

اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از تئوری احتمالاتی دمپستر شفر، مطالعه موردی: حوضه ونک سمیرم، استان اصفهان

علیرضا عرب‌عامری^۱ و کورش شیرانی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران و ^۲ استادیار، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹

چکیده

زمین‌لغزش‌ها از مهمترین رخداد‌های طبیعی هستند و اتخاذ استراتژی کاهش خسارات و حفظ منابع طبیعی و انسانی در این رابطه ضروری می‌باشد. اهداف این پژوهش، تشخیص عوامل موثر در زمین‌لغزش، پهنه‌بندی و ارزیابی رخداد این پدیده با استفاده از تئوری دمپستر شفر و تکنیک GIS می‌باشد. در این پژوهش، بر اساس تلفیق نقشه لغزش با نقشه‌های عوامل موثر مانند مقدار شیب، فاصله از جاده، تراکم آبراهه، ارتفاع، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل، جهت شیب و لیتولوژی تحلیل خطر انجام می‌گیرد. در نهایت احتمال رخداد زمین‌لغزش‌ها از خطر خیلی زیاد تا خطر خیلی کم طبقه‌بندی شد. از کل مساحت ۱۶۸۵۴۷ هکتاری منطقه، ۱۲/۶۸ درصد در رده خیلی زیاد، ۱۲/۷۸ درصد در رده زیاد، ۲۱/۲۴ درصد در رده متوسط، ۲۹/۳۳ درصد در رده کم و ۲۳/۹۶ درصد در رده خیلی کم قرار گرفته‌اند. مدل با استفاده از یک سوم نقاط لغزشی، نسبت فراوانی (FR)، شاخص SCAI و منحنی ROC مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت. نتایج نشان داد، نسبت فراوانی پیکسل‌ها (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) مبین صحت مناسب طبقه‌بندی در پنج طبقه خطر می‌باشد. همچنین، دقت نمودار ویژگی عملگر گیرنده (ROC) مدل دمپستر شفر با سطح زیر منحنی (AUC) ۷۳ درصد، نماینده همبستگی بالا بین نقشه خطر تهیه شده و نقشه پراکنش زمین‌لغزش و ارزیابی خوب مدل می‌باشد. نتایج این پژوهش به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای برای مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: احتمال، ارزیابی، پهنه‌بندی، رخداد، زمین‌لغزش

مقدمه

به پدیده‌ای خطرناک تبدیل شود (Fatemi Aghda و همکاران، ۲۰۰۵؛ Gorsevski و همکاران، ۲۰۰۶). زمین‌لغزش از پایین افتادن و یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها رخ می‌دهد. در ایالات متحده آمریکا سالانه به‌طور متوسط ۱/۵ میلیارد دلار، در ژاپن دو میلیارد دلار و

ناپایداری دامنه‌های طبیعی، یکی از پدیده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش به‌سزایی دارد و زمانی که فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، می‌تواند

کرد. به‌طور کلی، نتایج حاصله از پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از تئوری احتمالاتی بیزین می‌تواند در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان یک روش کارآمد و دقیق مورد استفاده قرار گیرد. یکی از مزایای استفاده از تئوری بیزین، امکان استفاده از داده‌های کمی و کیفی متغیر و نظرات کارشناسی در سامانه‌های پیچیده است که این امر به‌صورت بالقوه در مدیریت منابع طبیعی با ارزش می‌باشد، خصوصاً در شرایطی که دسترسی به داده‌های قابل اعتماد در منابع طبیعی محدود است (Sadodin و Shahabi، ۲۰۰۹). هدف از این پژوهش بررسی عوامل موثر، پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش دمپستر شفر (یکی از زیر شاخه‌های روش بیزین) می‌باشد.

در ایتالیا ۲/۶ میلیارد دلار برای این پدیده هزینه می‌شود (Blöchl و Braun، ۲۰۰۵). پیش‌بینی می‌شود که به‌علت ادامه فزاینده دست‌اندازی انسان در طبیعت و استفاده از نواحی کوهستانی و مستعد لغزش، رخداد زمین‌لغزش‌ها و ضررهای حاصل از آن‌ها ابعاد وسیع‌تر و گسترده‌تری پیدا نماید (Izadi، ۲۰۰۷). استراتژی مطالعه زمین‌لغزش شامل شناخت فرایند، تحلیل خطر و پیش‌بینی زمین‌لغزش با هدف کاهش خسارات ناشی از آن است (Lan و همکاران، ۲۰۰۴). تاکنون روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و برآورد شدت و ارزیابی این پدیده ارائه شده که به‌طور کلی در روش‌های کیفی، نیمه کمی و کمی دسته‌بندی می‌شوند (Ownegh، ۲۰۰۲؛ Lee و Choi، ۲۰۰۴). در خصوص سابقه روش دمپستر شفر که یکی از روش‌های بیزین می‌باشد، می‌توان به موارد زیر اشاره

جدول ۱- سوابق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل دمپستر شفر

ردیف	عوامل ورودی مدل	محقق	سال تحقیق
۱	شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی	Pourghasemi و همکاران	۲۰۰۷
۲	درجه شیب، شکل شیب، توپوگرافی، قطر درخت، لیتولوژی	Choi و Lee	۲۰۰۴
۳	درجه شیب، جهت شیب، آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از تراکم جاده	Mathew و Rawat	۲۰۰۷
۴	درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی	Bui و همکاران	۲۰۰۸
۵	از شیب، زمین‌شناسی، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب	Zhu و همکاران	۲۰۰۹

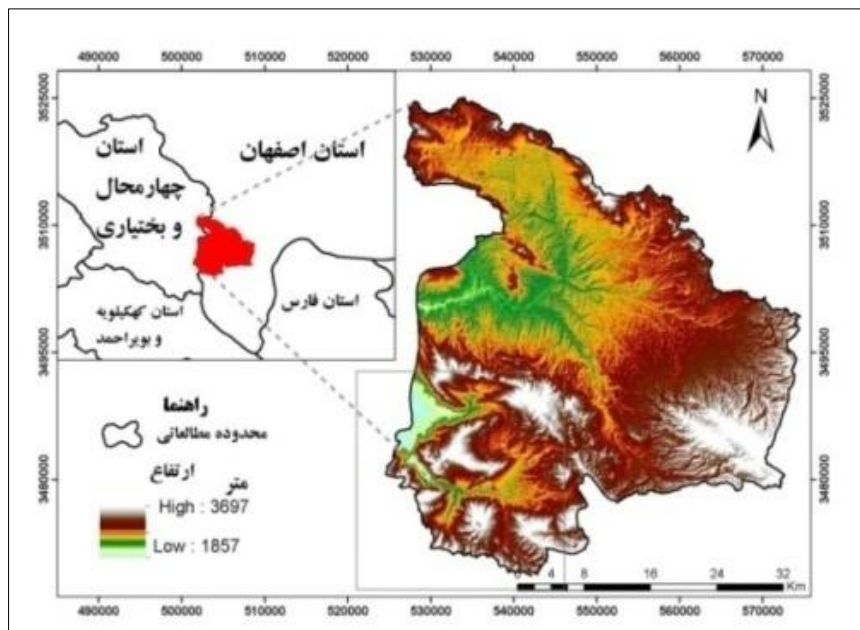
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز ونک در محدوده غربی شهرستان سمیرم از استان اصفهان واقع شده است. وسعت حوضه ۱۶۸۵۴۷ هکتار می‌باشد و در محدوده طول‌های جغرافیایی ۵۰° ۱۴' ۵۱" تا ۱۵° ۴۸' ۵۱" و عرض‌های جغرافیایی ۵۱° ۲۱' ۳۱" تا ۱۰° ۵۲' ۳۱" قرار دارد. این حوضه در زون ساختاری سندانج-سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد (شکل ۱). با توجه به نقشه زمین‌شناسی سازندهای رخنمون

