶۹ | ۱۷/۳۳ | ۱۵/۶ | ۰/۹۰ | -۰/۱۰ | ۰/۰۲ | -۰/۱۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۲۶ | -۰/۴۸ |
| | ۱۵۰۰> | ۳۵۷۳۹۲ | ۱۹/۰۸ | ۲۹/۳۶ | ۱/۵۴ | ۰/۴۳ | -۰/۱۳ | ۰/۵۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۲۱ | ۲/۶۹ |

پس از تعیین وزن ۱۲ فاکتور موثر در وقوع زمین لغزش و ضرب آن در کلاس‌های عامل مذکور نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش بر اساس روش‌های وزن واقعه و نسبت فراوانی طبق روابط ۲ تا ۹ حاصل گردید، سپس نقشه مذکور بر اساس شکست‌های طبیعی (۱۰،۳۹،۴۰) به پنج کلاس خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی گردید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش نسبت فراوانی در شکل (۱۶) و با روش وزن واقعه در شکل (۱۷) نشان داده شده است.




شکل ۱۶- نقشه پهنه‌بندی با روش نسبت فراوانی
Figure 16. Landslide susceptibility map produced by FR model

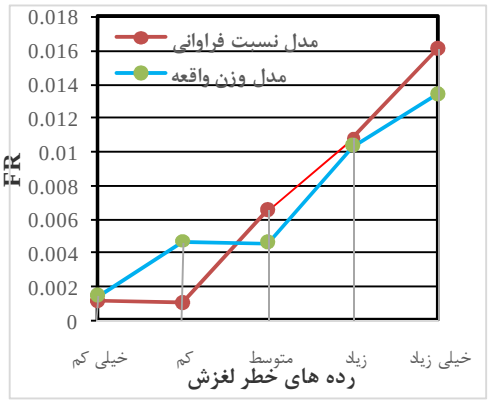



شکل ۱۷- نقشه پهنه‌بندی با روش وزن واقعه
Figure 17. Landslide susceptibility map produced by WOE model

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش اقدام به ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش ROC گردید. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی بر مبنای مدل‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه با استفاده از شاخص‌های SCAI و FR در جدول (۳) و شکل (۱۸،۱۹) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در هر دو مدل با افزایش حساسیت خطر از خیلی کم به خیلی زیاد مقادیر نسبت فراوانی (FR) روند صعودی داشته (شکل ۱۹) اما شاخص SCAI روند نزولی قابل توجه را نشان می‌دهد (شکل ۱۸) 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. این همبستگی بین رده‌های خطر لغزش با مناطق لغزشی در مدل نسبت فراوانی نسبت به مدل وزن واقعه نمود بارزتری دارد. در جدول (۴) مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن برای هر دو مدل نشان داده شده است. بیشترین میزان ROC مربوط به مدل نسبت فراوانی می‌باشد که بیانگر همبستگی بالا بین نقشه خطر تهیه شده و نقشه پراکنش زمین‌لغزش و ارزیابی بهتر مدل نسبت به مدل وزن واقعه می‌باشد. شکل ۲۰ نشان‌دهنده ارزیابی بهتر مدل نسبت فراوانی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نسبت به مدل وزن واقعه می‌باشد.




شکل ۱۸- روند شاخص SCAI در مدل‌ها
Figure 18. Trends of SCAI Index in models




شکل ۱۹- روند شاخص FR در مدل‌ها
Figure 19. Trends of FR Index in models

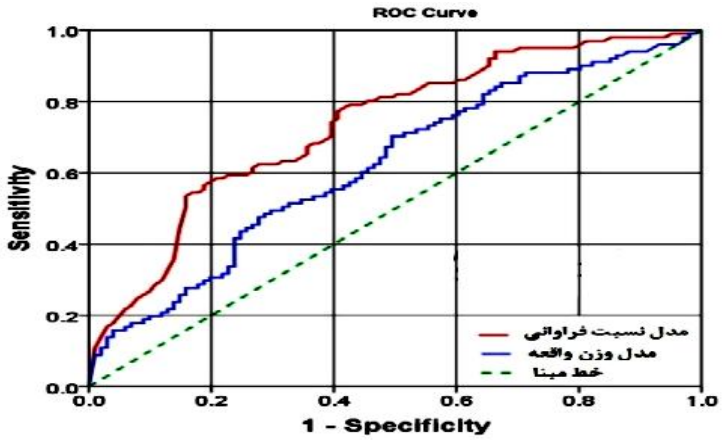
جدول ۳- نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش
Table 3. FR and SCAI for the landslide susceptibility map

