

تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل‌های وزن شواهد (WofE)، نسبت فراوانی (FR) و دمپستر-شیفر (DSH) (مطالعه موردی: محدوده ساری-کیاسر)

- ❖ مهوش غلامی*؛ کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ کریم سلیمانی؛ استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ اسماعیل نکویی قاچکانلو؛ کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز

چکیده

زمین لغزش به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی مهم هر ساله موجب خسارات مالی، جانی و تخریب منابع طبیعی می‌شود. هدف این تحقیق مقایسه سه مدل وزن شواهد، نسبت فراوانی و دمپستر-شیفر در حوضه آبخیز ساری-کیاسر است. در ابتدا، داده‌های ۱۰۵ زمین لغزش رخ داده در منطقه بر اساس عکس‌های هوایی ۱:۲۵۰۰۰ و مطالعات میدانی جمع‌آوری گردیده و این فهرست به دو قسمت ۷۵ در صد برای پهنه‌بندی و ۲۵ در صد برای اعتبارسنجی تقسیم شد. سپس، ۱۷ پارامتر مؤثر در زمین لغزش شامل فاکتورهای زمین شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و انسانزاد فراهم گردید. مهم ترین فاکتورها در رخداد زمین لغزش در منطقه بارش، شیب و پوشش گیاهی هستند. نتایج اعتبارسنجی به صورت درصد مساحت زیر منحنی تجمعی (AUC) نشان می‌دهد که نرخ موفقیت مدل‌های وزن شواهد و نسبت فراوانی و دمپستر-شیفر به ترتیب ۹۲/۰۵ و ۹۲/۰۵ و ۹۱/۳۱ در صد و نرخ پیش‌بینی به ترتیب ۹۲/۷۲ و ۹۲/۷۳ و ۸۵/۴۴ در صد است. نتایج نشان می‌دهد که از نظر دقت مدل به کار رفته براساس نرخ موفقیت سه مدل در گروه عالی (۹/۱ - ۱) قرار می‌گیرند. همچنین نرخ موفقیت بر اساس نرخ پیش‌بینی مدل‌های وزن شواهد و نسبت فراوانی در گروه عالی (۹/۱ - ۱) و مدل دمپستر-شیفر در گروه خوب (۰/۸ - ۰/۹) قرار می‌گیرند. نتایج به دست آمده بیانگر این است که مدل‌های وزن شواهد و نسبت فراوانی مدل‌های کارآمدتری نسبت به مدل دمپستر-شیفر در منطقه هستند.

کلید واژگان: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، روش وزن شواهد، نسبت فراوانی، دمپستر-شیفر، محدوده ساری-کیاسر

۱. مقدمه

رشد جمعیت و گسترش ساختارها و خطوط حیاتی (آب، برق، گاز، نفت و ...) در نواحی خطرناک باعث افزایش روزافزون تأثیر بلایای طبیعی هم در کشورهای در حال توسعه و هم در کشورهای توسعه یافته شده است [۱،۲۰]. زمین لغزش یکی از مهمترین بلایای طبیعی است که در سراسر زمین در هر شرایط آب و هوایی و زمین شناختی رخ داده و سالیانه باعث میلیاردها دلار خسارت مالی و مرگ و میر هزاران نفر در دنیا می شود [۱۱]. زمین لغزش خسارات زیادی به جنگل ها و رشد آن ها، زمین های کشاورزی، خطوط انتقال نیرو و گاز، معادن و سازه های مهندسی و ساختمان ها وارد می کند و در نتیجه از دیدگاه اقتصادی مسائل بزرگی را به وجود می آورد. بر این اساس، زمین لغزش به عنوان یکی از مهمترین بلایای طبیعی دهه حاضر، از طرف سازمان ملل متحد معرفی شده است [۳،۴،۵]. آمار مرکز تحقیقات همه گیر شناسی بلایای طبیعی (CRED) بیانگر سهم ۱۷ درصدی مرگ و میر بلایای طبیعی توسط زمین لغزش در دنیا است و به دنبال توسعه نواحی شهری و شهرنشینی بی برنامه در آینده و همچنین تغییر الگوی بارش بر اثر تغییرات اقلیمی انتظار افزایش این سهم نیز دور از انتظار نیست. از طرفی کشورهای جهان سومی به دلیل مشکلات و هزینه های گزاف مهندسی پایداری شیب ها اغلب از این امر صرف نظر کرده و کشورهای توسعه یافته نیز از هزینه های زیاد اجتناب می کنند، از این رو روش های پیش گیری و پیش بینی و مدیریت توسعه شهرها با هزینه های بسیار کمتر و صرف زمان کمتر در اولویت قرار دارند [۱۲]. ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین لغزش ها دارا است. حرکت های توده ای همه ساله در اکثر استان های کشور موجب خسارت های اقتصادی به راه ها، خطوط راه آهن، خطوط انتقال نیرو و ارتباطات، کانال های آبیاری و آبرسانی، جنگل ها و مراتع و مناطق

مسکونی می شود [۱]. این واقعه در بعضی نقاط کشور به خصوص در حوضه های آبخیز شمال کشور به طور گسترده و فراوان مشاهده شده است که نه تنها موجب هدر رفتن حجم عظیمی از خاک در زمانی محدود می شود، بلکه باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و مهاجرت روستاییان به شهرها و خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور می گردد. پس با شناخت عوامل، مشخصه ها و شرایط ایجاد و توسعه زمین لغزه ها، امکان دستیابی به روش های جلوگیری از خطرات و خسارات ناشی از گسترش آن ها فراهم می شود. بهترین عمل ممکن در این امر تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس های ملی، منطقه ای و محلی است تا با بهره گیری از آن ها بتوان مناطق حساس را شناسایی کرد و جلوی بسیاری از خسارات را قبل از وقوع هرگونه حادثه گرفت [۱۶]. در چند سال اخیر به دلیل تغییرات نامطلوب در کاربری ها و تخریب فزاینده جنگل ها، مراتع، اراضی زراعی و اجرای نامناسب طرح های عمرانی در مناطق مستعد لغزش، شیب تند دامنه های شمالی البرز و زمین شناسی این مناطق در استان مازندران به واسطه خاک با پتانسیل رانش، میزان بارندگی، اقلیم منطقه، دخالت های انسان و وجود چشمه های آب زیرزمینی، زمین لغزش های بی شماری در استان رخ داده که وقوع این مسأله مخرب در بعضی مناطق شدت بیشتری دارد. می توان از مهمترین رانش ها و نقاط بحرانی در استان به زمین لغزش های راه ارتباطی محور ساری-کیاسر (با ۳۴ نقطه بحرانی که ۱۲ نقطه مورد مطالعه قرار گرفته است)، محور رامسر-ماکوبن (۸ نقطه بحرانی)، زمین لغزش محور رامسر-جنت رودبار (با ۶ نقطه بحرانی) و محور نکا-استخرپشت (۶ نقطه بحرانی) اشاره کرد. به عنوان مثال در محدوده ساری-کیاسر (حداصل روستای ایول تا پل کام) به طول ۱۰۰ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته است. در طول این بخش از مسیر جاده ۲۴ مورد لغزش بزرگ شناسایی شده است. در همه لغزش های مورد بررسی احداث جاده نقش مهمی را در ناپایداری دامنه ها

بسیاری هم دارد. این‌ها شامل: (۱) مشکل در شناسایی زمین لغزش‌های با اندازه کوچک به دلیل دقت مکانی پایین تصاویر، (۲) مشکل در تمایز دقیق مرز بین زمین لغزش‌ها به دلیل فازی بودن مرزهای بین زمین لغزش‌های رخ داده در مکان‌های با پوشش گیاهی و نواحی بدون زمین لغزش، (۳) مشکل در تمایز نوع مواد جایگزین شده توسط زمین لغزش به دلیل پوشش گیاهی و قدرت تفکیک تصاویر [۲۲، ۱۲، ۱۰].

