

## مدل‌سازی و ارزیابی پتانسیل حساسیت اراضی نسبت به لغزش با استفاده از مدل‌های احتمالاتی آنتروپی شانون و وزن شاهد تئوری بیزین (مطالعه موردی: حوضه سرخون کارون)

### کوروش شیرانی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۹)

#### چکیده

مدل‌سازی حساسیت‌پذیری نسبت به زمین‌لغزش در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی کاربری زمین خصوصاً در نواحی کوهستانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی و ارزیابی پتانسیل حساسیت زمین نسبت به زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های شاخص آنتروپی شانون و وزن شاهد تئوری بیزین می‌باشد. بدین منظور، در ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، نقاط لغزشی شناسایی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه سرخون کارون تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی کاربری زمین، شاخص همگرایی، فاصله از جاده، ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، گرادیان شیب، سنگ‌شناسی، وجه شیب و بارندگی به ترتیب الویت، بر مبنای اوزان حاصل از اجرای مدل‌ها در این پژوهش به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شناسایی و نقشه‌های مذکور در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی رقومی گردیدند. از تلفیق متغیرها، مقدار لغزش در هر کلاس عامل و وزن‌دهی طبقات براساس روابط موجود در مدل‌های آنتروپی شانون و وزن شاهد بیزین محاسبه و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش در دو مدل مذکور حاصل گردیدند. نتایج نقشه‌های حساسیت نسبت به زمین‌لغزش حاصل از هر دو مدل نشان می‌دهد بیش از ۷۰ درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در پهنه‌های حساسیت خیلی زیاد و زیاد که حدود نیمی از سطح حوضه (بیش از ۴۵ درصد) را تشکیل می‌دهند، قرار دارند. همچنین نتایج حاصل از هر دو مدل متفقاً نشان داد که کاربری زمین، بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است. تفکیک‌پذیری بین پهنه‌ها، براساس شاخص سطح سلول هسته (SCAI) و نسبت فراوانی (FR)، برای مدل آنتروپی شانون مناسب‌تر ارزیابی گردید. نهایتاً منحنی عملگر نسبی یا گیرنده (ROC) برای نقشه‌های حساسیت لغزش ترسیم و سطح زیر منحنی (AUC) آنها محاسبه گردید. نتایج اعتبارسنجی هر دو مدل خیلی خوب برآورد گردید و نشان داد که مدل آنتروپی شانون (AUC= ٪ ۸۹) اندکی بهتر از مدل وزن شاهد بیزین (AUC= ٪ ۸۲) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی حساسیت نسبت به لغزش، شاخص آنتروپی شانون، مدل وزن شاهد، تئوری بیزین، سرخون کارون

۱. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اصفهان، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: k.shirani@areeo.ir

## مقدمه

مخاطرات ژئومورفولوژیکی به احتمال ناپایداری پدیده‌های خاص ژئومورفولوژیکی گفته می‌شود که ممکن است در قلمرو معینی با بزرگی و دوره‌های زمانی مشخص رخ دهد (۱، ۲ و ۲۰). در این مفهوم خطر طبیعی یا پتانسیل حساسیت خطر، به‌عنوان عناصر زیان‌آور موجود در محیط فیزیکی برای انسان است (۷). زمین‌لغزش یکی از فرآیندهای ژئومورفیک تأثیرگذار بر تکامل چشم‌اندازهای مناطق کوهستانی (۲۶) و نوع خاصی از فرآیندهای دامنه‌ای است که زائیده شرایط ژئومورفیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی است (۳) که در صورت وقوع عدم تعادل در فرآیندهای ژئومورفیک آن، محدودیت‌ها و خسارات متعددی را فرا راه برنامه ریزان قرار می‌دهد. هدف نهایی از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، پیش‌بینی مکان وقوع این پدیده و کاهش خسارت است (۶). شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن برای مشخص نمودن مناطق ناپایدار و مستعد خطر و کمک به برنامه ریزان برای انتخاب مکان‌های مساعد توسعه‌ای در مراحل اولیه برنامه‌ریزی بسیار مفید است (۱۱). در این پژوهش تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش از دو روش آنتروپی و مدل وزن شاهد بیزین استفاده شده است. آنتروپی رفتار توزیع انرژی است (۱۶) و افزون بر تعیین کمیت انرژی، کیفیت انرژی را نیز اندازه‌گیری می‌کند و این کیفیت، اندازه‌گیری بی‌نظمی در یک سیستم است (۱۸). در واقع آنتروپی، یک معیار سنجش از بی‌نظمی در یک سیستم است (۸). شاخص آنتروپی میزان بی‌نظمی را در محیط نشان می‌دهد (۹). به‌طور خلاصه آنتروپی به معنای کمیتی از بی‌نظمی بین علل و نتایج یا تصمیم‌گیری در موضوع‌های مختلف مورد بحث است (۳۱). مهم‌ترین مزیت روش آنتروپی تعیین متغیرهایی است که بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش دارند می‌باشد. از مزایای استفاده از تئوری بیزین، امکان استفاده از داده‌های کمی و کیفی متغیر و نظر کارشناسی در سامانه‌های پیچیده می‌باشد که این امر در مدیریت منابع طبیعی با ارزش می‌باشد مطالعات مختلفی با استفاده از تئوری آنتروپی و مدل

وزن شاهد بیزین در بحث زمین‌لغزش صورت گرفته است که عبارت هستند از: شارما و همکاران (۲۸) به‌منظور بررسی پارامترهای مؤثر بر زمین‌لغزش، و میزان آسیب‌پذیری آن در سیکیم کشور هندوستان از روش آنتروپی شانون استفاده کردند. عوامل مورد بررسی در پژوهش مذکور شامل درصد شیب، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه، عمق خاک، بافت خاک، هدایت الکتریکی و فرسایش می‌باشند، که عوامل شیب، کاربری زمین و بافت خاک بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. کنستانتین و همکاران (۱۲) به‌منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش حوضه آبخیز سیبکیو کشور رومانی از آنالیز آماری دومتغیره و شاخص آنتروپی شانون استفاده کردند. نتایج نشان داد که کاربری زمین و سنگ‌شناسی بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته و نقشه زمین‌لغزش به چهار کلاس خیلی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید. بدناریک و همکاران (۹) به‌منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش شهرستان‌های کراونی، لپتووسکی و میکولاس کشور اسلواکی از آنالیز آماری دومتغیره و شاخص آنتروپی استفاده کردند. در این پژوهش عوامل سنگ‌شناسی، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب و ویژگی‌های چشم‌انداز به‌عنوان عوامل مؤثر انتخاب و با استفاده از آنتروپی وزن دهی گردیدند. نتایج نشان داد که سنگ‌شناسی، ویژگی‌های چشم‌انداز ارتفاع، درجه شیب و جهت شیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و سپس نقشه حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. زوی و همکاران (۳۵) به‌منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از دو مدل ارزش اطلاعات و مدل احتمالاتی وزن شاهد بیزین استفاده کردند. با استفاده از عوامل فاصله از گسل، زمین‌شناسی، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده نقشه حساسیت زمین‌لغزش تهیه گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که به‌ترتیب ۹۳/۲ و ۹۲/۲ درصد از زمین‌لغزش‌ها در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد برای هر یک از مدل‌های ارزش اطلاعات و وزن شاهد بیزین قرار گرفته است. رگمی و همکاران (۲۵) در

سرخون کارون نسبت به لغزش است. همچنین مهم‌ترین نوآوری تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات انجام شده در داخل کشور مقایسه دو روش کارآمد احتمالاتی آنتروپی شانون و وزن شاهد بیزین در تهیه نقشه زمین‌لغزش، استفاده از عوامل شاخص همگرایی (CI) و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و استفاده از شاخص سطح سلول هسته (SCIA) (Seed Cell Index Area Relative or Receiver) ROC برای دقت تفکیک پذیری طبقات پهنه‌بندی و منحنی عملگر نسبی یا گیرنده (Characteristics Operating) جهت ارزیابی مدل‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

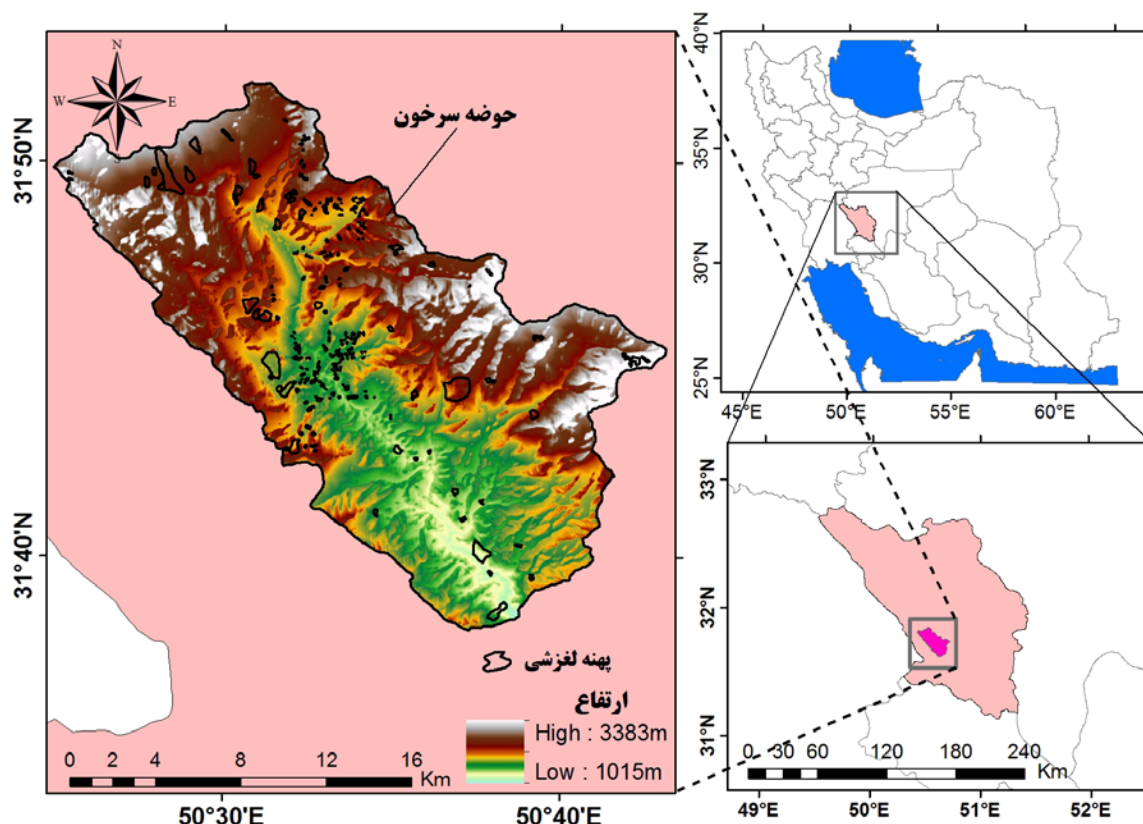
### موقعیت منطقه

حوضه سرخون در حد فاصل  $31^{\circ} 37'$  تا  $31^{\circ} 51'$  عرض شمالی و  $50^{\circ} 25'$  تا  $50^{\circ} 43'$  طول شرقی واقع شده است. وسعت حوضه سرخون حدود  $3293$  کیلومتر مربع می‌باشد و در  $45$  کیلومتری جنوب غرب شهر اردل قرار دارد. این حوضه در جنوب غرب استان چهارمحال مابین شهر دوبلان و لردگان قرار می‌گیرد. مهم‌ترین مرکز جمعیتی این محدوده روستای سرخون می‌باشد، که در قسمت مرکزی حوضه در مسیر رودخانه آب سرخون قرار دارد (شکل ۱).