یافته از قدیم به جدید شامل شیل، آهک و ماسه سنگ سازند سورمه در ژوراسیک، سازندهای فلهلیان، گدون، داریان، تاربور و واحدهای آهکی کرتاسه، تناوب مارن، آهک و دولومیت، ماسه سنگ و کنگلومرا مربوط به سازندهای کشکان، شهبازان، جهرم، پابده مربوط به دوران دوم و سازندهای آسماری، رازک، آغاچاری مربوط به دوران سوم و کنگلومرای بختیاری همراه با رسوبات آبرفتی قدیمی و جدید، مخروط افکنه‌ها، پهنه‌های رسی و سیلتی و ماسه‌ای و رسوبات بستر

دشت سر فرسایشی تقسیم شده است. بررسی گرادیان بارندگی مبین این است که بیشترین میزان بارش مربوط به جنوب غربی منطقه است که منحنی ۶۰۰ میلی متر از آن می گذرد. شرقی ترین مناطق حوضه کمترین میزان بارش را به میزان ۲۲۸ میلی متر دریافت می کند.

رودخانه متعلق به عهد حاضر می باشد. گسل های اصلی منطقه تحت تأثیر راندگی زاگرس می باشد. مهمترین گسل موجود در حوضه که در جنوب آن قرار دارد، گسل سمیرم می باشد. بر اساس نقشه ژئومورفولوژی، سیمای زمین ریخت شناسی منطقه شامل واحدهای کوهستان، دشت سر پوشیده، دشت سر انتهایی و



شکل ۱- موقعیت منطقه نسبت به استان های اصفهان و هم جوار

بندی استفاده شده، عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در منطقه شناسایی و نقشه های مربوطه در محیط نرم افزار ArcGIS, ILWIS رقومی شد. مجموعاً نه عامل شامل سنگ شناسی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده، نقشه هم بارش و تراکم شبکه زهکشی مورد استفاده و مطالعه قرار گرفته است.

۴- تهیه نقشه های عوامل موثر در وقوع زمین لغزش: با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه وضعیت زمین شناسی منطقه به خوبی بررسی، سپس با مطالعه و بررسی فتوژئولوژیکی عکس های هوایی مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور و بررسی های میدانی، اقدام به تهیه نقشه زمین شناسی شد. پس از تهیه نقشه واحدهای سنگ شناسی و خطوط راه ها، اقدام به رقومی نمودن آن ها شد و نقشه های لیتولوژی، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه از این طریق در محیط ArcGIS تهیه شد. به منظور تهیه

روش پژوهش: برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه سمیرم به ترتیب زیر اقدام شد.

۱- شناسایی مناطق لغزشی: برای تحلیل خطر احتمالی زمین لغزش، شناسایی صحیح مناطق لغزشی امری ضروری به حساب می آید. لذا با استفاده از عکس های هوایی موجود، نقاط لغزشی شناسایی و به منظور ارزیابی نتایج تفسیر عکس های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ باز دیدهای میدانی از منطقه مورد نظر صورت پذیرفت.

۲- تهیه نقشه های پایه: نقشه های پایه مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره ای ETM⁺

۳- شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش: بر اساس مقیاس، موقعیت منطقه مطالعاتی و روش پهنه-

Qal دارای بیشینه ضریب نفوذپذیری و واحد Ped دارای کمترین ضریب نفوذپذیری می‌باشد. لغزش‌های رخ داده در سازندهای مارنی و کواترنری در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. برای استخراج این لایه، از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شده است. این لایه پس از رقومی و طبقه‌بندی، در مدل مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲).

فاصله از گسل: همان‌طور که در شکل ۵ آمده است، تعداد ۳۱ گسل در منطقه مطالعاتی شناسایی شده که بیشتر دارای روند شمال غرب-جنوب شرق هستند که موازی با امتداد زاگرس مرتفع می‌باشد. وجود این دسته گسل‌های کمابیش موازی، باعث خردشدگی و درزه‌داری شدید سنگ‌های منطقه شده است. از جمله مهمترین گسل‌های منطقه گسل سمیرم است که در سمت غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارد و باعث به هم ریختگی منطقه از نظر زمین‌شناسی شده است. در بخش‌های مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه به دلیل پوشش رسوبات جوان کواترنری گسل‌های منطقه پنهان گشته و آثاری از گسل در سطح دیده نمی‌شود. گسل‌های حاصل به کمک نرم‌افزار تخصصی ER Mapper شناسایی شده‌اند. از جمله شواهد صحرایی موجود برای شناسایی گسل‌های مذکور می‌توان به جابه‌جایی آبراهه‌های منطقه اشاره کرد. پس از رقومی-سازی خطوط گسل‌ها از روی نقشه زمین‌شناسی، نقشه فاصله از گسل در محیط ArcGis تهیه شد (شکل ۲).

ارتفاع: برخی از محققان از ارتفاع به عنوان یک عامل کنترلی در وقوع زمین‌لغزش‌ها استفاده می‌کنند (Yilmaz و همکاران، ۲۰۱۰). تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شود. برای ترسیم نقشه ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه (۳۰ متر) استفاده شد و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS استخراج شد (شکل ۲). ارتفاعات بالا به دلیل این‌که تحت دستکاری انسان قرار نمی‌گیرد و از سازندهای سخت تشکیل شده است و ارتفاعات پایین به دلیل نبود شیب کافی برای وقوع زمین‌لغزش امتیازات کمی دریافت

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 برای استفاده از این اطلاعات در محیط نرم‌افزار^۱ ILWIS انجام گرفت. با استفاده از منحنی‌های میزان و نقاط ارتفاعی رقومی شده و روش درون‌یابی، اقدام به تهیه مدل ارتفاعی رقومی شد. پس از ایجاد مدل رقومی ارتفاعی، نقشه شیب و جهت شیب با دقت ۳۰×۳۰ مترمربع تهیه شد. با استفاده از آمار ۳۰ساله ایستگاه‌های واقع در محدوده مورد بررسی و روش میان‌یابی Kriging در محیط Surfer اقدام به تهیه منحنی‌های هم‌باران سالیانه در حوضه مورد مطالعه شد. نقشه کاربری اراضی منطقه نیز از طریق نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر سنجنده ETM⁺ که در محیط نرم‌افزار ENVI 4.5 تصحیح و تهیه شد.

۵- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق وزن-دهی (روابط ۷-۱۱) به نقشه‌های عوامل مؤثر با استفاده از روش دمپستر شفر تهیه می‌شود.

۶- دقت حدود آستانه طبقات نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به کمک نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI) بررسی می‌شود.

۷- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مساحت زیرمنحنی (AUC) ویژگی نسبی یا گیرنده (ROC) ارزیابی می‌شود.

پایگاه داده: شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، مهمترین مرحله پهنه‌بندی رویداد این خطر است. در ذیل به توضیح عوامل نه گانه مؤثر در زمین‌لغزش پرداخته شده است.

