



اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز نازلوچای)

احمد نجفی ایگدیر^{۱*}، شهرام روستایی^۲

۱- عضو هیئت علمی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، ارومیه، ایران

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۱

چکیده

زمین‌لغزش‌ها همواره نقش مؤثری در تحول و تکامل دامنه‌ها داشته و مخاطرات جدی را در بیشتر نقاط زمین موجب شده‌اند. شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن جهت برنامه‌ریزی و انجام اقدامات کنترلی از اهداف تحقیق حاضر می‌باشد. بنابراین برای مدیریت خطر در حوضه‌ی آبریز نازلوچای در شمال غرب ایران، کارایی روش آماری رگرسیون لجستیک مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای انجام تحقیق، نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها از طریق بازدیدهای میدانی و استفاده از اطلاعات محلی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، تهیه گردید. در ادامه، عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، بارش، پوشش گیاهی، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی، عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه و وارد مدل گردیدند. پس از کمتی کردن طبقات هر یک از لایه‌های موضوعی با استفاده از تراکم زمین‌لغزش‌ها، لایه‌ها استانداردسازی شدند و پهنه‌بندی با روش آماری رگرسیون لجستیک انجام گردید. با توجه به ضرایب متغیرهای مستقل، متغیرهای لیتولوژی، شیب و جهت شیب از عوامل مهم و مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. همچنین مقادیر آماره‌های آزمون معناداری مدل نشان دهنده‌ی مناسب بودن این مدل برای حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

کلمات کلیدی: روش آماری رگرسیون لجستیک، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، حوضه‌ی آبریز نازلوچای، استان آذربایجان غربی

۱- مقدمه

عوامل متعددی در رخداد زمین‌لغزش نقش دارند که وجود آنها می‌تواند خطر وقوع زمین‌لغزش در هر پهنه را افزایش دهد. شناسایی این عوامل و ارزش اثرگذاری آنها می‌تواند به پهنه‌بندی مناسب زمین‌لغزش کمک کند. هدف از بررسی زمین‌لغزش‌ها، یافتن راه‌هایی برای کاهش خسارت‌های ناشی از آنها می‌باشد و همین امر پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزشی را ضروری ساخته که نقش غیر قابل انکاری را در مدیریت حوضه‌های آبریز ایفا می‌کند. لذا با بکارگیری مدل‌های آماری ضمن ارزیابی و اعتبارسنجی آنها، مناطق حساس به لغزش حوضه‌ی شناسایی و پهنه‌بندی صورت می‌گیرد. مقیاس کار، میزان و کیفیت داده‌ها، انتخاب روش مناسب تجزیه و تحلیل و مدلسازی، اعتبار نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش را تضمین می‌کند. فرایندی که منجر به تهیه‌ی چنین نقشه‌هایی می‌شود شامل چندین رویکرد کیفی و کمی است (آیالو و یاماگیشی^۱، ۲۰۰۵). بهترین روش تهیه‌ی نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش، تهیه‌ی سیاهه لغزش^۲ (نقشه پراکندگی زمین‌لغزش) می‌باشد که با بررسی‌های میدانی و بر اساس تفسیرعکس‌های هوایی، و با استفاده از داده‌های تاریخی لغزش‌های وقوع یافته می‌باشد. نقشه‌های سیاهه حرکات توده‌ای، پایه بیشتر روش‌ها برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشند (ون وستن و سوترز^۳، ۱۹۹۸). روش‌های کمی و کیفی هر دو برای ایجاد نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفته‌اند (گاززتی و همکاران^۴، ۱۹۹۹، ون وستن و سوترز، ۱۹۹۶ و آلتوتی و چادوری^۵، ۱۹۹۹). روش کیفی بطور گسترده در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ توسط ژئومورفولوژیست‌ها و مهندسان زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گرفت. روش‌های کمی در چند دهه گذشته بطور فزاینده‌ای عمدتاً بدلیل بیان عددی رابطه‌ی بین عوامل کنترل‌کننده و زمین‌لغزش‌ها بدلیل توسعه‌ی تکنولوژی کامپیوتری و سیستم اطلاعات جغرافیایی محبوبیت پیدا کردند (ون وستن و

1- Ayalew&Yamagishi
2- Inventory map
3- Van Westen&Soeters
4- Guzzeti et al.,
5- Aleotti&Chowdhury

