

## اولویت‌بندی عوامل موثر در زمین‌لغزش و مدل‌سازی فضایی آن با رویکرد داده‌محور در حوزه آبخیز سمیرم

- ❖ علیرضا عرب عامری\*؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس و مدرس دانشکده علوم زمین دانشگاه دامغان.
- ❖ کورش شیرانی؛ استادیار بخش تحقیقات حفاظت آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان
- ❖ خلیل رضایی؛ استادیار گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی.
- ❖ مجتبی‌یمانی؛ استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران.

### چکیده

در این پژوهش از یک مدل ترکیبی نوین با استفاده از رویکرد داده‌محور به منظور شناسایی عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش و همچنین تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سمیرم، که یک منطقه حساس نسبت به زمین‌لغزش می‌باشد، استفاده گردیده است. بدین منظور در ابتدا با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و پیمایش میدانی گسترده موقعیت زمین‌لغزش‌ها شناسایی گردید. از تعداد کل ۲۰۰ زمین‌لغزش شناسایی شده، ۷۰ درصد (۱۴۰ زمین‌لغزش) به صورت تصادفی برای اجرای مدل و ۳۰ درصد (۶۰ زمین‌لغزش) به منظور اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا تعداد ۲۵ پارامتر ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک، زمین‌شناسی و محیطی در نظر گرفته شد. به منظور غربالگری پارامترها از روش SVM استفاده گردید. پس از تعیین معیارها، از مدل آنتروپی‌شانون به منظور تعیین وزن معیارها و از مدل تراکم سطح برای تعیین وزن طبقات استفاده گردید و از تلفیق وزن معیارها و طبقات در محیط نرم افزار ArcGIS 10.2 نقشه حساسیت زمین‌لغزش تهیه و بر اساس شکست‌های طبیعی به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. به منظور اعتبارسنجی مدل از منحنی ROC استفاده گردید. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که مدل ترکیبی دارای دقت خیلی خوب (۰/۸۷۷/۸۷) در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش می‌باشد. طبق نتایج پارامترهای طول شیب، درجه شیب و شاخص خیزی توپوگرافی بیشترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. از کل مساحت منطقه، ۲۷/۳۹ درصد در کلاس حساسیت زیاد و خیلی‌زیاد قرار گرفته‌اند. نقشه تهیه شده می‌تواند برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی و ساخت تاسیسات زیربنایی مانند جاده مفید باشد.

واژگان کلیدی: حوزه آبخیز سمیرم، زمین‌لغزش، روش ترکیبی، اعتبارسنجی، منحنی ROC

## ۱. مقدمه

زمین لغزش‌ها که باعث ایجاد خسارات گسترده به مناطق مسکونی، خسارات اقتصادی و تلفات انسانی در سراسر جهان می‌گردند، یکی از مهمترین خطرات طبیعی در مناطق تپه ماهوری و کوهستانی به علت توپوگرافی صخره‌ای، استفاده غیر منطقی از پوشش سطحی و شرایط آب و هوایی مناسب برای زمین لغزش می‌باشد [۱۰]. در سطح جهان، هر ساله زمین لغزش‌ها باعث تقریباً ۱۰۰۰ مرگ و میر و ۴ میلیارد دلار خسارت اقتصادی می‌گردند [۳۰]. فاکتورهای مختلفی در وقوع زمین لغزش موثر می‌باشند که شامل فرایندهای هیدرولوژیک (بارش، تبخیر و آب‌های زیر زمینی)، توپوگرافی، سنگ مادر، پوشش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک و فعالیت‌های انسانی می‌باشند [۵۴]. به منظور کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش در حوزه سمیرم که با توجه به شرایط توپوگرافیک و آب و هوایی یک منطقه حساس به زمین لغزش می‌باشد اقدام به شناسایی مناطق مستعد لغزش و تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش گردید. نقشه‌های حساسیت زمین لغزش ابزار مناسبی را برای مدیریت شیب‌ها، برنامه‌ریزی برای کاربری اراضی و کاهش خطرات ناشی از زمین لغزش فراهم می‌کند [۵۲]. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت زمین لغزش به شدت وابسته به مدل مورد استفاده، پارامترها و مقیاس می‌باشد [۲۹]. روش‌ها و تکنیک‌هایی که به منظور ارزیابی حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو رویکرد عمده قابل تقسیم می‌باشند که شامل رویکرد داده‌محور که مبتنی بر استخراج داده و رویکرد دانش‌محور که مبتنی بر دانش کارشناسان است، می‌باشند. به عبارت دیگر، رویکرد دانش‌محور شامل تکنیک‌هایی است که بر اساس تجربه کارشناسانی است که تعیین حساسیت زمین لغزش را در منطقه یا از طریق ترکیب لایه‌های مختلف تجربه کرده‌اند، در حالی که رویکرد داده‌محور شامل روش‌هایی است که آنالیزهای آماری و احتمالاتی را اجرا نمایند و یا دنبال رویکردهای جبری باشند [۲۱].

[یکی از مهمترین مزایای تکنیک‌های داده‌محور نسبت به دانش‌محور به منظور ارزیابی حساسیت زمین لغزش این است که این روش‌ها می‌توانند به راحتی در مناطق با وسعت زیاد اجرا گردند در حالی که تکنیک دانش‌محور در آنالیزهای محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیاز به داده‌ها و پارامترهای دقیق داشته و بسیار پرهزینه می‌باشد و اغلب دارای عدم اطمینان بالایی می‌باشد [۲۰]. تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور در زمینه ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از رویکرد داده‌محور انجام شده است. در ایران می‌توان به [۳، ۴، ۱۷، ۲۶، و ۴۷] اشاره نمود. عرب عامری و همکاران [۴] به ارزیابی توانایی پیش‌بینی مدل‌های آماری و لجستیک برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در حوزه ونک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل تراکم سطح با کسب بیشترین مقدار جمع‌کیفی نسبت به روش‌های دیگر، بهترین کارایی را در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در منطقه مطالعاتی داشته است. در خارج از ایران نیز می‌توان به [۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۲۷، ۳۴، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، و ۵۰] اشاره نمود. چن و همکاران [۱۱] به ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های آماری، نسبت فراوانی و وزن واقعه در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از ۱۳ پارامتر شامل شیب، جهت‌شیب، انحنای سطح، انحنای مقطع، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، شاخص حمل رسوب، شاخص قدرت آبراهه، شاخص خیسی و لیتولوژی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری دارای توانایی بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می‌باشند. مرور ادبیات تحقیق نشان داد که روش‌های آماری دومتغیره دارای کارایی و قابلیت بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می‌باشند. طبق مطالعات پیشین که در رابطه با ارزیابی روش‌های آماری دو متغیره در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است،

می‌باشد. استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان و واقعیت‌های زمینی به منظور غربالگری پارامترها و همچنین استفاده از روش ترکیبی آنتروپی شانون-تراکم سطح در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش و همچنین استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک مانند شاخص خیزی توپوگرافی (TWI)، شاخص توان آبراهه (SPI)، طول شیب (LS)، شکل شیب (Plan Curvature) و انحنای مقطع (Profile Curvature) به منظور تعیین مناطق مستعد لغزش نوآوری این پژوهش می‌باشد.

## ۲. روش‌شناسی تحقیق

### ۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سمیرم در محدوده‌ی سیاسی شهرستان سمیرم از استان اصفهان واقع گردیده است. وسعت حوزه سمیرم در حدود ۱۶۸۵۴۷ هکتار بوده و در محدوده‌ی طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۴۸ دقیقه و ۱۵ ثانیه و ۳۱ درجه و ۲۱ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۵۲ دقیقه و ۱۰ ثانیه قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در زون ساختاری سندانج - سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد. سازندهای لیتولوژی موجود در منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است. گسل‌های اصلی منطقه تحت تأثیر راندگی زاگرس می‌باشد. مهمترین گسل موجود در حوزه سمیرم که در جنوب آن قرار دارد گسل سمیرم می‌باشد. میانگین بارش در حوزه سمیرم در حدود ۴۵۹ میلی‌متر است.

