

^{مر}تع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران دوره ۲۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶

ص ۹۳۹–۹۲۱

اولویت بندی عوامل مو ثر در زمین لغزش و مدل سازی فضایی آن با رویکرد داده محور 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 کر شاورزی و منابع طبیعی ا صفهان،
 سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان
 - خلیل رضایی؛ استادیار گروه زمین شناسی دانشکده علوم زمین ، دانشگاه خوارزمی.
 - مجتبى يمانى؛ استاد ژئومورفولوژى دانشگاه تهران.

چکیدہ

در این پژوهش از یک مدل ترکیبی نوین با استفاده از رویکرد داده محور به منظور شناسایی عوامل موثر در رخداد زمین لغزش و همچنین تهیه نقشه حسا سیت زمین لغزش در حوزه آبخیز سمیرم، که یک منطقه حساس نسبت به زمین لغزش میبا شد، استفاده گردیده است. بدینمنظور در ابتدا با استفاده از تفسیر عکسهای هوایی و پیمایش میدانی گسترده موقعیت زمین لغزشها شنا سایی (۶۰ زمین لغزش) به منظور اعتبارست. به مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا تعداد ۲۵ پارامتر ژئومور فولوژ یک، هیدرولوژ یک، زمین شناسی و محیطی در نظر گرفته شد. به منظور غربالگری پارامترها از روش SVM استفاده گردید. پس از تعیین معیارها، از مدل آنتروپی شانون به منظور اعتبارست. به منظور غربالگری پارامترها از روش SVM استفاده گردید. پس از تعیین معیارها، از مدل مین شناسی و محیطی در نظر گرفته شد. به منظور غربالگری پارامترها از روش SVM استفاده گردید. پس از تعیین معیارها، از مدل طبقات در محیط نرم افزار SIO2 معیارها و از مدل تراکم سطح برای تعیین وزن طبقات استفاده گردید و از تلفیق وزن معیارها و طبقات در محیط نرم افزار SIO2 معیارها و از مدل تراکم سطح برای تعیین وزن طبقات استفاده گردید و از تلفیق وزن معیارها و گردید. به منظور اعتبار سنجی مدل از منحنی SOR استفاده گردید. نتایج صحت سنجی نشان داد که مدل ترکیبی داری دقت خیلی شاخص خیسی توپوگرافی بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشتهاند. از کل مساحت منطقه ، ۲۷/۳ درصد در کلاس حساسیت زیاد و خیلیزیاد قرار گرفتهاند. نقشه تهیه شده می تواند برای برنامه ریزی کاربری اراضی و ساخت تاسیسات زیربنایی مانند جاده مفید شاخص خیسی توپوگرافی بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشتهاند. از کل مساحت منطقه ، ۲۹/۳ درصد در کلاس حساسیت زیاد و خیلیزیاد قرار گرفتهاند. نقشه تهیه شده می تواند برای برنامه ریزی کاربری اراضی و ساخت تاسیسات زیربنایی مانند جاده مفید

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

۱. مقدمه

زمین لغزشها که باعث ایجاد خسارات گسترده به مناطق م سکونی، خ سارات اقد صادی و تلفات ان سانی در سراسر جهان می گردند، 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 زمين لغزش ها باعث تقريبا ١٠٠٠ مرگ و میر و ۴ بیلیون دلار خسارت اقتصادی می گردند [۳۰]. فاكتورهاى مختلفى در وقوع زمين لغزش موثر میباشند که شامل فرایندهای هیدرولوژیک (بارش، تبخیر و آبهای زیر زمینی)، توپوگرافی، سینگ مادر، پوشیش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک و فعالیتهای انسانی میباشند [۵۴]. به منظور کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش در حوزه سـمیرم که با توجه به شـرایط توپوگرافیک و آب و هوایی یک منطقه حساس به زمین لغزش می باشد 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 می کند [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 می گیرند به دو رویکرد عمده قابل تقسيم مي با شند كه شامل رويكرد دادهمحور که مبتنی بر استخراج داده و رویکرد دانشمحور که مبتنی بر دانش کارشناسان است، میباشند. به عبارت دیگر، رویکرد دانش محور شامل تکنیکهایی است که بر اساس تجربه کارشناسانی است که تعیین حساسیت زمین لغزش را در منطقه یا از طریق ترکیب لا یه های مختلف تجربه کرده اند، در حالی که رویکرد داده محور شامل روشهایی است که آنالیزهای آماری و احتمالاتی را اجرا نمایند و یا دنبال رویکردهای جبری باشــند [۲۱

].یکی از مهمترین مزایای تکنیکهای داده محور نسبت به دانش محور به منظور ارزیابی حساسیت زمین لغزش این است که این روشها می توانند به راحتی در مناطق با وســعت زیاد اجرا گردند در حالی که تکنیک دانشمحور در آنالیزهای محلی مورد استفاده قرار می گیرد و نیاز به دادهها و پارامترهای دقیق داشته و بسیار پرهزینه می باشد 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 می توان به [۳، ۴، ۱۷، ۲۶، و ۴۷] اشاره نمود. عرب عامری و همکاران [۴]به ارزیابی توانایی پیشبینی مدلهای آماری و لج ستیک برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در حوزه ونک پرداختند و به این نتیجه ر سیدند که مدل تراکم سطح با کسب بیشترین مقدار جمع کیفی نسبت به روشهای دیگر، بهترین کارایی را در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در منطقه مطالعاتی دا شته ا ست. در خارج از ایران نیز می توان به [۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۲۷، ۳۴، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، و ۵۰] اشــاره 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 یارامتر شامل شیب، جهت شیب، انحنا، انحنای سطح، انحنای مقطع، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، شاخص حمل رسوب، شاخص قدرت آبراهه، شاخص خیسی و لیتولوژی یرداخته و به این نتیجه رسیدند که روشهای آماری دارای توانایی بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می باشند. مرور ادبیات تحقیق نشان داد که روش های آماری دومتغیره دارای کارایی و قابلیت بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می باشند. طبق مطالعات پیشین که در رابطه با ارزیابی روشهای آماری دو متغیره در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است،