از نظر زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه در میان رشته کوه‌های زاگرس و در زون زاگرس مرتفع قرار گرفته است. عمده سطح منطقه مورد پژوهش را کوهستان‌های با دیواره بلند و دره‌های ژرف (شمال-شمال غرب و جنوب-جنوب غرب) تشکیل داده است و تنها در قسمت مرکزی حوضه مورفولوژی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری به‌همراه دشت نسبتاً وسیعی بین روستاهای گندمکار، سرخون، ده کهنه، ده نو و شیاسی گسترش دارد. گسل‌های متعددی در حوضه مورد بررسی گسترش دارند که ناشی از عملکرد گسل‌های اصلی منطقه می‌باشند. این گسل‌ها به‌صورت عمدتاً معکوس و یا امتدادلغز می‌باشند. چین خوردگی‌های موجود در حوضه مورد بررسی به دلیل عملکرد

غرب کلرادوی آمریکا به‌منظور مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش از تئوری بیزین استفاده کردند. در این پژوهش از  $17$  عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش استفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل مذکور نشان داده که دقت آن  $78/4$  درصد برآورد گردیده است. لی و چوئی (۱۵) جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش از GIS و تئوری احتمالی بیزین استفاده کردند. در این پژوهش  $15$  عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه شناسایی و پهنه‌بندی با رویکردهای مختلف انجام گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که بیشترین دقت مدل زمانی است که از  $6$  عامل درجه شیب، شکل شیب، نوع توپوگرافی، قطر درخت، سنگ‌شناسی و فاصله از جاده استفاده گردید.

ماتئو و همکاران در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کشور هند از تئوری بیزین استفاده کردند (۱۷). عوامل مؤثر در این پژوهش درجه شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم جاده، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی و کاربری زمین بود. ارزیابی نقشه پهنه‌بندی نشان داد که دقت نقشه تهیه شده  $84/6$  درصد است. بوئی و همکاران (۱۰) جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه جائچون کشور کره از تئوری احتمالات بیزین استفاده کردند. در این پژوهش با توجه به پنج عامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی و پوشش گیاهی نقشه خطر زمین‌لغزش تهیه گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که  $85$  درصد از زمین‌لغزش‌ها در طبقه خطر متوسط و زیاد قرار گرفته‌اند. هدف اصلی از این پژوهش ضمن اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش مدل‌سازی و ارزیابی پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از روش‌های آنتروپی شانون و وزن شاهد بیزین می‌باشد. عوامل مؤثر در این پژوهش سنگ‌شناسی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از جاده، جهت شیب، فاصله از آبراهه، بارندگی، شیب، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی (Topographic Wetness Index) (TWI) و شاخص همگرایی (Convergence Index) (CI) می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق ضمن بررسی عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش، مدل‌سازی و ارزیابی پتانسیل حساسیت اراضی و در حوضه



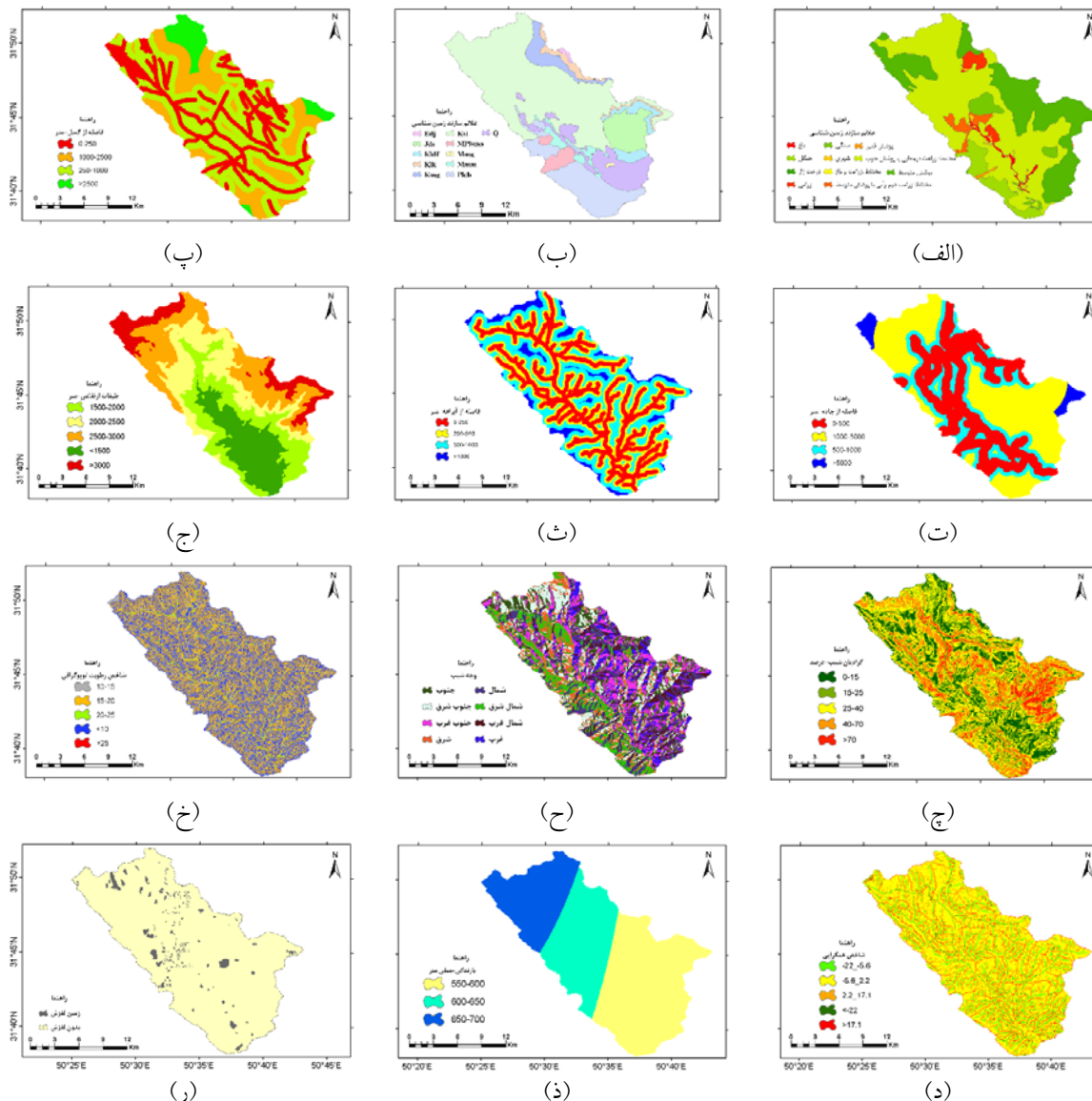
شکل ۱. موقعیت حوضه سرخون به همراه پراکنش زمین لغزش‌ها نسبت به تقسیمات کشوری و استانی

به حساب می‌آید. 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. براساس سابقه تحقیق، منابع موجود و تجارب متخصصان یازده عامل که در وقوع زمین لغزش می‌تواند مؤثر باشد، در منطقه شناسایی و نقشه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزار ArcGIS، استفاده در این پژوهش شامل نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری زمین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM+۲۰۰۲ و نقشه هم‌باران (براساس آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی) می‌باشند شایان ذکر است مقیاس تمامی نقشه‌ها در محیط GIS براساس کوچک مقیاس ترین نقشه عامل مورد استفاده یکسان‌سازی و نرمال

گسل‌های مختلف نسبت به زون زاگرس چین خورده کمتر به جا مانده‌اند و به هم ریخته می‌باشند. در این حوضه، رودخانه اصلی رودخانه سرخون در شهرستان اردل قرار دارد و زیر حوضه رود کارون می‌باشد. طول رودخانه ۳۵ کیلومتر، ارتفاع سرچشمه آن ۳۳۸۳ متر و ارتفاع ریزشگاه ۱۰۱۵ متر می‌باشد. مسیر رودخانه شمال‌غربی - جنوب شرقی است و از کوه‌های گندم کار و کاسه کاسه سرچشمه می‌گیرد. رودخانه سرخون پس از مخلوط شدن با رودخانه آب و نک در حوالی روستای کبوسی به رودخانه بازفت و در نهایت کارون می‌پیوندد.

### روش‌شناسی تحقیق

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، مهمترین مرحله پهنه‌بندی رویداد این خطر است. برای آنالیز خطر احتمالی زمین لغزش، شناسایی صحیح مناطق لغزشی امری ضروری



شکل ۲. نقشه‌های عوامل مؤثر در زمین‌لغزش، (الف) نقشه کاربری زمین، (ب) نقشه سنگ‌شناسی، (پ) نقشه فاصله از گسل، (ت) فاصله از جاده، (ث) نقشه فاصله از آبراهه، (ج) نقشه طبقات ارتفاعی، (چ) نقشه شیب، (ح) نقشه جهت شیب، (خ) نقشه شاخص رطوبت، (د) نقشه شاخص همگرایی، (ذ) نقشه بارندگی و (ر) نقشه پراکنش زمین‌لغزش

(شکل ۲-ح)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) (شکل ۲-ج)، شاخص همگرایی (CI) (شکل ۲-د) و بارندگی (شکل ۲-ذ) براساس مقیاس، موقعیت منطقه مورد نظر و روش پهنه‌بندی مورد استفاده به منظور پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش مورد ارزیابی قرار گرفتند. با استفاده از دستگاه GPS

گردید و دقت نقشه‌های خروجی براساس مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ مورد تحلیل قرار گرفتند. کاربری زمین (شکل ۲-الف)، سنگ‌شناسی (شکل ۲-ب)، فاصله از گسل (شکل ۲-پ)، فاصله از جاده (شکل ۲-ت)، فاصله از آبراهه (شکل ۲-ث)، طبقات ارتفاعی (شکل ۲-ج)، شیب (شکل ۲-چ)، وجه شیب

برحسب درجه می‌باشد.