### ۲.۲. تهیه لایه‌های اطلاعاتی

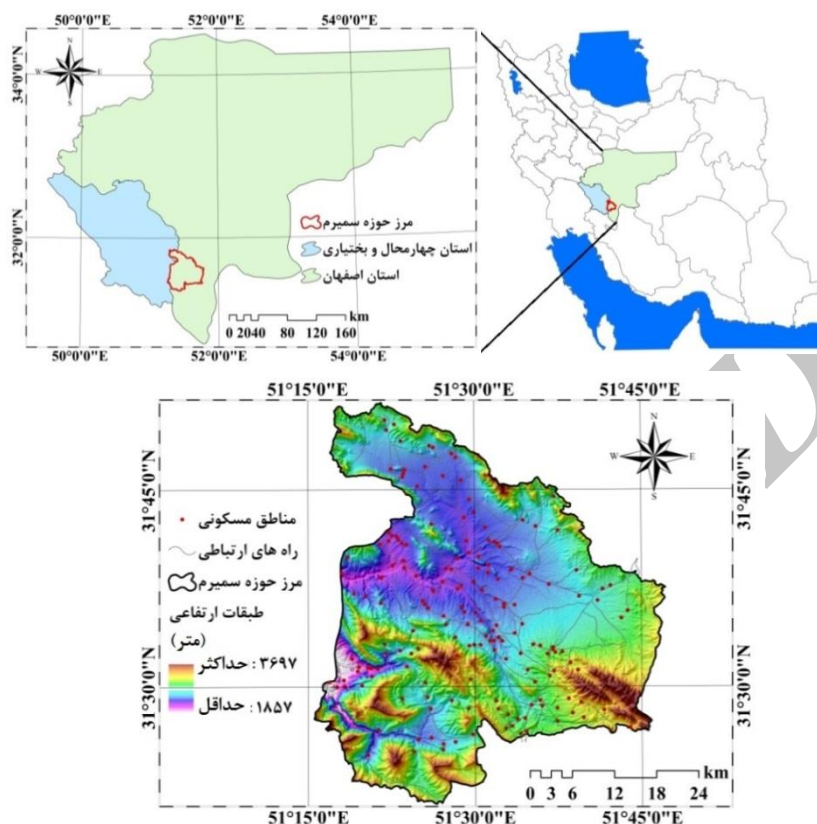
اولین گام در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش و آنالیز خطر، جمع‌آوری اطلاعات در رابطه با زمین‌لغزش‌هایی است که در گذشته اتفاق افتاده‌اند، بنابراین زمین‌لغزش‌های رخ داده در گذشته و حال برای

روش تراکم سطح‌کارایی بالاتری را نسبت به روش‌های دو متغیره دیگر در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از خود نشان داده است [۳ و ۴]. در مقابل تئوری آنتروپی شانون<sup>۲</sup> به عنوان کمیتی از بی‌نظمی بین علل، نتایج یا تصمیم‌گیری‌ها در موضوعات مختلف می‌باشد و در مطالعات ژئومورفولوژی نظیر زمین‌لغزش که داده‌های موجود با عدم قطعیت رو به رو هستند می‌تواند کارایی بالایی داشته باشد [۵۰]. آنتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل موثر در یک رخداد، می‌توان مهمترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند را برای ما مشخص می‌نماید. از آنجایی که در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش، بسته به شرایط منطقه معمولاً فاکتورهای مختلفی تاثیرگذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدل‌های آماری دو متغیره و احتمالی نظیر بیزین، تمامی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش وزن یکسانی دارند، لذا چنانچه یکی از عوامل تاثیر بیشتری داشته باشد میزان اثر آن نادیده گرفته می‌شود [۴۲]. بنابراین تئوری مذکور می‌تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تاثیر بسزایی در شناسایی عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش و میزان تاثیرگذاری آنها داشته باشد [۴۶]. حوزه آبخیز سمیرم به علت شرایط توپوگرافیک، زمین‌شناسی و اقلیمی و همچنین فعالیت‌های انسانی حساسیت بالایی نسبت به زمین‌لغزش دارد و هر ساله زمین‌لغزش خسارات گسترده‌ای را به انسان‌ها و اکوسیستم طبیعی در این منطقه تحمیل می‌کند، بنابراین شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش به منظور انجام اقدامات حفاظتی ضروری می‌باشد. هدف اصلی در این پژوهش در گام نخست شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی با استفاده از روش SVM و در گام بعد تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با یک روش ترکیبی نوین با رویکرد داده‌محور

<sup>۲</sup>Shannon's entropy model

<sup>۱</sup>Area Density

پیش‌بینی آینده بسیار مهم می‌باشند و نقشه پراکنش زمین‌لغزش پیش‌نیاز چنین مطالعاتی می‌باشد [۲۴].



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

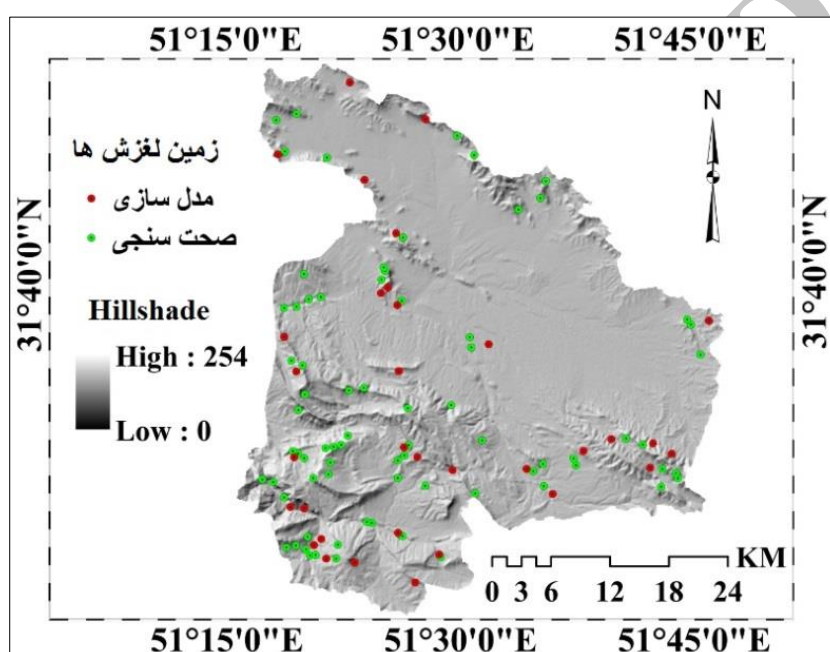
جدول ۱. سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز سمیرم

واحد‌های سنگ شناسی	واحد‌های زمین‌شناسی	سن نسبی	مساحت به کیلومتر مربع
Qft2	رسوبات مخروط افکنه‌ای و تراس	سنوزوئیک	۶۸۹/۱۳
Klsm	مارن، شیل، سنگ‌آهک و دولومیت	مزوزوئیک	۲۲/۸۲
Klsol	سنگ‌آهک اوربیتولین‌دار ضخیم	مزوزوئیک	۲۵۰/۴۴
Plbk	کنگلوما و ماسه‌سنگ (سازند بختیاری)	سنوزوئیک	۲۱۰/۴۷
Eja	دولومیت‌های ضخیم خاکستری و قهوه‌ای، سنگ‌آهک دولومیتی (سازند جهرم)	سنوزوئیک	۲۶۲/۴۱
OMas	سنگ‌آهک قهوه‌ای هوازده با میان لایه‌هایی از شیل (سازند آسماری)	سنوزوئیک	۵۸/۵۰
Klsol	سنگ‌آهک اوربیتولین‌دار خاکستری ضخیم	مزوزوئیک	۰/۰۷
KPeam	ماسه‌سنگ قهوه‌ای هوازده به همراه کنگلوما و سنگ‌آهک (سازند امیران)	مزوزوئیک- سنوزوئیک	۱۷/۹۴
Kbgb	گروه بنگستان، عمدتاً سنگ‌آهک و شیل	مزوزوئیک	۰/۳۴۲
Qsw	باتلاق	سنوزوئیک	۱۹/۰۳
PeEpd	شیل و مارن آبی	سنوزوئیک	۱۱۱/۹۹

JKkgp	سنگ آهک ضخیم، کنگلومرا و شیل	مزوزوئیک	۲۰/۷۴
TRkk-nz	دولومیت ضخیم تا متوسط قهوه‌ای، شیل سبز و سنگ آهک آرچیلایوسوس	مزوزوئیک	۰/۷۳۸
Ktb	سنگ آهک انیدریتیک توده‌ای و صخره‌ای (سازند تارپور)	مزوزوئیک	۱۸/۴۶
Kgu	مارن خاکستری مایل به زرد و شیل با مواد زیرین سنگ آهک آرچیلایوسوس نازک (سازند گوری)	مزوزوئیک	۰/۰۳۷

با GPS<sup>۱</sup>، تهیه گردید و ۷۰ درصد زمین‌لغزش‌ها برای اجرای مدل و ۳۰ درصد به منظور اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲) [۲۰، ۲۱ و ۲۲].

نقشه پراکنش زمین‌لغزش منطقه مطالعاتی با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و پیمایشات میدانی گسترده و ثبت موقعیت زمین‌لغزش‌ها



شکل ۲. نقشه پراکنش زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سمیرم

NDVI (شکل ۳، د)، شکل شیب (شکل ۳، ز)، انحنای مقطع (شکل ۳، س)، طول شیب (شکل ۳، ن)، شاخص توان آبراهه (شکل ۳، و)، و شاخص خیسی توپوگرافی (شکل ۳، ی) در منطقه انتخاب گردید. مدل SVM بر اساس واقعیت‌های زمینی و مقادیر عددی به انتخاب پارامترها می‌پردازد که در پژوهش‌های صورت گرفته تاکنون مانند

شناسایی و انتخاب عوامل موثر در زمین‌لغزش یکی از گام‌های مهم در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش می‌باشد [۱۹]. بر اساس مطالعه ادبیات تحقیق و ویژگی‌های منطقه مطالعاتی، ۲۵ فاکتور موثر در زمین‌لغزش شناسایی گردید و با استفاده از روش SVM به غربالگری پارامترها پرداخته شد و در نهایت ۱۵ پارامتر شامل ارتفاع (شکل ۳، الف) شیب (شکل ۳، ب)، جهت شیب (شکل ۳، پ)، فاصله از آبراهه (شکل ۳، ت)، فاصله از جاده (شکل ۳، ث)، فاصله از گسل (شکل ۳، ج)، بارندگی (شکل ۳، چ)، کاربری اراضی (شکل ۳، ح)، لیتولوژی (شکل ۳، خ)،