روش تراکم سـطح^۱کارایی بالاتری را نسـبت به روشهای دو متغیره دیگر در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از خود نشان داده است [۳ و ۴]. در مقابل تئوری آنتروپی شانون آبه عنوان کمیتی از بینظمی بین علل، نتایج یا تصــمیم گیری ها در موضـوعات مختلف می باشــد و در م طالعات ژئومورفولوژی نظیر زمین لغزش که داده های موجود با عدم قطعیت رو به رو هستند می تواند کارایی بالایی داشته باشد [۵۰]. آنتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل موثر در یک رخداد، می توان مهمترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغیرهایی که بیشــترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند را برای ما مشخص مینماید. از آنجایی که در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، بســته به شـرایط منطقه معمولا فاکتورهای مختلفی تاثیر گذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدلهای آماری دو متغیره و احتمالی نظیر بيزين، تمامى عوامل موثر بر وقوع زمين لغزش وزن یکسانی دارند، لذا چنانچه یکی از عوامل تاثیر بیشتری داشــته باشــد میزان اثر آن نادیده گرفته میشـود [۴۲].بنابراین تئوری مذکور میتواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تاثیر بســزایی در شــناسـایی عوامل موثر در رخدادزمین لغزش و میزان تاثیر گذاری آنها داشته باشد [۴۶]. حوزه آبخیز سمیرم به علت شرایط توپوگرافیک، زمین شناسی و اقلیمی و همچنین فعالیت های انسانی حساسیت بالایی نسبت به زمین لغزش دارد و هر ساله زمین لغزش خسارات گسترده ای را به انسان ها و اكوسيستم طبيعي در اين منطقه تحميل ميكند، بنابراين شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش به منظور انجام اقدامات حفاظتی ضروری میباشد. هدف اصلی در این پژوهش در گام نخست شناسایی و اولویتبندی عوامل موثر در رخداد زمین لغزش در منطقه مطالعاتی با استفاده از روش SVM و در گام بعد تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با یک روش ترکیبی نوین با رویکرد دادهمحور

میباشد. استفاده از روش ماشینهای بردار پشتیبان و واقع یت های زمینی به منظور غر بالگری پارامتر ها و همچنین ا ستفاده از روش ترکیبی آنتروپی شانون-تراکم سطح در تهیه نق شه ح سا سیت زمین لغزش و همچنین استفاده از پارامترهای ژئومور فومتریک مانند شاخص خیسی توپو گرافی (TWI)، شاخص توان آبراهه (SPI)، طول شیب (LS)، شکل شیب (Profile Curvature) و انحنای مقطع (Profile Curvature) به منظور تعیین مناطق مستعد لغزش نوآوری این پژوهش میباشد.

۲. روششناسی تحقیق

۲,۱. معرفي منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سمیرم در محدوده یسیاسی شهرستان سمیرم از استان اصفهان واقع گردیده است. وسعت حوزه سـمیرم در حدود ۱۶۸۵۴۷ هکتار بوده و در محدوده ی طولهای جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۸۸ دقیقه و ۱۵ ثانیه و ۳۱ درجه و ۲۱ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۵۲ دقیقه و ۱۰ ثانیه قرار دارد (شـکل ۱). این منطقه در زون سـاختاری سـندج – سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد. سازندهای لیتولوژی موجود در منطقه در جدول ۱ نشان داده شـده است. موجود در منطقه در جدول ۱ نشان داده شـده است. میبا شد. مهمترین گ سل موجود در حوزه سمیرم که در میبا شد. میانگین بارش

۲,۲. تهیه لایه های اطلاعاتی

اولین گام در تهیه نق شه حسا سیت زمین لغزش و آنا لیز خطر، جمع آوری اطلاعات در را بطه با زمین لغزش هایی است که در گذشته اتفاق افتادهاند، بنابراین زمین لغزش های رخ داده در گذشته و حال برای

'Shannon's entropy model



براکنش زمین لغزش پیشنیاز چنین مطالعاتی میباشد [۲۴].

پیشبینی آینده بسیار مهم میباشند و نقشه پراکنش



شكل ١. موقعيت جغرافيايي منطقه مورد مطالعه

1 1			مساحت به	
واحدهای سنگ شناسه	واحدهای زمین شناسی	سن نسبی	كيلومتر	
			مربع	
Qft2	رسوبات مخروط افکنهای و تراس	سنوزوئيک	۶۸۹/۱۳	
Klsm	مارن، شیل، سنگآهک و دولومیت	مزوزوئيک	$TT/\Lambda T$	
Klsol	سنگآهک اوربیتولیندار ضخیم	مزوزوئيک	20.166	
Plbk	کنگلومرا و ماسهسنگ (سازند بختیاری)	سنوزوئيک	510/FV	
Eja	دولومیتهای ضخیم خاکستری و قهوهای، سنگآهک دولومیتی (سازند جهرم)	سنوزوئيک	222/F1	
OMas	سنگآهک قهوهای هوازده با میان لایههایی از شیل (سازند آسماری)	سنوزوئيک	۵۸/۵۰	
Klsol	سنگآهک اوربیتولیندار خاکستری ضخیم	مزوزوئيک	• / • Y	
KDaam		مزوزوئيک-	1 V/A ¥	
KPeam	ماسهست فهوهای هوارده به همراه فتنگومرا و سنگاهگ (سارند امیران)	سنوزوئيک	1 4/ 11	
Kbgp	گروه بنگستان، عمدتا سنگآهک و شیل	مزوزوئيک	•/٣۴٢	
Qsw	باتلاق	سنوزوئيک	۱۹/۰۳	
PeEpd	شیل و مارن آبی	سنوزويئک	111/99	

جدول۱. سازندهای زمین شناسی حوزه آبخیز سمیرم

JKkgp	سنگآهک ضخیم،کنگلومرا و شیل	مزوزوئيک	۲۰/۷۴
TRkk-nz	دولومیت ضخیم تا متوسط قهوهای، شیل سبز و سنگ آهک آرجیلاسیوس	مزوزوئيک	۰/۷۳۸
Ktb	سنگآهک انیدریتیک تودهای و صخرهای (سازند تاربور)	مزوزوئيک	۱۸/۴۶
Kgu	مارن خاکستری مایل به زرد و شیل با مواد زیرین سنگآهک آرجیلاسیوس نازک (سازند گورپی)	مزوزوئيک	•/•٣٧