سنگ‌شناسی: در منطقه مطالعاتی، عوامل ساختاری نقش مؤثری در تکوین ژئومورفولوژیکی منطقه دارد. پدیده یخ‌زدن و ذوب مجدد و همچنین، پدیده کارستی شدن باعث هوازدگی واحدهای سنگی منطقه شده است. در حدود ۶۰ درصد از واحدهای سنگی حوضه دارای نفوذپذیری کم تا متوسط می‌باشد. واحد

^۱ Integrated Land and Water Information System

نقشه هم‌بارش: شدت تأثیر عامل بارش در ناپایداری دامنه‌ها به شرایط آب و هوایی، توپوگرافی منطقه، ساختارهای زمین‌شناسی دامنه‌ها، نفوذپذیری و سایر خواص توده‌های سنگی و خاکی بستگی دارد (Dai و Lee, ۲۰۰۲). نقشه هم‌بارش منطقه مورد مطالعه در پنج طبقه شامل ۲۸۰-۲۳۰، ۳۵۰-۲۸۰، ۴۴۰-۳۵۰، ۵۰۰-۴۴۰ و ۶۱۰-۵۰۰ میلی‌متر تهیه شده است (شکل ۲).

تراکم شبکه زهکشی: تراکم زهکشی نسبت طول کل آبراهه‌ها به مساحت حوزه آبخیز است. هر چه تراکم زهکش‌ها بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد (Yalcin, ۲۰۰۸). نقشه‌های تراکم شبکه زهکشی و فاصله از شبکه زهکشی در شکل ۲ نشان داده شده است.

نظریه دمپستر شفر^۱: نظریه شواهد در سال ۱۹۶۷ به‌وسیله دمپستر شفر با نظریه حدود بالا و پایین احتمال ارائه شد. دمپستر در واقع نوعی عدم قطعیت درباره اندازه احتمال پیشامدها را مدل‌سازی نمود (Dempster, ۱۹۶۷). پس از آن شفر در سال ۱۹۶۷ این نظریه را به‌عنوان نظریه شواهد به‌عنوان ساختاری برای نمایش اطلاعات ناکامل و استدلال تحت عدم قطعیت، به‌صورت معادله ارائه نمود (Shafer, ۱۹۷۶). پس از ارائه مدل دمپستر شفر بر اساس حدود بالا و پایین احتمال و به‌دنبال آن نظریه شواهد، مدل‌های مختلفی بر اساس توابع اعتماد ارائه شد، از جمله مدل Hints (Kohlas و Monnes, ۱۹۹۵) و Transferable Belief Model (Smets و Kennes, ۱۹۹۴)، که به‌منظور مدل‌سازی عدم قطعیت ارائه نمودند.

از جمله مطالعات صورت گرفته در خصوص روش دمپستر شفر می‌توان به Shafer (۱۹۷۶)، Schocken و Hummel (۱۹۹۳)، Smets و Kennes (۱۹۹۴) و Yager (۲۰۰۱) اشاره کرد. فرض کنید، متغیر تصادفی مورد نظر مقادیر خود را از فضای (W_1, W_2, \dots, W_n) که مجموعه مرجع خوانده می‌شود، اختیار می‌کند.

کردند و ارتفاعات متوسط ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بیشترین امتیاز را دریافت کرده‌اند.

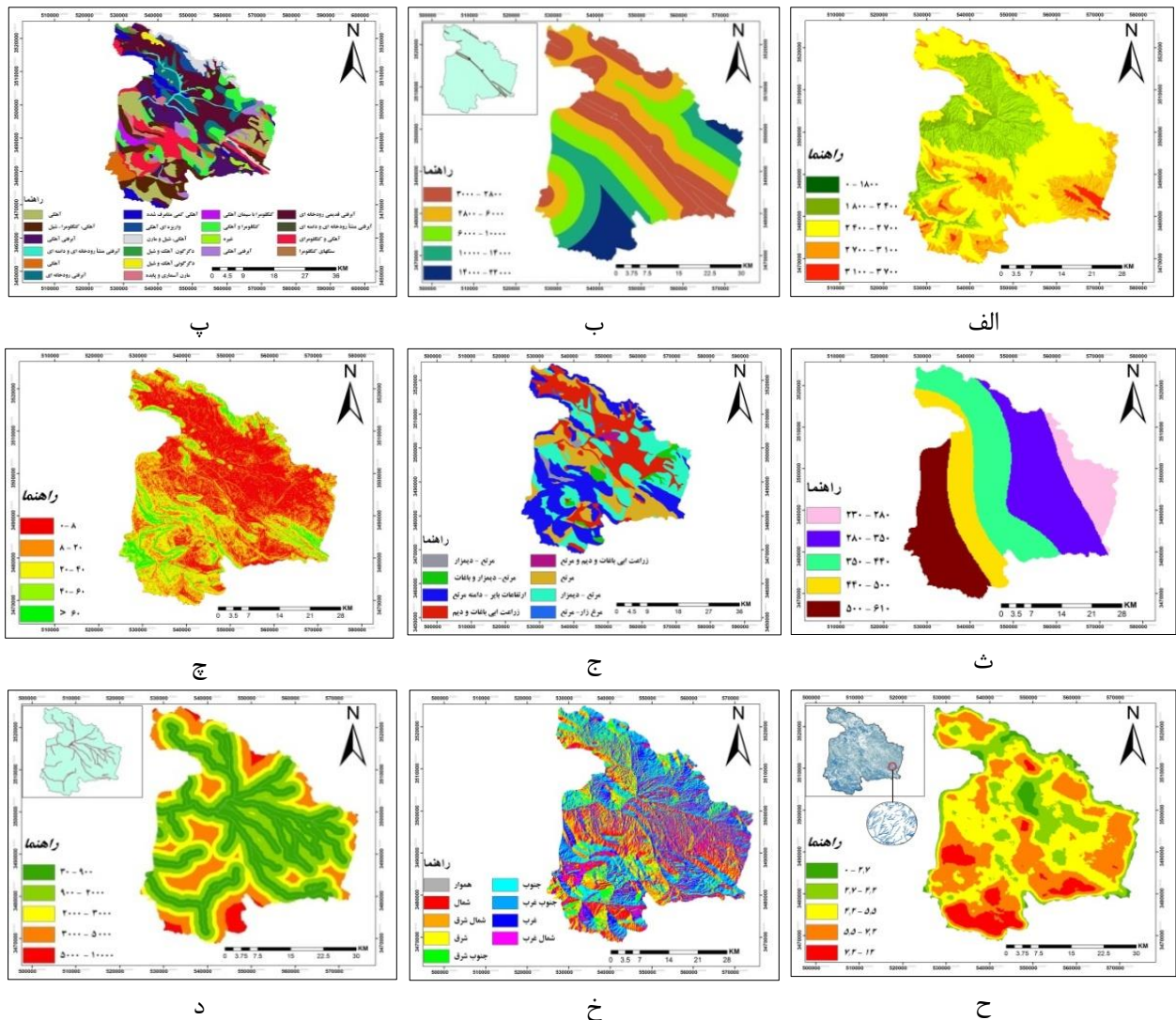
شیب: در یک دامنه یک شکل، با خواص مواد برابر، افزایش شیب دامنه، بیشترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده‌ای دارد (Dai و Lee, ۲۰۰۲). با افزایش زاویه شیب، سطح لغزشی کاهش یافته، تنش برشی در خاک‌های آبرفتی افزایش می‌یابد. بنابراین دامنه‌های با شیب ملایم‌تر کمتر در معرض زمین‌لغزش هستند (Dai و Lee, ۲۰۰۱). نقشه شیب منطقه مورد مطالعه در فرمت رستری تهیه و در مدل مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲).

جهت شیب دامنه: جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است (Komac, ۲۰۰۶). نقشه جهت شیب منطقه در نه گروه در محیط GIS تهیه شده است (شکل ۲). در منطقه مورد مطالعه جهت‌های شیب شمال و شمال غرب به‌علت بیشترین دریافت رطوبت بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند.