به تفاوت در استحکام و نفوذپذیری آنها می‌شود، عامل زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در وقوع زمین‌لغزش‌ها ایفا می‌کند [۱۵]. بر اساس تفکیک و رقومی کردن پلی‌گون‌های واحدهای سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط نرم افزار ArcGIS10.2 نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه گردید. شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)<sup>۱</sup> که به عنوان شاخصی برای وجود گیاهان در آبراهه‌ها از آن استفاده می‌شود، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Landsat8 در محیط نرم افزار ENVI4.7 تهیه گردید. ارتفاع از سطح دریا، درجه و جهت شیب از مهمترین عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند [۲۵، ۵۴ و ۵۵]. به منظور تهیه نقشه طبقات ارتفاعی، وجه شیب، جهت شیب و همچنین پارامترهای ژئومورفومتریک، از مدل رقومی ASTER با قدرت تفکیک ۳۰×۳۰ متر استفاده گردید. پارامترهای ژئومورفومتریک مورد استفاده در این پژوهش شامل انحنای سطح، انحنای مقطع، شاخص خیسی توپوگرافی<sup>۲</sup>، شاخص توان آبراهه<sup>۳</sup> و طول شیب می‌باشد. انحنای سطح و انحنای مقطع نوع شیب‌ها را توصیف می‌کنند و فاکتورهای مهمی هستند که می‌توانند در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش داشته باشند [۲۰]. در تحقیقات زیادی از پارامترهای شاخص خیسی توپوگرافی، شاخص توان آبراهه و طول شیب به عنوان ویژگی‌های توپوگرافی ثانویه جهت تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش استفاده گردیده است [۱۴ و ۵۳]. شاخص خیسی وضعیت حوزه را از نظر اشباع نشان می‌دهد و هر چه میزان اشباع بیشتر باشد، مقاومت خاک و سنگ کاهش یافته و به وقوع زمین‌لغزش کمک می‌کند [۶]. شاخص توان آبراهه به منظور اندازه‌گیری قدرت فرسایش جریان آب و همچنین فاکتور ثبات شیب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۳]. طول شیب به

[۱۰، ۱۱ و ۲۱]. به این موضوع پرداخته نشده است. 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، تصاویر ماهواره‌ای Landsat8، ETM+ و با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی تنگه زردالو، مهرگرد، سمیرم علیا، سلگان و امام‌قیاس در یک دوره ۳۰ ساله (از تاریخ ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ شمسی)، نقشه هم‌باران منطقه تهیه گردید. با اعمال فرمول گرادبان بارندگی منطقه بر مدل رقومی ارتفاعی، نقشه هم‌بارش منطقه تهیه گردید. مهمترین گسیختگی‌ها در شیب بعد از بارندگی‌های سنگین و نفوذ آب به داخل ترک‌ها و شکاف‌ها رخ می‌دهد و فعالیت گسل‌های بزرگ و فعال نیز از جمله عناصر تکنونیکی موثر در فعالیت زمین‌لغزش‌ها می‌باشند [۵]. برای تهیه نقشه فاصله از گسل از داده‌های ماهواره ای ETM+2002 در محیط نرم افزار ENVI4.7 استفاده گردید. شبکه‌های زه‌کشی و آبراهه‌ها می‌توانند با ایجاد فرسایش و یا اشباع نمودن افق‌های پایینی خاک سبب وقوع زمین‌لغزش گردند [۴۵]، همچنین فعالیت‌های انسانی از جمله جاده‌سازی از جمله مهمترین عوامل موثر زمین‌لغزش در مناطق شیبدار به حساب می‌آید [۳۲]. نقشه فاصله از جاده و آبراهه با طبقه‌بندی فواصل معین از شبکه جاده و شبکه هیدروگرافی رقومی شده از نقشه توپوگرافی منطقه تهیه گردید. از دیگر عوامل موثر در زمین‌لغزش وضعیت موجود در پوشش سطح و کاربری اراضی و نیز تغییرات آن طی دوره‌های متوالی می‌باشد [۱۵]. بر اساس طبقه‌بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای Landsat8 و بازدید صحرایی و کنترل صحت، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه گردید. از آنجا که تنوع بافت و سنگ‌شناسی در سنگ‌ها و خاک‌ها منجر

<sup>۱</sup>Topographic wetness index (TWI)<sup>۲</sup>Stream power index (SPI)<sup>۳</sup>Length-slope (SL)<sup>۱</sup>Global Position System<sup>۲</sup>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)<sup>۳</sup> Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

### ۳.۲. روش آنتروپی شانون

به منظور اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و تهیه نقشه حساسیت‌پذیری آن با استفاده از روش مذکور از روابط زیر استفاده گردید [۷].

$$P_{ij} = \frac{b}{a} \quad (11)$$

$$(P_{ij}) = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{S_j} P_{ij}} \quad (12)$$

$$H_j = - \sum_{i=1}^{S_j} (P_{ij}) \log_2 (P_{ij}), j = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$H_{j \max} = \log_2 S_j \quad S_j - \text{number of classes} \quad (14)$$

$$I_j = \frac{H_{j \max} - H_j}{H_{j \max}}, I = (0,1), j = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$W_j = I_j P_{ij} \quad (16)$$

که در آن a: درصد مساحت لغزش، b: درصد مساحت لغزش، a: درصد مساحت کلاس،  $P_{ij}$ : تراکم لغزش هر طبقه،  $(P_{ij})$ : تراکم احتمال لغزش هر پارامتر،  $H_j$  و  $H_{j \max}$ : مقادیر آنتروپی و ماکزیمم آنتروپی،  $I_j$ : ضریب اطلاعات و  $W_j$ : وزن نهایی هر عامل با روش آنتروپی می‌باشد [۴۸].

### ۴.۲. روش تراکم سطح

در این روش از طریق روابط (۱۷) و (۱۸) برای هر نقشه عامل یا پارامتر، تراکم زمین‌لغزش محاسبه می‌شود و سپس اقدام به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش می‌گردد [۴].

$$D_{area} = \frac{N_{pix} (SX_i)}{N_{pix} (X_i)} \quad (17)$$

$$W_{area} = 1000 \left[ D_{area} - \frac{\sum N_{pix} (SX_i)}{\sum N_{pix} (X_i)} \right] \quad (18)$$

که در آن  $D_{area}$ : تراکم زمین‌لغزش در هر رده از

منظور درک تاثیر توپوگرافی بر روی فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد و هر چه مقدار آن بیشتر باشد بیانگر فرسایش و انتقال رسوب بیشتر و در نتیجه احتمال بیشتر وقوع زمین‌لغزش است [۶]. پارامترهای ژئومورفومتریک در محیط نرم افزار SAGAGIS 2.1.1 و با استفاده از روابط زیر استخراج گردیده است [۳۳].

$$TWI = \ln (A_s / \tan \beta) \quad (1)$$

$$SPI = A_s \times \tan \beta \quad (2)$$

$$SL = (A_s / 22.13)^{0.6} \times (\sin \beta / 0.0896)^{1.3} \quad (3)$$

$$\text{Plan Curvature} = - \frac{q^2 \times r - 2 \times p \times q \times s + p^2 \times t}{(\sqrt{1 + p^2 + q^2})^3} \quad (4)$$

$$\text{Profile Curvature} = - \frac{q^2 \times r + 2 \times p \times q \times r \times s + q^2 \times t}{(p^2 + q^2) \times (\sqrt{1 + p^2 + q^2})^3} \quad (5)$$

که در آن  $p, q, r, s, t$  ضرایبی هستند که در نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرند. نحوه محاسبه آن‌ها در قالب روابط ۶ تا ۱۰ نشان داده شده است.  $A_s$ : مساحت حوزه آبخیز به کیلومتر مربع و  $\beta$ : گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد.

$$p = \frac{Z_3 + Z_6 + Z_9 - Z_1 - Z_4 - Z_7}{6 \times \Delta_s} \quad (6)$$

$$q = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 - Z_7 - Z_8 - Z_9}{6 \times \Delta_s} \quad (7)$$

$$r = \frac{Z_1 + Z_3 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_9 - 2 \times (Z_2 + Z_5 + Z_8)}{3 \times \Delta_s^2} \quad (8)$$