همکاران، ۲۰۰۸، چانگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). پهنه‌بندی لغزش شامل تقسیم‌بندی زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل حساسیت ناشی از بروز زمین‌لغزش بر روی شیب دامنه‌هاست (شریعت جعفری، ۱۳۷۷، ۱۴۸). رگرسیون لجستیک که یکی از انواع مدل‌های خطی تعمیم یافته است. تجزیه و تحلیل وجود یا عدم وجود متغیر وابسته بسیار مناسب بوده و برای پیش‌بینی ناپایداری دامنه‌ای استفاده شده است (دای و لی^۲، ۲۰۰۲). شیرانی و همکاران (۱۳۹۴) با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده‌ی زمین‌لغزش و تعیین مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش در حوضه‌ی دز علیا با استفاده از روش رگرسیون لجستیک اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نمودند. با توجه به مقدار ضرایب بدست آمده لایه طبقات ارتفاعی مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. مقدار شاخص ROC برابر ۰/۹۱۷ بدست آمده که مقدار بالایی است و حاکی از آن است که حرکات توده‌ای مشاهده شده رابطه‌ی قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک دارد. رحیم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) برای شناسایی مناطق مستعد از لحاظ وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز سردول چای واقع در استان اردبیل لایه‌های اطلاعاتی مربوط به ۸ فاکتور شامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارش و ارتفاع را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی کردند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که نواحی شرقی، جنوب شرقی و جنوب غربی حوضه به دلیل وجود سازندهای رسوبی، پادگانه‌های قدیمی و انواع ترکیباتی از مارن، آهک و شیل، کاربری مراتع ضعیف و جهت شیب شمالی و غربی بیشترین حساسیت را برای وقوع زمین‌لغزش دارا بودند. خدائی و همکاران (۱۳۹۶) روش رگرسیون لجستیک را در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی حاجیلرچای مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک عملکرد بهتری را در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. همچنین تفسیر نتایج نشان می‌دهد طبقات ارتفاعی، شیب و فاصله از گسل نقش مهمی در وقوع

1- Chung et al.,

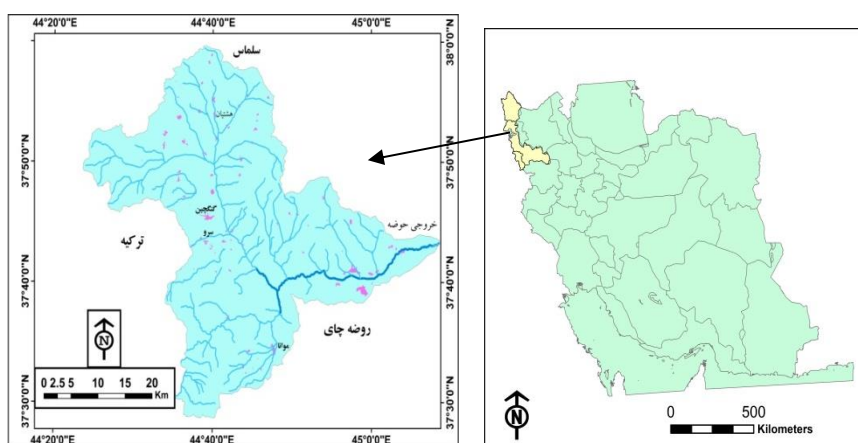
2- Dai & Lee

زمین لغزش دارند. تیموری و اسدی نلیوان (۱۳۹۸) در استان لرستان الویت بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی حساسیت آن را با استفاده از روش حداکثر آنتروپی انجام دادند. نتایج نشان داد که ۳۵/۵ درصد استان لرستان دارای حساسیت وقوع زمین لغزش است. سطح زیر منحنی براساس منحنی تشخیص عملکرد نسبی، نشان دهنده دقت ۹۹ درصد (عالی) روش حداکثر آنتروپی در مرحله آموزش و ۸۳ درصد (خیلی خوب) در مرحله اعتبارسنجی برای تعیین مناطق دارای حساسیت وقوع زمین لغزش می باشد. در این تحقیق با استفاده از نقشه ی پیش بینی احتمال وقوع زمین لغزش، منطقه به پنج گروه حساسیت بسیار پائین، پائین، متوسط، بالا و بسیار بالا طبقه بندی گردید. در تحقیق حاضر پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش بر اساس روش داده مینا^۱ انجام گردیده است. بر اساس این روش، پهنه بندی بر مبنای استفاده از داده های شیب، جهت شیب، ارتفاع، بارش، پوشش گیاهی، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده انجام شده است. جهت صحت سنجی مدل از منحنی ROC استفاده شده است که یک روش نوین و کارآمد در صحت سنجی می باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی عوامل مختلف و تأثیر گذار در وقوع زمین لغزش در حوضه ی آبریز نازلوچای می باشد.