## روش‌ها

### مدل آنتروپی شانون

آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که به منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و عدم اطمینان‌های موجود در یک سیستم قرار می‌گیرد (۳۴). تئوری مذکور اولین بار توسط استفان بولتزمن مطرح و نهایتاً توسط شانون به صورت کمی ارائه گردید (۲۷). آنتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل مؤثر یک هدف، می‌توان مهمترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در رخداد یک شاهد بی‌زین دارند برای ما مشخص می‌نماید. از آنجایی که در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، بسته به شرایط منطقه معمولاً فاکتورهای مختلفی تأثیرگذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدل‌های آماری دو متغیره و احتمالی نظیر بی‌زین، تمامی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش وزن یکسانی دارند لذا چنانچه یکی از عوامل تأثیر بیشتری داشته باشد میزان اثر آن نادیده گرفته می‌شود (۲۴)، بنابراین تئوری مذکور می‌تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تأثیر به سزایی در شناسایی عوامل مؤثر و میزان تأثیرگذاری آنها داشته باشد (۲۸). به طور کلی به منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و تهیه نقشه حساسیت‌پذیری آن با استفاده از روش مذکور از روابط زیر استفاده گردید (۹، ۱۲، ۲۱).

$$(P_{ij}) = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{S_j} P_{ij}} \quad (2)$$

$$H_j = -\sum_{i=1}^{S_j} (P_{ij}) \log_2 (P_{ij}), \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$H_{j \max} = \log_2 S_j \quad S_j - \text{number of classes} \quad (4)$$

$$I_j = \frac{H_{j \max} - H_j}{H_{j \max}}, \quad I = (0, 1), \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$W_j = I_j P_{ij} \quad (6)$$

۳۰۰ نقطه یا پهنه لغزشی حوضه ثبت و وارد ArcGIS گردید و نقشه پراکنش لغزش‌ها از این طریق تهیه گردید. در مرحله بعد با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه وضعیت زمین‌شناسی منطقه به خوبی بررسی، سپس با مطالعه و بررسی فتوزئولوژیکی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و بررسی‌های میدانی، اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی گردید. پس از تهیه نقشه واحدهای سنگ‌شناسی و خطواره‌ها، اقدام به رقومی نمودن آنها گردید و نقشه‌های سنگ‌شناسی، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از گسل، فاصله از آبراه و فاصله از جاده از این طریق در محیط ArcGIS تهیه گردید. به منظور تهیه نقشه مدل ارتفاعی رقومی DEM، نقشه شیب، جهت شیب و طبقات مربوط به آنها از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح استفاده شده است. تمامی نقاط ارتفاعی و منحنی‌های میزان ۱۰۰ متری حوضه مورد مطالعه رقومی و تمامی اقدامات لازم جهت استفاده از این اطلاعات در محیط نرم‌افزار ILWIS انجام گرفت. با استفاده از منحنی‌های میزان و نقاط ارتفاعی رقومی شده و روش درون‌یابی، اقدام به تهیه مدل ارتفاعی رقومی گردید. پس از ایجاد مدل رقومی ارتفاعی، نقشه شیب و جهت شیب با دقت ۳۰×۳۰ متر مربع تهیه گردید. با استفاده از آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های واقع در محدوده مورد بررسی و روش میان‌یابی Krigging در محیط Surfer اقدام به تهیه منحنی‌های هم‌باران سالیانه در حوزه مورد مطالعه گردید. براساس تصاویر سنجنده ۲۰۰۲+ETM و نقشه کاربری زمین که توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده است، نقشه کاربری زمین و پوشش گیاهی منطقه در محیط نرم‌افزار ENVI ۴/۵ تصحیح و تهیه گردید. با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و نرم‌افزار SAGA ۲/۰ شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) رابطه (۱) و شاخص همگرایی (CI) استخراج گردیدند.

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

که در آن: AS: مساحت حوضه آبخیز و  $\beta$ : گرادیان شیب

قبلی (غیر شرطی) و خلفی (شرطی) بهره می‌گیرد (۲۵). از این روش زمانی که داده‌های کافی به منظور برآورد اهمیت نسبی موضوعات مستدل از طریق میانگین‌های آماری مد نظر باشد، استفاده می‌گردد (۱۵). احتمال قبلی یا اولیه در واقع احتمال یک واقعه یا رخداد (رخداد زمین‌لغزش) است که توسط انواع وقایع مشابه که در گذشته در یک دوره زمانی معین رخ می‌دهند مشخص و تعیین می‌گردد. برای مثال احتمال آتی لغزش یک سطح واحد (یا پیکسل) از زمین براساس فراوانی یا تناوب وقوع لغزش سطح واحد (یا پیکسل) در گذشته می‌تواند تخمین زده شود. به این منظور ابتدا با استفاده از رابطه‌های (۷ و ۸) وزن‌های محتمل هر عامل و طبقه‌های مربوط به آن محاسبه گردید.

$$W_i^+ = \log_e \left[ \frac{P(B_i | S)}{P(B_i | \bar{S})} \right] \quad (8)$$

$$W_i^- = \log_e \left[ \frac{P(\bar{B}_i | S)}{P(\bar{B}_i | \bar{S})} \right] \quad (9)$$

در روابط ۷ و ۸ علامت  $W_i^+$  وزن شاهد عامل در وقوع لغزش در صورت حضور رده عامل مؤثر (شرطی)،  $W_i^-$  وزن شاهد عامل در وقوع لغزش در صورت عدم حضور رده عامل مؤثر (شرطی)،  $\log_e$  لگاریتم طبیعی،  $P$  احتمال،  $B_i$  وجود (سطح) رده عامل مؤثر (شرطی) در وقوع لغزش بالقوه،  $S$  وجود (سطح) لغزش،  $\bar{B}_i$  عدم وجود (سطح) رده عامل مؤثر (شرطی) در وقوع لغزش بالقوه و  $\bar{S}$  عدم وجود (سطح) لغزش می‌باشند. به منظور درک بهتر روابط فوق و سهولت کار، به‌ویژه در محیط GIS. مدل براساس جدول (۱) و به‌صورت رابطه‌های (۹ و ۱۰) ارائه می‌گردد (۳۰، ۳۳) و نهایتاً وزن‌نمایی براساس روابط (۱۱ تا ۱۳) برای هر عامل به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت (۳، ۲۶).

$$W_i^+ = \log_e \left[ \frac{\left( \frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}} \right)}{\left( \frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}} \right)} \right] \quad (10)$$

$$W_i^- = \log_e \left[ \frac{\left( \frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}} \right)}{\left( \frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}} \right)} \right] \quad (11)$$

که در آن:  $P_{ij}$ : تراکم لغزش هر طبقه،  $(P_{ij})$ : احتمال تراکم لغزش هر عامل و کلاس‌های مرتبط با آن،  $H_j$  و  $H_j \max$ : مقادیر آنتروپی و ماکزیمم آنتروپی،  $I_j$ : ضریب اطلاعات و  $W_j$ : وزن‌نمایی هر عامل و با ضرب آن در کلاس‌های عامل مذکور، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت زمین‌لغزش به‌دست می‌آید. طبقه‌هایی که از مقادیر عددی بیشتری برخوردارند، وزن بیشتری را در رخداد زمین‌لغزش به خود اختصاص می‌دهند.

### مدل احتمالاتی وزن شاهد بیزین

در سال‌های اخیر بسیاری از محققان از روش‌های تجربی که کم و بیش براساس نظریهٔ احتمال وابسته (Bayes theorem) می‌باشند، برای تهیهٔ نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش استفاده می‌کنند. در این چارچوب، احتمال وابسته، اندازه‌گیری درست یا اشتباه بودن یک فرضیه با توجه به شواهد موجود می‌باشد. شبکه‌های بیزین به نام شبکه‌های تصمیم، شبکه‌های تصادفی و نمودارهای تأثیر نیز شناخته می‌شوند. به‌طور کلی تئوری بیزین را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$P(A|B) = (P(B|A) \times P(A)) / P(A) \quad (7)$$

که در آن  $P(A)$  احتمال وقوع پیشامد  $A$ ،  $P(B)$  احتمال وقوع پیشامد  $B$ ،  $P(B|A)$  احتمال وقوع پیشامد  $B$  به شرطی که پیشامد  $A$  اتفاق افتاده باشد و  $P(A|B)$  احتمال وقوع پیشامد  $A$  به شرطی که پیشامد  $B$  اتفاق افتاده باشد (۳۰).

شبکه‌های بیزین نیز به نام شبکه‌های تصمیم، شبکه‌های تصادفی و نمودارهای تأثیر نیز شناخته می‌شوند (۵). این روش بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته است که در ابتدای دهه ۱۹۹۰ به‌عنوان سیستم‌های پشتیبانی تصمیم برای مطالعه پزشکی مورد استفاده قرار گرفته و در دهه اخیر کاربردهای زیادی در سایر علوم و به‌ویژه در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش داشته است. تئوری وزن شاهد (WoE) روشی داده محور است که به‌عنوان یکی از مدل‌های نظریه بیزین در قالب لگاریتم خطی شناخته شده است (۲۵) و از احتمال

جدول ۱. چهار حالت پتانسیل ایجاد لغزش که برای ساخت و صحت‌سنجی مدل از آن استفاده گردید (۳۰)

پیش‌بینی شده (اجرای مدل)			
مشاهده شده	زمین لغزش	حضور	عدم حضور
(زمین لغزش رخ داده)	حضور	$N_{pix1}$	$N_{pix2}$
	عدم حضور	$N_{pix3}$	$N_{pix4}$

حساسیت نسبت به لغزش در محیط GIS، با بهره‌گیری از منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) به ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی پرداخته و مدل مناسب منطبق با منطقه انتخاب می‌گردد. همچنین برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه‌ها یا رده‌های حساسیت نسبت به لغزش در هر مدل از روش‌های پهنه‌بندی، از نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) استفاده گردیده است. به بیانی دیگر با استفاده از نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) دقت طبقه‌بندی هر مدل تعیین می‌گردد (۱۳).

با توجه به این که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده اند (۱۴) از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد نقاط برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۱، ۲ و ۲۲) سپس با استفاده از منحنی ویژگی عملگر نسبی یا گیرنده (ROC) (۱۹، ۲۳ و ۲۵) صحت نقشه تهیه شده مورد تایید قرار گرفت. منحنی ROC از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (۲۹) (شکل ۶). سطح زیر منحنی ROC که AUC نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین لغزش) آن است. مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی (AUC) و ارزیابی تخمین به صورت (۱ - ۰/۹، عالی؛ ۰/۸ - ۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷ - ۰/۸، خوب؛ ۰/۶ - ۰/۷، متوسط و ۰/۵ - ۰/۶، ضعیف) است (۲۳، ۲۵). هر چه سطح منحنی به یک نزدیک‌تر

که در آن:  $N_{pix1}$  برابر با تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس،  $N_{pix2}$  برابر با تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه منهای تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس،  $N_{pix3}$  برابر با تعداد پیکسل‌های یک کلاس منهای تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس و  $N_{pix4}$  برابر با تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه منهای تعداد کل پیکسل‌های لغزشی یک نقشه منهای تعداد پیکسل‌های یک کلاس می‌باشد.

$$C = \left[ (W^+) + (W^-) \right] \quad (12)$$

$$W_{final} = C / S_C \quad (13)$$

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

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از تمامی فاکتورهای مورد بررسی استفاده گردید. بدین صورت که بعد از تعیین وزن‌نهایی هر عامل و ضرب آن در کلاس‌های عامل مذکور، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه‌نهایی زمین لغزش با استفاده از روش‌های آنتروپی شانون و مدل احتمالاتی وزن شاهد بیزین به دست آمد. سپس نقشه‌های حاصل براساس شکست‌های طبیعی (۳۲) به پنج کلاس خطر وقوع خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی گردیدند.

#### ارزیابی روش پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین لغزش

ارزیابی یک گام اساسی در توسعه و تعیین کیفیت نقشه یا مدل پهنه‌بندی حساسیت نسبت به لغزش می‌باشد. در این مرحله با تلاقی نقشه پراکنش لغزش‌های منطقه و نقشه‌های پهنه‌بندی



باشد، بیانگر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است.