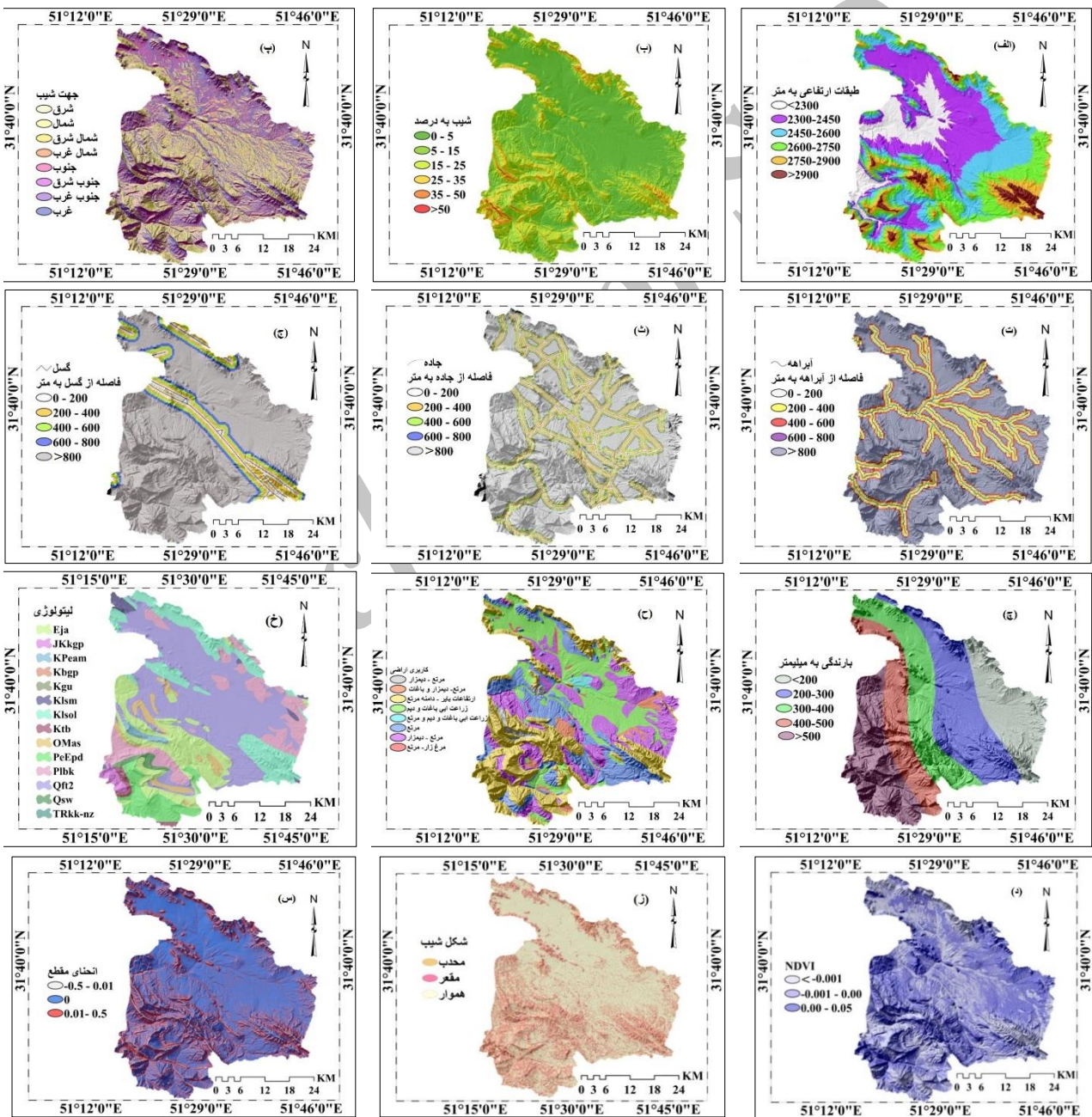
$$s = \frac{-Z_1 + Z_3 + Z_7 - Z_9}{4 \times \Delta_s^2} \quad (9)$$

$$t = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9 - 2 \times (z_4 + z_5 + z_6)}{3 \times \Delta_s^2} \quad (10)$$

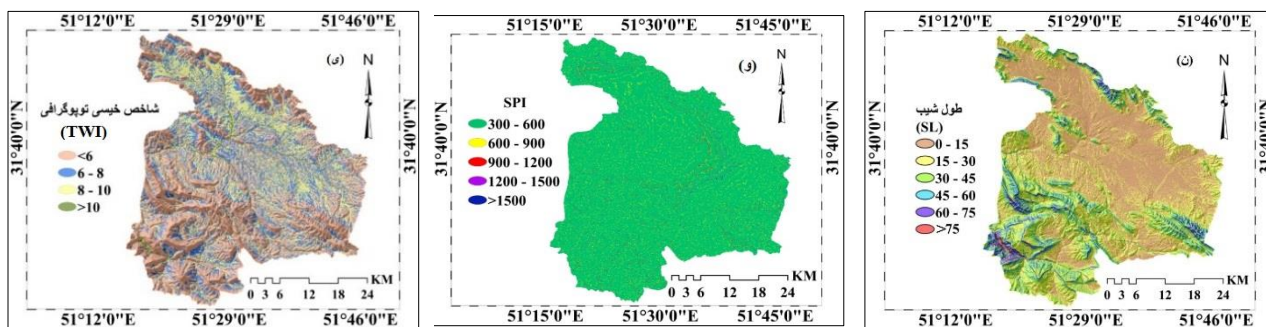
پارامترهای  $Z_1$  تا  $Z_9$  مقادیر ارتفاع در شبکه سلولی  $3 \times 3$  می‌باشد.

شانون تعیین گردید و در گام بعد وزن هر یک از طبقات پارامترهای موثر در لغزش با استفاده از روش دو متغیره تراکم سطح محاسبه گردید و در نهایت از ضرب وزن پارامترهای موثر در طبقات آنها در محیط نرم افزار ArcGIS10.2 وزن نهایی هر پارامتر محاسبه گردید و از جمع وزن نهایی پارامترها نقشه حساسیت زمین لغزش محاسبه گردید.

پارامتر،  $(SX_i)$   $N_{pix}$ : تعداد پیکسل‌های زمین لغزش در هر رده از پارامتر مشخص،  $N_{pix}(X_i)$ : تعداد کل پیکسل‌ها در هر رده از پارامتر مشخص،  $W_{area}$ : وزن متغیر هر رده از هر پارامتر. در این پژوهش به منظور بهره بردن از مزایای دو روش تراکم سطح و آنتروپی شانون اقدام به ادغام این دو روش و ارائه یک مدل ترکیبی نوین گردید. بدین صورت که در ابتدا وزن هر یک از پارامترها با استفاده از روش آنتروپی







شکل ۳. عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش: الف، طبقات ارتفاعی؛ ب، شیب؛ پ، جهت‌شیب؛ ت، فاصله از آبراهه؛ ث، فاصله از جاده؛ ج، فاصله از گسل؛ چ، بارندگی؛ ح، کاربری اراضی؛ خ، لیتولوژی؛ د، NDVI؛ ز، شکل شیب؛ س، انحنای مقطع؛ ن، طول شیب (LS)؛ و، شاخص توان آبراهه (SPI)؛ ی، شاخص خیزی توپوگرافی (TWI).

AUC و دقت پیش‌بینی که دامنه بین ۰ تا ۱ را شامل می‌شود به شرح ذیل می‌باشد: ۹-۰/۱ دقت عالی، ۸/۹-۰/۰ خیلی خوب، ۷/۸-۰/۰ خوب، ۶/۷-۰/۰ متوسط و ۵/۶-۰/۰ دقت ضعیف [۳۴].

### ۳. نتایج

نتایج حاصل از غربالگری پارامترهای موثر در زمین‌لغزش با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج حاصل از جدول ۲ نشان داد که از ۲۵ پارامتر مورد بررسی در منطقه مطالعاتی، لایه‌های اطلاعاتی پوشش گیاهی، تراکم گسل، تراکم آبراهه، تراکم جاده، انحنای متقاطع، شاخص همگرایی، جهت جریان، انحنای کلی، انحنای عمومی و تانژانت انحنای کمترین وزن را دریافت کردند و تأثیری در وقوع زمین‌لغزش نداشته‌اند از مدل حذف شدند و در مقابل پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، شاخص قدرت جریان، شاخص خیزی، طول شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی، NDVI، انحنای سطح، انحنای مقطع و بارندگی در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی موثر بوده و در فرآیند تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفتند.

نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از شکست‌های طبیعی [۱، ۲، ۴۹] به ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید.

### ۵.۲. صحت‌سنجی مدل

با استفاده از سطح زیر منحنی (AUC) در منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) صحت روش و با استفاده از نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) دقت تفکیک بین طبقات مورد بررسی و تأیید قرار گرفت [۳۵ و ۴۲]. با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در اجرای مدل استفاده شده‌اند [۳۱]. از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت [۱۲]. نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI دو شاخصی هستند که دقت طبقه‌بندی مدل را می‌توانند تعیین کنند [۲۸]. در حقیقت نسبت فراوانی (FR) نسبت مساحت سطح لغزشی در هر طبقه به مساحت سطح آن طبقه می‌باشد [۳۹] و شاخص SCAI نسبت درصد مساحت هر یک از طبقات پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر طبقه است [۵۶]. هر دو شاخص که از نظر مقدار، رابطه عکس با همدیگر دارند، برای ارزیابی دقت تفکیک طبقات مدل استفاده می‌گردد. رابطه کمی-کیفی بین

Frequency Ratio (FR)

†Seed Cell Area Index (SCAI)

\Area Under Curve (AUC)

‡receiver operating characteristics (ROC)

(NDVI)، فاصله از جاده، بارندگی، فاصله از آبراهه، طبقات ارتفاعی، فاصله از گسل و جهت شیب نیز به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از تعیین وزن طبقات پارامترها با استفاده از روش دو متغیره تراکم سطح نشان داد که در پارامتر طبقات ارتفاعی کلاس ۲۶۰۰-۲۴۵۰ با کسب بالاترین امتیاز (۰/۰۶) بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است و با کاهش ارتفاع تاثیر طبقات در رخداد زمین لغزش کاهش می‌یابد که با نتایج [۴] مطابقت دارد.