۲- مواد و روش

منطقه ی مورد مطالعه بین ۲۴' ۴۴° تا ۴۵° ۵۳' طول شرقی و ۳۰' ۳۷° تا ۵۸' ۳۷° عرض شمالی در شمال غرب کشور و محدوده ی سیاسی استان آذربایجان غربی واقع شده است (شکل ۱). وسعت حوضه ی آبریز ۱۵۱۸/۸ کیلومتر مربع، محیط آن ۲۶۰/۶۵ کیلومتر، حداقل ارتفاع ۱۲۹۱ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۶۰۰ متر می باشد. درجه حرارت متوسط سالیانه حوضه ی آبریز نازلوچای از ۱/۹- درجه سانتی گراد در ارتفاع ۲۷۷۰ متر تا ۱۱/۹ در ارتفاع ۱۲۰۷ متر متغیر است. نوع اقلیم حوضه بر اساس روش دومارتن از نیمه مرطوب تا مرطوب و در روش کوپن از استپی تا مرطوب و در روش آمبرژه از نیمه خشک سرد تا نیمه مرطوب سرد می باشد (مهندسیین مشاور امداد آب چهار محال، ۱۳۸۵). با توجه به دمای

میانگین ماه‌های مختلف سال و طبق شواهد، مدت استقرار برف در حوضه (ارتفاعات حوضه) در حدود ۵ ماه و بعضاً از اواخر آبان ماه لغایت اواخر فروردین ماه می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن ارتفاع برفگیر حوضه (۲۵۵۳ متر)، می‌توان ارتفاعات بالاتر از آن را جزء مناطق با ماندگاری برف و مرطوب در نظر گرفت. گسترش واحدهای زمین‌شناسی در حوضه به صورتی است که سازندهای آواری دانه‌ریز (شیل‌های اسلیتی، فیلونیت‌ها) در بخش جنوب‌غرب حوضه گسترش زیادی داشته و بیشتر زمین‌لغزش‌ها نیز در این قسمت از حوضه رخ داده‌اند. حوضه‌ی عرصه‌ی فعالیت گسل‌هایی هستند که بصورت شمالی- جنوبی و غربی- شرقی گسترش داشته و زمینه را برای ناپایداری و تشدید آن فراهم می‌نمایند.



شکل (۱): موقعیت حوضه‌ی آبریز نازلوچای در استان آذربایجان غربی

Fig (1): Location map of the Nazlo basin –West Azerbaijan

در این تحقیق، داده‌های مورد نیاز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ (با توجه به مساحت زیاد منطقه، نقشه‌های مورد استفاده در دو مقیاس می‌باشند)، تصاویر ماهواره‌ای ETM+ (۲۰۱۵) و Google Earth (با توجه به اینکه از تصاویر با اندازه پیکسل کوچک‌تر از ۱ متر تهیه شده از دقت بالاتری در تشخیص عوارض برخوردار می‌باشد)، مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای تهیه گردید. مهم‌ترین بخش کار تهیه‌ی نقشه‌ی پراکندگی زمین‌لغزش‌های

موجود در منطقه می‌باشد (شکل ۲). بدین منظور کارهای میدانی هم به منظور شناسایی و ثبت زمین‌لغزش‌های موجود و هم به منظور نمونه‌برداری از کاربری‌های اراضی برای تهیه‌ی لایه‌ی کاربری اراضی از روی تصویر ماهواره‌ای انجام گرفت. در این مرحله مهم‌ترین ابزار کار دستگاه GPS می‌باشد.