فاصله از جاده: نوع کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی همیشه نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات محیطی ایفا می‌کند. در بسیاری از موارد، مکان‌گزینی این کاربری‌ها به اندازه‌ای نامناسب بوده که باعث ایجاد نابسامانی‌ها و اختلال در بوم‌سازگان طبیعی می‌شود. یکی از این مکان‌گزینی‌ها، کاربری مواصلاتی است که کوچک‌ترین سهل‌انگاری در مطالعه و بررسی دورنمای آن، باعث به خطر افتادن جان انسان‌ها می‌شود (Yilmaz و همکاران, ۲۰۱۲). نقشه فاصله از جاده در سه طبقه تهیه شده است (شکل ۲).

نقشه کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی نحوه توزیع پوشش گیاهی، غیر گیاهی و همچنین، نوع پوشش گیاهی در نقاط مختلف را نشان می‌دهد (Chauhan و همکاران, ۲۰۱۰). نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در هشت طبقه شامل زراعت آبی، باغات و دیم، مراتع، ارتفاعات بایر و دامنه مراتع، مرتع و دیمزار، مرغزار و مرتع، مرتع، مرتع دیمزار و باغات و زراعت آبی، باغات، دیمزار و مرتع تهیه شده است (شکل ۲).

¹ Dempster-Shafer theory



شکل ۲- نقشه‌های عوامل موثر در زمین لغزش، الف- طبقات ارتفاعی، ب- فاصله از گسل، پ- زمین‌شناسی، ث- هم‌بارش، ج- کاربری اراضی، چ- شیب، ح- تراکم آبراهه، خ- جهت شیب و د-فاصله از جاده

زیر مجموعه‌های Ω که مقدار عددی بزرگ‌تر از صفر داشته باشند، اعضای کانونی ساختار هستند. بازه بین مقادیر اعتماد و مقبولیت برای یک پیشامد را بازه اعتماد آن و اختلاف این دو مقدار را عدم آگاهی برای آن پیشامد می‌نامند. هنگامی که چندین منبع اطلاعاتی در اختیار هست، برای تصمیم‌گیری باید این منابع اطلاعاتی با یکدیگر ترکیب شوند و تصمیم نهایی اتخاذ شود. قواعد ترکیب فراوانی برای ترکیب اطلاعات در قالب نظریه شواهد وجود دارد که هر یک برای شرایط خاص خود به کار می‌روند (Smets, ۲۰۰۴) (معادله ۴).

$$M1 \cap M2 (X) = \sum_{A \cap B = X} M1(A) \cdot M2(B), \forall X \subseteq \Omega \quad (4)$$

هر ساختار یا تابع از زیر مجموعه‌های Ω دارای بازه $[0, 1]$ می‌باشد که به صورت زیر می‌باشد (معادله ۱).

$$M = 2 \cdot \Omega \quad [0, 1] \quad (1)$$

$$M(\Phi) = 0, \sum_{A \subseteq \Omega} m(A) = 1$$

که در آن، 2Ω زیر مجموعه Ω می‌باشد. دو تابع اعتماد (Pls) و (Bel) مهمترین توابع در استدلال عدم قطعیت در TBM می‌باشند و به عنوان حد بالا و پایین میزان نزدیکی به متغیر تفسیر می‌شوند. این توابع با یکدیگر معادل بوده (معادلات ۲ و ۳) و هر کدام را می‌توان از روی دیگری به دست آورد (Smets, ۱۹۹۰).

$$Bel(X) = \sum_{A \subseteq X, A \neq \Phi} m(A), \forall X \subseteq \Omega \quad (2)$$

$$Pls(X) = 1 - bel(X) = \sum_{A \cap X \neq \Phi} m(A), \forall X \subseteq \Omega \quad (3)$$

هر دو شاخص که از نظر مقدار، رابطه عکس با هم دارند، برای ارزیابی دقت تفکیک طبقات مدل استفاده می‌شود (جدول ۱). به‌منظور اعتبارسنجی یا صحت مدل از منحنی ROC استفاده شد (Nefeslioglu و همکاران، ۲۰۰۸). منحنی ROC از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سامانه‌ها است که میزان دقت مدل را به-صورت کمی برآورد می‌کند (Swets 36 و همکاران، ۱۹۸۸). سطح زیر منحنی ROC که AUC یا Area Under Curve نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سامانه از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است.

نرخ پیش‌بینی (منحنی ROC) بیانگر ارزیابی مدل و متغیرهای پیش‌بینی کننده که زمین‌لغزش را پیش‌بینی می‌کند، می‌باشد (Bui و همکاران، ۲۰۱۲). منحنی ROC نشان داد که حساسیت^۳ مدل از منحنی ROC (درصد سلول‌ها یا واحدهای ناپایدار که به-درستی با استفاده از مدل پیش‌بینی شده‌اند) در مقابل 1-specificity (درصد سلول‌های ناپایدار پیش‌بینی شده نسبت به کل) ترسیم می‌شود. این مقادیر توانایی مدل را نسبت به تمایز درست بین مشاهدات مثبت و منفی در نمونه اعتبارسنجی بیان می‌کند. حساسیت بالا بیانگر تعداد بالای پیش‌بینی‌های درست (مثبت‌های حقیقی) می‌باشد، در حالی که ویژگی بالا (اختلاف 1-specificity پایین) مبین عدد کم مثبت‌های کاذب می‌باشد. برای مثال یک مدل محافظه کارانه که بیشتر سلول‌ها به‌صورت ناپایدار پیش‌بینی می‌شوند، حساسیت بالا و ویژگی پایین (عدد بالای مثبت‌های منفی) خواهد داشت.

نتایج و بحث

اجرای مدل دمپستر شفر: در تحلیل حساسیت زمین‌لغزش بر مبنای تئوری دمپستر شفر، T_p به مفهوم گزاره هدف و مبین پیکسل‌ها یا سلول‌های متأثر از زمین‌لغزش‌های محتمل می‌باشد. \bar{T}_p به مفهوم متضاد گزاره هدف مبین پیکسل‌ها یا سلول‌هایی است

قاعده ترکیب دمپستر نرمالیزه کردن قاعده ترکیب عطفی می‌باشد. نرمالیزه کردن یعنی مقدار دادن $M = 0$ (Φ) که طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید (Denoeux, ۲۰۰۰) (معادله ۵).

$$Mn(A) = \frac{m(A)}{1-M(\Phi)}, \forall A \subseteq \Omega, A \neq \Phi \quad (5)$$

$$0, \text{ if } A = \Phi$$

یک روش برای حل تضاد بین منابع اطلاعاتی این است که به هنگام ترکیب، ساختارهایی که دارای اطمینان کمتری هستند، کمتر در ترکیب اطلاعات تاثیر داده شود، این کار به کمک عملگر تخفیف روی منبع اطلاعاتی S اعمال می‌شود (معادله ۶).

$$(MS)a(X) = \begin{cases} a.ms(X) & \text{if } X \neq \Omega \\ a.ms(\Omega) + (1-a) & \text{if } X = \Omega \end{cases} \quad (6)$$

که در آن، a ضریب قابلیت اطمینان می‌باشد.

ارزیابی و اعتبارسنجی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش: به‌منظور ارزیابی صحت مدل آماری دمپستر شفر با استفاده از منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) صحت روش و با استفاده از نسبت فراوانی^۱ و شاخص سطح سلول هسته^۲ (Suzen و Doyuran, ۲۰۰۴) دقت تفکیک بین طبقات در مدل دمپستر شفر مورد بررسی و تایید قرار گرفت. با توجه به این‌که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند (Komac 18, ۲۰۰۶)، از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (Constantin و همکاران، ۲۰۱۰).

نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI دو شاخصی هستند که دقت طبقه‌بندی مدل را می‌توانند تعیین کنند (Kayastha و همکاران، ۲۰۰۹). در حقیقت نسبت فراوانی (FR) نسبت مساحت سطح لغزشی در هر طبقه به مساحت سطح آن طبقه می‌باشد و شاخص SCAI نسبت درصد مساحت هر یک از طبقات پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر طبقه است (Yilmaz و همکاران، ۲۰۱۲؛ Suzen و Doyuran, ۲۰۰۴).

¹ Frequency Ratio (FR)

² Seed Cell Area Index (SCAI)

³ Sensitivity

$$\lambda(\bar{T}_P)E_{ij} = \frac{\frac{N(L)-N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(A)-N(L)-N(E_{ij})+N(L \cap E_{ij})}{N(A)-N(L)}} \quad (8)$$

صورت کسر مبین نسبت زمین لغزش‌هایی است که در طبقه معین E_{ij} اتفاق نیفتاده است. مخرج کسر، نماینده نسبت مناطق فاقد لغزش در خارج طبقات دیگر E_{ij} می‌باشد. وزن منفی در مدل وزن شاهد به-وسیله لگاریتم طبیعی نسبت احتمال در رابطه (۸) حاصل می‌شود. به‌طور کلی مقدار دامنه نسبت احتمال از صفر تا بی‌نهایت متغیر است. بنابراین گام استانداردسازی به توابع جرم از دو تابع نسبت احتمال نیازمند است. نسبت‌های احتمال بر مجموع مقادیر نسبت احتمال ویژگی‌های تمام رده‌ها در شاهد معین E_i تقسیم می‌شود، که نه فقط شرایط استانداردسازی در رابطه (۱) را برآورده می‌سازد، بلکه معیاری برای اهمیت نسبی مقادیر ویژگی رده‌ها می‌باشد.

$$m(T_P)E_{ij} = \frac{\lambda(T_P)E_{ij}}{\sum \lambda(T_P)E_{ij}} \quad (9)$$

$$m(\bar{T}_P)E_{ij} = \frac{\lambda(\bar{T}_P)E_{ij}}{\sum \lambda(\bar{T}_P)E_{ij}} \quad (10)$$

$$m(\theta) = 1 - m(T_P)E_{ij} - m(\bar{T}_P)E_{ij} \quad (11)$$

با توجه به چهارچوب تشخیص تحلیل‌های حساسیت زمین لغزش در روابط (۲) و (۳)، تابع باور $m(T_P)E_{ij}$ برای پشتیبانی گزاره هدف مثبت $\lambda(T_P)E_{ij}$ به‌طور مستقیم از تابع جرم بازیابی می‌شود. تابع ناباوری $m(\bar{T}_P)E_{ij}$ برای پشتیبانی گزاره هدف مخالف $\lambda(\bar{T}_P)E_{ij}$ از تابع جرم بازیابی می‌شود. همچنین، تابع مقبولیت $m(\theta)$ حاصل تفاضل توابع باور و ناباوری از مقدار یک، به‌وسیله رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. به‌طور کلی برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش دمپستر شفر از روابط (۷-۱۱) استفاده شد.

در محیط GIS بر اساس روابط فوق تمامی رده‌های هر عامل وزندهی و نقشه وزنی هر عامل به‌دست می‌آید. در مرحله بعد نقشه‌های وزنی با هم دیگر جمع جبری شده، نقشه نهایی حاصل می‌شود. در این نقشه وزن هر پیکسل از مجموع وزن‌های به‌دست آمده برای هر عامل محاسبه می‌شود. طبقه-هایی که وزن کمتری دارند، در این مدل دارای حساسیت بیشتری نسبت به لغزش می‌باشند. نقشه خطر حاصل از مدل بر اساس نقاط شکست منحنی

که تحت تاثیر زمین‌لغزش‌های محتمل نمی‌باشند. همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، بخش اصلی کاربرد تئوری دمپستر شفر در تحلیل حساسیت زمین‌لغزش تبیین توابع جرم^۱ است که در روابط کمی بین رخدادهای لغزشی گذشته و لایه‌های ورودی متشکل از داده‌های مکانی موثر به‌کار می‌رود. در این پژوهش توابع جرم از توابع نسبت احتمال مشتق شده‌اند.

به‌منظور معرفی مفهوم اصلی توابع نسبت احتمال، مثالی از تحلیل حساسیت زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود. هدف اصلی تحلیل، تفکیک نواحی ناپایدار متاثر از لغزش‌های آتی و نواحی پایدار بدون تاثیر از لغزش‌های آتی می‌باشد. وقتی دو تابع توزیع فراوانی مناطق پرخطر و بی‌خطر مقایسه می‌شود، نسبت دو تابع می‌تواند تمایز را برجسته نماید. فرض کنید، لایه‌های داده‌های مکانی چندگانه L در یک منطقه که حساسیت زمین‌لغزش آن مورد مطالعه می‌باشد، موجود است. هر لایه داده مکانی به‌عنوان شاهد $E_i (i=1,2,\dots,L)$ برای گزاره هدف T_P در نظر گرفته شده است. داده معلوم E_{ij} ، که ویژگی رده λ شاهد E_i و توابع توزیع فراوانی گزاره‌های مثبت و مخالف می‌باشند، نسبت احتمال $\lambda(\bar{T}_P)E_{ij}$ گزاره هدف مثبت را پشتیبانی می‌کند و در قالب رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$\lambda(T_P)E_{ij} = \frac{\frac{N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(E_{ij})-N(L \cap E_{ij})}{N(A)-N(L)}} \quad (7)$$

که در آن، $N(L \cap E_{ij})$ تعداد پیکسل‌های لغزشی واقع در هر رده E_{ij} است، $N(L)$ تعداد کل پیکسل‌های لغزشی رخ داده در منطقه مورد مطالعه است، $N(E_{ij})$ تعداد پیکسل‌ها در هر رده E_{ij} و $N(A)$ تعداد کل پیکسل‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. صورت و مخرج کسر رابطه (۷) به‌ترتیب نسبت لغزش‌های رخ داده و نسبت مناطق غیرلغزشی در طبقه معین E_{ij} می‌باشند. در مدل وزن شاهد، وزن مثبت، معمولاً با لگاریتم طبیعی نسبت احتمال در رابطه (۷) تعریف می‌شود. همچنین، نسبت احتمال برای پشتیبانی گزاره هدف مخالف در قالب رابطه (۸) تعریف می‌شود.

¹ Mass Functions

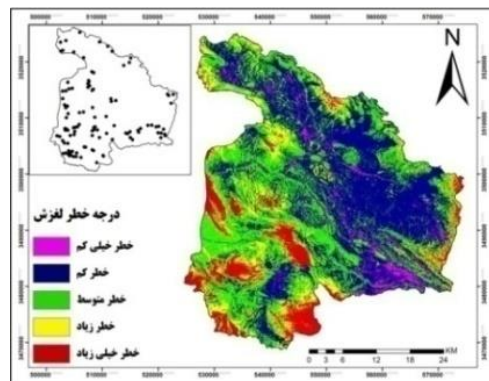


شکل ۴- زمین لغزش های چرخشی در رسوبات کواترنری



شکل ۵- زمین لغزش های سطحی در واحدهای مارنی

تجمعی به پنج طبقه بسیار کم خطر، کم خطر، متوسط، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد تقسیم شد (شکل ۳). اطلاعات مربوط به هر یک از طبقه ها و زیر طبقه های آن ها در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۳- نقشه نهایی پهنه بندی بر اساس تئوری دمپستر شفر