با GPS^۱، تهیه گردید و ۷۰ درصد زمین لغزش ها برای اجرای مدل و ۳۰ درصد به منظور اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفت (شکل۲) [۲۰، ۲۱ و ۲۲]. نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه مطالعاتی با استفاده از تفسیر عکسهای هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و پیمای شات میدانی گسترده و ثبت موقعیت زمین لغزشها



شکل۲. نقشه پراکنش زمینلغزش در حوزه آبخیز سمیرم

NDVI (شکل ۳، د)، شکل شیب (شکل ۳، ز)، انحنای مقطع (شـکل ۳، س)، طول شـیب (شـکل ۳، ن)، شـاخص توان آبراهه (شکل ۳، و)، و شاخص خیسی توپوگرافی (شکل ۳، ی) در منطقه انتخاب گردید. مدل SVM بر اسـاس واقعیت های زمینی و مقادیر عددی به انتخاب پارامتر ها می پردازد که در پژوهش های صورت گرفته تاکنون مانند شناسایی و انتخاب عوامل موثر در زمین لغزش یکی از گام های مهم در تهیه نقشـه حساسیت زمین لغزش می باشـد [۱۹]. بر اساس مطالعه ادبیات تحقیق و ویژگیهای منطقه مطالعاتی، ۲۵ فاکتور موثر در زمین لغزش شناسایی گردید و با استفاده از روش SVM به غربالگری پارامترها پرداخته شد و در نهایت ۱۵ پارامتر شامل ارتفاع (شکل۳، الف) شیب (شکل۳، ب)، جهتشیب (شکل۳، پ)، فاصله از آبراهه (شکل۳، ج)، بارندگی(شکل۳، چ)، کاربری اراضی(شکل۳، ح)، لیتولوژی (شکل۳، خ)،

[۱۱،۱۰ 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، تصــاویر ماهوارهای Landsat8 ،+ETM و با استفاده از آمار بارندگی ایستگاههای بارانسنجی تنگه زردالو، مهر گرد، سمیرم علیا، سلگان و امامقیاس در یک دوره ۳۰ ساله (از تاریخ ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ شمسی)، نقشه همباران منطقه تهيه گرديد. با اعمال فرمول گراديان بارندگی منطقه بر مدل رقومی ارتفاعی، نقشیه همبارش منطقه تهیه گردید. مهمترین گسیختگیها در شیب بعد از بارندگی های سینگین و نفوذ آب به داخل ترک ها و شکافها رخ میدهد و فعالیت گسلهای بزرگ و فعال نیز از جمله عناصر تکتونیکی موثر در فعالیت زمین لغزشها می باشند [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 ســـب وقوع زمين لغزش گردند [۴۵] ، همچنين فعالیتهای انسانی از جمله جاده سازی از جمله مهمترین عوامل موثر زمین لغزش در مناطق شیبدار به حساب می آید [۳۲]. نقشه فاصله از جاده و آبراهه با طبقه بندی فوا صل معین از شبکه جاده و شبکه هیدروگرافی رقومی شــده از نقشــه توپوگرافی منطقه تهیه گردید. از دیگر عوامل موثر در زمین لغزش وضعیت موجود در پوشش سطح و کاربری اراضی و نیز تغییرات آن طی دورههای متوالی می با شد [۱۵]. بر اساس طبقه بندی نظارت نشده تصویر ماهوارهای Landsat8 و بازدید صحرایی و کنترل صحت، نق شه کاربری ارا ضی منطقه تهیه گردید. از آنجا که تنوع بافت و سنگ شناسی در سنگ ها و خاک ها منجر

به تفاوت در استحکام و نفوذپذیری آنها می شود، عامل زمینشاسی نقش بسیار مهمی در وقوع زمین لغزشها ايفا مى كند [10]. بر اساس تفكيك و رقومى كردن پلیگونهای واحدهای سنگشناسی از نقشه زمینشناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در محیط نرم افزار ArcGIS10.2 نقشه زمین شناسی منطقه تهیه گردید. شاخص نرمال شــده تفاوت پوشــش گياهی (NDVI)^۱ که به عنوان شاخصی برای وجود گیاهان در آبراههها از آن استفاده می شـود، با اســتفاده از تصـویر ماهوارهای Landsat8 در محيط نرم افزار ENVI4.7 تهيه گرديد. ارتفاع از سطح دریا، درجه و جهت شیب از مهمترین عوامل موثر در وقوع زمین لغزش می باشیند [۲۵، ۵۴ و ۵۵]. به منظور تهیه نقشه طبقات ارتفاعی، وجه شیب، جهت شیب و همچنین پارا مترهای ژئو مور فو متریک، از مدل رقو می ASTER با قدرت تفکیک ۳۰×۳۰متر استفاده گردید. یارامترهای ژئومورفومتریک مورد اســـتفاده در این یژوهش شامل انحنای سطح، انحنای مقطع، شاخص خیسے تويوگرافي، شاخص توان آبراهه ⁶و طول شيب مي باشد. انحنای سطح و انحنای مقطع نوع شیبها را توصیف میکنند و فاکتورهای مهمی هستند که میتوانند در وقوع زمین لغزشها نقش داشته باشند [۲۰]. در تحقیقات زیادی از پارامترهای شاخص خیسے تویوگرافی، شاخص توان آبراهه و طول شیب به عنوان ویژگیهای توپوگرافی ثانویه جهت تهیه نقشه حسا سیت زمین لغزش استفاده گردیده است [۱۴ و ۵۳]. شاخص خیسی و ضعیت حوزه را از نظر ا شباع نشان میدهد و هر چه میزان ا شباع بی شتر با شد، مقاومت خاک و سنگ کاهش یافته و به وقوع زمین لغزش كمـک مىكنـد [8]. شــاخص توان آبراهـه بـه منظور اندازه گیری قدرت فرسایش جریان آب و همچنین فاکتور ثبات شیب مورد استفاده قرار می گیرد [۴۳]. طول شیب به

^{*}Topographic wetness index (TWI) Stream power index (SPI) ^{*}Length-slope (SL) 'Global Posision System

^vNormalized Difference Vegetation Index (NDVI) ^v Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)



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

$$SPI = As \times \tan \beta \tag{(1)}$$

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

Plan Curvature =
$$-\frac{q^2 \times r - 2 \times p \times q \times s + p^2 \times t}{\left(\sqrt{1+P^2} + q^2\right)^3}$$
 (°)

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

که در آن p,q,r,s,t ضرایبی هستند که در نرمافزار مورد ا ستفاده قرار میگیرند. نحوه محا سبه آنها در قالب روابط ۶ تا ۱۰ نشان داده شده است. AS: مساحت حوزه آبخیز به کیلومتر مربع و β: گرادیان شیب بر حسب درجه میباشد.