## نتایج و بحث

به ترتیب با اعمال روابط ۱ تا ۵ و ۷ تا ۱۳ نتایج حاصل از ارتباط بین زمین لغزش، عوامل مؤثر و میزان اثر هر یک از آنها به منظور تهیه نقشه پتانسیل حساسیت نسبت به لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی و وزن شاهد بیزین در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. در مجموع براساس اوزان محاسبه شده حاصل از هر دو مدل شاخص آنتروپی و وزن شاهد بیزین به ترتیب عوامل کاربری زمین، شاخص تحذب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از شبکه آبراهه، گرادیان شیب، سنگ‌شناسی، جهت شیب و میزان بارش در وقوع لغزش مؤثر می‌باشند. ارزیابی مقدار اوزان  $P_{ij}$  و  $C$  براساس جداول (۲) و (۳) حاصل از هر دو مدل به ترتیب اهمیت برای رده‌های مختلف کاربری زمین نشان می‌دهد که زمین مختلط دیمزار و مرتعی به ترتیب با مقدار (۶/۸۳ و ۲/۲۳۸) به دلیل حساسیت زیاد ناشی از ناپایدار کردن زمین مرتعی و تغییر کاربری و متعاقب آن برهم زدن پایداری مواد تشکیل دهنده خاک نسبت به هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، بیشترین حساسیت در مقابل لغزش را دارا می‌باشند. با افزایش شاخص همگرایی  $P_{ij}$  و  $C$  تقریباً افزایش می‌یابد و با افزایش فواصل از جاده، گسل و آبراهه این مقادیر نیز کاهش می‌یابد. بنابراین جایجایی توسط انسان، تکتونیک و فرسایش پنجه دامنه به ترتیب به وسیله جاده، گسل و رودخانه از مهم‌ترین عوامل محرک در رخداد لغزش‌ها می‌باشند. براساس مقادیر  $P_{ij}$  و  $C$ ، بیش‌تر لغزش‌ها در فاصله صفر تا ۱۵۰۰ متری جاده‌ها به ترتیب با مقدار (۰/۳۸ و ۰/۳۹۵) رخ می‌دهد. نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که بیشتر حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب‌های کم تا متوسط (۲۵-۰ درصد) به ترتیب با مقادیر (۰/۲۳ و ۰/۲۳۱) اتفاق افتاده است. این امر حاکی از آن است که در شیب پایین به دلیل وجود سازندهای سست و بالطبع کاهش مقاومت برشی و در شیب‌های بالا به دلیل ضعیف بودن فرآیند

خاک‌سازی و افزایش استحکام سازندهای زمین‌شناسی حساسیت کاهش می‌یابد و ضخامت واریزه‌ها کمتر می‌گردد. همچنین براساس مقدار  $P_{ij}$  و  $C$  به دست آمده، سازند (Kmg) مارنی و شیلی گورپی به دلیل حد روانی پایین کانی‌های رسی موجود در این بیشترین حساسیت را نسبت به دیگر سازندها به ترتیب با مقادیر (۰/۲۵ و ۰/۸۴۲) داشته و جهات شیب جنوب و جنوب شرقی از نظر لغزش مستعدتر هستند که این امر ناشی از هم‌پوشانی و انطباق این دامنه‌ها با سازندهای مارنی و شیلی و رسوبات سست کواترنری و افزایش بالقوه لغزش خواهد شد. همچنین با افزایش مقدار بارش حساسیت نسبت به لغزش (مقدار  $P_{ij}$  و  $C$ ) افزایش یافته است.

نقشه نهایی حساسیت لغزش  $Y_{ioe}$  با استفاده از مدل آنتروپی شانون از مجموع حاصل ضرب وزن هر پارامتر  $P_{ij}$  در خود پارامتر  $W_j$  طبق رابطه زیر براساس نتایج موجود در جدول (۱) محاسبه شده است.  $i$  تا  $n$  همان پارامترها یا عوامل مؤثر در لغزش می‌باشند.

$$Y_{ioe} = \sum_{i=1}^n W_i * P_{ij} \quad (14)$$

با اعمال رابطه (۱۲) نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به لغزش طبق مدل شاخص آنتروپی (IoE) محاسبه شده است (شکل ۳). نتایج حاصل از محاسبه این مدل نشان می‌دهد که ۷/۰۵ درصد از کل منطقه (۲۱۱۲/۸۲ هکتار) در پهنه با حساسیت بسیار کم می‌باشد. پهنه‌های حساسیت کم و متوسط به ترتیب ۲۰/۴۵ درصد (۶۷۱۴/۴۵ هکتار) و ۲۷/۴۵ درصد (۹۰۱۱/۳۴ هکتار) و پهنه‌های حساسیت زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۲۷/۹۴ درصد (۹۱۷۳/۳۴ هکتار) و ۱۷/۱۱ درصد (۵۶۱۶ هکتار) از کل نقشه پهنه‌بندی حساسیت را تشکیل می‌دهند (جدول ۴). همچنین نقشه نهایی حساسیت لغزش  $Y_{woe}$  با استفاده از مدل وزن شاهد بیزین از مجموع حاصل ضرب وزن استاندارد شده هر رده پارامتر  $C/SC$  در وزن خود رده پارامتر  $C$  طبق رابطه زیر براساس نتایج موجود در جدول (۲) محاسبه شده است.  $i$  تا  $n$  همان پارامترها یا عوامل مؤثر در لغزش می‌باشند.

جدول ۲. ارتباط بین زمین لغزش، عوامل مؤثر و میزان اثر هر یک از آنها با استفاده از شاخص آنتروپی

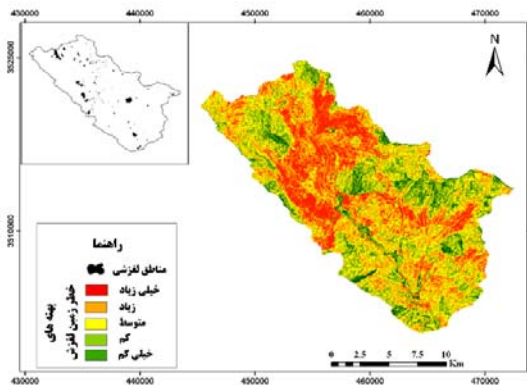
فاکتورها	کلاس	مساحت کلاس مترمربع	مساحت زمین لغزش (مترمربع)	تراکم لغزش (Pij)	احتمال تراکم لغزش (Pij)	آنتروپی Hj	آنتروپی ماکزیمم Hj max	ضریب اطلاعات Ij	وزن نهایی Wj
ارتفاع	۱۵۰۰۰	۶۳۵۰۴۹۰۰	۱۳۳۷۴۰۰	۰/۱۷	۰/۸۷	۰/۱۷	۲/۳۲	۰/۲۳	۰/۲۳
	۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۶۹۹۸۷۶۰۰	۱۵۹۳۰۰۰	۰/۱۸	۰/۹۴	۰/۱۸			
	۲۰۰۰ - ۲۵۰۰	۷۵۰۸۷۰۰۰	۲۴۸۸۶۰۰	۰/۲۷	۱/۳۷	۰/۲۷			
	۲۵۰۰ - ۳۰۰۰	۸۱۵۰۱۳۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۰/۱۶	۰/۸۱	۰/۱۶			
	۳۰۰۰	۳۸۷۸۳۷۰۰	۹۲۷۰۰۰	۰/۱۹	۰/۹۸	۰/۱۹			
	شمال	۳۱۷۸۶۲۰۰	۵۱۷۵۰۰	۰/۰۸	۰/۶۷	۰/۰۸			
	شمال شرق	۴۰۰۱۰۴۰۰	۷۶۸۶۰۰	۰/۱۰	۰/۷۹	۰/۱۰			
	شرق	۳۶۵۳۱۰۰۰	۶۱۲۹۰۰	۰/۰۹	۰/۶۹	۰/۰۹			
	جنوب شرق	۴۸۷۷۱۹۰۰	۱۴۹۶۷۰۰	۰/۱۶	۱/۲۷	۰/۱۶			
	جنوب	۵۵۱۲۴۱۰۰	۱۴۲۸۳۰۰	۰/۱۴	۱/۰۷	۰/۱۴			
جهت شیب	جنوب غرب	۵۰۱۰۵۷۰۰	۱۸۷۹۲۰۰	۰/۲۰	۱/۵۵	۰/۲۰	۲/۸۰	-۰/۰۴	-۰/۰۴
	غرب	۳۸۴۳۷۲۰۰	۸۱۷۲۰۰	۰/۱۱	۰/۸۸	۰/۱۱			
	شمال غرب	۲۸۰۹۸۰۰۰	۴۲۲۱۰۰	۰/۰۸	۰/۶۲	۰/۰۸			
	شمال غرب ۲-۲۲	۳۲۹۳۴۶۰۰	۱۱۳۴۰۰	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۳			
	۲۲-۵/۶	۸۹۸۱۲۸۰۰	۷۱۱۰۰۰	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸			
	۲/۲-۵/۶	۹۶۹۹۷۵۰۰	۵۴۹۰۰۰۰	۰/۶۳	۲/۳۴	۰/۶۳			
	۱۷/۱۰ ۲,۲	۸۷۰۲۹۱۰۰	۱۵۶۷۸۰۰	۰/۲۰	۰/۷۴	۰/۲۰			
	۱۷/۱	۲۲۰۹۰۵۰۰	۶۰۳۰۰	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۳			
	۰ - ۲۰۰	۹۲۶۲۶۲۰۰	۳۰۴۰۲۰۰	۰/۳۰	۱/۳۵	۰/۳۰			
	۲۰۰ - ۵۰۰	۹۸۰۷۳۰۰۰	۲۱۷۳۵۰۰	۰/۲۰	۰/۹۱	۰/۲۰			
شبکه زه کشی	۵۰۰ - ۷۰۰	۶۸۰۹۴۹۰۰	۱۶۰۴۷۰۰	۰/۲۱	۰/۹۷	۰/۲۱	۲/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۴
	۷۰۰ - ۱۰۰۰	۴۶۹۲۲۴۰۰	۸۸۰۲۰۰	۰/۱۷	۰/۷۷	۰/۱۷			
	۱۰۰۰	۲۳۲۸۰۳۰۰	۲۴۳۹۰۰	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۰۳			
	۰ - ۵۰۰	۱۵۵۲۱۸۵۰۰	۳۳۷۰۵۰۰	۰/۳۲	۱/۴۲	۰/۳۲			
	۵۰۰ - ۱۵۰۰	۱۱۷۲۲۱۴۰۰	۳۵۶۱۳۰۰	۰/۲۸	۱/۲۵	۰/۲۸			
	۱۵۰۰ - ۲۵۰۰	۳۱۲۳۰۹۰۰	۴۶۴۴۰۰	۰/۲۰	۰/۹۰	۰/۲۰			
	۲۵۰۰ - ۳۵۰۰	۱۴۶۸۴۴۰۰	۵۰۳۱۰۰	۰/۱۴	۰/۶۱	۰/۱۴			
	۳۵۰۰	۱۰۸۱۲۸۰۰	۴۳۲۰۰	۰/۰۹	۰/۴۳	۰/۰۹			
	Jds	۲۳۸۵۱۸۰۰	۱۷۴۶۰۰	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۰۴			
	Kldf	۱۱۷۵۴۰۰۰	۵۱۳۰۰	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۰۲			
سنگ شناسی	Klk	۸۹۶۰۴۰۰	۱۴۴۰۰	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۵	۳/۵۴	۰/۱۹	۰/۱۹
	Kmg	۱۴۹۹۴۰۰۰	۶۲۵۵۰۰	۰/۲۵	۱/۷۲	۰/۲۵			
	Ksi	۱۶۷۸۰۷۷۰۰	۴۵۹۸۱۰۰	۰/۱۶	۱/۱۳	۰/۱۶			
	Mmm	۸۵۴۷۳۰۰	۱۲۹۶۰۰	۰/۰۹	۰/۶۲	۰/۰۹			
	MPlsma	۹۳۱۸۶۰۰	۹۹۹۰۰	۰/۰۶	۰/۴۴	۰/۰۶			
	Plcb	۴۹۱۳۱۹۰۰	۱۳۳۴۷۰۰	۰/۱۶	۱/۱۲	۰/۱۶			
	Q	۳۵۷۲۲۸۰۰	۹۸۰۱۰۰	۰/۱۶	۱/۱۳	۰/۱۶			
	Edj	۹۹۹۰۰۰	.	.	.	.			
	Mmg	۴۳۳۸۰۰	.	.	.	.			
	کشاورزی	۷۶۱۶۷۰۰	۲۱۱۵۰۰	۰/۱۰	۱/۱۵	۰/۱۰			
کاربری زمین	جنگل پست	۱۹۷۴۰۶۰۰	۲۷۶۳۰۰	۰/۰۵	۰/۵۸	۰/۰۵	۳/۵۸	۰/۴۶	۰/۴۶
	مختلط دیمزارو	۷۸۹۸۴۰۰	۱۳۰۲۳۰۰	۰/۶۱	۶/۸۳	۰/۶۱			
	مختلط جنگل و مرتع متوسط و	۱۷۶۳۳۹۷۰۰	۴۲۰۳۰۰	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۰۸			
	مرتع متوسط و مرتع متوسط باغ	۹۹۲۶۲۸۰۰	۱۸۰۱۸۰۰	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۰۶			
	مرتع ضعیف	۲۲۲۳۰۰	.	.	.	.			
	جنگل	۳۳۵۷۹۰۰	۲۲۵۰۰	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۰۲			
	جنگل مسکونی	۹۸۹۱۰۰	.	.	.	.			
	باغ و کشاورزی	۷۲۰۰۰	.	.	.	.			
	صخره	۱۷۵۱۴۰۰	۹۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰			
		۲۲۵۹۰۰	.	.	.	.			
	۱۱۷۶۱۲۰۰	۱۲۴۲۰۰	۰/۰۳	۰/۴۳	۰/۰۳				