| مدل | رده های خطر لغزش | تعداد سلول لغزش | درصد تعداد لغزش | تعداد سلول در هر رده خطر | درصد مساحت رده | درصد نسبت فراوانی (FR) | درصد Seed | SCAI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| نسبت فراوانی | خیلی کم | ۴۵۰۰ | ۴/۵۹ | ۳۸۹۱۵۶۷۸۳ | ۲۳/۰۹ | ۰/۰۰۱۲ | ۳/۲۵ | ۷/۱۱ |
| | کم | ۴۵۰۰ | ۴/۸۹ | ۴۴۲۱۸۰۵۹۴ | ۲۶/۲۴ | ۰/۰۰۱۰ | ۲/۸۶ | ۹/۱۸ |
| | متوسط | ۲۱۶۰۰ | ۲۲/۰۲ | ۳۳۰۶۱۲۰۸۹ | ۱۹/۶۳ | ۰/۰۰۶۵ | ۱۸/۳۵ | ۱/۰۷ |
| | زیاد | ۳۴۲۰۰ | ۳۴/۸۶ | ۳۱۶۵۷۵۲۸۴ | ۱۸/۷۸ | ۰/۰۱۰۸ | ۳۰/۳۴ | ۰/۶۲ |
| | خیلی زیاد | ۳۳۳۰۰ | ۳۳/۹۴ | ۲۰۶۹۰۸۸۴۸ | ۱۲/۲۸ | ۰/۰۱۶۱ | ۴۵/۲۰ | ۰/۲۷ |
| وزن واقعه | خیلی کم | ۶۵۳۹ | ۶/۶۷ | ۴۶۵۸۲۴۰۹۰ | ۲۷/۵۲ | ۰/۰۰۱۴ | ۴/۱۱ | ۶/۷۰ |
| | کم | ۱۹۶۲۰ | ۲۰ | ۴۲۳۸۶۱۵۳۸ | ۲۵/۱۵ | ۰/۰۰۴۶ | ۱۳/۴۸ | ۱/۸۶ |
| | متوسط | ۱۳۰۸۰ | ۱۳/۳۳ | ۲۸۵۰۶۵۸۹۹ | ۱۶/۹۱ | ۰/۰۰۴۶ | ۱۳/۳۷ | ۱/۲۷ |
| | زیاد | ۳۲۶۹۹ | ۳۳/۳۳ | ۳۱۷۴۳۸۱۴۱ | ۱۸/۸۳ | ۰/۰۱۰۳ | ۳۰/۰۱ | ۰/۶۳ |
| | خیلی زیاد | ۲۶۱۶۰ | ۲۶/۶۷ | ۱۹۵۲۴۳۹۳۰ | ۱۱/۵۸ | ۰/۰۱۳۴ | ۳۹/۰۳ | ۰/۳۰ |

جدول ۴- مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد
Table 4. Area under the curve (AUC) with Standard deviation

| TestResult Variable(s) | Area | Std. Error[a] | Asymptotic Sig.[b] | Asymptotic 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| مدل نسبت فراوانی | ۰/۷۳۴ | ۰/۰۳۵ | ۰/۰۰۳ | ۰/۶۶۵ | ۰/۸۰۲ |
| مدل وزن واقعه | ۰/۶۲۳ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۵۴۶ | ۰/۷۰۰ |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]