نتایج حاصل از تعیین وزن پارامترها و طبقات آنها با استفاده از روش‌های آنتروپی شانون و تراکم سطح در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تعیین وزن پارامترها نشان داد که پارامترهای طول شیب (SL)، وجه شیب، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI) و شکل شیب (Plan Curvature) به ترتیب با کسب بالاترین امتیازات (۰/۶۹۰، ۰/۵۲۳، ۰/۴۷۶، ۰/۴۵۷) بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی داشته‌اند که با نتایج حاصل از تحقیقات [۱۵، ۳۳ و ۴۱] مطابقت دارد. پارامترهای انحنا، لیتولوژی، کاربری اراضی، شاخص توان آبراهه (SPI)، شاخص پوشش گیاهی

جدول ۲. انتخاب پارامترهای موثر در زمین لغزش با روش SVM

پارامتر	قدرت جریان	فاصله از آبراهه	فاصله از گسل	فاصله از جاده	انحنای عمومی
پارامتر امتیاز	۰/۱۴۱	۰/۱۹۵	۰/۲۱۱	۰/۲۷۱	۰/۰۵۲
پارامتر	شیب	جهت شیب	تانژانت انحنا	انحنای سطح	انحنای مقطع
پارامتر امتیاز	۰/۶۳۲	۰/۱۶۵	۰/۰۰۶۵	۰/۵۱۱	۰/۰۹۸
پارامتر	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	سنگ شناسی	شاخص همگرایی	انحنای کلی
پارامتر امتیاز	۰/۰۵۶	۰/۳۱۶	۰/۴۷۶	۰/۰۷۱	۰/۰۱۱
پارامتر	بارندگی	طول شیب	جهت جریان	تراکم آبراهه	تراکم جاده
پارامتر امتیاز	۰/۲۱۷	۰/۸۵۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۸۲	۰/۰۲۱
پارامتر	انحنای متقاطع	خیسی توپوگرافی	NDVI	تراکم گسل	ارتفاع
پارامتر امتیاز	۰/۰۳۶	۰/۵۴۲	۰/۱۲۷	۰/۰۳۸	۰/۱۰۸

دقت: ۹۵/۵۴ درصد؛ صحت: ۹۳/۴۳ درصد؛ ضریب کاپا: ۰/۹۱۲؛ AUC: ۰/۹۹۴

جدول ۳. محاسبه وزن پارامترهای موثر در لغزش به همراه طبقات آنها با روش های آنتروپی و تراکم سطح

فاکتورها	کلاس	مساحت کلاس (%)	مساحت لغزش (%)	Pij	(Pij)	Hj	Hj max	Ij	Wj	W <sub>DA</sub>
ارتفاع (متر)	>۲۳۰۰	۸/۹۸	۸/۲۶	۰/۹۲	۰/۱۳	۰/۳۸				-۰/۰۶
	۲۴۵۰-۲۳۰۰	۲۸/۵۶	۱۷/۴۳	۰/۶۱	۰/۰۹	۰/۳۱				-۰/۰۴
	۲۶۰۰-۲۴۵۰	۲۴/۰۲	۳۰/۲۸	۱/۲۶	۰/۱۸	۰/۴۴	۲/۵۸	۱/۹۶	۲/۲۹	۰/۰۶
	۲۷۵۰-۲۶۰۰	۲۳/۹۸	۲۲/۰۲	۰/۹۲	۰/۱۳	۰/۳۸				۰/۰۰۳
	۲۹۰۰-۲۷۵۰	۹/۹۵	۱۲/۸۴	۱/۲۹	۰/۱۸	۰/۴۵				-۰/۰۹
	<۲۹۰۰	۴/۵۲	۹/۱۷	۲/۰۳	۰/۲۹	۰/۵۲				-۰/۰۲
جهت	شمال	۱۴/۸۴	۱۱/۹۳	۰/۸	۰/۱	۰/۳۳				۰/۰۳۰
	شمال شرق	۱۳/۳۸	۱۲/۸۴	۰/۹۶	۰/۱۲	۰/۳۶	۳	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰
	شرق	۹/۶۸	۱۴/۶۸	۱/۵۲	۰/۱۸	۰/۴۵				۰/۰۰۰

	جنوب شرق	۹/۰۱	۱۱/۰۱	۱/۲۲	۰/۱۵	۰/۴۱				-۰/۰۱۴
	جنوب	۱۲/۸۹	۱۲/۸۴	۱	۰/۱۲	۰/۳۷				-۰/۰۱۹
	جنوب غرب	۱۴/۹	۱۳/۷۶	۰/۹۲	۰/۱۱	۰/۳۵				۰/۰۱۲
	غرب	۱۳/۳	۸/۲۶	۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۲۸				۰/۰۱۳
	شمال غرب	۱۲	۱۴/۶۸	۱/۲۲	۰/۱۵	۰/۴۱				۰/۰۱۸
	۶۰۰-۳۰۰	۶/۸۲	۱۵/۶	۲/۲۹	۰/۴۹	۰/۵۱				-۰/۸۷۶
	۹۰۰-۶۰۰	۱/۱۱	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۱۸	۰/۴۴				-۰/۳۴۵
SPI	۱۲۰۰-۹۰۰	۱/۳۴	۰/۹۲	۰/۶۹	۰/۱۵	۰/۴۱	۲/۷۵	۰/۱۳	۱/۱۳	۰/۰۵۴
	۱۵۰۰-۱۲۰۰	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				۰/۱۲۶
	>۱۵۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				۰/۴۵۷

Archive of SID

ادامه جدول ۳

فاکتورها	کلاس	مساحت کلاس (%)	مساحت لغزش (%)	P <sub>ij</sub>	(P <sub>ij</sub> )	H <sub>j</sub>	H <sub>j</sub> max	I <sub>j</sub>	W <sub>j</sub>	W <sub>DA</sub>
فاصله از آبراهه (متر)	۲۰۰-۰	۳۷/۷۵	۲۳/۸۵	۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۳۶				۰/۰۸
	۴۰۰-۲۰۰	۲۶/۷۱	۲۲/۰۲	۰/۸۲	۰/۱۵	۰/۴۱				۰/۰۰۴
	۶۰۰-۴۰۰	۱۸/۷۸	۲۶/۶۱	۱/۴۲	۰/۲۶	۰/۵۱	۲/۳۲	۰/۰۵	۰/۰۵۶	۰/۰۰۱
	۸۰۰-۶۰۰	۱۴/۳	۲۵/۶۹	۱/۸	۰/۳۳	۰/۵۳				-۰/۰۵
	۸۰۰<	۲/۴۷	۱/۸۳	۰/۷۴	۰/۱۴	۰/۳۹				-۰/۰۹
فاصله از گسل (متر)	۲۰۰-۰	۳۳/۳۲	۳۴/۸۶	۱/۰۵	۰/۱۹	۰/۴۶				۰/۰۵۳
	۴۰۰-۲۰۰	۲۵/۵۴	۱۵/۶	۰/۶۱	۰/۱۱	۰/۳۵				۰/۰۰۳
	۶۰۰-۴۰۰	۲۵/۸۴	۲۷/۵۲	۱/۰۷	۰/۱۹	۰/۴۶	۲/۳۲	۰/۰۴	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰
	۸۰۰-۶۰۰	۸/۶۳	۱۵/۶	۱/۸۱	۰/۳۳	۰/۵۳				-۰/۰۰۲
	۸۰۰<	۶/۶۸	۶/۴۲	۰/۹۶	۰/۱۸	۰/۴۴				-۰/۰۲۱
	Qft2	۲۱/۲۷	۸/۲۶	۰/۳۹	۰/۰۲	۰/۱۳				۰/۰۰۹
	Klsm	۱۱/۵۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				-۰/۰۰۱
	Klsol	۱/۶۴	۰/۹۲	۰/۵۶	۰/۰۴	۰/۱۷				-۰/۰۰۳
	Plbk	۱۶/۷۲	۲۸/۴۴	۱/۷	۰/۱۱	۰/۳۴				۰/۰۳
	Eja	۴/۱۳	۷/۳۴	۱/۷۸	۰/۱۱	۰/۳۵				۰/۰۰۶
	OMas	۲/۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				-۰/۰۰۳
	Klsol	۲/۳۸	۷/۳۴	۳/۰۸	۰/۱۹	۰/۴۶				۰/۰۰۳
	KPeam	۰/۴۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۰۹	۰/۲۴	۰/۲۲۹	-۰/۰۰۶
	Kbgp	۹/۳۵	۱۴/۶۸	۱/۵۷	۰/۱	۰/۳۳				۰/۰۱
	Qsw	۲/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				-۰/۰۰۸
	PeEpd	۶/۵۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				-۰/۰۰۲
	JKkqp	۸/۴۳	۳/۶۷	۰/۴۴	۰/۰۳	۰/۱۴				۰/۰۰۲
TRkk-nz	۱۱/۶۲	۲/۷۵	۰/۲۴	۰/۰۱	۰/۰۹				-۰/۰۰۴	
Ktb	۱/۲۶	۳/۶۷	۲/۹۱	۰/۱۸	۰/۴۵				۰/۰۰۰	
Kgu	۱۰/۲۷	۲۲/۹۴	۲/۵۷	۰/۱۶	۰/۴۲				۰/۰۰۵	
LAN1	۲۲/۵۷	۸/۲۶	۰/۳۷	۰/۰۵	۰/۲۲				۰/۰۰۷	
LAN2	۱۸/۵۲	۱۵/۶	۰/۸۴	۰/۱۲	۰/۳۷				۰/۰۰۴	
LAN3	۲۹/۵۹	۵۷/۸	۱/۹۵	۰/۲۸	۰/۵۱				۰/۰۰۷	
LAN4	۲۳/۹۱	۱۳/۷۶	۰/۵۸	۰/۰۸	۰/۳۰				-۰/۰۰۴	
LAN5	۰/۴۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۰۰۰	
LAN6	۱/۲۶	۳/۶۷	۲/۹۱	۰/۴۲	۰/۵۳				۰/۰۰۳	
LAN7	۲/۹۳	۰/۹۲	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۲				۰/۰۰۱	
LAN8	۰/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				-۰/۰۰۶	
طول شیب	۳۰-۰	۳۴/۹	۸/۲۶	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۱۱				-۰/۰۰۳
	۶۰-۳۰	۳۳/۳۹	۲۵/۶۹	۰/۷۷	۰/۰۶	۰/۲۵				۰/۰۰۵
	۹۰-۶۰	۱۶/۳	۲۸/۴۴	۱/۷۵	۰/۱۴	۰/۴	۲/۵۸	۰/۱۵	۰/۳۰۶	۰/۰۰۶
	۱۲۰-۹۰	۱۰/۶۱	۲۲/۹۴	۲/۱۶	۰/۱۷	۰/۴۴				۰/۰۰۲
	۱۵۰-۱۲۰	۴/۰۴	۱۱/۰۱	۲/۷۳	۰/۲۲	۰/۴۸				-۰/۰۰۹
<۱۵۰	۰/۷۷	۳/۶۷	۴/۷۹	۰/۳۹	۰/۵۳				-۰/۰۰۸	