از جمله مطالعات پیشین، عظیم پور مقدم، در این پژوهش از روش تئوری دمپستر - شفر برای تهیه نقشه حساسیت خطر لغزش در سجاد رود که بخشی از حوزه آبخیز بابلرود است، استفاده گردید. موقعیت لغزش‌های منطقه از طریق پایش میدانی و عکس‌های هوایی مشخص گردید. در مرحله بعد ۱۱ عامل از عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش نظیر ارتفاع، سنگ شناسی، شیب، جهت شیب، انحنای شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص توان رودخانه، شاخص رطوبت و کاربری اراضی رقومی گردید. سپس مناطق حساس به زمین لغزش با استفاده از یافته‌های مدل تئوری دمپستر - شایفر در عوامل مؤثر بروز لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارزیابی مدل‌ها از منحنی ROC بهره گرفته شد و بر اساس نتایج پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با این روش به ترتیب ۲۸ و ۹۴/۱۷ و ۲۹ و ۶۲/۱۹ و ۴۴/۵ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است [۲]. و خشوری، به مطالعه موردی حوضه آبخیز گرگان که به بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش و تولید نقشه حساسیت زمین لغزش در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با استفاده از ده پارامتر پرداخت. پارامترهای دخیل در وقوع زمین لغزش شامل: نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از گسل‌ها، فاصله از راه‌ها و فاصله از آبراه‌ها بودند که در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تولید و آماده شدند. با به کار گیری

داشته است [۱۳]. یکی از اولویت‌های اساسی در بحث پیشگیری و پیش‌بینی و مدیریت، بررسی‌های پهنه‌بندی و نواحی پرخطر و مستعد زمین لغزش است. در واقع آنالیز نقشه‌ها معمولاً یکی از اولین مراحل یک تحقیق زمین لغزش است که روشی کم هزینه، کاربردی و مناسب برای شناسایی و مدیریت نواحی پرخطر و برنامه‌ریزی به منظور منع گسترش نواحی مسکونی و ساختارها در این نواحی و در نتیجه پیشگیری از آسیب‌ها و خسارات جانی و مالی است. در نتیجه لزوم مطالعه هر چه بیشتر بررسی‌های مربوط به پهنه‌بندی پتانسیل رخداد خطرات طبیعی از جمله زمین لغزش در استان مازندران باید مدنظر قرار گیرد [۱۳].

از چند دهه گذشته تاکنون مطالعات بسیاری بر روی پهنه‌بندی زمین لغزش به روش‌های احتمالاتی صورت گرفته است [۱۴، ۶، ۵]. به خاطر ماهیت پیچیده مخاطرات طبیعی مانند زمین لغزش، تکنولوژی فعلی بشر قادر به پیش‌بینی وقوع آن‌ها نیست. بنابراین اکثر متولیان امور محلی و منطقه‌ای و برنامه‌ریزان کاربری زمین مجبور هستند تنها به نقشه‌های حساسیت‌پذیری زمین لغزش مراجعه کنند. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای مناطق با مقیاس‌های متفاوت تهیه می‌شود. بر این اساس چندین نوع مقیاس برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش وجود دارد که شامل ملی (بیشتر از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع)، منطقه‌ای (بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع)، محلی (بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر مربع) و پایگاهی (چندین هکتار یا ده‌ها کیلومتر مربع) [۲۱].

تهیه نقشه تعداد زیادی زمین لغزش در یک مقیاس وسیع با توجه به دورافتاده بودن منطقه و بودجه محدود، یک امر بسیار بحث‌برانگیز است. مناسب‌ترین روش در چنین شرایطی تفسیر دستی یا اتوماتیک عکس‌های هوایی و تصاویر رقومی ماهواره‌ای در چهارچوب GIS است. هر چند این تکنیک به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته و مناسب‌ترین شیوه تهیه نقشه زمین لغزش در مقیاس منطقه‌ای است، ولی محدودیت‌های

فصلی بارش، بیشترین میزان بارندگی در فصل زمستان است. راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق جاده آسفالتی ساری - کیا سر که در حاشیه رودخانه تجن واقع شده است، قرار گرفته است. البته غیر از راه ارتباطی اصلی آسفالتی، راه‌های فرعی که بعضاً آسفالتی و تعدادی مسیر راه شوسه است، روستاهای منطقه مورد مطالعه را به راه اصلی آسفالتی ارتباط می‌دهند.

۲.۲. پراکنش زمین لغزش‌ها

یکی از مهم‌ترین داده‌ها در پهنه‌بندی زمین لغزش فهرست زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعاتی است که در واقع مهم‌ترین داده محسوب می‌شود و عملاً انجام پهنه‌بندی با بسیاری از مدل‌ها بدون فهرست لغزش‌ها غیر ممکن است. فهرست زمین لغزش‌های محدوده استان شامل ۱۰۵ زمین لغزش است که توسط گروه مطالعه زمین لغزش‌ها از زیر مجموعه‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ با ثبت لغزش‌های رخ داده یا شناسایی لغزش‌ها در عکس‌های هوایی ۱:۲۵۰۰۰ و همچنین مطالعات میدانی صورت پذیرفته است. برای انجام پهنه‌بندی و اعتبارسنجی، این فهرست به دو قسمت ۷۵ درصد برای پهنه‌بندی و ۲۵ درصد برای اعتبارسنجی تقسیم شد (شکل ۱ و ۲).

۳.۲. لایه‌های عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش

لایه‌های اطلاعاتی شامل ۱۷ فاکتور مؤثر در رخداد زمین لغزش در دسترس از محدوده ساری - کیا سر بودند که در این مطالعه مورد استفاده واقع شده‌اند (شکل ۳). نقشه حداکثر شتاب زمین (*Peak ground acceleration*) نیز که توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه شده است در دسترس بود ولی به دلیل یکسان بودن مقدار *PGA* در کل محدوده و بی‌اثر بودن آن در پهنه‌بندی از آوردن آن صرف نظر شد. همچنین داده‌های مربوط به نوع خاک ناحیه به دلیل نقصان در پوشش کامل محدوده در مطالعه دخالت داده نشد.

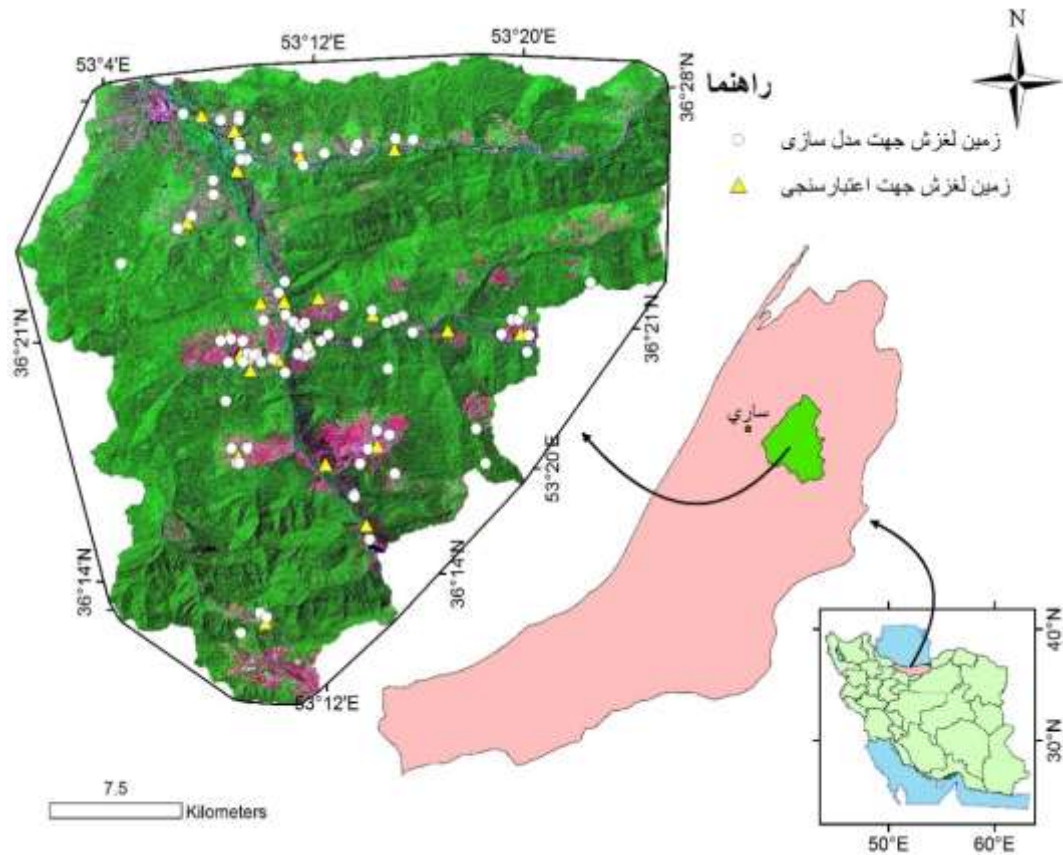
چهار مدل نسبت فراوانی (*Frequency Ratio*)، ایندکس پتانسیل زمین لغزش (*Landslide Index Method*)، وزن شواهد (*Weight Of Evidence*) و روش تحلیل سلسله مراتبی (*Analytical Hierarchy Process*) نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه تولید شد. نتایج نشان داد که مدل وزن شواهد قابل اعتمادتر از بقیه روش‌ها است و روش تحلیل سلسله مراتبی، با توجه به اینکه پایه آن براساس تصمیم‌گیری کارشناسانه استوار بود، نتایج ضعیف‌تری از بقیه روش‌ها داشت [۲۶].