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

$$q = \frac{Z1 + Z2 + Z3 - Z7 - Z8 - Z9}{6 \times \Delta_s}$$
 (Y)

$$r = \frac{Z1 + Z3 + Z4 + Z6 + Z7 + Z9 - 2 \times (Z2 + Z5 + Z8)}{3 \times \Delta_{S}^{2}} \qquad (\lambda)$$

$$s = \frac{-Z1 + Z3 + Z7 - Z9}{4 \times \Delta_s^2}$$
(9)

$$t = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9 - 2 \times (z_4 + z_5 + z_6)}{3 \times \Delta_s^2} \qquad (1 \cdot)$$

پارامترهای Z1 تا Z9 مقادیر ارتفاع در شـبکه سـلولی ۳×۳ میباشد.

$$P_{ij} = \frac{b}{a} \tag{11}$$

$$\left(P_{ij}\right) = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{S_j} P_{ij}} \tag{17}$$

$$H_{j} = -\sum_{i=1}^{Sj} (P_{ij}) \log_{2} (P_{ij}), j = 1, ..., n$$
 (17)

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

$$I_{j} = \frac{H_{j \max} - H_{J}}{H_{j \max}}, I = (0,1), j = 1, ..., n$$
 (1Δ)

$$W_{J} = I_{j} P_{ij}$$
(19)

که در آن b:درصد مساحت لغزش، a: درصد مساحت کلاس، P_{ij} : تراکم احتمال کلاس، P_{ij} : تراکم احتمال لغزش هر یارامتر ، 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 زمین لغزش محاسبه می شود و سپس اقدام به تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می گردد [۴].

$$D_{area} = \frac{N_{Pix} (SX_i)}{N_{Pix} (X_i)}$$
(1Y)

$$W_{\text{area}} = 1000 \left[D_{area} - \frac{\sum N_{Pix} (SX_i)}{\sum N_{Pix}(X_i)} \right] \qquad (1 \text{ A})$$



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

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.





شکل۳. 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، انحنایمقطع؛ ن، طولشیب (LS)؛ و، شاخص توان آبراهه (SPI)؛ ی، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI).)

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

۵,۲. صحت سنجی مدل

با استفاده از سطح زیر منحنی (AUC) در منحنی ویژگی عملگرد سبی (ROC) صحت روش و با استفاده از نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAľ) دقت تفکیک بین طبقات مورد بررسے و تایید قرار گرفت [۳۵ و ۴۲]. با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی توان از همان لغزش هایی 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 می توانند تعیین کنند [۲۸]. در حقیقت نسبت فراوانی (FR) نسبت مساحت سطح لغز شی در هر طبقه به مساحت سطح آن طبقه می باشد [۳۹] و شاخص SCAI نسبت درصد مساحت هر یک از طبقات پهنهبندی خطر وقوع زمین لغزش 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 مي گردد. رابطه كمي-كيفي بين

¹Area Under Curve (AUC) ⁷receiver operating characteristics (ROC)

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

۳. نتايج

نتایج حاصل از غربالگری پارامتر های موثر در زمین لغزش با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (Weight by) SVM در جدول (۲) نشان داده شده است.

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان داد که از ۲۵ پارامتر مورد بررسیی در منطقه مطالعاتی، لایه های اطلاعاتی پوشش گیاهی، تراکم گسل، تراکم آبراهه، تراکم جاده، انحنای متقاطع، شاخص همگرایی، جهت جریان، انحنای کلی، انحنای عمومی و تانژانت انحنا که کمترین وزن را دریافت کردند و تاثیری در وقوع زمین لغزش ندا شتهاند از مدل حذف شدند و در مقابل پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، شاخص قدرت جریان، شاخص خیسی، طول شیب، کاربری ارا ضی، لیتولوژی، NDVI، انحنای سطح، انحنای مقطع و بارندگی در وقوع زمین لغزش های منطقه مطالعاتی موثر بوده و در فرآیند تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفتند.

Frequency Ratio (FR) *Seed Cell Area Index (SCAI) ترتیب در رتبههای بعدی قرار گرفتهاند.

کاهش می یابد که با نتایج [۴] مطابقت دارد.

(NDVI)، فاص_له از جاده، بارندگی، فاص_له از آبراهه،

طبقات ارتفاعی، فاصله از گسل و جهت شیب نیز به

نتايج حاصل از تعيين 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 نتایج حاصل از تعیین وزن پارامترها و طبقات آنها با استفاده از روشهای آنتروپی شانون و تراکمسطح در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تعیین وزن پارامترها نشان داد که پارامترهای طول شیب (SL)، وجهشیب، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI) و شکل شیب (Plan Curvature) به ترتیب با کسب بالاترین شیب (Plan Curvature) به ترتیب با کسب بالاترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی دا شتهاند که با نتایج حاصل از تحقیقات [۱۵، ۳۳ و ۴۱] مطابقت دارد. پارامترهای انحنای مقطع، لیتولوژی، کاربری اراضی، شاخص توان آبراهه (SPI)، شاخص پوششش گیاهی