جدول ۲- ویژگی های هر یک از زیر طبقه ها

عامل موثر	طبقات	پیکسل های هر رده	پیکسل های لغزشی لغزشی	تابع باور $m(Tp)E_{ij}$	تابع ناباوری	تابع مطلوبیت
طبقات ارتفاعی (متر)	<2500	506893	20	0.097	0.223	0.680
	2800	899824	54	0.147	0.194	0.659
	3000	312382	19	0.149	0.198	0.653
	3300	133730	13	0.238	0.189	0.573
	>3300	19875	3	0.370	0.196	0.434
جهت شیب	شمال	181259	16	0.183	0.118	0.699
	شمال شرق	241475	14	0.120	0.125	0.755
	شرق	224670	13	0.120	0.125	0.755
	جنوب شرق	249101	11	0.092	0.130	0.779
	جنوب	277886	11	0.082	0.132	0.786
	جنوب غرب	279052	13	0.097	0.129	0.774
	غرب	168704	12	0.148	0.122	0.730
شمال غرب	250557	19	0.158	0.119	0.723	
شیب (درصد)	0-5	485100	11	0.068	0.160	0.772
	5-15	450403	12	0.080	0.155	0.766
	15-30	379185	19	0.150	0.137	0.714
	30-45	246399	24	0.291	0.119	0.590
	>45	311617	43	0.412	0.429	0.159
فاصله از جاده (متر)	<500	63068	9	0.476	0.135	0.389
	500-2500	661863	62	0.312	0.190	0.498
	2500-5000	651824	27	0.138	0.328	0.534
	5000-7500	495949	11	0.074	0.348	0.578
تراکم زهکشی	<2/7	58508	2	0.116	0.203	0.681
	4/2	318899	4	0.042	0.233	0.725
	5/5	725945	44	0.205	0.198	0.597
	7/2	609826	42	0.233	0.185	0.582
	>7/2	159626	19	0.403	0.182	0.415
فاصله از گسل (متر)	<3500	161585	18	0.344	0.182	0.474
	3500-5000	623895	38	0.188	0.195	0.617
	5000-10000	483963	28	0.179	0.200	0.622
	10000-15000	125051	7	0.173	0.200	0.627
	>15000	478210	18	0.116	0.223	0.660

ادامه جدول ۲- ویژگی‌های هر یک از زیر طبقه‌ها

عامل موثر	طبقات	پیکسل‌های هر رده	پیکسل‌های لغزشی لغزشی	تابع باور $m(T_p)_{E_{ij}}$	تابع ناباوری $m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	تابع مطلوبیت $m(\theta)$
	کنگلوئرا	۶۵۹۳	۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۳	۰/۹۳۷
	کنگلوئرا و سنگ آهک	۱۵۷۹۳۱	۴	۰/۰۲۷	۰/۰۶۶	۰/۹۰۷
	کنگلوئرا با سیمان آهکی	۲۴۱۴۵	۱	۰/۰۴۵	۰/۰۶۳	۰/۸۹۳
	واریزه‌های آهکی	۴۴۵۰۶	۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۴	۰/۹۳۶
	سنگ آهک	۳۱۳۰۴۶	۳۱	۰/۱۰۷	۰/۰۵۴	۰/۸۴۰
	آبرفتی آهکی	۲۱۷۶۷۸	۳	۰/۰۱۵	۰/۰۶۹	۰/۹۱۶
	آهکی و کنگلوئرا	۱۷۵۰۴۴	۱۶	۰/۰۹۹	۰/۰۵۹	۰/۸۴۳
	آهکی کمی متامرف شده	۳۰۶۸۲	۱	۰/۰۳۵	۰/۰۶۳	۰/۹۰۲
لیتولوژی	سنگ آهک، کنگلوئرا و شیل	۱۶۰۴۰۲	۲۴	۰/۱۶۱	۰/۰۵۳	۰/۷۸۵
	سنگ آهک، شیل و مارن	۲۳۶۲۹	۴	۰/۱۸۲	۰/۰۶۱	۰/۷۵۷
	کنگلوئرای متامرف	۷۷۴۲۶	۸	۰/۱۱۱	۰/۰۶۰	۰/۸۲۸
	آهک آسماری و پابنده	۴۴۶۲۰	۸	۰/۱۹۳	۰/۰۵۹	۰/۷۴۷
	آهک دگرگونی و شیل	۰	۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۳	۰/۹۳۷
	آبرفت‌های منشا دامنه‌ای	۳۹۸۴۱۳	۹	۰/۰۲۴	۰/۰۷۳	۰/۹۰۳
	آبرفت‌های رودخانه‌ای	۱۲۳۳۲۵	۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۷	۰/۹۳۳
	آبرفت‌های منشا رودخانه‌ای و دامنه‌ای	۰	۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۴	۰/۹۳۶
	زراعت آبی، باغات و دیم	۴۲۲۵۸۸	۹	۰/۰۵۳	۰/۱۴۹	۰/۷۹۹
	مراتع	۳۴۶۸۷۳	۱۷	۰/۱۲۱	۰/۱۳۰	۰/۷۴۹
	ارتفاعات بایر، دامنه مراتع	۵۵۴۱۶۴	۶۳	۰/۲۸۱	۰/۰۷۵	۰/۶۴۴
	مرتع، دیمزار	۴۴۷۸۶۳	۱۵	۰/۰۸۳	۰/۱۴۲	۰/۷۷۵
کاربری اراضی	مرغزار، مرتع	۸۵۸۴	۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۶	۰/۸۷۴
	مرتع، دیمزار	۲۳۵۹۸	۴	۰/۴۱۸	۰/۱۲۳	۰/۴۵۹
	مرتع، دیمزار و باغات	۵۴۷۹۴	۱	۰/۰۴۵	۰/۱۲۸	۰/۸۲۷
	زراعت آبی، باغات، دیمزار و مرتع	۰/۱۴۲۴۰	۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۷	۰/۸۷۳
	<۳۰۰	۳۴۲۴۳۰	۱۴	۰/۱۳۷	۰/۲۱۳	۰/۶۵۰
	۳۰۰-۳۷۰	۴۹۱۵۹۴	۱۹	۰/۱۳۰	۰/۲۲۴	۰/۶۴۷
بارندگی ب	۳۷۰-۴۴۰	۳۷۳۳۴۹	۱۱	۰/۰۹۹	۰/۲۲۴	۰/۶۷۷
(میلی‌متر)	۴۴۰-۵۰۰	۲۸۵۷۴۲	۲۰	۰/۲۳۵	۰/۱۹۲	۰/۵۷۲
	>۵۰۰	۳۷۹۵۸۹	۴۵	۰/۳۹۸	۰/۱۴۷	۰/۴۵۵

ارزیابی دقت و اعتبارسنجی مدل دمپستر شفر

در منطقه مورد مطالعه: نتایج ارزیابی دقت طبقه-بندی بر مبنای مدل دمپستر شفر با استفاده از شاخص SCAI در جدول ۳ و شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش حساسیت خطر از خیلی کم به خیلی زیاد مقادیر نسبت فراوانی (FR) تقریباً روند صعودی داشته، اما شاخص SCAI روند نزولی قابل توجه را نشان می‌دهد و نشان‌دهنده همبستگی بالای رده‌های خطر لغزش با

مناطق لغزشی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه مورد مطالعه است. بنابراین از این حیث ترتیب تفکیک‌پذیری بین طبقات، مناسب ارزیابی شد. در جدول ۴، مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن نشان داده شده است. شکل ۱۵ نشان‌دهنده ارزیابی خیلی خوب مدل دمپستر شفر برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است.