۰/۰۳	۰/۰۳	۱/۵۸	۱/۵۳	۰/۲۱	۰/۷۰۰	۲۶۱۷۲۰۰	۱۵۴۶۹۲۹۰۰	۵۵۰ - ۶۰۰	بارندگی
				۰/۳۶	۱/۱۶	۳۱۴۱۹۰۰	۹۶۷۸۰۶۰۰	۶۰۰ - ۶۵۰	
				۰/۴۱	۱/۳۴	۲۱۸۳۴۰۰	۷۷۳۳۸۰۰	۶۵۰ - ۷۰۰	
۰/۲۸	۰/۲۸	۲/۳۲	۱/۶۵	۰/۳۸	۱/۹۴	۳۷۲۶۰۰۰	۱۴۵۱۴۳۹۰۰	۰ - ۷۰۰	فاصله از جاده
				۰/۲۱	۱/۰۶	۷۰۶۵۰۰	۶۵۳۱۴۸۰۰	۷۰۰ - ۱۵۰۰	
				۰/۲۰	۱/۰۲	۱۶۶۹۵۰۰	۶۷۲۰۳۹۰۰	۱۵۰۰ - ۳۰۰۰	
				۰/۱۰	۰/۵۲	۱۶۲۶۳۰۰	۳۴۶۶۶۲۰۰	۳۰۰۰ - ۴۵۰۰	
				۰/۰۸	۰/۴۴	۲۱۴۲۰۰	۱۶۹۰۹۲۰۰	۱۴۵۰۰	
۰/۱۹	۰/۱۹	۲/۳۲	۱/۸۷	۰/۲۳	۱/۲۲	۹۷۲۰۰۰	۳۲۹۳۴۶۰۰	۰ - ۱۲	شیب
				۰/۲۰	۱/۰۶	۲۱۳۷۵۰۰	۸۹۸۱۲۸۰۰	۱۲ - ۲۵	
				۰/۱۹	۱/۰۲	۲۰۵۲۰۰۰	۹۶۹۹۷۵۰۰	۲۵ - ۴۰	
۰/۲۳	۰/۲۶	۲/۳۲	۱/۷۰	۰/۱۶	۰/۹۸	۵۴۸۱۰۰	۲۲۰۹۰۵۰۰	۴۰ - ۷۰	شاخص
				۰/۱۸	۰/۸۱	۲۱۳۷۵۰۰	۱۰۸۵۳۳۷۰۰	۱۰	
				۰/۲۲	۰/۹۸	۱۹۵۴۸۰۰	۸۲۴۶۷۰۰۰	۱۰ - ۱۵	رطوبت
				۰/۲۶	۱/۱۶	۳۶۶۸۴۰۰	۱۳۰۹۰۱۴۰۰	۱۵ - ۲۰	
				۰/۲۵	۱/۱۱	۱۸۰۰۰۰	۶۷۱۰۴۰۰	۲۰ - ۲۵	توپوگرافی
				۰/۰۶	۰/۲۹	۱۸۰۰	۲۵۱۱۰۰	۲۵	

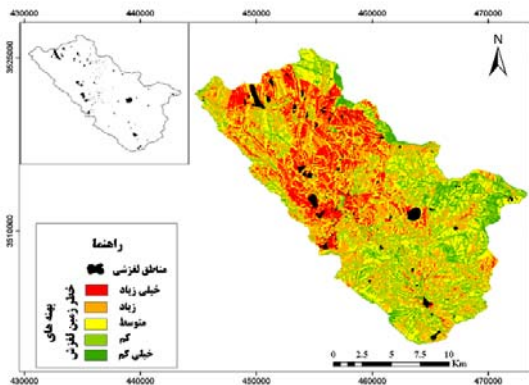
جدول ۳. ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی وزن شاهد بیزین

فاکتورها	کلاس	مساحت کلاس	مساحت زمین لغزش	وزن مثبت	وزن منفی	برآیند وزن	واریانس 2(w+)	واریانس S2(w-)	انحراف استاندارد Sc	وزن نهایی C/Sc
ارتفاع	۱۵۰۰ <	۶۳۵۰۴۹۰۰	۱۳۳۷۴۰۰	۰/۱۴	۰/۰۳۰	-۰/۱۷۱	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹	-۱۸۰/۴۰
	۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۶۹۹۸۷۶۰۰	۱۵۹۳۰۰۰	۰/۰۶	۰/۰۱۵	-۰/۰۷۶	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۸	-۸۶/۳۶
	۲۰۰۰ - ۲۵۰۰	۷۵۰۸۷۰۰۰	۲۴۸۷۶۰۰	۰/۳۲	۰/۱۱۹	۰/۴۴۴	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۷	۵۸۱/۱۰
جهت	۲۵۰۰ - ۳۰۰۰	۸۱۵۰۱۳۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۰/۲۱	۰/۰۶۱	-۰/۲۷۵	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۸	-۳۱۰/۸۶
	۳۰۰۰ >	۳۸۷۸۷۰۰	۹۲۷۰۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۸	-۱۰/۹۰
	شمال	۳۱۷۸۶۲۰۰	۵۱۷۵۰۰	۰/۴۰	۰/۰۳۵	-۰/۴۳۷	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱۱	-۳۰۴/۳۲
	شمال شرق	۴۰۰۱۰۴۰۰	۷۶۸۶۰۰	۰/۲۳	۰/۰۲۸	-۰/۲۶۲	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱۲	-۲۱۸/۸۰
	شرق	۳۶۵۳۱۰۰۰	۶۱۲۹۰۰	۰/۳۷	۰/۰۳۸	-۰/۴۱۰	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	-۳۰۸/۵۰
شیب	جنوب شرق	۴۸۷۷۱۹۰۰	۱۴۹۶۷۰۰	۰/۲۴	۰/۰۲۹	۰/۲۹۵	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹	-۳۲۵/۸۸
	جنوب	۵۵۱۲۴۱۰۰	۱۴۲۸۳۰۰	۰/۰۷۲	۰/۰۱۵	۰/۰۸۷	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹	۹۴/۴۴
	جنوب غرب	۵۰۱۰۵۷۰۰	۱۸۷۹۲۰۰	۰/۴۵	۰/۰۱۰۷	۰/۵۶۱	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۸	۶۷۱/۹۷
شاخص	غرب	۳۸۴۳۷۲۰۰	۸۱۷۲۰۰	۰/۱۳	۰/۰۱۶	-۰/۱۴۶	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	-۱۲۵/۴۶
	شمال غرب	۲۸۰۹۸۰۰۰	۴۲۲۱۰۰	۰/۴۸	۰/۰۳۵	-۰/۵۱۹	۰/۰۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱۵	-۳۲۸/۵۳
	< -۲۲	۳۲۹۳۴۶۰۰	۱۱۳۴۰۰	-۱/۹۶	۰/۰۹۳	-۲/۰۶۲	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۲۹	-۶۸۹/۵۵
	-۲۲ - ۵/۶	۸۹۸۱۲۸۰۰	۷۱۱۰۰۰	-۱/۱۳	۰/۲۳۱	-۱/۳۶۳	۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱۲	-۱۰۹۶/۹
	۲/۲ - ۵/۶	۹۶۹۹۷۵۰۰	۵۴۹۰۰۰۰	۰/۸۸	۰/۸۳۹	۱/۷۲۴	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۷	۲۲۴۵/۸
شبکه زه	۱۷/۱ - ۲,۲	۲۲۰۹۰۵۰۰	۶۰۳۰۰	۰/۲۰	۰/۰۸۹	-۲/۲۶۵	۰/۰۰۰۰۱۶۶	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۸	-۴۳۶/۵۶
	۰ - ۲۰۰	۹۲۶۲۶۲۰۰	۳۰۴۰۲۰۰	۰/۳۱۶	۰/۱۵۵	۰/۴۷۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۷	-۵۵۴/۱۶
	۲۰۰ - ۵۰۰	۹۸۰۷۳۰۰۰	۲۱۷۳۵۰۰	۰/۰۸	۰/۰۳۵	-۰/۱۲۲	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰	-۱۵۴/۱
کشی	۵۰۰ - ۷۰۰	۶۸۰۹۴۹۰۰	۱۶۰۴۷۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۱	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰	-۳۵/۱
	۷۰۰ - ۱۰۰۰	۴۶۹۲۲۴۰۰	۸۸۰۲۰۰	۰/۲۵	۰/۰۳۷	-۰/۲۹۵	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	-۲۶۱
	۱۰۰۰	۲۳۲۸۰۳۰۰	۲۴۳۹۰۰	۰/۸۴	۰/۰۴۳	-۰/۸۹۱	۰/۰۰۰۰۰۴۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	-۴۳۳/۶
فاصله از گسل	۰ - ۵۰۰	۱۵۵۲۱۸۵۰۰	۳۳۷۰۵۰۰	۰/۱۰	۰/۰۸۷	-۰/۱۹۵	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰	-۲۷۱/۹
	۵۰۰ - ۱۵۰۰	۱۱۷۲۲۱۴۰۰	۲۵۶۱۳۰۰	۰/۲۳	۰/۱۵۸	۰/۳۹۵	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰	۵۵۴/۱
	۱۵۰۰ - ۲۵۰۰	۳۱۲۳۰۹۰۰	۴۶۴۴۰۰	۰/۴۹	۰/۰۴۰	-۰/۵۳۳	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	-۳۵۲/۹
شناسی	۲۵۰۰ - ۳۵۰۰	۱۴۶۸۴۴۰۰	۵۰۳۱۰۰	۰/۳۶	۰/۰۲۰	۰/۳۸۱	۰/۰۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	۲۶۱/۹
	۳۵۰۰	۱۰۸۸۲۸۰۰	۴۳۲۰۰	-۱/۸۲	۰/۰۲۸	-۱/۵۸۳	۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	-۳۸۴/۲
	Kldf	۳۳۸۵۱۸۰۰	۱۷۴۶۰۰	-۱/۲۱	۰/۰۵۳	-۱/۲۶۴	۰/۰۰۰۰۱۹۵	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	-۵۲۲/۷
	Klk	۱۱۷۵۴۰۰۰	۵۱۳۰۰	-۱/۳۳	۰/۰۳۰	-۱/۷۶۱	۰/۰۰۰۰۱۹۵	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	-۳۹۷/۶
	Kmg	۸۹۶۰۴۰۰	۱۴۴۰۰	-۲/۳۳	۰/۰۲۶	-۲/۷۵۹	۰/۰۰۰۰۶۹۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	-۳۳۰/۸
		۱۴۹۹۴۰۰۰	۶۲۵۵۰۰	۰/۸۲	۰/۰۱۶	۰/۸۴۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰	۲۶۴/۵