شکل ۲۰- منحنی نرخ پیش‌بینی (ROC)
Figure 20. Receiver Operating Characteristics

هدف از تحقیق حاضر اولویت‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه می‌باشد. بدین منظور پس از تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش، لایه‌های اطلاعاتی طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی، شاخص پوشش گیاهی و شکل شیب به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیدند و پس از اعمال روش‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه نقشه‌های نهایی پهنه بندی در پنج کلاس حاصل گردید. نتایج حاصل از روش نسبت فراوانی نشان داد که ۶/۶۷ درصد از منطقه (۶۵۴۰ هکتار) در رده خیلی کم، ۲۰ درصد (۱۹۶۲۹ هکتار) در رده کم، ۱۳/۳۳ درصد (۱۳۰۸۰ هکتار) در رده متوسط، ۳۳/۳۳ درصد (۳۲۷۰۰ هکتار) در رده زیاد و ۲۶/۶۷ درصد (۲۶۱۶۰ هکتار) در رده خیلی زیاد قرار گرفته است و طبق نتایج حاصل از روش وزن واقعه ۴/۵۹ درصد از منطقه (۴۵۰۰ هکتار) در رده خیلی کم، ۴/۵۹ درصد (۴۵۰۰ هکتار) در رده کم، ۲۲/۰۲ درصد (۲۱۶۰۰ هکتار) در رده متوسط، ۳۴/۸۶ درصد (۳۴۲۰۰ هکتار) در رده زیاد و ۳۳/۹۴ درصد (۳۳۳۰۰ هکتار) در رده خیلی زیاد قرار گرفته است. جهت ارزیابی مدل‌ها از روش ROC استفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش ROC نشان داد مدل نسبت فراوانی با میزان انحراف استاندارد (۰/۰۳۵) و امتیاز (۰/۷۳۴) در مقایسه با روش وزن واقعه با انحراف استاندارد (۰/۰۳۹) و امتیاز (۰/۶۲۳) جهت ارزیابی زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه دارای کارایی بالاتری است که این نتایج با مطالعات (۳۴،۲۸). همخوانی دارد. رگمی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی کاربرد مقایسه‌ای روش های نسبت فراوانی، شاخص آماری و وزن واقعه در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در منطقه نپال با استفاده از ۱۱ معیار پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که مدل نسبت فراوانی با کسب بالاترین دقت پیش‌بینی (۷۵/۴٪) عملکرد بهتری نسبت به مدل وزن واقعه با دقت پیش‌بینی (۷۴/۹٪) و مدل شاخص آماری با دقت پیش‌بینی (۷۴/۶٪)داشته است (۴۲). محمدی و همکاران (۲۵) به تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در استان گلستان با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی، دمپسترشفر و وزن پرداخته‌اند. به این نتیجه رسیدند که مدل نسبت فراوانی AUC بالاتری ۰/۸۰۱ (۸۰/۱۳٪) را نسبت به مدل‌های دمپسترشیفر ۰/۷۸۳ (۷۸/۳۲٪)و وزن واقعه ۰/۷۴۶ (۷۴/۶۰٪) کسب نمود و دارای دقت بالاتری بوده است (۲۸). بنابراین مدل نسبت فراوانی دارای کارایی بهتری نسبت به مدل وزن واقعه جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه بوده است. نقشه های حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه می‌تواند نقش شایانی در تصمیم‌گیری‌های آتی، مدیریت دامنه‌های خطرناک و آمایش سرزمین در منطقه مورد مطالعه داشته باشد.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