ادامه جدول ۳

فاکتورها	کلاس	مساحت کلاس (%)	مساحت لغزش (%)	Pij	(Pij)	Hj	Hj max	Ij	Wj	W <sub>DA</sub>
بارندگی (سانتی متر)	<200	18/29	12/84	0/7	0/14	0/39				-0/006
	300-200	26/25	17/43	0/66	0/13	0/38				-0/005
	400-300	19/94	10/09	0/51	0/10	0/33	2/32	0/08	0/086	0/004
	500-400	15/26	18/35	1/2	0/24	0/49				0/01
فاصله از جاده (متر)	500<	20/27	41/28	2/04	0/40	0/53				0/06
	200-0	46/67	20/18	0/43	0/06	0/24				0/07
	400-200	24/99	29/36	1/17	0/16	0/42				0/04
	600-400	12/35	24/77	2/01	0/27	0/51	2/32	0/08	0/113	0/007
	800-600	12/62	17/43	1/38	0/19	0/45				0/001
شیب (%)	800<	3/36	8/26	2/46	0/33	0/53				-0/04
	50-0	26/3	5/5	0/21	0/02	0/12				-0/003
	15-5	35/24	25/69	0/73	0/07	0/28				0/03
	25-15	19/96	26/61	1/33	0/14	0/39	2/58	0/12	0/192	0/05
	35-25	12/45	24/77	1/99	0/2	0/47				0/003
	50-35	4/67	13/76	2/95	0/3	0/52				0/001
	50<	1/39	3/67	2/64	0/27	0/51				-0/08
	<6	51/63	65/14	1/26	0/49	0/0				0/09
	8-6	24/97	22/02	0/88	0/34	0/53	2	0/74	0/476	0/02
	10-8	20/46	9/17	0/45	0/17	0/0				0/4
TWI	10<	2/93	3/67	1/25	0/48	0/0				-0/001
	<-0/001	5/83	3/67	0/63	0/38	0/53				0/231
	-0/0-0/001	94/16	96/33	1/02	0/62	0/43	1/58	0/4	0/218	0/098
NDVI	0/0-0/05	0/01	0/0	0/0	0/0	0/0				-0/786
	مقعر	0/01	0/0	0/0	0/0	0/0				0/323
	هموار	65/12	64/22	0/99	0/49	0/5	1/58	0/67	0/457	-0/018
انحنای سطح (100/M)	محدب	34/88	35/78	1/03	0/51	0/0				-0/143
	-0/5--0/01	0/01	0/0	0/0	0/0	0/0				-0/513
	0	32/55	24/77	0/76	0/41	0/53	1/58	0/67	0/417	0/003
انحنای مقطع (100/M)	0/0-0/05	67/44	75/23	1/12	0/59	0/0				0/231

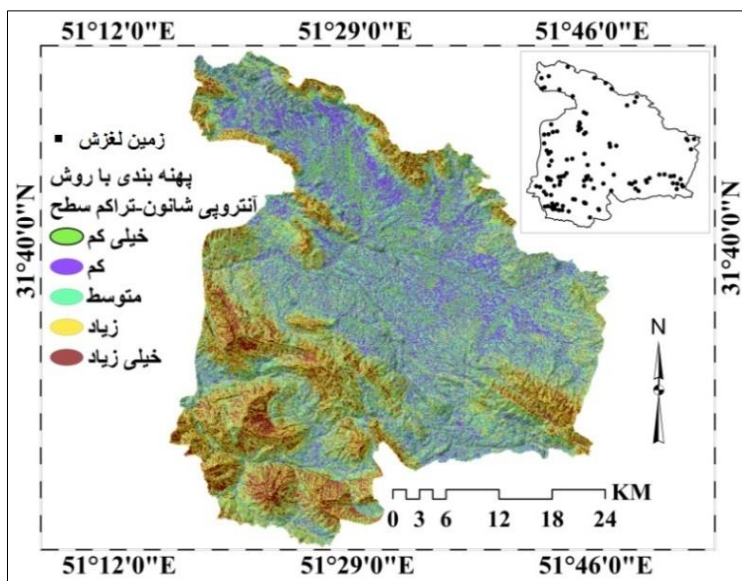
\* Qft2: رسوبات مخروط افکنه ای و تراس، Klsm: مارن، شیل، سنگ آهک و دولومیت، Klso1: سنگ آهک اوربیتولین دار ضخیم، Plbk: کنگلومرا و ماسه سنگ، Eja: سنگ آهک دولومیتی، Omas: سنگ آهک خرد شده با لایه هایی از شیل، Klso1: سنگ آهک اوربیتولین دار، KPeam: ماسه سنگ و سنگ آهک، Kbgp: سنگ آهک و شیل، Qsw: باتلاق، PeEpd: مارن آبی و شیل، JKkqp: سنگ آهک، کنگلومرا و شیل، TRkk-nz: دولومیت، شیل و سنگ آهک، Ktb: سنگ آهک ضخیم، Kgu: مارن. \* LAN1: زراعت آبی، باغات، دیم و مرتع، LAN2: مرتع، LAN3: ارتفاعات بایر، مرتع، LAN4: مراتع، دیمزار، ارتفاعات بایر، LAN5: مرغزار، مرتع، LAN6: مرتع، دیمزار، LAN7: مرتع، دیمزار و باغات، LAN8: زراعت آبی، باغات، دیم و مرتع.

کلاس رابطه مستقیمی وجود دارد که بیانگر حساسیت بالای چشم انداز به عامل بارش در منطقه است. نتایج طبقات شاخص توان آبراهه ها نشان داد که با افزایش قدرت جریان، احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه افزایش پیدا می کند و کلاس  $< 1500$  با بالاترین امتیاز  $0/457$  بیشترین ارتباط را با وقوع زمین لغزش داشته است. در پارامتر شاخص خیسی، کلاس ۱۰-۸ بیشترین ارتباط را با وقوع زمین لغزش داشته است. نتایج شاخص پوشش گیاهی نشان داد که در مناطقی که پوشش گیاهی پایین باشد احتمال زمین لغزش افزایش پیدا می کند و بالعکس. نتایج شکل شیب نشان داد که بیشتر زمین لغزش ها در شیب های مقعر رخ داده است و بر اساس شاخص انحنای مقطع، کلاس  $0/01 - 0/05$  بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است. نقشه حساسیت زمین لغزش در منطقه مطالعاتی با روش ترکیبی آنالیزی شانون و تراکم سطح در شکل (۴) نشان داده شده است.

نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل ترکیبی در جداول (۴ و ۶) و اشکال (۵-۷) نشان داده شده است. طبق نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه بندی با استفاده از شاخص های سطح سلول هسته (SCAI) و نسبت فراوانی (FR) که در جدول (۴) و اشکال (۵ و ۶) نشان داده شده است در هر دو مدل با افزایش حساسیت خطر از خیلی کم به خیلی زیاد، مقادیر نسبت فراوانی (FR) تقریباً روند صعودی داشته اما شاخص SCAI روند نزولی قابل توجه را نشان می دهد و نشان دهنده همبستگی بالای رده های خطر لغزش با مناطق لغزشی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه مورد مطالعه می باشد. بنابراین از این حیث ترتیب تفکیک پذیری بین طبقات در مدل مناسب ارزیابی گردید. در جدول (۵) و شکل (۷) مساحت زیر منحنی (AUC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن نشان داده شده است. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل دارای دقت پیش بینی خیلی خوب می باشد.