دلایل انتخاب مدل وزن شواهد (*WofE*)، نسبت فراوانی (*FR*) و دمپستر - شایفر (*Dempster - Shafer*) برای محدوده ساری - کیا سر عبارت بودند از: مناسبیت مدل با توجه به مقیاس و داده‌های در دسترس محدوده ساری - کیا سر، قابلیت انجام مدل در محیط *GIS*، قابل فهم بودن برای محققین زمین‌شناس، مقبول بودن مدل و صحت بالا، قابلیت تکرار مدل‌ها، قابلیت استفاده در مناطق دیگر و امکان ورود داده‌های جدید در صورت در دسترس قرارگیری بدون تکرار کامل مدل.

۲. روش‌شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران، شهرستان ساری و در قسمت جنوبی آن واقع شده است. مختصات جغرافیایی محدوده مورد بررسی بین $36^{\circ} 9' 56''$ و $36^{\circ} 29' 24''$ عرض جغرافیایی و بین $53^{\circ} 0' 27''$ و $53^{\circ} 24' 18''$ طول جغرافیایی قرار دارد و مساحت محدوده مورد بررسی ۸۰۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱). ارتفاع منطقه مورد مطالعه از سطح دریا، ۹۷ متر در مناطق پست و ۱۶۷۰ متر در بالای کوه‌ها است. میانگین بارش برای محدوده مطالعاتی ۱۰۰۰ میلی‌متر است. براساس توزیع ماهیانه بارندگی، بیشترین میزان بارندگی در ماه آذر و کمترین آن در مرداد ماه و طبق آمار پراکنش



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نمونه‌هایی از زمین لغزش‌های رخ داده در این منطقه (الف) روستای آهودشت (ب) روستای بالا هولار

لغزش مهیا باشد عامل ساخت و ساز سبب تشدید حساسیت به زمین لغزش خواهد شد. (شکل ۳).

پوشش گیاهی (*DVI*): شدت پوشش گیاهی در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و با استفاده از شاخص تفکیک پوشش گیاهی (*Divergence Vegetation Index*) تهیه گردید. شدت پوشش گیاهی در میزان رطوبت خاک مؤثر است و بنابراین نقش مهمی در رخداد زمین لغزش ایفا می‌کند. این شاخص مقدار حداکثر ۱۳۴ و حداقل ۵۹- را در منطقه نشان می‌دهد (شکل ۳).

فاصله از گسل، شبکه زهکشی و خطوط ارتباطی: عوامل خطی مثل گسل‌ها، راه‌ها و آبراهه‌ها در وقوع زمین لغزش‌ها تأثیر بسزایی دارند. این عوارض برای محدوده ساری - کیاسر به صورت رقومی تهیه شد و رستری با پیکسل‌های سی متری که ارزش هر پیکسل نشان دهنده فاصله آن پیکسل تا نزدیک‌ترین عارضه خطی به آن است، تهیه شد (شکل ۳).

بارش: داده‌های بارش محدوده ساری - کیاسر از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان مازندران در دسترس است که میزان بارش در محدوده ساری - کیاسر از این داده‌ها استخراج گردید. میزان بارش متوسط بلند مدت این محدوده از ۷۰۰ تا ۱۳۰۰ میلی‌متر متغیر است (شکل ۳).

زمین شناسی منطقه: پهنه محدوده ساری - کیاسر شامل ۲۸ واحد لیتولوژیکی مختلف است که از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور رقومی گردید (شکل ۳).

دما: دما یکی از عوامل محرک در وقوع زمین لغزش محسوب می‌شود. میزان دمای متوسط بلند مدت در محدوده ساری - کیاسر از ۱۲/۴۱ درجه تا ۱۴/۴۸ درجه است (شکل ۳).

ارتفاع منطقه: لایه رقومی ارتفاع محدوده جاده ساری - کیاسر مطابق با *DEM* ۱ ستر با دقت سی متر با ارتفاع ۹۷ متر نسبت به سطح دریاهای آزاد در نواحی پست منطقه تا ارتفاع ۱۶۷۰ متر در مرتفع‌ترین نقاط کوهستانی منطقه متغیر است (شکل ۳).

شیب منطقه: درجه شیب در محدوده جاده ساری - کیاسر از صفر تا ۷۹ درجه متغیر است. بیشترین درجه شیب در نواحی کوهستانی و کمترین شیب در دشت‌های پست با کاربری کشاورزی قابل مشاهده است (شکل ۳).

جهت شیب منطقه: این نقشه از نظر جهت جغرافیایی شیب به ۹ کلاس تقسیم شد که شامل کلاس تقریباً هموار، شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و کلاس‌های بین جهات اصلی هستند (شکل ۳).

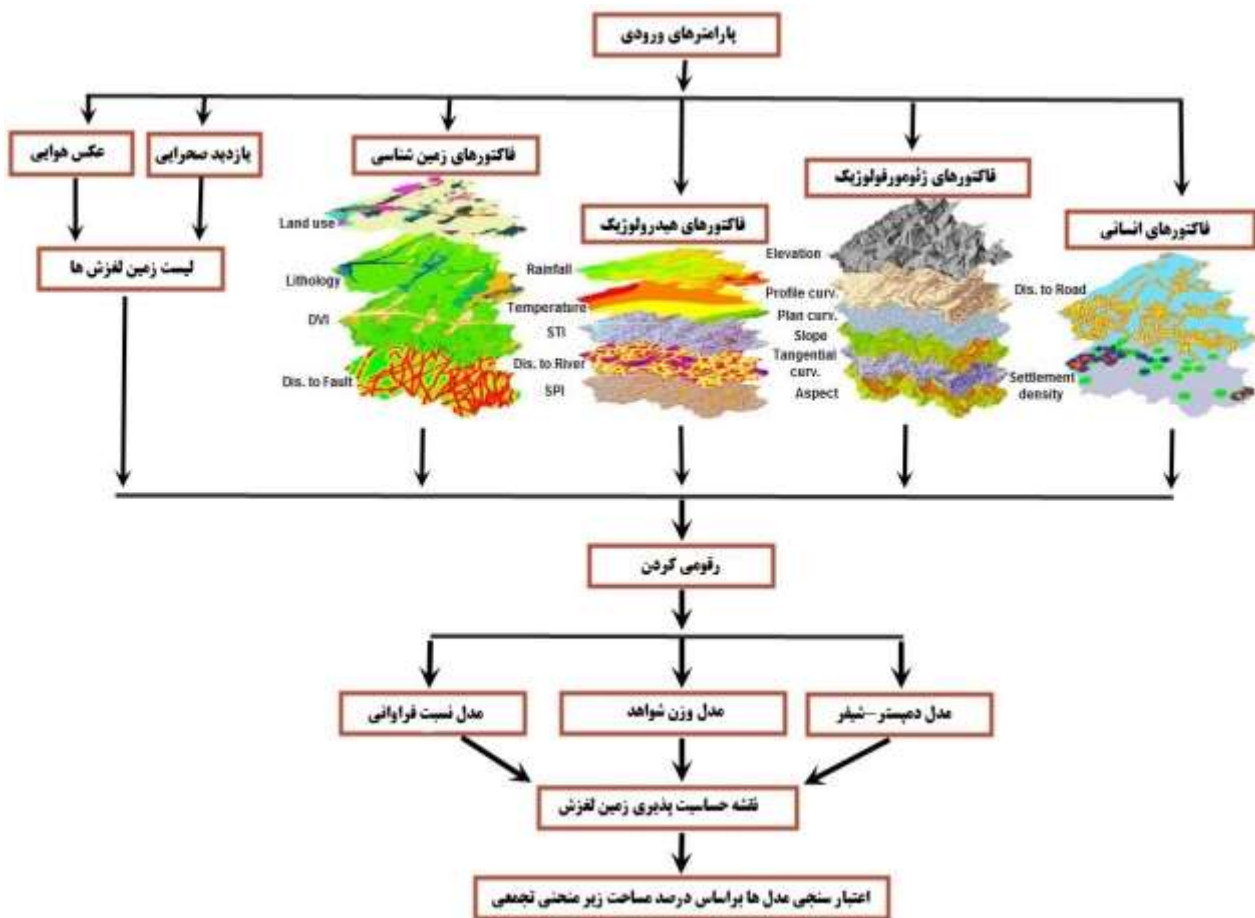
اندیس قدرت رودخانه (*SPI*): برای کمی کردن اثر توپوگرافی بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸، ۸]. مقدار این پارامتر از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۹]:

$$SPI = As \times \text{tg}\beta \quad (1)$$

که در آن *As* مساحت بالادست شیب که به یک نقطه زهکش می‌شود (m^2) و β زاویه شیب در آن نقطه (رادیان) است.

این پارامتر قدرت فرسایندهی آب جاری را اندازه می‌گیرد. به عبارتی فرسایش را در نواحی دارای تحدب نیمرخ و تقعر مماسی (زون‌های با همگرایی و سرعت بالای جریان) و رسوب را در نواحی دارای تقعر نیمرخ (زون‌های کاهنده سرعت جریان) برآورد می‌نماید [۸]. میزان این پارامتر در منطقه از صفر تا ۴۲۴۲۳۱۶ بر متر در تغییر است (شکل ۳).

تراکم سکونتگاه: ساخت و ساز بر روی دامنه‌ها سبب ایجاد ناپایداری و زمین لغزش می‌شود. از این انتظار می‌رود که در صورتی که شرایط دیگر برای رخداد زمین



شکل ۳. فاکتورهای مؤثر در رخداد زمین لغزش شامل فاکتورهای زمین شناسی (کاربری اراضی، لیتولوژی، پوشش گیاهی، فاصله از گسل)، هیدرولوژی (بارش، دما، اندیس انتقال رسوب، فاصله از رودخانه، اندیس قدرت رودخانه، ژئومورفولوژی (ارتفاع، انحنای نیمرخ، انحنای افقی، شیب، انحنای مماسی، جهت شیب)، انسان زاد (فاصله از جاده، تراکم سکونتگاه) و مراحل کار در تهیه و اعتبار سنجی مدل های پهنه بندی خطر زمین لغزش در این مطالعه

انحنای افقی: محل تقاطع یک صفحه تخت قائم با راستای حداکثر شیب و یک سطح خطی را بدست می دهد که انحنای آن بیانگر میزان انحنای نیمرخ سطح مذکور خواهد بود. انحنای نیمرخ در افزایش سرعت جریان، نرخ رسوب و فرسایش نقش دارد [۸، ۱۷]. چنانچه سطحی در راستای حداکثر شیب مقعر باشد میزان انحنای نیمرخ آن منفی و چنانچه محدب باشد انحنای نیمرخ آن مثبت خواهد بود. میزان انحنای نیمرخ در منطقه از $۱۹/۲$ - تا ۲۰ درصد در تغییر است (شکل ۳).

انحنای مماسی: محل تقاطع یک صفحه تخت مماس

انحنای افقی: محل تقاطع یک صفحه تخت افقی با یک سطح خطی را به دست می دهد که انحنای آن بیانگر میزان انحنای افقی سطح مذکور خواهد بود. انحنای افقی یا انحنای خطوط تراز ارتفاعی در میزان محتوای رطوبتی خاک و همگرایی/ واگرایی جریان آب جاری شده بر روی سطح، نقش دارد [۸، ۱۷]. چنانچه سطحی در راستای افق مقعر باشد میزان انحنای افقی آن منفی و چنانچه محدب باشد انحنای افقی آن مثبت خواهد بود. میزان انحنای افقی در منطقه از $۱۲/۵$ - تا $۱۵/۷$ درصد در تغییر است (شکل ۳).

۴.۲. پهنه بندی با استفاده از مدل وزن شواهد

(Weight of evidence : WofE)

این روش بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته (Bayes theorem) است که در ابتدای دهه ۱۹۹۰ به عنوان سیستم‌های پشتیبانی تصمیم برای مطالعات پزشکی مورد استفاده قرار گرفته (رابطه ۳) و در دهه اخیر کاربردهای زیادی در سایر علوم و به ویژه در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش داشته است. به این منظور ابتدا با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ وزن‌های محتمل هر عامل و طبقه‌های مربوط به آن محاسبه می‌شود.

$$P(b|a) = P(a|b) \times P(b) / P(a) \quad (۳)$$

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.

$$W_i^+ = \log_e [P(B_i | S) / P(B_i | \hat{S})] \quad (۴)$$

$$W_i^- = \log_e [P(\bar{B}_i | S) / P(\bar{B}_i | \hat{S})] \quad (۵)$$

به منظور درک بهتر روابط ۴ و ۵ و سهولت کار به ویژه در محیط GIS، مدل به صورت رابطه‌های ۶ و ۷ ارائه می‌گردد و نهایتاً وزن نهایی بر اساس روابط ۸ و ۹ برای هر عامل به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت.

(۶)

$$W_i^+ = \log_e [(N_{pix1} / (N_{pix1} + N_{pix2})) / (N_{pix3} / (N_{pix3} + N_{pix4}))]$$

(۷)

$$W_i^- = \log_e [(N_{pix2} / (N_{pix1} + N_{pix2})) / (N_{pix4} / (N_{pix3} + N_{pix4}))]$$

که در آن:

N_{pix1} : تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس،

N_{pix2} : تعداد پیکسل‌های لغزشی خارج از کلاس،

بر هر نقطه از یک سطح میزان انحنای مماسی آن سطح خواهد بود. همانند پارامترهای انحنای افقی و نیمرخ، اگر سطح مقعر باشد میزان انحنای مماسی آن منفی و چنانچه محدب باشد انحنای مماسی آن مثبت خواهد بود. این پارامتر در همگرایی و واگرایی موضعی جریان آب جاری شده بر روی سطح نقش دارد [۸، ۱۷]. میزان انحنای مماسی در منطقه از $-21/8$ تا $30/8$ درصد در تغییر است (شکل ۳).

کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی بر اساس سه منبع شامل بررسی تصاویر گوگل ارث، رده بندی اتوماتیک با استفاده از داده‌های لند ست ۸ و نقشه آماده شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع تهیه شد و نهایتاً محدوده ساری - کياسر را می‌توان از لحاظ کاربری اراضی و پوشش گیاهی به ۱۰ واحد اصلی تقسیم کرد که شامل زراعت دیم، اراضی جنگلی متراکم، اراضی جنگلی نیمه متراکم، مخلوط جنگل و باغ، زراعت آبی، مخلوط زراعت و باغ، مجتمع‌های درختی و باغ، مخلوط باغ و زراعت، شنزار و محدوده مسکونی است (شکل ۳).

اندیس انتقال رسوب (STI): برای بررسی فرآیندهای فرسایش و رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹، ۱۵]. مقدار این پارامتر از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۸]:

$$STI = \left(\frac{A}{22.13} \right)^{0.6} \times \left(\frac{\sin(\beta)}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (۲)$$

که در آن A مساحت بالادست شیب که به یک نقطه زهکش می‌شود (m^2) و β زاویه شیب در آن نقطه (رادیان) است.