برای انجام تحقیق از روش آماری رگرسیون لجستیک جهت انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده و با مرور منابع قبلی (میرنظری و همکاران، ۱۳۹۳، عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳، آیالو و همکاران، ۲۰۰۴، عبادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶) و با بررسی عوامل مختلف (مورفومتریک، اقلیمی و انسانی) حوضه آبریز نازلوچای، تعداد ده عامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفتند که عبارتند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش و پوشش گیاهی. جهت رقوم‌سازی و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور انجام پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش از نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI (به‌منظور پردازش تصویر و تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش گیاهی و کاربری اراضی) استفاده گردید.

- بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش

برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، متغیرهای مستقلی به شرح ذیل مورد بررسی قرار گرفت:

۱- مدل ارتفاع رقومی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۱۰ متر از روی نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با فواصل منحنی‌های میزان ۱۰ متر تهیه گردید (فاصله منحنی‌های میزان در این مقیاس ۱۰ متر است). منطقه از نظر ارتفاعی، به ۱۰ طبقه با فاصله طبقات ۲۵۰ متر تقسیم شد. تقریباً ۷۶ درصد توده‌های لغزشی در محدوده‌ی ارتفاعی ۱۷۵۰ تا ۲۵۰۰ متری و ۴۰ درصد لغزش‌ها فقط در محدوده‌ی ارتفاعی ۱۷۵۰ تا ۲۰۰۰ متری رخ داده‌اند.

۲- شیب: لایه شیب منطقه از روی مدل ارتفاع رقومی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر تهیه گردید و به ۷ طبقه با فاصله طبقات مختلف بر اساس وضعیت شیب منطقه تقسیم شد. متوسط شیب منطقه ۲۶/۷۵ درصد می‌باشد.

۳- جهت شیب: لایه جهت شیب از روی مدل ارتفاع رقومی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر تهیه گردید و به ۹ طبقه شامل جهت‌های اصلی، فرعی و بدون جهت تقسیم گردید. وجود رطوبت کافی در دامنه‌های شمالی تابعی است از ماندگاری بلندمدت برف که همین امر موجب گسیختگی ذرات خاک و وقوع لغزش میشود. از طریق نفوذ، آب داخل خاک تأمین شده و با کاهش چسبندگی، مقاومت رسوب کاهش می‌یابد (کچ^۱، ۱۹۹۵). بنابر این حضور آب و بدنبال آن نفوذپذیری به عنوان عاملی در وقوع زمین‌لغزش در شیب‌های شمالی میتواند مورد توجه قرار گیرد.

۴- در تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی از تصویر ماهواره لندست و روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. کاربری‌های عمده حوضه، بیشتر مرتع و اراضی کشاورزی دیم می‌باشند که حدود ۶۸/۸ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود که اکثر زمین‌لغزش‌ها بر روی این واحدها رخ داده‌اند.

۵- گسل‌های حوضه از روی نقشه‌های زمین‌شناسی استخراج شد. سپس حوضه برحسب فاصله از گسل‌ها به شش طبقه تقسیم گردید. در نهایت سطوح توده‌های لغزشی نسبت به فاصله از گسل‌ها محاسبه شده و در پهنه‌بندی منظور گردیدند.

۶- آبراهه‌های حوضه با استفاده از مدل ارتفاع رقومی (DEM) تهیه گردید. برخی از زمین‌لغزش‌ها در مجاورت آبراهه‌ها و در نتیجه پدیده‌ی زیرشویی توسط جریانات موجود رخ داده‌اند. برای دخالت دادن تأثیر فاصله از آبراهه در وقوع زمین‌لغزش، حریم‌هایی به فواصل ۱۰۰ متر نسبت به آبراهه‌ها ترسیم گردید.

۷- فاصله از جاده: احداث جاده تأثیر مخربی بر سطوح حوضه داشته و در صورت عدم رعایت موارد احتیاطی شرایط را برای وقوع ناپایداری دامنه‌ای مخصوصاً زمین‌لغزش مهیا خواهد کرد که در این بین با نزدیک شدن به جاده بر مقدار زمین‌لغزش‌ها افزوده و بر عکس با بیشتر شدن فاصله از مقدار آنها کاسته می‌شود.