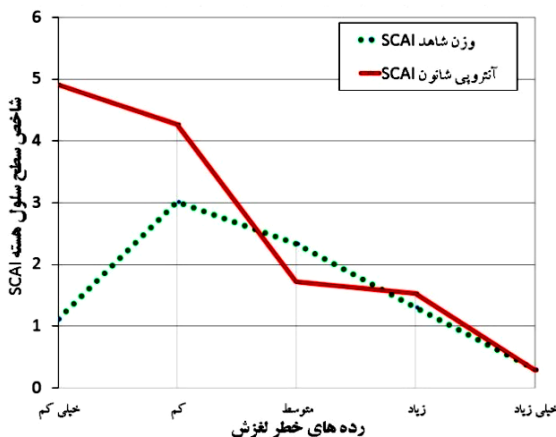
۳۹۳/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۳	/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۲۸۰	-۰/۱۵۱	۰/۱۲	۴۵۹۸۱۰۰	۱۶۷۸۰۷۷۰۰	Ksi	
-۱۷۳/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۷۷	۰/۴۸۴	۰/۰۱۰	-۰/۴۷	۱۲۹۶۰۰	۸۵۴۷۳۰۰	Mmm	
-۴۵۵/۹	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۱۰	۰/۶۰۰	-۰/۰۳۵	۰/۵۶	۹۹۹۰۰	۹۳۱۸۶۰۰	MPlsma	
۱۵۰/۷	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۷	۰/۱۴۲	-۰/۰۲۲	۰/۱۲	۱۳۳۴۷۰۰	۴۹۱۳۱۹۰۰	Plcb	
۱۳۶/۹	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۱۰	۰/۱۴۷	-۰/۰۱۶	۰/۱۳	۹۸۰۱۰۰	۳۵۷۲۲۸۰۰	Q	
-۸/۷	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰/۰۰۳	۰/۰/۰۰۳	۰	.	۹۹۹۰۰۰	Edj	
-۳/۷	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰/۰۰۱	۰/۰/۰۰۱	۰	.	۴۳۳۸۰۰	Mmg	
۶۷/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۴۷	۰/۱۴۸	-۰/۰/۰۰۳	۰/۱۴	۲۱۱۵۰۰	۷۶۱۶۷۰۰	کشاورزی	
-۳۰۰/۴	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۳۶	-۰/۵۸۱	۰/۰/۰۲۷	-۰/۵۵	۲۷۶۳۰۰	۱۹۷۴۰۶۰۰	جنگل, یست	
۲۳۳۳/۲	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۸	۲/۲۳۶	-۰/۱۵۸	۲/۰۷	۱۳۰۲۳۰۰	۷۸۹۸۴۰۰	مختلط دیمزارو	
-۳۷/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۳	/۰۰۰۰۰۰۰۲	-۰/۰/۰۲۶	۰/۰/۰۱۴	-۰/۰/۰۱	۴۲۰۳۰۰۰	۱۷۶۳۳۹۷۰۰	مختلط جنگل, و	
-۴۶۵/۸	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۶	-۰/۳۹۴	۰/۱/۰۰۴	-۰/۰/۲۹	۱۸۰۱۸۰۰	۹۹۲۶۲۸۰۰	مرتع متوسط و	کاربری
-۱/۹	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰/۰۰۰	۰/۰/۰۰۰	۰	.	۲۲۲۳۰۰	مرتع متوسط	
-۱۹۵/۶	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۴۴۴	-۱/۳۰۶	۰/۰/۰۰۷	-۱/۲۹	۲۲۵۰۰	۳۳۵۷۹۰۰	باغ	زمین
-۸/۶	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰/۰۰۳	۰/۰/۰۰۳	۰	.	۹۸۹۱۰۰	مرتع ضعیف	
-۰/۶	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰/۰۰۰	۰/۰/۰۰۰	۰	.	۷۲۰۰۰	جنگل,	
-۱۰۹۲۹/۲	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۳/۸۷۸	۰/۰/۰۰۵	-۳/۸۷	۹۰۰	۱۷۵۱۴۰۰	مسکونی,	
-۱/۹	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰/۰۰۰	۰/۰/۰۰۰	۰	.	۲۲۵۹۰۰	باغ و کشاورزی	
-۲۴۰۷/۶	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۸۶۱	۰/۰/۰۲۱	-۰/۸۳	۱۲۴۲۰۰	۱۱۷۶۱۲۰۰	صخره	
-۸۰۲/۸	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۴	-۰/۶۰۶	۰/۰/۲۴۲	-۰/۳۶	۲۶۱۷۲۰۰	۱۵۴۶۹۲۹۰۰	۵۵۰ - ۶۰۰	بارندگی
۲۷۰/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۳	۰/۲۱۴	-۰/۰/۵۴	۰/۱۶	۳۱۴۱۹۰۰	۹۶۷۸۰۶۰۰	۶۰۰ - ۶۵۰	
۶۳۷/۵	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۵	۰/۴۶۲	-۰/۱۵۸	۰/۳۰	۲۱۸۳۴۰۰	۷۷۳۳۸۰۰	۶۵۰ - ۷۰۰	
۱۶۴/۳	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۳	۰/۱۱۶	-۰/۰/۵۳	۰/۰/۰۶	۳۷۲۶۰۰۰	۱۴۵۱۴۳۹۰۰	۰ - ۷۰۰	
-۷۵۹/۷	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۱۴	-۰/۹۴۶	۰/۱/۳۱	-۰/۸۱	۷۰۶۵۰۰	۶۵۳۱۴۸۰۰	۷۰۰ - ۱۵۰۰	فاصله از
۴۳/۵	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۶	۰/۰۳۷	-۰/۰/۰۰۷	۰/۰/۰۳	۱۶۶۹۵۰۰	۶۷۲۰۳۹۰۰	۱۵۰۰ - ۳۰۰۰	
۹۲۰/۳	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۶	۰/۸۰۹	-۰/۱/۲۰	۰/۶۸	۱۶۲۶۳۰۰	۳۴۶۶۶۲۰۰	۳۰۰۰ - ۴۵۰۰	جاده
-۳۱۱/۲	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۴۷	-۰/۶۸۱	۰/۰/۰۲۶	-۰/۶۵	۲۱۴۲۰۰	۱۶۹۰۹۲۰۰	۱۴۵۰۰	
۲۱۳/۹	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۱۰	۰/۲۳۱	-۰/۰/۲۵	۰/۲۰	۹۷۲۰۰۰	۳۲۹۳۴۶۰۰	۰ - ۱۲	
7-۲۵/۷	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۵	-۰/۰/۲۰	۰/۰/۰۰۵	-۰/۰/۰۱	۲۱۳۷۵۰۰	۸۹۱۲۸۰۰	۱۲ - ۲۵	
-۲۳۱/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۵	-۰/۱۸۷	۰/۰/۰۵۱	-۰/۱/۳	۲۰۵۲۰۰۰	۹۶۹۹۷۵۰۰	۲۵ - ۴۰	شیب
۱۰۸	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۴	۰/۰۸۵	-۰/۰/۰۲۳	۰/۰/۰۶	۲۳۲۲۹۰۰	۸۷۰۲۹۱۰۰	۴۰ - ۷۰	
۲۱/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۱۸	۰/۰۲۹	-۰/۰/۰۰۲	۰/۰/۰۲	۵۴۸۱۰۰	۲۲۰۹۰۵۰۰	۱۷۰	
-۳۷۲/۲	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۵	-۰/۲۹۷	۰/۰/۰۸۹	-۰/۰/۲۰	۲۱۳۷۵۰۰	۱۰۸۵۳۳۷۰۰	۱۰	شاخص
-۳۰/۹	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۵	-۰/۰/۲۵	۰/۰/۰۰۶	-۰/۰/۰۱	۱۹۵۴۸۰۰	۸۲۴۶۷۰۰۰	۱۰ - ۱۵	
۳۷۵/۷	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۲	/۰۰۰۰۰۰۰۳	۰/۲۶۷	-۰/۱/۱۴	۰/۱/۵	۳۶۶۸۴۰۰	۱۳۰۹۰۱۴۰۰	۱۵ - ۲۰	رطوبت
۴۶/۱	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۵۶	۰/۱۱۰	-۰/۰/۰۰۲	۰/۱/۰	۱۸۰۰۰۰	۶۷۱۰۴۰۰	۲۰ - ۲۵	توپوگرافی
-۵۲/۲	۰/۰	/۰۰۰۰۰۰۱	/۰۰۰۰۰۰۰۵۵۶	-۱/۲۳۴	۰/۰/۰۰۰	-۱/۲۳	۱۸۰۰	۲۵۱۱۰۰	۲۵	



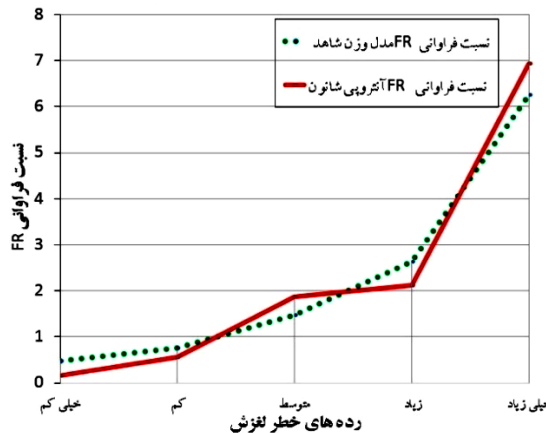
شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی با روش وزن شاهد بیزین