## منابع


1. Arabameri, A.R., A. Klorajan, J. Karami, M. Alimoradi and K. Shirani. 2014. Zonation of Landslide Hazard Using Artificial Neural Network the Case Study: Marbor Basin. Geodynamics Research International Bulletin, 03: 44-59 (In Persian).
2. Arabameri, A.R. and K. Shirani. 2014. An Evaluation of Area Density and Certainty Factor methods in Landslide hazard analysis: A Case Study: Vanak Basin. Geodynamics Research International Bulletin, 04: 112-128 (In Persian).
3. Arabameri, A.R. and A.H. Halabian. 2016. Landslide Hazard Zonation Using Statistical Model of AHP (Case Study: Zarand Saveh Basin). Physical Geomorphology, 28: 65-86 (In Persian).
4. Ayalew, L. and H. Yamagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the kakuda-yahiko Moun-tains, central Japan. Geomorphology, 65: 15-31.
5. Atkinson, P.M. and R. Massari. 1998. Generalized Linear modelling of Landslide Susceptibility in the Central Apennines, Italy. Computer Geoscience, 24: 373-385.
6. Bonham-Carter, G.F. 1994. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS. Pergamon Press, Canada, 398 pp.
7. Bonham-Carter, G.F., F.P. Agterberg and D.F Wright. 1989. Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential. In: Agterberg, F.P. and Bonham-Carter, G.F. (eds.) Statistical applications in the Earth Science, Geological Survey of Canada Paper 89-9, Ottawa, Canada: 171-183.
8. Bui, H.B., Q. Nguyen and V.T. Nguyen. 2008. GIS-based weight of evidence modeling for landslide susceptibility mapping at Jaechon area, Korea. Journal of International Symposium on Geo informatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, 4: 64-68.
9. Carrara, A., G.B. Crosta and P. Frattini. 2003. Geomorphologic and historical data in assessing andslide hazard. Earth Surface Processes and Landforms, 28: 1125-1142.
10. 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 Sci, 63: 397-406.
11. Constantin, M., M. Bednarik, M.C. Jurchescu and M. Vlaicu. 2010. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). Environmental Earth Science, 2: 397-406.
12. Dai, F.C. and C.F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slop instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 31: 181-216.
13. Dai, F.C. and C.F. Lee. 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. Canadian Geotechnical Journal, 38: 911-923.
14. Dahal, R.K., S. Hasegawa, A. Nonomura, M. Yamanaka, S. Dhakal and P. Paudyal. 2008. Predictive Modelling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence. Geomorphology, 102: 496- 510.
15. Das, I., S. Sahoo, C. Van Westen, A. Stein and R. Hack. 2010. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). Geomorphology, 114: 627-637.
16. Ebrahimi, E., K. Solaimani and H.R. Pourghasemi. 2016. Evaluating the Efficiency of Probabilistic Weight of Evidence Model for Landslide Susceptibility Mapping (Case Study: Siyahbisheh Watershed, Mazandaran). Journal of Watershed Management Research, 7: 69-77 (In Persian).
17. Garfi, G. and D.E. Bruno. 2007. Fan morph dynamics and slope instability in the Mucone River Basin (Sila Massif, Southern Italy): signification of weathering and role of land use changes. Catena, 50: 181-196.
18. Gorsevski, P.V., P. Jankowski and P.E. Gessler. 2006. Heuristic Approach for Mapping Landslide Hazard Integrating Fuzzy Logic with Analytic Hierarchy Process Control and Cybernetics, 35: 121-146.
19. Gökceoglu, C. and H. Aksoy. 1996. Landslide Susceptibility Mapping of the Slopes in the Residual Soils of the Mengen Region (Turkey) by Deterministic Stability Analyses and Image Processing Techniques. Engineering Geology, 44: 147-161.
20. 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.
21. Kayastha, P., M.R. Dhital and F.D. Smedt. 2012. Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed, Nepal. Natural Hazards, 63: 479-498.
22. Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. Geomorphology, 74: 17-28.
23. Lee, S. and B. Pradhan. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslides, 4: 33-41.
24. Lee, S. and J. Choi. 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. Intl. Journal of Geographical Information Science, 18: 789- 814.
25. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer and weights-of-evidence models. Journal of Asian Earth Sciences, 61, 221-236.
26. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi, B. Neuhauser and B. Terhorst. 2007. Landslide Susceptibility Assessment Using Weights-of-evidence, Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany). Geomorphology, 86: 12- 24.