فاصله از آبراهه فاصله از گسل فاصله از جاده پارامتر قدرت جريان انحناى عمومى امتياز ٠/١۴١ ٠/١٩۵ ۰/۲۱۱ ٠/٢٧١ ۰/۰۰۵۲ پارامتر شيب جهتشيب تانژانت انحنا انحناىسطح انحناىمقطع ۰/۰۰۶۵ ٠/٠٩٨ امتياز •/837 ۰/۱۶۵ ۰/۵۱۱ سنگشناسی پارامتر پوشش گياهي کاربری اراضی شاخص همگرایی انحنای کلی •/•• ١ ١ امتياز ۰/۰۵۶ ۰/۳۱۶ ./419 •/•٧١ يارامتر بارندگی طولشيب تراكم آبراهه تراكم جاده جهت جريان ٠/٢١٧ ۰/۸۵۴ ۰/۰۸۲ ٠/٠٢١ امتياز پارامتر انحناىمتقاطع خیسی توپوگرافی NDVI تراكم گسل ارتفاع امتياز ./. 36 ./247 ./177 ۰/۰۳۸ ۰/۱۰۸ دقت: ۹۵/۵۴ درصد؛ صحت: ۹۳/۴۳ درصد؛ ضریب کاپا: AUC ؛۰/۹۱۲ ۲۰/۹۴

جدول۲. انتخاب پارامترهای موثر در زمین لغزش با روش SVM

جدول۳. محاسبه وزن پارامترهای موثر در لغزش به همراه طبقات آنها با روش های آنتروپی و تراکم سطح

فاكتورها	كلاس	مساحت کلاس (٪)	مساحت لغزش (٪)	Pij	(Pij)	Hj	Hj max	Ij	Wj	W _{DA}
	>7٣٠٠	٨/٩٨	٨/٢۶	٠/٩٢	٠/١٣	۰/۳۸			٢/٢٩	-•/•۶
-	24022.	۲۸/۵۶	17/42	• /۶ ۱	٠/•٩	• /۳ ۱	۲/۵۸			•/•۴
رتفاع	78740.	24/•2	٣٠/٢٨	۱/۲۶	•/١٨	•/44		1/8 C		•/•۶
قير	220-26.	۲۳/۹۸	۲۲/۰۲	•/97	•/١٣	• /۳۸		1/ 17		•/••٣
\smile	۲٩٠٠-۲۷۵۰	٩/٩۵	17/26	١/٢٩	•/١٨	٠/۴۵				-•/• ٩
	<٢٩٠٠	4/52	٩/١٧	٣/٠٣	٠/٢٩	۰/۵۲				-•/•Y
<u>ج</u> ب . جب .	شمال	14/14	۱۱/۹۳	•/٨	• / ١	۰/۳۳				•/• ••
	شمال شرق	۱۳/۳۸	17/84	۰/٩۶	•/17	۰/۳۶	٣	•/•٢	۰/۰۱۶	•/• • •
	شرق	٩/۶٨	۱۴/۶۸	1/57	•/١٨	٠/۴۵				•/• • •





	جنوب شرق	۹/۰ ۱))/·)	1/22	۰/۱۵	•/۴١				-•/• \ ۴
	جنوب	۱۲/۸۹	12/26	١	•/\٢	• /۳۷				-•/• \ ٩
	جنوب غرب	۱۴/۹	13/18	٠/٩٢	•/ \ \	٠/٣۵				•/• ١٢
	غرب	۱۳/۳	٨/٢۶	•/۶۲	•/•٨	٠/٢٨				۰/۰۱۳
	شمال غرب	١٢	۱۴/۶۸	1/77	٠/١۵	٠/۴١				•/• ١٨
	۶۰۰-۳۰۰	۶/۸۲	۱۵/۶	۲/۲۹	٠/۴٩	۰/۵۱				-•/ \ \%
	٩٠٠_۶٠٠	1/11	•/9۲	٠/٨٣	•/\X	•/44				-•/٣۴۵
SPI	179	۱/۳۴	٠/٩٢	•/۶٩	٠/١۵	٠/۴١	۲/۷۵	٠/١٣	1/18	•/•۵۴
	1011	• /٢	•/••	•/••	•/••	•/••				•/178
	>10	•/•٢	•/••	•/••	•/••	•/••				•/۴۵٧