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی با روش آنتروپی شانون



شکل ۶. شاخص سطح سلول هسته رده‌های خطر لغزش مدل‌های آنتروپی شانون و وزن شاهد بی‌زین



شکل ۵. نسبت فراوانی رده‌های خطر لغزش مدل‌های آنتروپی شانون و وزن شاهد بی‌زین

شاخص SCAI برای مدل آنتروپی شانون روند نزولی مشخص و یکنواخت و برای مدل وزن شاهد بی‌زین روند نزولی غیریکنواخت (ابتدا صعودی و سپس نزولی) نشان می‌دهد، لذا براساس نمودار شاخص SCAI برای مدل آنتروپی شانون که دارای روند نزولی یکنواخت‌تر نسبت به مدل وزن شاهد بی‌زین از پهنه‌های خطر خیلی زیاد به خیلی کم می‌باشد، نشان دهنده پهنه‌بندی مناسب‌تر طبقات حساسیت خطر است (شکل ۶). در صورتیکه اگر فقط روند منحنی نسبت فراوانی (FR) برای تفکیک پذیری رده‌های حساسیت نسبت به لغزش مد نظر قرار گرفته شود، تمایزی بین دو مدل وجود نخواهد داشت (جدول ۴ و شکل ۵). اما با توجه به روند منحنی هر دو شاخص سطح سلول هسته (SCAI) و نسبت فراوانی (FR)، دقت تفکیک پذیری بین رده‌ها در مدل آنتروپی شانون نسبت به وزن شاهد بی‌زین مناسب‌تر ارزیابی گردید (جدول ۴ و شکل ۶). بنابراین از این حیث لازم است برای برآورد بهتر دقت تفکیک پذیری رده‌های مدل‌ها از نمودار هر دو شاخص استفاده گردد. بر مبنای سطوح طبقه‌بندی دقت براساس منحنی ROC که در بخش ارزیابی مدل‌ها به آن اشاره شد، هر دو مدل در طبقه خیلی خوب (۰/۸-۰/۹) قرار دارند و قابل توصیه جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به لغزش در امور زیر بنایی و توسعه‌ای می‌باشند ولی در مقام مقایسه نسبت به همدیگر، نتایج

$$Y_{woe} = \sum_{i=1}^n C / sc * C \quad (15)$$

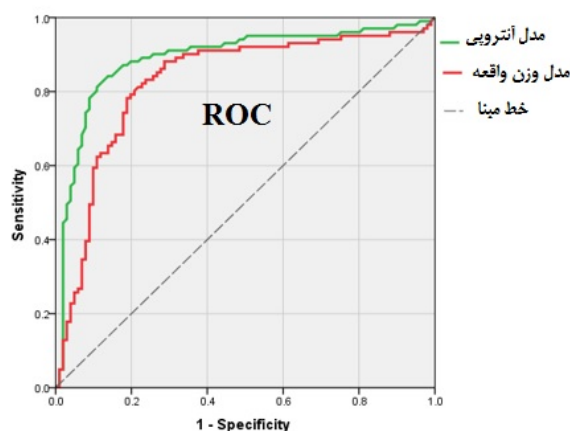
بدین ترتیب با اعمال رابطه (۱۳) نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به لغزش طبق مدل وزن شاهد بی‌زین (WoE) نیز محاسبه شده است (شکل ۴). نتایج حاصل از محاسبه این مدل نشان می‌دهد که ۴/۶۴ درصد از کل منطقه (۱۵۲۲/۸۵ هکتار) در پهنه با حساسیت بسیار کم واقع می‌باشد. پهنه‌های حساسیت کم و متوسط به ترتیب ۱۹/۶۶ درصد (۶۴۵۴/۳۳ هکتار) و ۲۹/۶۵ درصد (۹۷۳۴/۸۸) و پهنه‌های حساسیت زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۲۹/۵۵ درصد (۹۶۹۹/۳۹ هکتار) و ۱۶/۵ درصد (۵۴۱۶/۴۹) از کل نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به لغزش را در بر می‌گیرند (جدول ۴).

براساس رابطه منطقی و نسبی موجود بین سطح لغزش و پهنه‌های خطر، به ترتیب برای پهنه‌های با حساسیت پتانسیل خطر خیلی کم تا خیلی زیاد مقدار نسبت فراوانی (FR) افزایش و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) به صورت قرینه معکوس کاهش می‌یابد (اشکال ۵ و ۶). لذا نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی در این پژوهش بر مبنای مدل‌های آنتروپی شانون و مدل احتمالاتی وزن شاهد، بیانگر این است که در هر دو مدل با افزایش حساسیت خطر از خیلی کم به خیلی زیاد مقادیر نسبت فراوانی (FR) روند صعودی داشته است (شکل ۵). اما نمودار

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

فواصل اطمینان در سطح ۹۵٪		سطح اطمینان	خطای استاندارد	سطح زیر منحنی	روش احتمالاتی
حد بالا	حد پایین				
۰/۹۴۰	۰/۸۴۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۵	۰/۸۹	روش آنتروپی
۰/۸۸۸	۰/۷۶۶	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱	۰/۸۲	روش وزن شاهد بیزین

شناخته شد. بررسی کاربری زمین منطقه نشان می دهد که کاربری مرتع و دیمزار بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است که دلیل آن را می توان به نقش مؤثر انسان در اکوسیستم های طبیعی و تخریب هایی که بواسطه تغییر کاربری زمین در منطقه به وجود می آید نسبت داد که با نظرات شادفر و همکاران مطابقت دارد (۴). عامل فاصله از جاده به عنوان سومین عامل مؤثر شناخته شده است. علت اصلی این موضوع آن است که جاده ها وضعیت طبیعی و به عبارت دیگر شیب تعادلی منطقه را به هم زده و بریدگی های عمودی به وجود می آورند و بر بخش های پایین جاده فشار اضافی وارد می کنند و باعث افزایش زمین لغزش در نزدیکی های جاده می شوند. در نهایت نتایج حاصل از بررسی کلاس های عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش بیانگر این مطلب است که وقوع حرکات توده ای با عوامل شیب، طبقات ارتفاعی، بارندگی و تراکم شبکه زهکشی رابطه مثبت و با فاصله از جاده و فاصله از گسل رابطه منفی دارد، به عبارت دیگر وقوع حرکات توده ای با افزایش شیب، بارندگی، ارتفاع و تراکم آبراهه، افزایش و با فاصله از گسل و آبراهه کاهش می یابد. در نهایت پس از تعیین وزن کلاس های عوامل مؤثر در زمین لغزش، حوضه مورد نظر به ۵ کلاس از پتانسیل وقوع خیلی زیاد تا خیلی کم با استفاده از مدل های وزن شاهد و آنتروپی طبقه بندی گردید. نتایج نشان می دهد که سطح یا درصد نسبت فراوانی لغزش به ترتیب براساس مدل آنتروپی شانون ۳۸۷۰۰ متر مربع از حوضه (۰/۴۹) در رده حساسیت نسبت به خیلی کم، ۳۷۵۳۰۰ متر مربع (۴/۷۳ درصد) در رده حساسیت نسبت به لغزش کم، ۱۶۷۹۴۰۰ متر مربع (۲۱/۱۴ درصد) در رده حساسیت نسبت



شکل ۷. منحنی نرخ پیش بینی ROC نقشه های حساسیت نسبت به لغزش حاصل از مدل آنتروپی و وزن شاهد بیزین

مقادیر مساحت زیر منحنی (AUC) مدل آنتروپی شانون نشان دهنده دقت امتیاز بالاتر (۰/۸۹) نسبت به روش وزن شاهد بیزین (۰/۸۲) می باشد که بیانگر همبستگی بالا بین نقشه حساسیت نسبت به لغزش تهیه شده و نقشه پراکنش زمین لغزش و ارزیابی بهتر مدل آنتروپی شانون نسبت به مدل وزن شاهد بیزین می باشد (جدول ۵ و شکل ۷).

نتایج حاصل از بررسی فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین لغزش بیانگر این است که عامل کاربری زمین بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه داشته است و پس از آن به ترتیب فاکتورهای شاخص همگرایی، فاصله از جاده، ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، شیب، سنگ شناسی، جهت شیب و بارندگی به ترتیب در وقوع زمین لغزش مؤثر بوده اند. کاربری زمین به عنوان مهمترین عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه

مؤثر یا متغیر) می‌باشد. از جمله مزایای دیگر مدل احتمال شرطی مدل وزن شاهد بیزین، به‌کارگیری عوامل مؤثر با در نظر گرفتن استقلال داده‌های مکانی است که اثر هر عامل (متغیر) پیش‌بینی‌کننده را بر روی زمین‌لغزش به‌طور جداگانه بررسی می‌نماید و لذا نتایج وزن‌دهی عوامل، به راحتی قابل تفسیر می‌باشد. اما معایبی نیز در به‌کارگیری این روش وجود دارد که در هنگام اجرای آن بایستی آنها را در نظر گرفت: (۱) تنها زمانیکه عوامل (متغیرها) دارای رتبه‌بندی استاندارد شده باشند نتایج قابل قبول و قابل تعمیم به مناطق دیگر را خواهند داشت، (۲) به‌کارگیری این روش در حالتی که انواع زمین‌لغزش به‌کار گرفته می‌شوند، مناسب نیست، (۳) اجرای این روش نیازمند اطلاعات دقیق و قابل اعتماد رخداد زمین‌لغزشی گذشته (پراکنش زمین‌لغزش) منطقه مورد بررسی می‌باشد و (۴) این روش برای مناطق بسیار محدود و کوچک مناسب نیست زیرا وزن‌دهی عوامل را براساس زمین‌لغزش‌های ثبت شده، بالاتر یا پایین‌تر از مقدار واقعی تخمین می‌زند (۲۲).

اما از آنجا که مدل آنتروپی شانون معیاری از عدم قطعیت یک متغیر تصادفی می‌باشد و به‌عنوان محتوای اطلاعاتی یک سامانه محسوب می‌گردد. لذا به‌کارگیری این مدل در پدیده‌هایی نظیر رخداد زمین‌لغزش و عوامل مؤثر بر آن، به‌دلیل طبیعت و ماهیت غیرپارامتریک آنها بسیار مناسب و کارآمد می‌تواند باشد (۲۸) که نتایج این پژوهش نیز این موضوع را تایید می‌نماید. همچنین مدل آنتروپی شانون نیازمند فرضیات مربوط به توزیع مناسب داده‌های متغیرها و مبتنی بر مدل‌های خطی نمی‌باشد، لذا می‌توان از تعداد زیادی عوامل مؤثر (متغیرها) که در رخداد زمین‌لغزش مؤثرند، استفاده نمود.