۸- بارش: نقشه‌ی بارش حوضه‌ی آبریز نازلوچای با استفاده از مطالعات حصارى و همکاران (۱۳۸۴) و براساس بارش ۳۰ ساله تهیه گردیده است (با توجه به اینکه در چند سال اخیر بارش منطقه در شرایط نرمال نبوده و خشکسالی بر منطقه حاکم بوده، اطلاعات این مطالعه مبنای کار قرار گرفته است. سرشاخه اصلی این حوضه در داخل کشور ترکیه قرار گرفته و تطابق داده‌های بارش و رواناب در شرایط عادى مناسب نمی‌باشد). در مطالعه‌ی فوق بدلیل عدم تطابق داده‌های بارش و رواناب، مقدار بارش مناطق مرتفع از مقدار رواناب حوضه تخمین و با استفاده از بیلان آب سطحی و بصورت سلولی تهیه گردیده است.

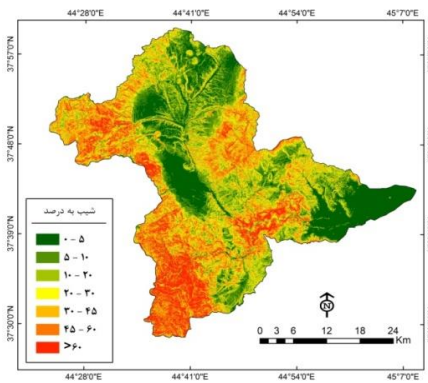
۹- شاخص پوشش گیاهی: نقشه پوشش گیاهی برای تکمیل کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر، از شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)^۱، برای تهیه نقشه پوشش گیاهی استفاده گردید. بدین منظور از تصاویر ETM+ ماهواره لندست (مربوط به سال ۲۰۱۵) استفاده شد (شکل ۱۱). مقدار این شاخص بین ۱- تا ۱+ می‌باشد. هرچه مقدار آن به ۱+ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی سرسبزی و بالا بودن پوشش گیاهی است (لیو و ماسون^۲، ۲۰۰۹). نسبت band4/ Band3 برای شناخت وضعیت و تراکم تاج پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه‌ی (۱) نحوه‌ی محاسبه شاخص NDVI را نشان می‌دهد:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

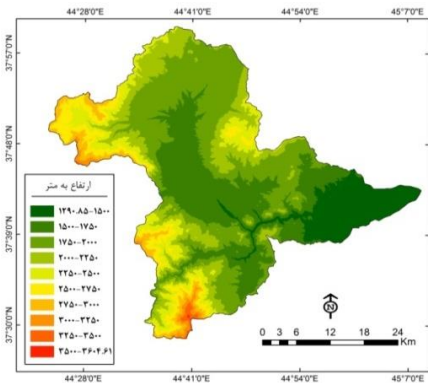
که در آن NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴ سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷) و Red باند قرمز (باند ۳ سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷) می‌باشد.

1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Liu & Mason, 2009

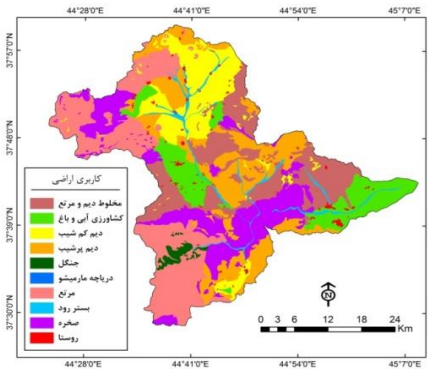
۱۰- نقشه‌ی لیتولوژی حوضه از روی نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ ورقه ارومیه، ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ ورقه سرو استخراج گردید. تقریباً ۳۰ درصد توده‌های لغزشی بر روی سازندهای آهکی، دولومیتی و نزدیک به ۲۲ درصد بر روی ماسه‌سنگ و مارن و کنگلومرا بوقوع پیوسته‌اند. همچنین حدود ۳۰ درصد لغزش‌ها بر روی کالردملانژ، اسلیت و فیلیت رخ داده‌اند که دارای میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک و منطقه تراکم گسل می‌باشد. اشکال ۲ تا ۱۱ نقشه‌ی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه را نشان می‌دهد.