٣	جدول	امه	ادا	
	0,			

فاكتورها	كلاس	مساحت کلاس (٪)	مساحت لغزش (٪)	Pij	(Pij)	Hj	Hj max	Ij	Wj	W _{DA}
فام	۲۰۰-۰	۳۷/۷۵	۲۳/۸۵	۰/۶۳	•/\٢	۰/۳۶				•/•A
سله ا	<i>۴۰۰</i> _۲ <i>۰۰</i>	۲ <i>۶</i> /۷۱	22/•2	٠/٨٢	•/10	۰/۴۱				•/••۴
ابر	۶۰۰_۴۰۰	۱۸/۷۸	78/81	1/47	•/7۶	۰۱۵۱	۲/۳۲	•/•۵	۰/۰۵۶	•/•• ١
هه (ه	٨٠٠-۶٠٠	14/3	۲۵/۶۹	١/٨	۰/۳۳	۰/۵۳				$- \cdot / \cdot \Delta$
: 1	$\wedge \cdot \cdot <$	۲/۴۷	١/٨٣	٠/٧۴	•/1۴	٠/٣٩				-•/• ٩
فار	۲۰۰-۰	377/37	۳۴/۸۶	۱/•۵	٠/١٩	•/۴۶				۰/۰۵۳
مله ا	4	20/04	۱۵/۶	۰/۶۱	•/\)	٠/٣۵				•/••٣
.ز	۶۰۰_۴۰۰	20/26	27/22	١/•٧	۰/۱۹	•/۴۶	۲/۳۲	۰/۰۴	•/•۴١	•/• • •
ل (م	٨٠٠-۶٠٠	٨/۶٣	۱۵/۶	١/٨١	۰/۳۳	۰/۵۳				-•/••Y
: 1	$\wedge \cdot \cdot <$	۶/۶٨	8/47	۰/٩۶	•/\٨	•/44				-•/• Y I
	Qft2	T 1/TV	٨/٢۶	۰/٣٩	• / • ۲	٠/١٣				•/••٩
	Klsm	11/01	•/••	•/••	•/••	•/••				-•/•• \
	Klsol	1/84	•/97	۰/۵۶	•/•۴	•/17				-•/•• ٣
	Plbk	18/77	78/66	١/٧	•/\)	۰/۳۴				۰/۰۳
	Eja	4/13	٧/٣۴	١/٧٨	•/\\	٠/٣۵				•/••۶
	OMas	۲/۳۸	•/••	•/••	•/••	•/••				-•/•• ٣
٦.	Klsol	۲/۳۸	٧/٣۴	٣/•٨	٠/١٩	•/۴۶				•/••٣
بتولوژ	KPeam	•/۴۶	•/••	•/••	•/••	•/••	۴/•۹	•/74	•/779	-•/••۶
S	Kbgp	۹/۳۵	۱۴/۶۸	1/04	• / ١	۰/۳۳				٠/• ١
	Qsw	۲/۰۵	•/••	•/••	•/••	•/••				-•/•• λ
	PeEpd	۶/۵۹	•/••	•/••	•/••	•/••				-•/••Y
	JKkgp	۸/۴۳	٣/۶٧	•/44	• / • ٣	۰/۱۴				•/••٢
	TRkk-nz	11/88	۲/۷۵	•/74	• / • ١	•/• ٩				-•/• ۴
	Ktb	1/18	٣/۶٧	۲/۹۱	•/\٨	۰/۴۵				•/•••
	Kgu	۱۰/۲۷	22/98	$r/\Delta r$	٠/١۶	•/47				•/•۵
	LAN1	TT/DY	٨/٢۶	٠/٣٧	•/•۵	•/٣٢				•/••Y
	LAN2	۱۸/۵۲	۱۵/۶	٠/٨۴	•/\٢	• /۳۷				•/•۴
ک	LAN3	۲٩/۵٩	$\Delta V / \Lambda$	۱/۹۵	•/YA	۰/۵۱				•/•Y
ربرک	LAN4	۲۳/۹۱	۱٣/٧۶	•/۵٨	• / • A	٠ /٣٠			(, ,	-•/• ۴
اراض	LAN5	•/۴۶	•/••	•/••	•/••	•/••	١	•/\٦	•/\ \	•/•••
ა	LAN6	1/58	٣/۶٧	۲/۹۱	•/47	۰/۵۳				•/••٣
	LAN7	۲/۹۳	٠/٩٢	• /٣١	•/•۵	•/٢				•/•• ١
	LAN8	•/٧۶	•/••	•/••	•/••	•/••				-•/•• %
	٣٠_•	۳۴/۹	٨/٢۶	•/74	• / • ۲	•/11				-•/•٣
	۶۰-۳۰	۳۳/۳۹	۲۵/۶۹	•/٧٧	•/•۶	٠/٢۵				•/•۵
طول	٩٠_۶٠	۱۶/۳	27/66	۱/۷۵	•/14	٠/۴	W / X 1	/	/ w c.	•/•۶
مىيى	129.	۱۰/۶۱	22/98	۲/۱۶	•/\\	•/44	۲/۵۸	•/10	•/1 • 7	•/••٢
J.	1012.	41.4))/•)	۲/۷۳	•/٢٢	۰/۴۸				-•/• ٩
	<10.	• /YY	٣/۶٧	۴/۷۹	۰/٣٩	۰/۵۳				-•/• ∧



ادامه جدول ۳

فاكتورها	كلاس	مساحت کلاس (٪)	مساحت لغزش (٪)	Pij	(Pij)	Hj	Hj max	Ij	Wj	W _{DA}
	<***	۱۸/۲۹	۱۲/۸۴	• /Y	•/14	۰/٣٩				_•/••۶
<u>_</u>	۳۰۰-۲۰۰	28/20	17/42	• 88	٠/١٣	• /۳۸				-•/•• ∆
بارند گر بانتی	4	19/94	۱ • / • ٩	۰ /۵۱	•/\•	۰/۳۳	۲/۳۲	•/•٨	•/•18	•/••۴
ی تر)	۵۰۰-۴۰۰	10/78	۱۸/۳۵	١/٢	•/74	٠/۴٩				•/•)
	۵۰۰<	T • / T Y	41/28	۲/۰۴	٠/۴٠	۰/۵۳				•/•۶
∙ م	۲۰۰_۰	48/84	۲•/۱۸	۰/۴۳	•/•۶	•/74				• / • Y
اصله	¥••-7••	7 <i>۴</i> /99	۲۹/۳۶	1/17	۰/۱۶	•/47				•/•۴
از جار	۶۰۰-۴۰۰	۱۲/۳۵	26/11	۲/۰ ۱	٠/٢٧	۰/۵۱	۲/۳۲	•/•٨	•/11٣	•/••٧
ر متا ب	٨٠٠-۶٠٠	17/87	17/42	١/٣٨	٠/١٩	۰/۴۵				•/•• ١
5	٨٠٠<	٣/٣۶	٨/٢۶	۲/۴۶	۰/۳۳	۰/۵۳				-•/• ۴
	۵-•	۲۶/۳	Δ/Δ	۰/۲۱	•/•٢	٠/١٢			•/19٢	-•/••٣
	۱۵–۵	30/24	۲۵/۶۹	٠/٧٣	• / • Y	•/۲٨	۲/۵۸	•/17		• / • ٣
**** ***	20-10	۱٩/٩۶	26/81	١/٣٣	•/14	۰/٣٩				•/•۵
, (<i>ː</i> /)	۳۵-۲۵	17/40	24/VV	१/९९	٠/٢	•/۴٧				•/••٣
	۵۰-۳۵	4/84	17/78	۲/۹۵	۰ /٣	۰/۵۲				•/•• ١
	۵.<	١/٣٩	37/87	۲/۶۴	•/YV	۰/۵۱				-•/• ∧
	<۶	۵۱/۶۳	۶۵/۱۴	۱/۲۶	٠/۴٩	•/••			•/۴٧۶	٠/• ٩
Ν	λ-۶	5F/9V	22/.2	•/\\	•/٣۴	۰/۵۳	,	11.1.15		• / • ۲
ΛL	٨- ٠	5./48	٩/١٧	۰/۴۵	•/ \ Y	•/••	١	• / ٧ ٢		٠/۴
	١٠<	۲/۹۳	3/81	۱/۲۵	٠/۴٨	•/••				-•/•• \
Π	< -•/••)	۵/۸۳	٣/۶٧	۰/۶۳	• /۳۸	۰/۵۳				•/٣٣١
DV	-•/•-•• \ /•	94/18	٩۶/٣٣	۱/•۲	•/87	•/4٣	۱/۵۸	٠/۴	•/٢١٨	•/•٩٨
Z	•/•-•/• \	• / • ١	• / • •	•/••	•/••	•/••				-•/YA۶
R R	مقعر	• /• ١	• / • •	•/••	•/••	•/••				•/٣٢٣
ىناى سطح 100/N	هموار	۶۵/۱۲	84/77	٠/٩٩	٠/۴٩	•/۵	۱/۵۸	۰/۶۷	•/۴۵٧	-•/• 시 \ /
	محدب	٣۴/እእ	۳۵/۷۸	۱/۰۳	۰/۵۱	•/••				•/14٣
۲۰۰۲ آک	-•/&•/• \	•/• 1	• / • •	•/••	•/••	•/••				-•/۵۱۳
نای م ا M/00	•	30/27	24/11	۰/۷۶	۰/۴۱	۰/۵۳	۱/۵۸	• /۶٧	•/۴۱٧	•/••٣
مقطع (10()	•/•-•1/۵	FV/44	Va/TT	1/17	٠/۵٩	•/••				•/٣٣١