این پارامتر که نقاط مستعد فرسایش و یا رسوب هستند را برآورد می‌نماید و مقادیر بالای آن بیانگر تمرکز آب و فرسایش است [۱۲]. مقادیر بالای آن بیانگر فرسایش بیشتر توسط آب بوده و مقادیر کم آن بیانگر عدم تمرکز آب و رسوبگذاری در یک نقطه است. مقدار این پارامتر در منطقه از صفر تا ۲۴۰۱۲ بر متر در تغییر است (شکل ۳).

۶.۲. پهنه‌بندی با استفاده از مدل دمپستر - شیفر

(Dempster - Shafer)

تئوری دمپستر - شیفر، به عنوان تئوری تابع اعتقادات شناخته می‌شود که خود تعمیمی است از تئوری بیزین که مبتنی بر احتمالات است. از آنجایی که تئوری بیزین برای هر سوال نیازمند احتمالات هست، بنابراین توابع اعتقادی بیانگر درجات اعتقاد برای یک سوال یا یک احتمال مربوط به آن است. این درجات اعتقاد ممکن است خواص ریاضی احتمالات را داشته یا نداشته باشد و اینکه چقدر ممکن است از احتمالات متفاوت باشد وابسته به قرابت دو سوال مطرح شده دارد.

این تئوری در سال ۱۹۶۸ توسط دمپستر و در سال ۱۹۷۶ توسط شیفر توسعه یافت اما اصلیت این تئوری به قرن ۱۷ بر می‌گردد. این تئوری بسیار مورد توجه محققین هوش مصنوعی به‌ویژه در اوایل سال ۱۹۸۰، قرار گرفته است. زمانی که آن‌ها سعی کردند از تئوری احتمالات در سیستم‌های خبره استفاده کنند. درجات اعتقاد تئوری دمپستر-شیفر بسیار مشابه فاکتور اطمینان بوده و این تشابه، منجر شده که ترکیب این دو تئوری دارای انعطاف پذیری بالایی همچون قوانین مبتنی بر سیستم باشد. تئوری دمپستر-شیفر به خاطر انعطاف پذیری نسبی آن همواره مورد توجه محققین قرار گرفته است. تئوری مذکور براساس دو ایده اصلی بنیان‌گذاری گردیده است:

$$\lambda (T_p)_{Eij} = \frac{\frac{N(L \cap Eij)}{N(L)}}{\frac{N(Eij) - N(L \cap Eij)}{N(A) - N(L)}} \quad (12)$$

$$\lambda (D_p)_{Eij} = \frac{\frac{N(L) - N(L \cap Eij)}{N(L)}}{\frac{N(A) - N(L) - N(Eij) + N(L \cap Eij)}{N(A) - N(L)}} \quad (13)$$

$$m(T_p)_{Eij} = \frac{\lambda (T_p)_{Eij}}{\sum \lambda (T_p)_{Eij}} \quad (14)$$

$$m(D_p)_{Eij} = \frac{\lambda (D_p)_{Eij}}{\sum \lambda (D_p)_{Eij}} \quad (15)$$

$Npix3$: تعداد پیکسل‌های کل داخل یک کلاس منهی

تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس،

$Npix4$: تعداد پیکسل‌های کل خارج از کلاس منهی

تعداد پیکسل‌های لغزشی خارج از کلاس.

$$C = [(W^+) - (W^-)] \quad (8)$$

$$W_{final} = C / S_c \quad (9)$$

که در آن:

C : تفاضل وزن‌های مثبت و منفی، W_{final} : وزن نهایی

استاندارد شده و S_c : انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی است (شکل ۴).

۵.۲. پهنه‌بندی با استفاده از مدل نسبت فراوانی

(Frequency ratio: FR)

نسبت فراوانی عبارت است از نسبت مساحت یا نقاط لغزشی به درصد به نسبت مساحت یا پیکسل‌های هر کلاس از عوامل به درصد یا به نحوی دیگر عبارت است از نسبت احتمال وقوع لغزش به عدم وقوع برای یک عامل مورد نظر [۱۷، ۱۶]. برای انجام این مدل ابتدا در صد نقاط لغزشی را در هر کلاس از عوامل محاسبه کرده و در صد مساحت هر کلاس را نیز محاسبه کرده و وزن هر کلاس نهایتاً عبارت است از نسبت درصد لغزش‌ها به درصد مساحت کلاس مورد نظر (رابطه ۱۰) سپس وزن نهایی برای هر پیکسل برابر با مجموع وزن‌های هر کلاس در آن پیکسل خاص است (ایندکس پتانسیل زمین لغزش LSI) که از رابطه ۱۱ به دست می‌آید. ایندکس پتانسیل زمین لغزش با روش نسبت فراوانی در شکل ۴ آمده است.

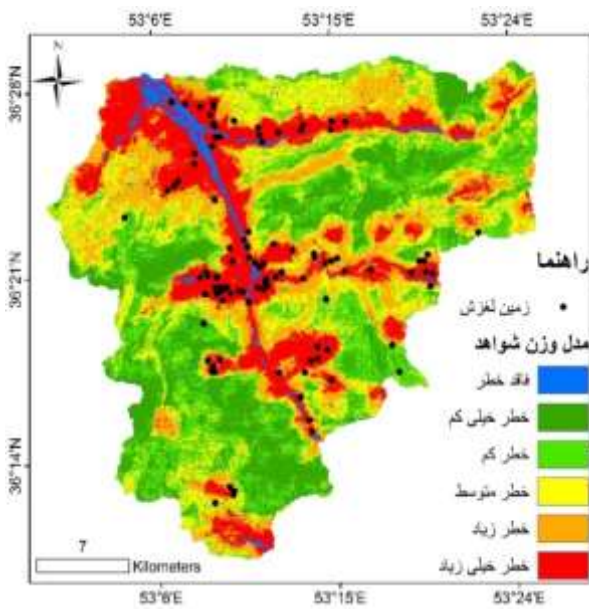
$$FR = \left[\frac{N_{pix}(SX_i)}{\sum_{i=1}^m SX_i} \right] / \left[\frac{N_{pix}(X_j)}{\sum_{j=1}^n N_{pix}(X_j)} \right] \quad (10)$$

$$LSI = \sum_{j=1}^n FR \quad (11)$$

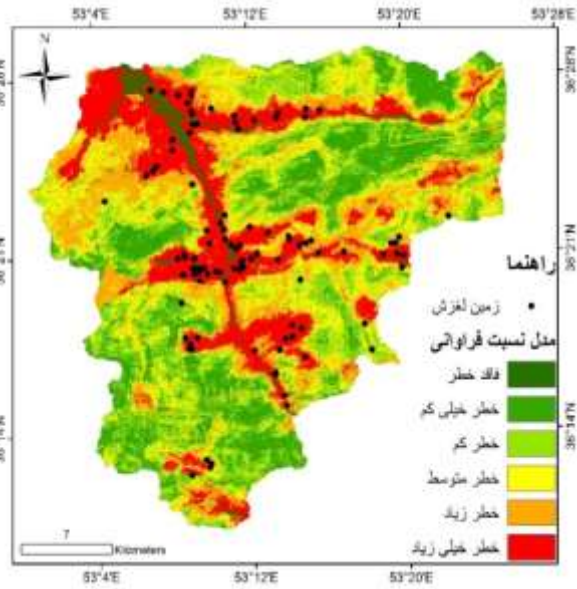
$N(E_{ij})$: تعداد پیکسل‌های فاقد زمین لغزش در هر طبقه،
 $N(A)$: تعداد کل پیکسل‌های فاقد زمین لغزش منطقه
 است.