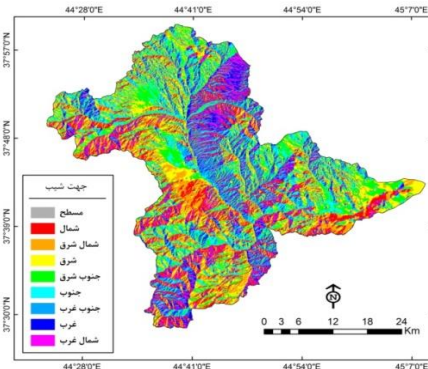
شکل (۲): نقشه‌ی کلاس‌های شیب
Fig (2): Slope Classes map



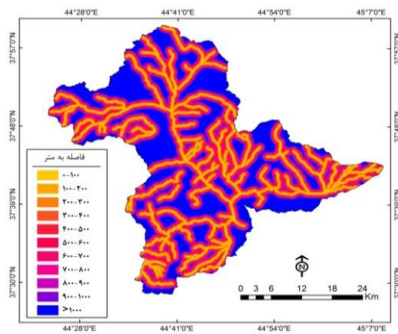
شکل (۳): نقشه‌ی کلاس‌های ارتفاعی
Fig (3): Elevation Classes map



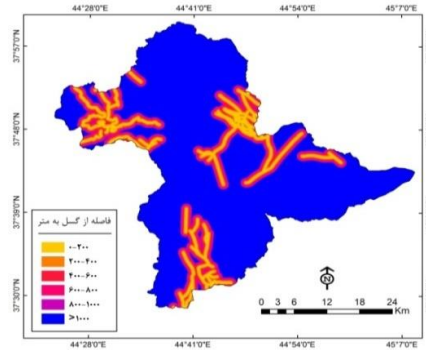
شکل (۴): نقشه‌ی کاربری اراضی
Fig (4): Landuse map



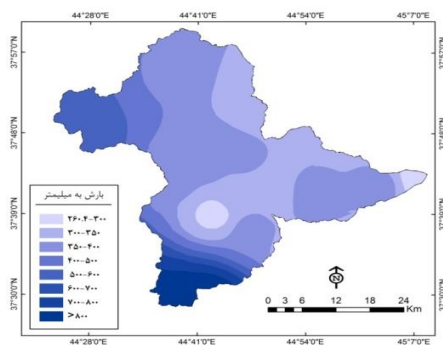
شکل (۵): نقشه‌ی کلاس‌های جهت شیب
Fig (5): Slope direction classes map



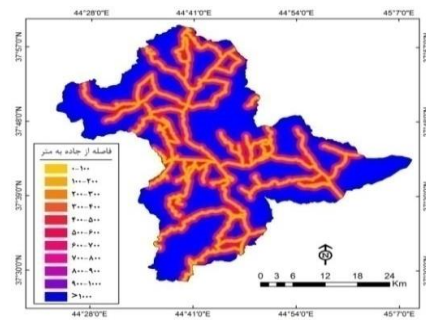
شکل (۶): نقشه‌ی فاصله از آبراهه
Fig (6): Distance to stream map



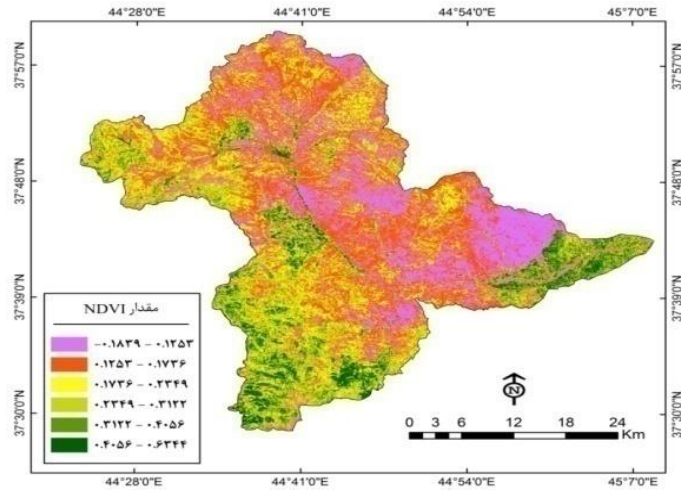
شکل (۷): نقشه‌ی فاصله از گسل
Fig (7): Distance to fault map