« Qft2 و سوبات مخروط افکنه ای و تراس، Klsm ، مارن، شیل، سنگ آهک و دولومیت، Klsol سنگ آهک اوربیتولین دار ضخیم، Plbk کنگلومرا و ماسه
 سنگ، Eja: سنگ آهک دولومیتی، OMas: سنگ آهک خرد شده با لایه هایی از شیل، Klsol سنگ آهک اوربیتولین دار، KPeam: ماسه سنگ و سنگ آهک،
 سنگ، Eja: سنگ آهک دولومیتی، OMas: سنگ آهک خرد شده با لایه هایی از شیل، Klsol: سنگ آهک اوربیتولین دار، KPeam: ماسه سنگ و سنگ آهک،
 «نگ، تحق آهک و شیل، PeEpd: سنگ آهک و شنگ آهک و دولومیت، LAN3: سنگ آهک اوربیتولین دار، KPeam: ماسه سنگ و سنگ آهک،
 «نگ آهک، عنگ آهک و شیل، Roge: سنگ آهک و سنگ آهک، کنگلومرا و شیل، Trkk-nz: دولومیت، شیل و سنگ آهک،
 «نگ آهک، منگ آهک و شیل، Ktop: باتلق، PeEpd، مارن آبی و شیل، LAN2: سنگ آهک، کنگلومرا و شیل، Rosol: و شیل، Susol: سنگ آهک، و سنگ آهک،
 «نگ آهک، منگومرا و شیل، Ktop: باتلق، PeEpd، مارن آبی و شیل، LAN2: سینگ آهک، کنگلومرا و شیل، Rosol: و شیل، Rosol: سنگ آهک،
 «نگ آهک، منگومرا و منیل، Rosol: باتلاق، PeEpd؛ سینگ آهک، کنگلومرا و شیل، Kusol: و سنگ آهک،
 «نگ آهک، منگومرا و منیل، Rosol: باتلاق، LAN3: مرابع، و مرتع، LAN2: مرتع، LAN3؛ ارتفاعات بایر، مرتع، LAN4: مراتع، دیمزار، ارتفاعات بایر، مرتع، LAN4: مرابع، دیمزار، ارتفاعات بایر، مرتع، LAN4؛ مراتع، دیمزار، ارتفاعات بایر، مرتع، LAN4؛ مرتع، LAN4؛ مرابع، دیمزار، ارتفاعات بایر، مرتع، LAN4؛ مرابع، دیمزار، مرابع، دیمزار، مرتع، LAN4؛ مرابعات دیم و مرتع. دیمزار، مرابع، دیمزار، و باغات، LAN4؛ درابعات آبی، باغات، دیم و مرتع. LAN4؛ مرابعات دیم و مرتع.

٩٣٣

در پارامتر شـــیب، کلاس ۲۵-۱۵ در جه به علت دخالتهای انسانی و تغییر کاربری اراضی بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دا شته ا ست. در شیبهای خیلی زیاد به علت رخنمون های سینگی احتمال رخداد زمین لغزش کاهش پیدا می کند. در پارامتر جهتشیب، جهت شمالی با کسب بالاترین امتیاز (۰/۰۳۰) بیشترین پتانسل را برای ایجاد لغزش نسبت به جهتهای دیگر دارا بوده است که بیانگر نقش موثر جهت شیبهای شمال غربی و شــمالی در ایجاد زمین لغزش به علت وجود بارندگی و رطوبت بیشتر در این دامنهها و انتقال رطوبت بین سازندها به عنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشے 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 ر خداد زمین لغزش و فاص له از این پارامتر ها رابطه معنىدارى وجود دارد به گونهاى كه طبقاتى كه كمترين فا صله را از این پارامترها دارند، بی شترین امتیاز را کسب نموده و بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دا شتهاند و با افزایش فاصله امتیاز طبقات کاهش می یابد. در پارامتر طول شیب، کلاس ۶۰ تا ۹۰ متر بی شترین امتیاز (۰/۰۶) 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 اکو سیستمهای طبیعی و تخریبهایی که بواسطه تغییر کاربری اراضی در منطقه به وجود می آید نسبت داد که با نظرات [۳] مطابقت دارد. بر اساس نتايج فاكتور زمينشناسي، بيشترين وزن را رسوبات مارنی به خود اختصاص داده است. دلیل این امر شاید جذب آب بیشــتر و آبگذاری کمتر خاک هایی با بافت متوسط و ریز، در نتیجه اشباع راحت ر این خاکها باشد. بررسی عامل بارش در منطقه نشان داد که بین میزان بارندگی در هر کلاس و امتیاز کسب شده توسط آن