در پارامتر شیب، کلاس ۲۵-۱۵ در جه به علت دخالت های انسانی و تغییر کاربری اراضی بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است. در شیب های خیلی زیاد به علت رخنمون های سنگی احتمال رخداد زمین لغزش کاهش پیدا می کند. در پارامتر جهت شیب، جهت شمالی با کسب بالاترین امتیاز ( $0/030$ ) بیشترین پتانسل را برای ایجاد لغزش نسبت به جهت های دیگر دارا بوده است که بیانگر نقش موثر جهت شیب های شمال غربی و شمالی در ایجاد زمین لغزش به علت وجود بارندگی و رطوبت بیشتر در این دامنه ها و انتقال رطوبت بین سازندها به عنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک است که با نظرات [۴۳] مطابقت دارد. نتایج حاصل از بررسی طبقات پارامترهای خطی مانند فاصله از گسل، آبراهه و جاده نشان داد که بین رخداد زمین لغزش و فاصله از این پارامترها رابطه معنی داری وجود دارد به گونه ای که طبقاتی که کمترین فاصله را از این پارامترها دارند، بیشترین امتیاز را کسب نموده و بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته اند و با افزایش فاصله امتیاز طبقات کاهش می یابد. در پارامتر طول شیب، کلاس ۶۰ تا ۹۰ متر بیشترین امتیاز ( $0/06$ ) را کسب نموده است. بررسی کاربری اراضی منطقه نشان بیانگر این است که کاربری ارتفاعات بایر و مرتع بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است که دلیل آن را می توان به نقش موثر انسان در اکوسیستم های طبیعی و تخریب هایی که بواسطه تغییر کاربری اراضی در منطقه به وجود می آید نسبت داد که با نظرات [۳] مطابقت دارد. بر اساس نتایج فاکتور زمین شناسی، بیشترین وزن را رسوبات ماری به خود اختصاص داده است. دلیل این امر شاید جذب آب بیشتر و آبگذاری کمتر خاک هایی با بافت متوسط و ریز، در نتیجه اشباع راحت تر این خاک ها باشد. بررسی عامل بارش در منطقه نشان داد که بین میزان بارندگی در هر کلاس و امتیاز کسب شده توسط آن

<sup>۱</sup>Area Under the Curve (AUC),



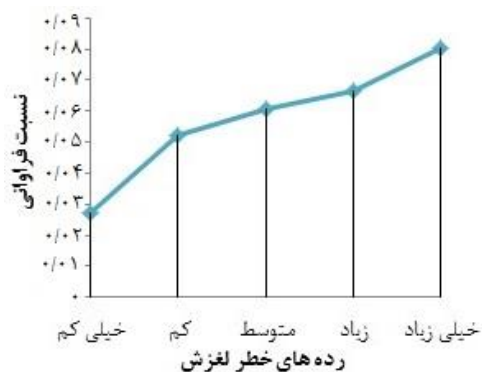
شکل ۴. نقشه حساسیت زمین‌لغزش با روش ترکیبی آنتروپی شانون-تراکم سطح

جدول ۴. نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) در مدل ترکیبی

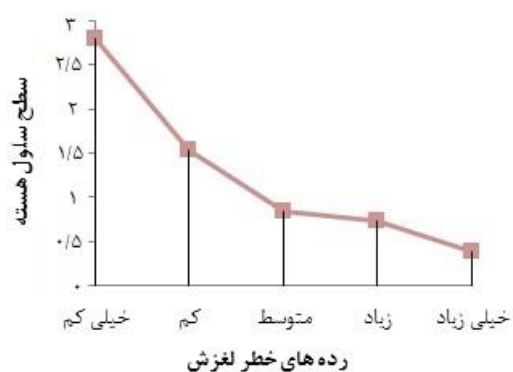
مدل	رده های خطر لغزش	مساحت فاقد لغزش (مترمربع)	مساحت لغزش (مترمربع)	درصد مساحت لغزش	مساحت هر رده خطر (متر مربع)	درصد مساحت رده	SCAI	درصد Seed
روش ترکیبی (شانون-تراکم سطح)	خیلی کم	۱۶۴۳۱۸	۱۳۵۲۵	۱۳/۷۹	۴۹۶۳۴۵/۷	۲۶/۵۹	۲/۸۱	۹/۴۸
	کم	۵۱۹۴۶۱	۲۷۴۴۵	۲۷/۹۸	۵۲۴۶۲۹/۳	۲۸/۱	۱/۵۴	۱۸/۲
	متوسط	۵۴۳۱۹۱	۲۰۳۷۱	۲۰/۷۷	۳۳۴۳۶۵/۱	۱۷/۹۱	۰/۸۵	۲۱/۱۹
	زیاد	۳۷۹۳۸۹	۲۰۹۵۵	۲۱/۳۶	۳۱۵۱۶۷/۳	۱۶/۸۸	۰/۷۳	۲۳/۱۳
	خیلی زیاد	۱۶۲۳۰۱	۱۵۸۰۲	۱۶/۱۱	۱۹۶۲۵۲/۲	۱۰/۵۱	۰/۳۸	۲۸/۰۱

جدول ۵. مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن

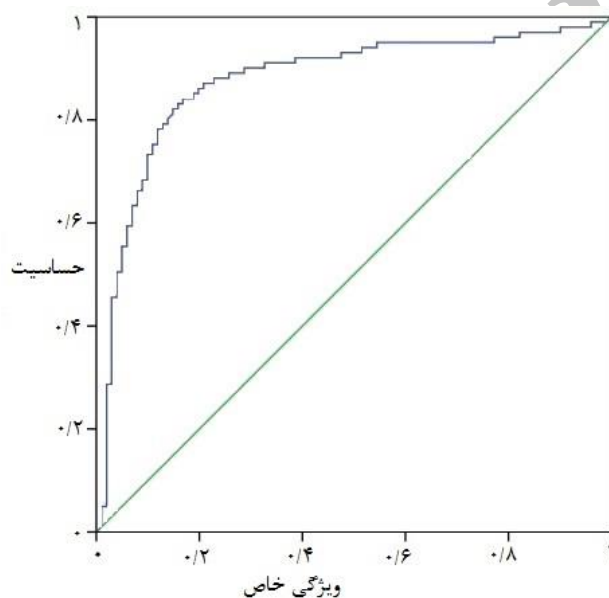
مدل	سطح زیر منحنی	خطای استاندارد	سطح اطمینان	فواصل اطمینان در سطح ۹۵٪	
				حد بالا	حد پایین
روش ترکیبی	۰/۸۷۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰	۰/۸۲۵	۰/۹۲۹



شکل ۶. روند شاخص نسبت فراوانی



شکل ۵. روند شاخص سطح ساول هسته



شکل ۷. روند شاخص ROC

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

رخداد زمین لغزش در حوزه آبخیز سمیرم هر ساله خسارات فراوانی را به ساکنین و اکوسیستم محیط تحمیل می کند، در نتیجه تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش به منظور کاهش خسارات ناشی از آن در این منطقه ضروری می باشد. استفاده از روش های ترکیبی به کمک نرم افزار GIS نقش مهمی در افزایش دقت شناسایی مناطق مستعد لغزش دارد و روش های ترکیبی نواقص مربوط به روش های انفرادی را برطرف می نماید. نتایج حاصل از

اعتبارسنجی مدل ترکیبی با استفاده از منحنی ROC نشان داد که مدل ترکیبی دارای دقت خیلی خوب (۰/۸۷۷) (۸۷/۷ درصد) در منطقه مطالعاتی جهت شناسایی مناطق مستعد لغزش می باشد که با نتایج [۴۱ و ۴۹] که روش های آنروپی شانون و تراک سطح را به عنوان روش های کارآمد در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش معرفی کرده اند مطابقت دارد. بر اساس نتایج مدل ترکیبی، از کل مساحت منطقه (۱۶۸۵۴۷ هکتار)، ۲۶/۵۹ درصد (۴۹۶۳۴۵/۷ هکتار) در رده حساسیت خیلی کم،



کاربری اراضی و ساخت جاده اشاره نمود. در مقابل قسمت‌های مرکزی و شرقی حوزه سمیرم دارای حساسیت کمی نسبت به زمین‌لغزش می‌باشد که از مهمترین دلایل آن توپوگرافی هموار و شیب پایین این مناطق می‌باشد. با توجه به این که پارامترهای طول شیب و شیب بیشترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی داشته‌اند پیشنهاد می‌گردد از هر گونه ساخت و ساز در شیب‌ها اجتناب گردد و با توجه به دقت بالای نقشه حساسیت تهیه شده، نقشه تهیه شده می‌تواند برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی و ساخت تاسیسات زیربنایی مانند جاده مفید باشد.

۲۸/۱ در صد (۵۲۴۶۲۹/۳ هکتار) در رده حساسیت کم، ۱۷/۹۱ درصد (۳۳۴۳۶۵/۱ هکتار) در رده حساسیت متوسط و ۲۷/۳۹ درصد (۴۶۱۶۵/۰۲ هکتار) در کلاس حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. طبق نتایج، رده‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد عمدتاً در بخش‌های جنوب‌غربی و غربی منطقه قرار دارند که از عمده‌ترین دلایل آن می‌توان به توپوگرافی کوهستانی و تپه ماهوری، شیب‌های متوسط به بالا، طول شیب‌های زیاد که احتمال رخداد زمین‌لغزش را افزایش می‌دهند، دریافت بارندگی بالای ۵۰۰ میلی‌متر در این بخش‌ها، چرای بیش از حد و نبود پوشش گیاهی و دستکاری انسانی از طریق تغییر

## References

- [1]. Arabameri, A.R., Shirani, K. and Tazeh, M. (2017). Assessment of logistic and multivariate regression Models for Landslide hazard zonation (Case Study: Marbor basin). *Range and Watershed management*, 70 (1), 151-168.
- [2]. Arabameri, A.R. and Shirani, K. (2016). Identification of Effective Factors on Landslide Occurrence and its Hazard Zonation Using Dempster-Shafer theory (Case study: Vanak Basin, Isfahan Province). *Watershed Engineering and Management*, 8 (1), 93-106.
- [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., Shirani, K. and Halabian, A.H. (2016). Evaluation of prediction capability of the Statistical and Logistic models for mapping landslide susceptibility (Case Study: Vanakbasin). *Physical geography*, 9 (32), 123-140.
- [5]. Ayalew, L., Ymagishi, H., Marui, H. and Kanno, T. (2005). GIS-based susceptibility mapping with comparisons of result from methods and verifications. *Eng. Geol.*, 81, 432-445.
- [6]. Basu, T. and Pal, S. 2017. Identification of landslide susceptibility zones in Gish River basin, West Bengal, India . *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 1, 1-15.
- [7]. Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M. and Marschalko. M. (2010). Landslide susceptibility assessment of the Kralovany–Liptovs ky Mikulaš railway case study. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 162–171.
- [8]. Bronowski, B., Chybiorz, R. and Jura, D. (2016). Landslide susceptibility mapping in the Beskid Niski Mts., Western Carpathians (Dukla commune, Poland). *Geological Quarterly*, 60 (3), 586–596.
- [9]. Budimir, M.E.A., Atkinson, P.M. and Lewis, H.G. (2015). A systematic review of landslide probability mapping using logistic regression. *Landslides*, 12 (3), 419- 436.
- [10]. Chen, W., Chai, H., Sun, X., Wang, Q., Ding, X. and Hong, H. (2016a). A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weightsof- evidence models in landslide susceptibility mapping. *Arab J Geosci*, 9(3), 1–16.