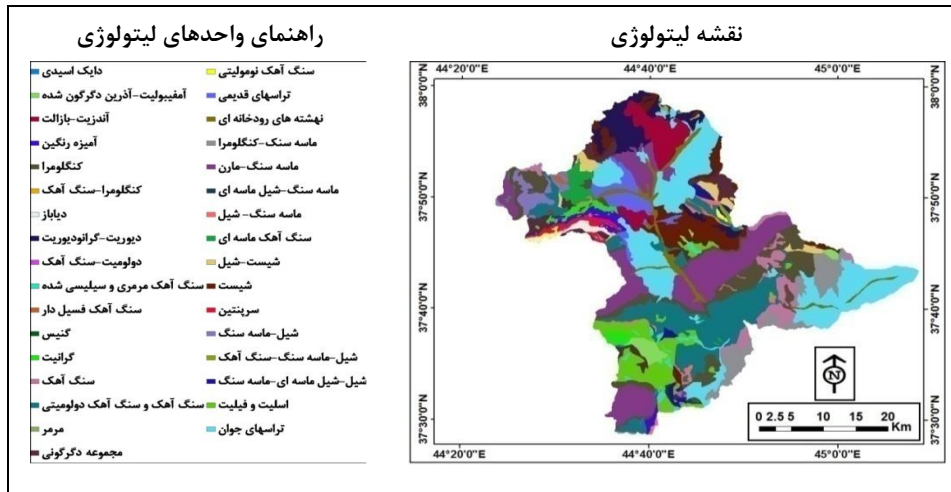
شکل (۸): نقشه‌ی بارش
Fig (8): Rainfall map



شکل (۹): نقشه‌ی فاصله از جاده
Fig (9): Distance to road map



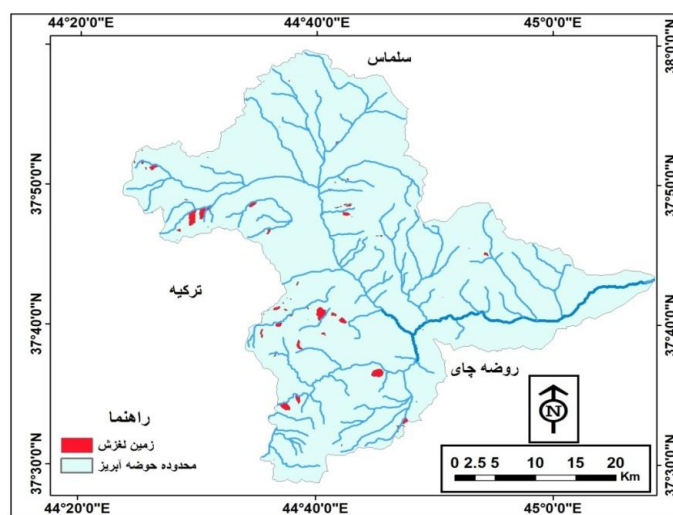
شکل (۱۰): نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی (NDVI) حوضه‌ی آبریز نازلوچای
Fig (10): Vegetation Index (NDVI) map of Nazlochai basin



شکل (۱۱): نقشه‌ی لیتولوژی حوضه‌ی آبریز نازلوچای
Fig (11): Lithology map of Nazlochai basin

نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌ها

نقشه‌ی پراکنندگی زمین لغزش مهم‌ترین بخش کار در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌باشد (با توجه به وسعت زیاد و کوچک بودن مقیاس حوضه‌ی مورد مطالعه، امکان ارائه جزئیات بیشتر بر روی آن مقدور نمی‌باشد) (شکل ۱۲). نقشه‌های پراکنندگی زمین لغزش‌ها، پایه‌ای برای اغلب روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشند. با وجود این، آنها می‌توانند به‌عنوان یک فرم مقدماتی از نقشه‌ی خطر نیز مورد استفاده قرار گیرند. تمرکز اکثر زمین لغزش‌های منطقه در دامنه‌های رو به شمال و شمال شرقی ارتفاعات کوهستانی هم مرز با کشور ترکیه می‌باشد که از رطوبت مناسبی برخوردار می‌باشد. با توجه به شرایط فیزیکی حوضه، ارتفاعات غربی (مناطق واقع در غرب حوضه) از ارتفاع بالایی نسبت به دامنه‌های شرقی برخوردار بوده که همین امر موجب رطوبت بالا در ارتفاعات غربی هم مرز با کشور ترکیه شده و بیشتر رطوبت ورودی را دریافت می‌کنند. به همین دلیل پراکنش زمین لغزش‌ها را نیز در این منطقه داشته که تأثیر آن را در پهنه‌بندی زمین لغزش شاهد هستیم.