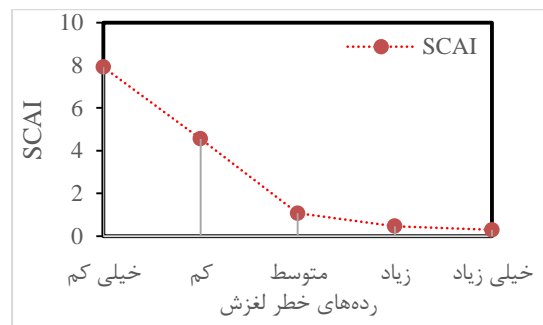
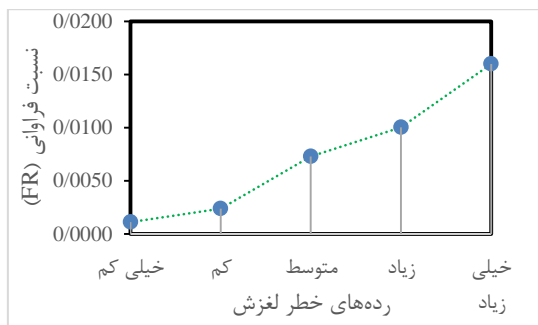
نتایج پژوهش بیانگر این است که عامل نزدیکی به جاده مهمترین نقش را در شکست شیب‌های حوضه

Greco و همکاران (۲۰۰۷) به نقش موثر جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش‌های مناطق مورد مطالعه خود تاکید کرده‌اند. باتوجه به جدول ۱، وزن طبقه شمالی کمترین وزن در بین دیگر طبقات جهت شیب است. لذا حساس‌ترین طبقه در مقایسه با دیگر طبقات، عامل جهت شیب نسبت به لغزش می‌باشد.

مورد مطالعه داشته است. Ymagishi و Ayalew (۲۰۰۵) نیز در منطقه پاهیکوی ژاپن نزدیکی به جاده را به‌عنوان اولین و مهمترین عامل وقوع زمین‌لغزش در این منطقه معرفی کردند و عنوان کردند، بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۰-۱۰۰ متری از جاده متمرکز شده‌اند. همچنین، Lee و Sambath (۲۰۰۶) و

جدول ۳- نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI پهنه بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به روش آماری دمپستر شفر

شماره	رده‌های خطر لغزش	تعداد سلول لغزشی	درصد تعداد سلول در هر رده خطر	تعداد سلول	درصد نسبت فراوانی (FR)	درصد Seed	SCAI
۱	خیلی کم	۵	۲۳/۹۶	۴۴۸۲۴۷	۰/۰۰۱	۳/۰۳	۷/۹۱
۲	کم	۱۳	۲۹/۳۳	۵۴۸۶۴۹	۰/۰۰۲	۶/۴۳	۴/۵۶
۳	متوسط	۲۹	۲۱/۲۴	۳۹۷۳۱۶	۰/۰۰۷	۱۹/۸۱	۱/۰۷
۴	زیاد	۲۴	۱۲/۷۸	۲۳۹۰۴۵	۰/۰۱۰	۲۷/۲۵	۰/۴۷
۵	خیلی زیاد	۳۸	۱۲/۶۸	۲۳۷۲۵۹	۰/۰۱۶	۴۳/۴۸	۰/۲۹

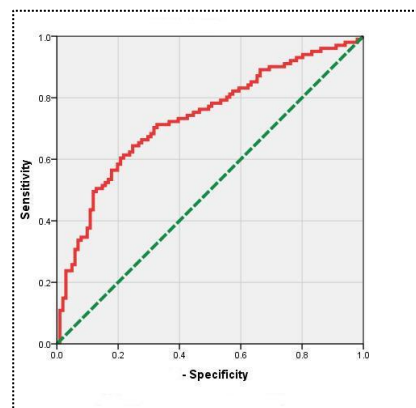


شکل ۶- نسبت فراوانی (FR) (خط سبز) و شاخص SCAI (خط قرمز)

جدول ۴- مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن

Asymptotic 95% Confidence Interval		Asymptotic Sig. ^b	Std. Error ^a	Area
Upper Bound	Lower Bound			
۰/۸۰۳	۰/۶۶۴	۰/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۷۳۳

جهت شیب‌های شمالی به‌عنوان دومین عامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های این منطقه معرفی شده‌اند که بیانگر نقش موثر جهت شیب‌های شمال غربی و شمالی در ایجاد زمین‌لغزش به‌علت وجود بارندگی و رطوبت بیشتر در این دامنه‌ها و انتقال رطوبت بین سازندها به‌عنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک است. Can و همکاران (۲۰۰۵) ضمن تحلیل حساسیت خطر جریان‌های خاکی کم عمق در سه حوضه آگوسترا، اگرسی و کلمن جریان-های شمال غربی را موثرترین جهت در وقوع



شکل ۷- منحنی نرخ پیش‌بینی (ROC) مدل دمپستر شفر

۰/۴۵۵، ۰/۴۵۹، ۰/۴۷۴، ۰/۶۹۹ و ۰/۷۴۷) را به خود اختصاص داده‌اند و بنابراین بیشترین حساسیت را در برابر زمین‌لغزش در منطقه مورد بررسی دارا می‌باشند (جدول ۱). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Shirani و همکاران (۲۰۱۳) و Pourghasemi و همکاران (۲۰۰۷) در ارتباط با اولویت حساسیت این عوامل مطابقت دارد. در نهایت منطقه مورد مطالعه از لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش به پنج رده خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد.

از کل مساحت منطقه (۱۶۸۵۴۷ هکتار)، ۱۲/۶۸ درصد از مساحت (۲۱۳۵۳/۳۱ هکتار) در رده خیلی زیاد، ۱۲/۷۸ درصد از مساحت (۲۱۵۱۴/۰۵ هکتار) در رده زیاد، ۲۱/۲۴ درصد از مساحت (۳۵۷۵۸/۴۴ هکتار) در رده متوسط، ۲۹/۳۳ درصد از مساحت (۴۹۳۷۸/۴۱ هکتار) در رده کم و ۲۳/۹۶ درصد از مساحت (۴۰۳۴۲/۲۳ هکتار) در رده خیلی کم قرار گرفته‌اند. در مجموع نواحی کوهستانی جنوبی استان اصفهان با توجه به بارندگی نسبتاً زیاد، سازندهای حساس، تغییرات کاربری زیاد و دخالت‌های انسانی زیاد مستعد وقوع لغزش‌های زیادی می‌باشد. توجه به نقشه پهنه‌بندی تهیه شده می‌تواند دست‌اندرکاران و مدیران را در تصمیم‌گیری، ساخت و سازهای آینده و هرگونه دخالت در سامانه طبیعی کمک نماید. همچنین، بر اساس ارزیابی نتایج این پژوهش، تئوری دمپستر شفر به‌عنوان مدلی مناسب و کارآمد برای پهنه‌بندی خطر لغزش منطقه بوده و در مناطقی که شرایط نسبتاً مشابهی دارند، پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

اطلاعات رقومی مکانی مورد نیاز این پژوهش مربوط به "مطالعات مکان‌یابی و توسعه باغداری دقیق و تفصیلی در واحدهای هیدرولوژیکی مهرگرد، امام قیس و ونک در شهرستان سمیرم" است که به‌وسیله بخش تحقیقات آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان برای سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان اجرا و تامین شده است. نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از ادارات و سازمان‌های ذیربط به‌خاطر همکاری بی‌شائبه آن‌ها اعلام می‌نمایند.

جریان‌های خاکی در این سه حوضه معرفی کرده‌اند. سازندهای حساس آسماری و پایده با سنگ‌شناسی مارن و شیل حساس‌ترین عامل در بروز زمین-لغزش‌های منطقه معرفی شده‌اند. سازند معرفی شده به‌دلیل داشتن ذرات ریز دانه رس و مارن، پس از جذب رطوبت به دلیل قرار گرفتن در محدوده روانی، در نتیجه ثقل مستعد لغزش شده و در روی دامنه به حرکت در می‌آیند. Can و همکاران (۲۰۰۵)، Chau و Chan (۲۰۰۵)، Greco و همکاران (۲۰۰۷) و Nefeslioglu و همکاران (۲۰۰۸) نیز به نقش موثر واحدهای سنگ‌شناسی بر روی حرکات توده‌ای در پژوهش‌های خود تاکید نموده‌اند.