$$m(\Theta) = 1 - m(T_p)_{E_{ij}} - m(D_p)_{E_{ij}} \quad (۱۶)$$

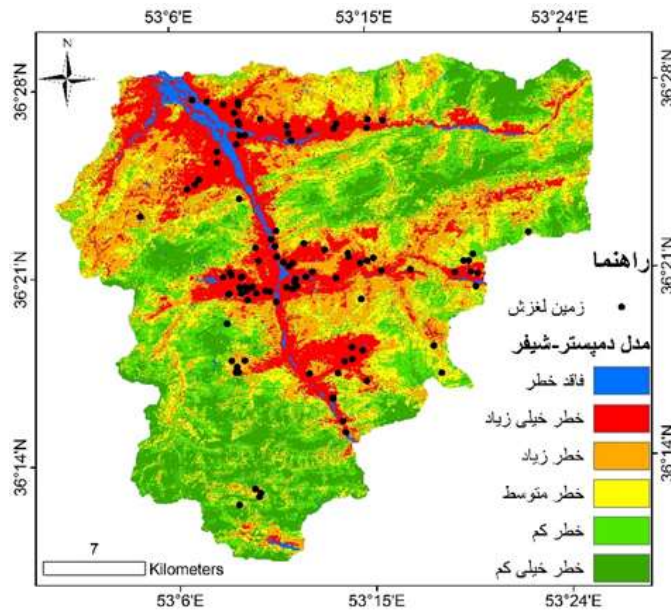
که در آن‌ها، $N(L \cap E_{ij})$: تعداد زمین لغزش در هر طبقه، $N(L)$: تعداد کل زمین لغزش‌های منطقه،



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۴. نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های (الف) وزن شواهد، (ب) نسبت فراوانی، (ج) دمپستر-شیفر

استفاده از منحنی تجمعی صحت نقشه‌های تهیه شده مورد تأیید قرار گرفت. نهایتاً نقشه‌ای که دارای بیشترین دقت بود به عنوان نقشه نهایی خطر زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد. در حقیقت سطح زیر منحنی (AUC) 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. ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی تجمعی، سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد بیانگر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است. همبستگی کیفی- کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت زیر است (۰/۹-۱، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸، خوب؛ ۰/۶-۰/۷، متوسط و ۰/۵-۰/۶، ضعیف).

براساس روابط فوق تمامی کلاس‌های هر عامل وزن دهی می‌شود. در محیط GIS این وزن‌ها به نقشه اضافه و نقشه وزنی هر فاکتور به دست می‌آید. در مرحله بعد نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی به دست می‌آید. در این نقشه وزن هر پیکسل از مجموع وزن‌های به‌دست آمده برای هر فاکتور در آن پیکسل محاسبه می‌شود. طبقه‌هایی که حساسیت بیشتری دارند در این مدل وزن کمتری به خود اختصاص می‌دهند. بر این اساس نقاط شکست منحنی تجمعی، نقشه به پنج طبقه خطر خیلی کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تقسیم می‌شود (شکل ۴).

۷.۲. ارزیابی صحت مدل

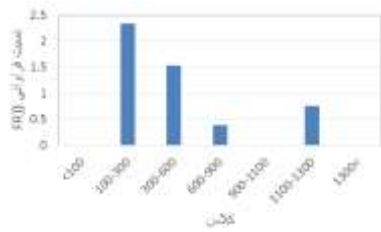
منحنی تجمعی روشی مفید در نشان دادن کیفیت تشخیص‌های احتمالاتی و قطعی و سیستم‌های پیش‌بینی است [۱۹، ۲۲، ۲۳]. ۷۵ درصد نقاط زمین لغزش برای مدل‌سازی و ۲۵ درصد نقاط زمین لغزش برای ارزیابی مدل‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفت. آن‌گاه با

جدول ۱. بررسی فاکتورهای مورد استفاده در مدل از نظر تأثیرگذاری در رخداد زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه

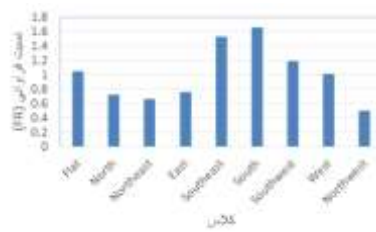
فاکتور	تأثیر گذار در رخداد لغزش	بی تأثیر	فاکتور	تأثیر گذار در رخداد لغزش	بی تأثیر
ارتفاع	*		فاصله از جاده	*	
شیب	*		فاصله از غسل	*	
جهت شیب	*		فاصله از رود	*	
اندیس انتقال رسوب	*		تراکم سکونتگاه	*	
اندیس قدرت رودخانه	*		لیتولوژی	*	
بارش	*		کاربری اراضی	*	

بینی می‌تواند دقت پیش‌بینی را به‌صورت کیفی ارزیابی کند [۱۴]. مساحت زیر منحنی (AUC) می‌تواند عددی بین ۰/۵ تا ۱ باشد. عدد ۰/۵ نشان دهنده رد شدن مدل و اعداد نزدیک ۱ نشان دهنده صحت بیشتر مدل است.

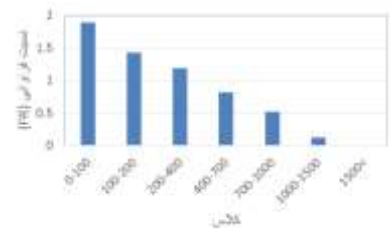
پس از محاسبه منحنی نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی برای ارائه کمی نرخ پیش‌بینی و نرخ موفقیت، مساحت زیر منحنی صرف نظر از نوع منحنی آن‌ها به‌صورت درصد بیان می‌شود. در نتیجه مساحت زیر منحنی نرخ پیش



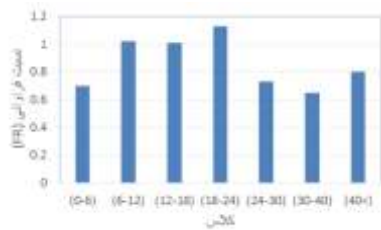
(۳)



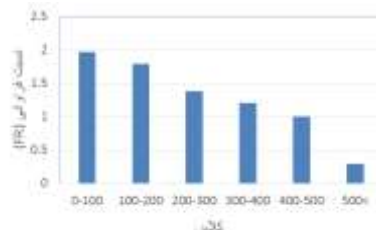
(۲)



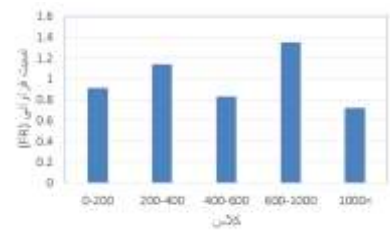
(۱)



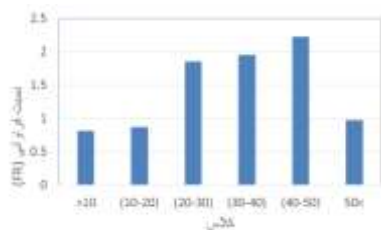
(۶)



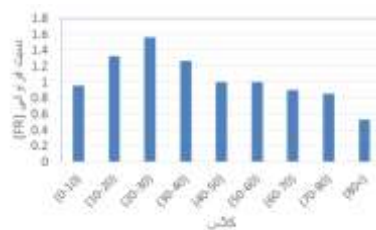
(۵)



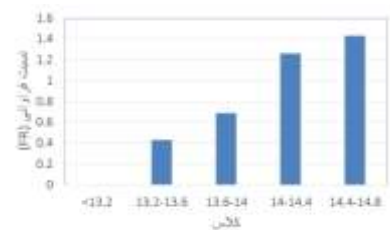
(۴)



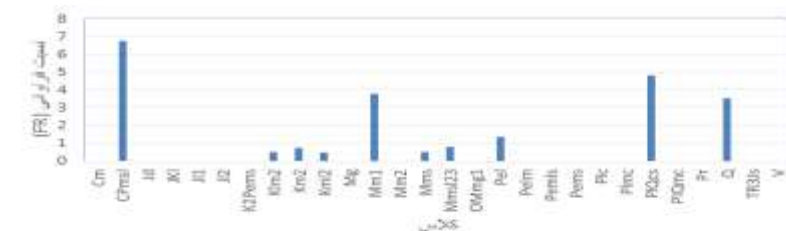
(۹)



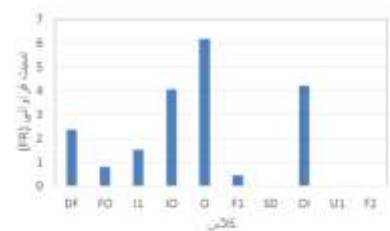
(۸)