- [11]. Chen, W., Li, W., Chai, H., Hou, E., Li, X. and Ding, X. (2016b). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the Baozhong region of Baoji City, China. *Environ Earth Sci*, 75(1), 1–14.
- [12]. Colkesen, I., Sahin, E.K. and Kavzoglu, T. (2016). Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. *J Afr Earth Sci*, 118, 53–64.
- [13]. Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C. and Vlaicu, M. (2011). Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environ Earth Sci*, 63, 397–406.
- [14]. Costanzo, D., Rotigliano, E., Irigaray, C., Jimenez-Pervarez, J.D. and Chacon, J. (2012). Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the GIS matrix method: application to the river Beiro basin (Spain). *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 12, 327–340.
- [15]. Dai, F.C., Lee, F.C., Tham, L.G., Ng, K.C. and Shum, W.L. (2004). Logistic regression modeling of stoem-induced shallow land sliding in time and space on lantau island. *Bull. Eng. Geol. and Environ*, 63, 315-327.
- [16]. Devkota, K.C., Regmi, A.D., Pourghasemi, H.R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I.C., Dhital, M.R. and Althuwaynee, O.F. (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Nat. Hazards*, 65 (1), 135–165.
- [17]. Deljouei, A., Hosseini, S.A. and Sadeghi, S.M.M. (2016). Evaluation of different methods of landslide risk zonation in forest ecosystems. *Extension and Development of Watershed Management*, 4 (13), 7-14.
- [18]. Ercanoglu, M. and Gokceoglu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environ Geol*, 41(6), 720–730.
- [19]. Greco, R., Sorriso, V. and Catalano, E. (2007). Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria. *Italy, Eng. Geol.*, 89, 47-66.
- [20]. Formetta, G., Capparelli, G. and Versace, P. 2016. Evaluating performance of simplified physically based models for shallow landslide susceptibility. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 4585–4603.
- [21]. Hong, H. and Xu, C. and Chen, W. 2017. Providing a Landslide Susceptibility Map in Nancheng County, China, by Implementing Support Vector Machines. *Geographic Information System*, 6(1A), 1-13.
- [22]. Horafas, D. and Gkeki, T. 2017. Applying Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping. The Case Study of Krathis Watershed, North Peloponnese, Greece. *Geographic Information System*, 6(1A), 23-28
- [23]. Huang, J., Zhou, Q. and Wang, F. (2015). Mapping the landslide susceptibility in Lantau Island, Hong Kong, by frequency ratio and logistic regression model. *Annals of GIS*, 21 (3), 191-208.
- [24]. Illanlou, M. and Ebrahimi, L. (2016). Zoning Risk of Mass Movements using Information Value Model, Surface Density and LNRF in the Watershed Zohreh. *Environmental hazards management*, 3(2), 141-153.
- [25]. Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J. and Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 11, 909–926.
- [26]. Kayastha, P., Dhital, M.R. and Smedt, F.D. (2012). Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed. *Nat Hazards*, 63, 479-498.
- [27]. Karimi Sangchini, E., Emami, S.N., Tahmasebipour, N., Pourghasemi, H.R., Naghibi, S.A., Arami, S.A. and Pradhan, B. (2016). Assessment and comparison of combined bivariate and AHP models with logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Chaharmahal-e-Bakhtiari Province, Iran. *Arab J Geosci*, 9, 201.
- [28]. Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74(1-4), 17-28.
- [29]. Lee, S., Hong, S.M., Jung, H.S. 2017. A Support Vector Machine for Landslide Susceptibility Mapping in Gangwon Province, Korea. *Sustainability*, 9, 48.
- [30]. Lee, S. and Pradhan, B. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4(1), 33–41.

- [31]. Lee, S. and kyungduck, M. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea. *Enviromented geology*, 40, 1095–1113.
- [32]. Lee, S. and Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the DamreiRomel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environ. Geol*, 50, 847-855.
- [33]. Mihaela, C., Martin, B., Marta, C. J. and Marius, V. (2011). Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environ. Earth Sci*, 63, 397–406.
- [34]. Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y. and Durmaz, S. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey). *Geomorphology*, 94, 401- 418.
- [35]. Pareek, N., Sharma, M. L. and Arora, M. K. (2010). Impact of seismic factors on landslide susceptibility zonation: A case study in part of Indian Himalayas. *Landslides*, 7(2), 191–201.
- [36]. Pradhan, B. and Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: Back-propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environ. Modeling Software*, 25(6), 747–759.
- [37]. 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. *Adv Space Res*, 45, 1244–1256.
- [38]. Pradhan, B. and Youssef, A. M. (2010). Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arab. J. Geosci.* 3(3), 319–326.
- [39]. Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R. and Aghda, S. F. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Nat. Hazards*, 69(1), 749–779.
- [40]. Pourghasemi, H.R., Mohammady, M. and Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97, 71–84.
- [41]. He, S., Pan, P., Dai, L., Wang, H. and Liu, J. (2012). Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China. *Geomorphology*, 171, 30–41.
- [42]. Regmi, N.R., Giardino, J.R. and Vitek, J.D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado. *Geomorphology*, 115, 172–187.
- [43]. Regmi, A. D., Devkota, K. C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., Kumamoto, T. and Akgun, A. 2014. Application of Frequency Ratio, Statistical Index, and Weights-of-Evidence Models and their Comparison in Landslide Susceptibility Mapping in Central Nepal Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (2), 725–742.
- [44]. Saha, AK., Gupta, R.P. and Arora, M.K. (2002). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley. *Intl. J. Remote Sens*, 23, 357–369.
- [45]. Sharma, L.P., Patel, N., Ghose, M. K. and Debnath, P. (2010). Influence of Shannon's entropy on lands lide -causing parameters for vulnerability study and zonation-a case study in Sikkim, India. *Arabian Journal of Geoscience*, 5 (3), 421-431.
- [46]. Shekari Badi, A., Motamedi Rad, M. and mohamadnia, M. (2016). Combining the ANP Model and Shannon Entropy Index to Assess the Effective Factors in the Occurrence and Zonation of Landslide Hazard (Case study: Farob Roman basin in Neyshabur). *Arid Regions Geographic Studies*, 6 (22), 89-103.
- [47]. Shirani, K. and Arabameri, A.R. (2015). Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study:Dez-e-Oulia Basin). *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci., Isf. Univ. Technol.*, 72, 321-334.
- [48]. Shirani, K. (2017). Modelling and Assessment of Landslide Susceptibility Zonation using Shannon's Entropy Index and Bayesian Weight of Evidence (Case Study: Sarkhoon Basin, Karoon). *J. Water and Soil Sci*, 21 (1), 51-68.
- [49]. Wan, S. (2009). A spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map. *Eng. Geo*, 108, 237-251.
- [50]. Wan, S. (2012). Entropy-based particle swarm optimization with clustering analysis on landslide susceptibility mapping. *Environ Earth Sci*, 68 (5), 1349- 1366.

- [51]. Wang, Q., Li, W., Chen, W. and Bai, H. (2015). GIS-based assessment of landslide susceptibility using certainty factor and index of entropy models for the IanyQang County of Baoji city, China. *J. Earth Syst. Sci.* 124(7), 1399–1415.
- [52]. Wu, Y., Li, W., Wang, Q. and Yan, S. 2016. Landslide susceptibility assessment using frequency ratio, statistical index and certainty factor models for the Gangu County, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), 84.
- [53]. Wu, W. and Sidle, R.C. (1995). A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Research*, 31, 2097- 2110.
- [54]. Yaclin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1–12.
- [55]. Yilmaz, C., Topal, T. and Suzen, M.L. (2012). GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey). *Environ. Earth Sci*, 65, 2161–2178.
- [56]. Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., El-Haddad, B. and Dhahry, B. (2016). Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin. *Asir Region, Saudi Arabia, Bull Eng Geol Environ*, 75 (1), 63-87.
- [57]. Youssef, A.M. (2015). Landslide susceptibility delineation in the Ar-Rayth area, Jizan, Kingdom of Saudi Arabia, using analytical hierarchy process, frequency ratio, and logistic regression models. *Environ Earth Sci*, 73 (12), 8499-8518.

Archive of SID

Archive of SID