نزدیکی به شبکه زهکشی، کاربری اراضی، میزان بارندگی، طبقات ارتفاعی، فاصله از گسل و نیز عامل درجه شیب از دیگر عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه معرفی شده‌اند، مقادیر وزنی طبقات مربوط به عوامل نزدیکی به شبکه زهکشی و فاصله از گسل در جدول ۱، به‌وسیله مقادیر وزنی کم نشان‌گر حساسیت بالای فواصل مکانی نزدیک این عوامل نسبت به لغزش می‌باشد. همچنین، مرتع تنک و اراضی دیم، بارندگی بیشتر از ۵۰۰ میلی‌متر، ارتفاع بالاتر از ۳۳۰۰ متر و نیز عامل شیب‌های تند مطابق جدول ۱، کمترین وزن در بین طبقات عوامل مربوطه و نتیجتاً بیشترین حساسیت را دارا می‌باشند. Lee و Sambath (۲۰۰۶) و Ohlamcher و Davis (۲۰۰۳) به نتایج مشابهی مبنی به نقش این عوامل در وقوع زمین‌لغزش اشاره کرده‌اند. با توجه به مقادیر وزنی در رابطه با نقش موثر هر یک از زیرطبقه‌های عوامل نه-گانه و ترتیب الویت و اهمیت آن‌ها در وقوع زمین‌لغزش در مجموع باید بیان نمود که از تلفیق نقشه لغزش با طبقات هر یک از عوامل بر اساس اجرای روابط مربوط به مدل دمپستر شفر در محیط GIS، طبقه درصد شیب بیش از ۴۵، فاصله ۵۰۰ متری از جاده، تراکم آبراهه ۷/۲ در هر ۱۰۰ متر، مناطق با ارتفاع بیش از ۳۳۰۰ متر، بارندگی بیشتر از ۵۰۰ میلی‌متر، مراتع و دیمزارها، فاصله کمتر از ۳۵۰۰ متر از گسل، جهت شیب شمالی و واحدهای سنگی مارنی مربوط به سازندهای آسماری و پایده به‌ترتیب کمترین وزن‌ها (۰/۱۵۹، ۰/۳۸۹، ۰/۴۱۵، ۰/۴۳۴،

منابع مورد استفاده

1. Ayalew, L. and H. Ymagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65: 15-31.
2. Bui, H.B., Q. Nguyen and V.T. Nguyen. 2008. GIS-based weight of evidence modeling for landslide susceptibility mapping at Jaechon area, Korea. *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*, 4 pages.
3. Blöchl, A. and B. Braun. 2005. Economic assessment of landslide risks in the Swabian Alb, Germany –research framework and first results of homeowners and experts surveys. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 389-396.
4. 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.
5. Can, T., H.A. Nefeslioglu, C. Gokceoglu, H. Sonmez and Y. Duman. 2005. Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis. *Geomorphology*, 82: 250-271.
6. Chau, K.T. and J.E. Chan. 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island. *Landslides*, 12: 280-290.
7. Chauhan, S., M. Sharma, M.K. Arora and N.K. Gupta. 2010. Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network. *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 12: 340-350.
8. Constantin, M., M. Bednarik, M.C. Jurchescu and M. Vlaicu. 2010. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-010-0724-y: 10.
9. Dai, F.C. and C.F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slop instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 31:181-216.
10. Dai, F.C. and C.F. Lee. 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. *Canadian Geotechnical Journal*, 38: 911–923.
11. Dempster, A.P. 1967. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. *Annals of Mathematical Statistics*, 38: 325–339.
12. Denoeux, T. 2000. A neural network classifier based on Dempster–Shafer theory. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics. System and Humans*, 30(2): 131–150.
13. Fatemi Aghda, S.M., J. Ghayoumian, M. Teshnehlab and A. Ashghali Farahani. 2005. Assessment of landslide hazard by using fuzzy logic (case study: Rudbar area). *Journal of Science*, 1: 43-64.
14. Greco, R., M. Sorriso-Valvo and E. Catalano. 2007. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility, case study: Calabria, Italy. *Engineering Geology*, 89: 47-66.
15. Gorsevski, P.V., P.E. Gessler, J. Boll, W.J. Elliot and R.B. Foltz. 2006. Spatially and temporally distributed of landslide susceptibility. *Geomorphology*, 80: 178- 198.
16. Izadi, Z. 2007. Risk zonation of landslide occurrence using statistical methods (case study: Fereydonshahr Basin). AM. Thesis, university of Isfahan, 125 pages (in Persian).
17. Kayastha, P., M.R. Dhital and F.D. Smedt. 2012. Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau Watershed, Nepal. *Nat Hazards*, 63: 479-498.
18. Kohlas, J. and P.A. Monney. 1995. A mathematical theory of Hints. An approach to the Dempster-Shafer theory of evidence. Springer-Verlag, Berlin.
19. 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.
20. Lan, H.X., C.H. Zhou, L.J. Wang and H.J. Zhang. 2004. Landslide watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology*, 76: 101-128.
21. Lee, S. and J. Choi. 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight of evidence model. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(8): 789- 814.
22. Lee, S. and T. Sambath. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area. Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50: 847-855.
23. 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 Science*, 92(5): 628-638.
24. 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.
25. Ohlamcher, G.C. and J.C. Davis. 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69: 331-343.
26. Ownegh, M. 2002. Landslide hazard and risk assessment in the southern Sunbirds of Newcastle. Sabbatical research. University of Newcastle, Australia, 2: 85.

27. Pourghasemi, H.R., S.M. Fatemi aghda and M. Mohammadi. 2007. Introduction of fuzzy methods and its application in Risk zonation of landslide. Collection of articles in natural resources and sustainable development in southern of Caspian Sea, 800-850 (in Persian).
28. Shafer, G. 1990. Perspectives on the theory and practice of belief functions. *International Journal of Approximate Reasoning*, 3: 1-40.
29. Shahabi, M.A. and S. Sadodin. 2009. Bayesian decision network for forecasting of effects of management works on wheat lands in Golestan Province. Ghorgan, Iran (in Persian).
30. Shafer, G. 1976. *A mathematical theory of evidence*. Princeton University Press, 254 pages.
31. Shirani, K., A. Safe and A. Nasr. 2013. Analysis of effective factors of massive movement basis on risk zonation of landslide. *Earth Science Journal*, 89: 3-10 (in Persian).
32. Smets, P.H. and R. Kennes. 1994. The transferable belief model. *Artificial Intelligence*, 66: 191-243.
33. Smets, P.H. 2004. Analyzing the combination of conflicting belief functions. *Artificial Intelligence*, 170(2006): 909-924.
34. Smets P.H. 1990. The combination of evidence in the transferable Belief Model. *Artificial Intelligence*, 170(11): 909-924.
35. Suzen, M.L. and V. Doyuran. 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu Catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71: 303-352.
36. Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240: 1285-1293.
37. Schocken, S. and R.A. Hummel. 1993. On the use of the Dempster-Shafer model in information indexing and retrieval applications. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39(5): 843-879.
38. Yalcin, 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.
39. Yager, R.R. 2001. Dempster-Shafer belief structures with interval valued focal weights. *International Journal of Intelligent Systems*, 16: 497-512.
40. Yilmaz, C., T. Topal and M.L. Suzen. 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 65: 2161-2178.
41. 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.