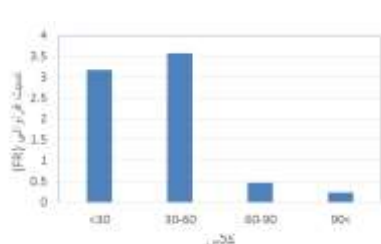
(۷)



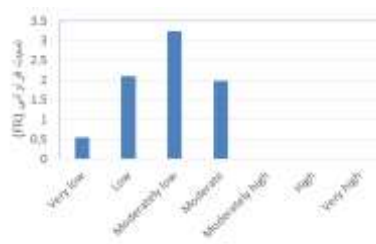
(۱۱)



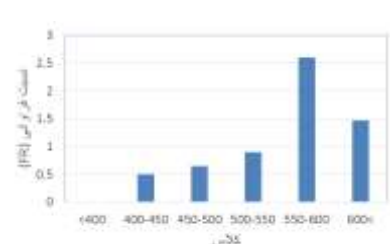
(۱۰)



(۱۴)

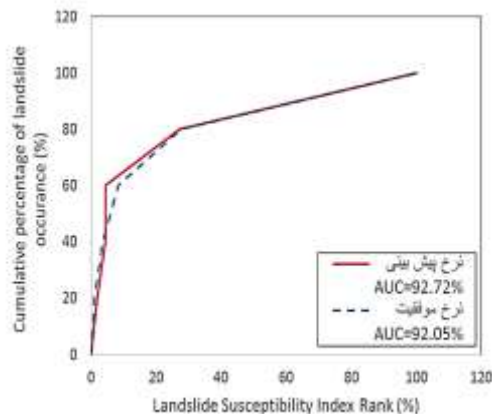


(۱۳)

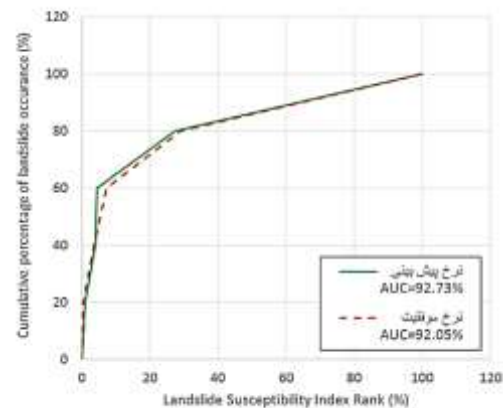


(۱۲)

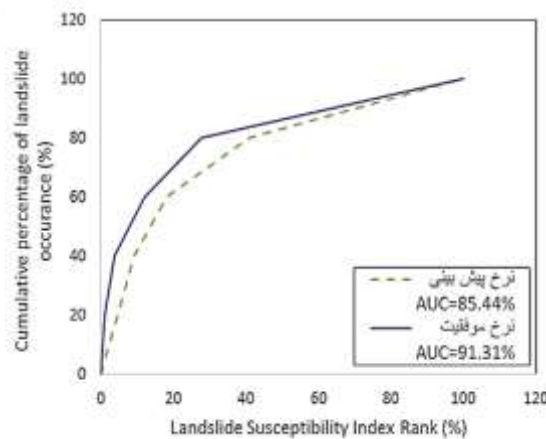
شکل ۵. نمودار نسبت فراوانی فاکتورهای مؤثر در رخداد زمین لغزش، (۱) فاصله از رودخانه، (۲) جهت شیب، (۳) ارتفاع، (۴) فاصله از گسل، (۵) فاصله از جاده، (۶) شیب، (۷) دما، (۸) اندیس انتقال رسوب، (۹) اندیس قدرت رودخانه، (۱۰) کاربری اراضی، (۱۱) لیتولوژی، (۱۲) بارش، (۱۳) تراکم سکونتگاه، (۱۴) پوشش گیاهی، (نمودار سه لایه انحنای مماسی، انحنای افقی و انحنای مماسی به دلیل محرز بودن آورده نشده است)



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۶. منحنی تجمعی، الف) مدل وزن شواهد، ب) مدل نسبت فراوانی، ج) مدل دمپستر-شیفر

می‌شود. وزن هر یک از کلاس‌ها در هر ۱۷ فاکتور مؤثر در زمین لغزش نشان می‌دهد که در لایه ارتفاع کلاس ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر و در لایه شیب، کلاس ۱۸ تا ۲۴ درجه و در لایه جهت شیب، کلاس‌های جنوب و جنوب شرقی بیشترین زمین لغزش‌ها رخ داده است. ساخت و ساز بر روی دامنه‌ها سبب ایجاد ناپایداری و زمین لغزش می‌شود که با توجه به لایه تراکم سکونتگاه منطقه مورد مطالعه تقریباً با افزایش تراکم، فراوانی رخداد زمین لغزش نیز افزایش می‌یابد. در لایه کاربری اراضی با توجه به نسبت فراوانی هر کلاس، مناطق مجتمع‌های درختی و باغ، مخلوط زراعت و باغ و مخلوط باغ و زراعت مناطق مستعد

۳. نتایج

پس از اعمال ضرایب به دست آمده برای هر کلاس از عوامل مؤثر و محاسبه معادله نهایی احتمال وقوع زمین لغزش، نقشه نهایی دو مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با تفکیک پنج طبقه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. با توجه به اینکه احتمال رخداد زمین لغزش در شیب کمتر از ۲ نزدیک به صفر است. بعد از تولید نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر به پیکسل‌های با شیب کمتر از ۲ مقدار صفر داده شد که در قالب کلاس خطر جدیدی به عنوان فاقد خطر در شکل ۴ مشاهده

لغزش و ۲۵ درصد برای اعتبارسنجی تقسیم می‌شود. نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی مقدار AUC یا درصد مساحت زیر منحنی تجمعی را به ترتیب برای ۷۵ درصد نقاط لغزشی و ۲۵ درصد نقاط لغزشی که در تهیه مدل پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت را نشان می‌دهد. نرخ موفقیت برای بررسی دقت انجام مدل و نرخ پیش‌بینی جهت اعتبارسنجی مدل به کار می‌رود. نتایج نشان می‌دهد که نرخ موفقیت مدل‌های وزن شواهد، نسبت فراوانی و دمپستر-شیفر به ترتیب ۹۲/۰۵ و ۹۲/۰۵ و ۹۱/۳۱ درصد و نرخ پیش‌بینی به ترتیب ۹۲/۷۲ و ۹۲/۷۳ و ۸۵/۴۴ درصد است (شکل ۶). نتایج نشان می‌دهد که از نظر دقت مدل به کار رفته براساس نرخ موفقیت مدل‌های وزن شواهد و نسبت فراوانی و دمپستر-شیفر در گروه عالی (۱/۹ - ۱) قرار می‌گیرند. همچنین نرخ موفقیت براساس نرخ پیش‌بینی مدل‌های وزن شواهد و نسبت فراوانی در گروه عالی (۱/۹ - ۱) و مدل دمپستر-شیفر در گروه خوب قرار می‌گیرند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به وسیله سه مدل وزن شواهد، نسبت فراوانی و دمپستر-شیفر و با استفاده از ۱۷ فاکتور انجام گرفت. داده‌های زمین لغزش به صورت تصادفی به دو گروه، ۸۰ درصد برای مدل‌سازی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی تقسیم می‌شود. متعاقباً مدل‌های مذکور جهت تهیه نقشه خطر زمین لغزش استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به وسیله نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی به صورت درصد مساحت زیر منحنی تجمعی انجام شد. نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که نرخ موفقیت مدل‌های وزن شواهد، نسبت فراوانی و دمپستر-شیفر به ترتیب ۹۲/۰۵ و ۹۲/۰۵ و ۹۱/۳۱ درصد و نرخ پیش‌بینی به ترتیب ۹۲/۷۲ و ۹۲/۷۳ و ۸۵/۴۴ است. نتایج نشان می‌دهد که از نظر دقت مدل به کار رفته براساس نرخ موفقیت مدل‌های وزن