كلاس رابطه مستقيمي وجود دارد كه بيانگر حساسيت 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 ییدا می کند و کلاس ۱۵۰۰> با بالاترین امتیاز ۴۵۷/۰ بیشترین ارتباط را با وقوع زمین لغزش داشته است. در پارامتر شاخص خیسی، کلاس ۱۰-۸ بیشترین ارتباط را با وقوع زمين لغزش داشته است. نتايج شاخص پوشش گیاهی نشان داد که در مناطقی که پو شش گیاهی پایین باشد احتمال زمين لغزش افزايش پيدا مى كند و بالعكس. نتایج شکل شیب نشان داد که بیشتر زمین لغزشها در شیبهای مقعر رخ داده است و بر اساس شاخص انحنای مقطع، کلاس ۰/۰۱ – ۰/۰۵ بیشــترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است. نقشه حساسیت زمین لغزش در منطقه مطالعاتی با روش ترکیبی آنتروپی 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 شاخصهای 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 خیلیزیاد، مقادیر نسیبت فراوانی (FR) تقریباً روند صعودی دا شته اما شاخص SCAI روند نزولی قابل توجه را نشان میدهد و نشاندهنده همبستگی بالای ردههای خطر لغزش با مناطق لغز شی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه مورد مطالعه می باشد. بنابراین از این حیث ترتیب تفکیکپذیری بین طبقات در مدل مناسب ارزیابی گردید. در جدول (۵) و شـکل (۷) مساحت زیر منحنی (AUC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن نشان داده شده است. نتایج اعتبار سنجی نشان داد که مدل دارای دقت پیش بینی خیلی خوب می باشد.



^{&#}x27;Area Under the Curve (AUC),



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

SCAI	درصد Seed	(FR)	درصد مساحت رده	مساحت هر رده خطر (متر مربع)	درصد مساحت لغزش	مساحت لغزش (متر مربع)	مساحت فاقد لغزش (مترمربع)	رده های خطر لغزش	مدل
۲/۸۱	٩/۴٨	۰/۰۳	۲۶/۵۹	498340/1	13/79	18220	184218	خیلی کم	
۱/۵۴	١٨/٢	۰/۰۵	۲۸/۱	574529/3	TV/9 X	22660	619481	کم	رەش تەكىب
٠/٨۵	۲١/١٩	• • ۶	۱V/۹۱	886880/1	۲۰/۷۷	۲۰۳۷۱	542191	متوسط	(شانونتداکم
• /٧٣	22/12	•/•¥	۱۶/۸۸	T1018V/T	۲۱/۳۶	20900	******	زياد	سطح)
• /۳۸	۲۸/۰ ۱	•/•٨	۱ • /۵ ۱	198827/8	18/11	101.1	187301	خیلی زیاد	

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

جدول ۵. مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن												
۰.	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	. []. [.].	. (• . t.t. t	ل اطمینان در سطح ۹۵٪								
مدل	سطح زير منحنى	خطای استاندارد	سطح أطمينان	حد پايين	حد بالا							
روش ترکیبی	•/XYY	•/• ٢۶	•/••	• /٨٢۵	•/979							



شکل ۷. روند شاخص ROC

اعتبارسنجی مدل ترکیبی با استفاده از منحنی ROC نشان داد که مدل ترکیبی دارای دقت خیلی خوب ۸۷/۷ (۸۷/۷ درصد) در منطقه مطالعاتی جهت شناسایی مناطق مستعد لغزش می باشد که با نتایج [۴۱ و ۴۹] که روش های آنتروپی شانون و تراک سطح را به عنوان روشهای کارآمد در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش معرفی کردها ند مطابقت دارد. بر اساس نتایج مدل ۲۶/۵۹ هکتار)، ۱۶۸۵۴۷ هکتار)، ۲۶/۵۹ درصد (۴۹۶۳۴۵/۱۶ هکتار) در رده حساسیت خیلی کم،

۶. بحث و نتیجه گیری رخداد زمین لغزش در حوزه آبخیز سمیرم هر ساله خسارات فراوانی را به ساکنین و اکوسیستم محیط تحمیل میکند، در نتیجه تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش به منظور کاهش خسارات ناشی از آن در این منطقه ضروری میباشد. استفاده از روشهای ترکیبی به کمک نرم افزار GIS نقش مهمی در افزایش دقت شاسایی مناطق مستعد لغزش دارد و روشهای ترکیبی نواقص مربوط به روش های انفرادی را برطرف مینماید. نتایج حاصل از کاربری اراضی و ساخت جاده اشاره نمود. در مقابل قسمتهای مرکزی و شرقی حوزه سمیرم دارای حساسیت کمی نسبت به زمین لغزش می باشد که از مهمترین دلایل آن توپوگرافی هموار و شیب پایین این مناطق می باشد. با توجه به این که پارامترهای طول شیب و شیب بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی دا شته اند پیشنهاد می گردد از هر گونه ساخت و ساز در شیبها اجتناب گردد و با توجه به دقت بالای نقشه حساسیت تهیه شده، نقشه تهیه شده می تواند برای برنامه دیزی کاربری ارا ضی و ساخت تا سیسات زیر بنایی مانند جاده مفید باشد. ۲۸/۱ در صد (۵۲۴۶۲۹/۳ هکتار) در رده حسا سیت کم، ۱۷/۹۱ درصد (۲۸/۵۳ هکتار) در رده حساسیت متوسط و ۲۷/۳۹ درصد (۶۰/۵۶۱۶۹ هکتار) در کلاس حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفتهاند. طبق نتایج، ردههای حساسیت زیاد و خیلیزیاد عمدتا در بخشهای بنوبغربی و غربی منطقه قرار دار ند که از عمدهترین دلایل آن میتوان به توپوگرافی کوهستانی و تپه ماهوری، شیبهای متوسط به بالا، طول شیبهای زیاد که احتمال ر خداد زمین لغزش را افزایش میدهند، در یافت بار ندگی بالای ۵۰۰ میلیمتر در این بخشها، چرای بیش از حد و

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 Logestic 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-indused 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.