دلایل رخداد زمین‌لغزش بسیار زیاد، پیچیده و گاهی ناشناخته باقی می‌ماند. اگرچه فاکتورهای پایه‌ای مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در طی بازدیدهای میدانی، تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند مشاهده شود اما همچنان برخی از فاکتورها نادیده گرفته می‌شوند. بنابراین برای بررسی عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه سرخون حوضه کارون، در

به لغزش متوسط، ۱۹۵۱۲۰۰ متر مربع (۲۴/۵۷ درصد) در رده زیاد و ۳۸۹۷۹۰۰ متر مربع (۴۹/۰۸ درصد) در رده حساسیت نسبت به لغزش خیلی زیاد قرار گرفته است و براساس نتایج حاصل از مدل وزن شاهد بیزین ۷۳۰۳۹/۲۸ متر مربع (۰/۹۲ درصد) در رده حساسیت نسبت به لغزش خیلی کم، ۴۸۹۳۶۳/۱۸ متر مربع (۶/۱۶ درصد) در رده حساسیت نسبت به لغزش کم، ۱۴۳۵۷۴۳/۶ متر مربع (۱۸/۰۸ درصد) در رده حساسیت نسبت به لغزش متوسط، ۲۵۵۳۲۴۴/۵ متر مربع (۳۲/۱۵ درصد) در رده حساسیت نسبت به لغزش زیاد و ۸۸۹۱۱۰۴/۴ متر مربع (۴۲/۷۰ درصد) در رده حساسیت نسبت به لغزش خیلی زیاد قرار گرفته است. در این پژوهش برای هر دو مدل آنتروپی شانون و وزن شاهد بیزین همانند پژوهش‌های بدناریک و همکاران (۹)، بویی و همکاران (۱۰)، کنستانتین و همکاران (۱۲)، لی و همکاران (۱۵)، ماتیو و همکاران (۱۷)، رگمی و همکاران (۲۵)، شارما و همکاران (۲۸)، ون وستن (۳۰) و ژائو و وانگ (۳۵)، ارزیابی مناسبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برآورد گردید، لذا با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های متنوع و دقیق از این دو مدل در مناطق مشابه می‌توان استفاده نمود. همچنین در این پژوهش نتایج مقایسه دو مدل آنتروپی شانون و وزن شاهد بیزین با نتایج پژوهش پورقاسمی و همکاران (۲۱) کاملاً منطبق می‌باشد و مدل آنتروپی شانون نسبت به مدل وزن شاهد بیزین از صحت و دقت بیشتری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و پیش‌بینی آن برخوردار می‌باشد. لذا از این مدل در برنامه‌ریزی، مدیریت و آمایش سرزمین و مهندسی دامنه‌های شیب‌دار و به‌طور کلی برنامه‌ریزی کاربری زمین بخوبی و با دقت بسیار بالا می‌توان استفاده نمود.

## نتیجه‌گیری

اخیراً مدل احتمال شرطی مدل وزن شاهد بیزین از جمله فناوری‌های تلفیقی است که توسط پژوهشگران داخل و خارج بسیار مورد توجه قرار گرفته است. زیرا از مزایای این روش اجرای مدل با استفاده از تعداد کم لایه‌های اطلاعاتی (عوامل

خطر زمین لغزش این منطقه مناسب می‌باشند. مقدار سطح زیر منحنی محاسبه شده برای نقشه تهیه شده به روش آنتروپی شانون و تفکیک پذیری بهتر شاخص SCAI در آن بیانگر آن است که این روش جهت پهنه‌بندی خطر نسبت به روش شاخص وزن شاهد بیزین در اولویت قرار دارد.

### سپاسگزاری

اطلاعات رقومی مکانی مورد نیاز این پژوهش مربوط به "طرح تحقیقاتی است که توسط نویسنده در بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان اجرا و تامین گردیده است. نویسنده مراتب سپاس و قدردانی خود را بخاطر فراهم آوردن شرایط اجرای پژوهش و همکاری بی شائبه آن مرکز اعلام می‌نماید.

این پژوهش با انتخاب یازده عامل مؤثر بر لغزش‌های منطقه و به نقشه درآوردن آنها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و همچنین تهیه نقشه پراکنش لغزش‌ها، پتانسیل روش‌های احتمالاتی مانند وزن شاهد و شاخص آنتروپی جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش این منطقه ارزیابی شده است. داده‌های ورودی برای هر دو مدل یکسان بوده و براساس روابط ارائه شده برای هر مدل، خروجی‌های متفاوتی حاصل شده است. نقشه‌های خطر زمین لغزش به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که مساحت زیادی از منطقه دارای پتانسیل خطر متوسط تا خیلی زیاد می‌باشد. براساس وزن به دست آمده برای پارامترهای مؤثر در هر دو روش کاربری اراضی عامل بسیار مهم در ناپایداری‌های دامنه‌ای در منطقه می‌باشد.

براساس نتایج حاصل از ارزیابی نقشه‌های خطر تهیه شده، هر دو روش وزن شاهد و شاخص آنتروپی جهت پهنه‌بندی

### منابع مورد استفاده

1. شیرانی، ک.، ع.، سیف و ا. نصر. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده ای بر پایه تهیه نقشه های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور ۸۹: ۱۰-۳.
2. شیرانی، ک.، ع. سیف. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون‌شهر، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور ۲۲(۸۵): ۱۴۹-۱۵۸.
3. رضائی، ب.، ه ابراهیمی. ۱۳۸۸. زمین لغزش و راه کارهای تثبیت آن، فصلنامه آمایش محیط (۷): ۱۱۷-۱۱۰.
4. شادفر، ص.؛ م. یمانی، م. نمکی. (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکردود، مجله آب و آبخیز ۳: ۶۸-۶۲.
5. شهابی، م. و ا. سعدالدین. ۱۳۸۸. شبکه تصمیم بیزین رهیافتی برای پیش‌بینی اثرات اقدامات مدیریت خشک‌سالی روی زمین کشت گندم در استان گلستان، مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی آبخیزداری ایران‌نگران. ایران. ، ۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۸۸.
6. Anbalagan, R. 1992. Landslide hazard development and zonation mapping in mountainous terrain. Engineering Geology 32: 269-277.
7. Ayala, I. 2002. Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries, Geomorphology 47: 107-124.
8. Baas, A. 2007. Complex Systems in Aeolian Geomorphology, Geomorphology 91:311-331.
9. Bednarik, M., B. Magulova, M. Matys, M. Marschalko. 2010. Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany-Liptovsky' Mikulaš Railway Case Study, Physics and Chemistry of the Earth 35:162-171.
10. Bui, D. T., B. Pradhan, O. Lofman, I. Revhaug and O. B. Dick. 2012. Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. Computers and Geosciences doi:10.1016/j.cageo.2011.10.031.
11. Crozier, M. J. 1999. Landslides. In: M. Pacione (Ed.), applied geography, principles and practice, London: Routledge, 83-94.



12. 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). *Environ. Earth Sci.* 63: 397-406.
13. Demir, G., M. AYTEKIN, A. AKGUN, S. B. IKIZLER and O. TATAR. 2012. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods, *Nat Hazards*, Published online, doi 10.1007/s11069-012-0418-8.
14. Komac, M. A. 2006. Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. *Geomorfology* 74: 17-28.
15. Lee, S. and J. Choi. 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. *Intl. J. Geograph. Inform. Sci.* 18(8): 789-814.
16. Luna, B., W. B. Langbein. 1963. *The Concept of Entropy in Landscape Evolution*, Geological Survey Professional Paper, United States Government Printing Office, Washington.
17. Mathew, J., V. K. Jha and G. S. Rawat. 2007. Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. *Current Sci.* 92(5): 628-638.
18. Minasny, B., A. McBratney, S. Blanes. 2008. Quantitative Models for Pedogenesis - A Review, *Geoderma*, 144: 140-157.
19. 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.
20. Panizza, M. 2004. Environmental Geomorphology, *Encyclopedia of Geomorphology* 1: 318-320.
21. Pourghasemi, H. R., M. Mohammady and B. Pradhan. 2012a. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran, *Catena*. 97: 71-84.
22. Pourghasemi H. R., B. Pradhan, C. Gokceoglu and K. Deylami Moezzi. 2012b. A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster-Shafer and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. doi:10.1080/19475705.2012.662915.
23. Pradhan, B. and S. Lee. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environmental Modeling and Software* 25(6): 747-759.
24. Ramakrishna, D., M. K. Ghose, R. Vinu Chandra and A. Jeyaram. 2005. Probabilistic techniques, GIS and remote sensing in landslide hazard mitigation: a case study from Sikkim Himalayas, India. *Geo cartography International*. 20(4): 53-58.
25. 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.
26. Roering, J. J., J. W. Kirchner, W. E. Dietrich. 2005. Characterizing Structural and Lithologi Controls on Deep-seated Landsliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in the Oregon Coast Range, *Geological Society of America Bulletin* 17: 654-668.
27. Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bulletin System Technol. J.* 27: 379-423.
28. Sharma, L. P., N. Patel, M. K. Ghose and P. Debnath. 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.
29. Sweets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems *Science* 240: 1285-1293.
30. Van Western, C. J. 2002. Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping 1-21 .
31. Wan, S. 2009. A Spatial Decision Support System for Extracting the Core Factors and Thresholds for Landslide Susceptibility Map, *Eng. Geology* 108: 237-251.
32. Xu, C., F. Dai, X. Xu and Y. H. Lee. 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. *Geomorphology* <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.040>
33. 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 1-423.
34. Yufeng, S. and J. Fengxiant. 2009. Landslide Stability Analysis Based on Generalized Information Entropy, *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology* . 83-85. doi:10.1109/ESIAT.2009.258.
35. 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*, doi 10.1109/ESIAT.2009. 187: 342-346.

## Modelling and Assessment of Landslide Susceptibility Zonation using Shannon's Entropy Index and Bayesian Weight of Evidence (Case Study: Sarkhoon Basin, Karoon)

K. Shirani<sup>1</sup>

(Received: Aug. 31-2015 ; Accepted: June 11-2016)

### Abstract

Landslide susceptibility mapping is essential for land use planning and decision-making especially in the mountainous areas. The main objective of the present research is to produce landslide hazard zonation at Sarkhoon basin in Karoon River using two statistical models including index of Shannon's entropy and Bayesian Weight of Evidence and to assess the obtained results. At the first stage, landslide locations were delineated in the study area by interpretation of aerial photographs, satellite images, and field study and then landslide inventory map was created for study area. The landslide conditioning factors such as slope degree, slope aspect, altitude, lithology, land use, distance to road, distance to fault, distance to drainage, Topographic Wetness Index (TWI), Convergence Index, and precipitation were extracted from the spatial database and they were digitized in GIS environment. Using integrated variables, landslides weights were calculated in each variable class and weighted by index of entropy and weight of evidence model. Finally, landslide hazard zonation map was obtained by both models. The obtained landslide susceptibility maps of both statistical models indicated that more than 70 percent of the landslides occurred in very high and high susceptible zones that constitute about half of the basin area. Also, the results of both models revealed that land use has the greatest impact on the occurred landslides. Classification of the zones, based on the Seed Cell Area Index (SCAI) and Frequency Ratio (FR) seem to be more accurate for both statistical models. Finally, the ROC (receiver operating characteristic) curves for landslide susceptibility maps were drawn and the areas under the curve (AUC) were calculated. The verification results of both models were evaluated as very well calss and showed that the index of entropy model (AUC=89%) performed slightly better than weight of evidence model (AUC=82%).

**Keywords:** Landslide, Susceptibility Zonation, Shannon's Entropy Index, weight of evidence model

1. Dept. of Soil Conservation and Watershed Management Res., Isf. Agric. and Natural Resour. Res. and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: K.Shirani@areeo.ir