[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

27. Mosavi, SM., M. Abedini, A. Esmali and F. Madani. 2016. Landslide hazard Zonation by using Fuzzy MCDM Models in the GIS (Case Study: Izeh Urban Watersheds of Khuzestan). Journal of Watershed Management Research, 7: 78-87 (In Persian).
28. Mathew, J., V.K. Jh and G.S. Rawat. 2007. Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley. Uttarakhand. Current Science, 92: 628-638.
29. Nefeslioglu, H.A., T.Y. Duman and S. Durmaz. 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey), Geomorphology, 94 : 401-418.
30. Pradhan, B. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer and weights-of-evidence models. Journal of Asian Earth Sciences, 61: 221-236.
31. Pradhan, B. 2010. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. Advances in Space Research, 45: 1244-1256.
32. Pourghasemi, H.R., B. Pradhan, H.R. Moradi, M. Mohammady and M. Bednarik. 2013. A Comparative Assessment Between Index of Entropy, Logistic Regression and Frequency Ratio Models for Landslide Susceptibility Mapping in Iran, Natural Disasters, 4: 1-30.
33. Regmi, N.R., J.R. Giardino and J.D. Vitek. 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA, Geomorphology, 115: 172-187.
34. Regmi, A.D., K.C. Devkota, K. Yoshida, B. Pradhan, H.R. Pourghasemi, T. Kumamoto and A. Akgun. 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 Geosciences, 7: 725-742.
35. Roering, J.J., J.W. Kirchner and W.E. Dietrich. 2005. Characterizing Structural and Lithology Controls on Deep-seated Land sliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in the Oregon Coast Range. Geological Society of America Bulletin, 117: 654-668.
36. Song, K.Y., J. Oh, J. Choi, I. Park, C. Lee and S. Lee. 2012. Prediction of landslides using ASTER imagery and data mining models. Advances in Space Research, 49: 978-993.
37. Shirani, K. and A.R. Arabameri. 2015. Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study:Dez-e-Oulia Basin), Journal of Science & Technology Agricultural & Natural Resource., Water and Soil Science., Isfahan University Technology, Isfahan, Iran, 72: 321-334 (In Persian).
38. Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240: 1285-1293.
39. Van Western, C.J. 2002. Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping, Natural Hazards, 25: 1-21.
40. Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: A review of Principes and Practice, UNESCO, France, 63 pp.
41. Wu, W. and R.C. Sidle. 1995. A distributedslope stability model for steep forested basins. Water Research, 31: 2097-2110.
42. Wati, S., T. Hastuti, S. Wijojo and F. Pinem. 2010. Landslide Susceptibility Mapping with Heuristic Approach in Mountainous Area, A Case Study in Tawangmangu Sub District, Central Java, Indonesia, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 38: 248-253.
43. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy rocess and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. Catena, 72: 1-12.
44. 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.
45. Yilmaz, C., T. Topal, and M.L. Suzen. 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey). Environmental Earth Science, 65: 2161-2178.
46. Zhu, C. and X. Wang. 2009. Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 187: 342-346.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]

# A Comparative Assessment between Weights-of-Evidence and Frequency Ratio Models for Landslide Hazard Zonation in Vanak Basin

**Ali Reza Arabameri[1], Kuorosh Shirani[2] and Khalil Rezaeei[3]**

1- PhD Student of Geomorphology, Faculty of Geomorphology, Tarbiat Modarres University and Teacher of the Faculty of Earth Sciences, Damghan University
(Corresponding Author: Alireza.ameri91@yahoo.com)
2- Assistant professor, Isfahan Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran
3- Assistant professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University
Received: February 2, 2016 Accepted: June 19, 2016

**Abstract**

In this study, Vanak catchment because of high sensitivity to landslide was selected. Then with geological, topographic maps and field survey, Landslide hazard map was prepared using GPS as dependent variables. A total of 110 landslides were mapped in GIS out of which 77 (70%) locations were chosen for the modeling purpose and the remaining 33 (30%) points were used for the model validation. Then layers of the landslide conditioning factors including slope degree, slope aspect, plan curvature, altitude, lithology, land use, distance of road, distance of fault, distance of drainage, drainage density, topographic wetness index (TWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Calculated. The relationship between the predisposing factors and the landslides were calculated using weights-of-evidence and Frequency Ratio Models. Finally, the susceptibility map was classified into five susceptibility classes: very low, low, moderate, high, and very high. In order to verification, the results were compared with landslides which were not used during the training of the models. Subsequently, the Receiver Operating Characteristic (ROC) curves were drawn and the area under curves (AUC) were calculated for landslide susceptibility maps. Results obtained from validation showed that AUC for Frequency Ratio and weights-of-evidence models are 0.917 (91.7%) and 0.890 (89.0%), Therefore, the results revealed that the Frequency Ratio model is more suitable than the weights-of-evidence model. Finally, verification indicates satisfactory agreement between resulted susceptibility map and existing data on landslide location.

**Keywords:** Frequency Ratio model, Landslide, Vanak Basin, Weights-of-evidence, Zonation model

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.147 ]