برای رخدادهای زمین لغزش هستند. نسبت فراوانی کلاس‌ها در فاکتورهای اندیس انتقال رسوب و اندیس قدرت رودخانه نشان می‌دهد که این فاکتورها تأثیر مثبت بر رخدادهای زمین لغزش را نشان می‌دهد زیرا با افزایش مقدار این شاخص در منطقه فراوانی رخدادهای زمین لغزش‌ها هم افزایش می‌یابد. به صورت کلی با افزایش بارش مقدار نفوذ آب به درون زمین بیشتر و احتمال رخدادهای زمین لغزش بیشتر می‌شود که با توجه به فراوانی زمین لغزش‌ها در هر کلاس بارش این موضوع تأیید می‌شود. با توجه به لایه پوشش گیاهی نسبت فراوانی رخدادهای زمین لغزش‌ها در هر کلاس نشان می‌دهد که اکثر زمین لغزش‌های رخ داده در مقادیر کمتر شاخص DVI که بیانگر مناطق با پوشش گیاهی ضعیف می‌باشند رخ داده‌اند. به عنوان یک قانون کلی می‌توان گفت که با افزایش فاصله از جاده، رودخانه و گسل باید فراوانی زمین لغزش‌ها کمتر شود که در منطقه مورد مطالعه لایه‌های فاصله از جاده و رودخانه این موضوع را تأیید می‌کنند ولی لایه فاصله از گسل از این قانون پیروی نمی‌کند. در لایه زمین‌شناسی ۴ واحد زمین‌شناسی دارای بیشترین فراوانی رخدادهای زمین لغزش‌ها در منطقه هستند که شامل: Q (آبرفت‌های سخت نشده عهد حاضر بستر رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها و پادگان‌های آبرفتی جوان و قدیمی)، $CPmsl$ (مارن سیلت‌دار و ماسه سنگ‌ها و شیل‌های آهکی رنگارنگ قرمز - قهوه‌ای - خاکستری، سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه، سنگ آهک مارنی)، $Mm1$ (مارن‌های همگن اخرائی رنگ)، $PIQcs$ (کنگلومر، ماسه سنگ، سیلت سنگ، مارن سیلت‌دار). از ۱۷ لایه مورد بررسی در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فقط دو لایه دما و فاصله از گسل در رخدادهای زمین لغزش‌های منطقه بی تأثیر بودند که در تولید نقشه پهنه‌بندی نهایی حذف گردیده‌اند (جدول ۱). مهم‌ترین فاکتورها در رخدادهای زمین لغزش در محدوده ساری - کیا سر، بارش، شیب و پوشش گیاهی هستند. داده‌های زمین لغزش به صورت تصادفی به دو گروه، ۷۵ درصد برای مدل‌سازی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین

نقشه پهنه‌بندی نهایی حذف گردیده‌اند. مهم‌ترین فاکتورها در رخدادهای زمین لغزش در محدوده ساری-کیا سر، بارش، شیب و پوشش گیاهی هستند. مدل‌های استفاده شده در این مطالعه اهمیت کاربری اراضی و مدیریت آبخیزداری را نشان می‌دهند. به عنوان نتیجه‌گیری نهایی تحقیق می‌توان گفت که علاوه بر عوامل طبیعی، برخی عوامل انسانی از جمله ساخت و سازهای غیر اصولی در مناطق جنگلی نقش مهمی را بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه ایفا کرده است.

شواهد و نسبت فراوانی و دمپستر-شیفر در گروه عالی (۹/۱) قرار می‌گیرند. همچنین نرخ موفقیت براساس نرخ پیش‌بینی مدل‌های وزن شواهد و نسبت فراوانی در گروه عالی (۹/۱) و مدل دمپستر-شیفر در گروه خوب قرار می‌گیرند. نتایج به‌دست آمده بیانگر این است که مدل وزن شواهد و مدل نسبت فراوانی مدل‌های کارآمدتری نسبت به مدل دمپستر-شیفر در منطقه مورد مطالعاتی می‌باشند. از ۱۷ لایه مورد بررسی در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فقط دو لایه دما و فاصله از گسل در رخداد زمین لغزش‌های منطقه بی‌تأثیر بودند که در تولید

References

- [1] Andarz, Z. (2009). Check the status of landslide in the forest road (Case Study: Emre Series 1 Wood and paper industries company, Mazandaran, Iran), Third International Conference on crisis integrated management in unexpected disasters, Tehran, Promote Quality Company. COI: INDM03_006.
- [2] Azimpour moghaddam, V. and Vahabzadeh, GH. (2015). Landslide hazard zonation using Dempster- Shaffer method (Case study: Part of the babolrood watershed), The third National Conference on Environment and Agricultural Research Iran, Hamedan, Permanent Secretariat of the Conference, Faculty of Mofateh martyr. COI: NCER03_151
- [3]. Aleotti, P. and Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Eng. Geol. 58:21-44.
- [4]. Alexander, D. E. (1995). A survey of the field of natural hazards and disaster studies. Springer.
- [5]. Ayalew, L. and Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japon. Geomorphology 65:15-31.
- [6]. Binaghi, E. Luzi, L. Madella, P. Pergalani, F. and Rampini, A. (1998). Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy Dempster-Shafer approaches. Nat. Hazards 17(1):77-97.
- [7]. Baeza, C. and Corominas, J. (2001). Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth surf. Proc. Land 26:1251-1263.
- [8]. Crosby, D. A. (2006). The effect of DEM resolution on the computation of hydrologically significant topographic attributes. M.S. Thesis Arts, Department of Geography, College of Arts and Sciences, University of South Florida.
- [9]. Devkota, C. K. Regmi, D. A. Pourghasemi, R. H. Yohida, K. Pradham, B. Ryu, C. L. Dhital, R. M. and Althuwaynee, F. O. (2012). 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.
- [10]. Farahani, A. (2002). Natural slopes instability hazard assessment in Rudbar area by using fuzzy logic, M.Sc thesis, Faculty of science geology, Tarbiat Moallem University.
- [11]. Glade, T. (1998). Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. Env. Geo. 35(2):160-174.)
- [12]. Guzzetti, F. Carrara, A. Cardinali, M. and Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology 31:181-216.

- [13] Hosseini, r. and hojjati, m. (2010). The consequences of mass movement and landslide in woodland road in Mazandaran province. Seventh National Conference on watershed management science and engineering.
- [14]. Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Environ. Manag.* 34:223–232.
- [15]. Lee, S. and Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides* 4:33–41.
- [16] Lutfi, R., Hosseini, GH., Lotfalian, m. and Klarstaqy, GH. (2007). the study of the phenomenon of landslide around the forest roads based on participation in the production of sediment (Case study: Pahneh Kolla wood and paper industries, Tajan, Mazandaran, Iran), Fourth National Conference on of Iran's watershed management science and engineering Karaj, Tehran University Faculty of Natural Resources.
- [17]. Moore, I. D. Grayson, R. B. and Ladson, A.R. (1991). Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol Process* vol. 5, pp: 3–30.
- [18]. Pourghasemi, H. R. Moradi, H. R. and Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, Analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Nat. Hazards*.
- [19]. Pradhan, B. (2010). Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. *J. Indian Soc. Remote Senns.* 38:301–320.
- [20] Rosenfeld, C. L. (1994). The geomorphological dimensions of natural disasters. *Geomorphology* 10(1):27–36.
- [21]. Schuster, R. L. and Fleming, R. W. (1986). Economic losses and fatalities due to landslides. National Emergency Training Center.
- [22]. Soeters, R. and Van Westen, C. J. (1996). Landslides: Investigation and mitigation. Chapter 8-slope instability recognition, analysis, and zonation. Transportation Research Board Special Report (247).
- [23]. Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Sciences* 240(4857):1285–1293.
- [24] Solaimani, k., Gholami, M. (2014). Land slide occurrence sensitivity maps with the use of the frequency ratio and Gamma Fuzzy models in the South Caspian (Case study: road sari-Kiasar), National Conference on sustainable development space on the banks of the Caspian Sea, Mazandaran, University of Mazandaran, Faculty of Humanities and social sciences. COI: SSDCSC01_051
- [25]. Van Westen, C. J. (1997). Statistical landslide hazard analysis. In: Application guide, ILWIS 2.1 for Windows. ITC, Enscheda, The Netherlands, pp. 73–84.
- [26] Vakhshuri, S. (2013). Evaluate the potential landslide in geographic information system (A case study of Gorgan drainage basin). Master's Thesis Geology, Faculty of Science, University of Shiraz.