شکل (۱۲): نقشه‌ی پراکنندگی زمین لغزش‌های حوضه‌ی آبریز نازلوچای

Fig (12): Landslide distribution map of Nazlochai basin

- روش تحقیق

در این تحقیق از روش رگرسیون لجستیک که یکی از روش‌های رایج آماری چندمتغیره می‌باشد برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استفاده شده است. این روش زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که پاسخ، کیفی و بصورت بود و نبود باشد. در مورد زمین‌لغزش‌ها، وجود (۱) یا عدم وجود (۰) زمین‌لغزش به عنوان مقادیر متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود.

در مورد مطالعه حساسیت زمین‌لغزش، هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین (در عین حال معقول) مدل برازش برای بیان رابطه بین وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش‌ها (متغیر وابسته) و مجموعه‌ای از پارامترهای مستقل مانند زاویه‌ی شیب، جهت شیب و لیتولوژی می‌باشد و بر اساس رابطه‌ی (۲) بیان می‌شود (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵).

$$Y = \text{Logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (\text{رابطه‌ی } 2)$$

که در آن:

P: احتمال این است که متغیر وابسته (Y) ۱ باشد،

P/(1-P): اصطلاحاً شانس^۱ یا نسبت درست‌نمایی^۲ است،

C₀: عرض از مبدأ^۳، و C₁, C₂, ..., C_n: ضرایبی هستند که میزان مشارکت فاکتورهای مستقل (X₁, X₂, ..., X_n) در تغییرات (تغییرپذیری) Y را نشان می‌دهند.

در این زمینه، نرم‌افزار IDRISI دستورالعمل برآورد حداکثر درست‌نمایی^۴ را برای یافتن بهترین برازش مجموعه پارامترهای مستقل مورد استفاده قرار می‌دهد و در این تحقیق برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش از این نرم‌افزار استفاده گردیده است.

1- odds

2- likelihood ratio

3- intercept

4- maximum likelihood

در این مدل پس از کمی کردن طبقات هر یک از لایه‌های موضوعی با استفاده از تراکم زمین‌لغزش‌ها، لایه‌ها استانداردسازی شدند. برای استانداردسازی لایه‌ها از رابطه‌ی (۳) استفاده گردید (متولی و همکاران، ۱۳۸۸، حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸):

$$X_{\text{standardized}} = \frac{X - \text{Min}(x)}{\text{Max}(x) - \text{Min}(x)} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

چنانچه X به عنوان متغیر ورودی در نظر گرفته شود مقادیر استاندارد شده بر اساس رابطه فوق به دست خواهد آمد. خلاصه نتایج حاصل از رگرسیون لجستیک در بحث و نتایج تحقیق و در ادامه آورده شده است. در نهایت نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک حاصل شد. (شکل ۱۳)

در روش رگرسیون لجستیک برای تست مدل از آزمون‌هایی می‌توان استفاده کرد که نقطه شروع کلیدی برای تست این مدل می‌تواند Chi-Square باشد که یک آزمون معناداری معمول برای رگرسیون لجستیک می‌باشد. کای-مربع اختلاف بین $-2\ln L$ (likelihood برای مدل بهترین برازش و $-2\ln L_0$ برای فرض صفر است).

مقدار $\text{pseudo } R^2$ ، با احتیاط نشان می‌دهد که چگونه مدل logit مجموعه داده‌ها را برازش می‌دهد (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵ به نقل از منارد^۱، ۱۹۹۵). بنابراین، $\text{pseudo } R^2$ برابر با ۱ نشان‌دهنده‌ی برازش کامل می‌باشد، درحالی‌که مقدار صفر نشان‌دهنده‌ی عدم وجود رابطه است. زمانیکه $\text{pseudo } R^2$ بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد، یک برازش نسبتاً خوب را نشان می‌دهد (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵ به نقل از کلارک و هاسکینگ^۲، ۱۹۸۶). رویکرد جایگزینی که برای تفسیر نیز ساده‌تر می‌باشد توجه به این امر است که مدل، واقعاً چه مقدار متغیر وابسته را بخوبی پیش‌بینی می‌کند.

در این مورد نرم‌افزار IDRISI اصطلاحاً مشخصه عامل نسبی^۳ (ROC) را برای مقایسه‌ی

1- Menard, 1995

2- Clark and Hosking, 1986

3- relative operating characteristic

یک نقشه‌ی بولین «واقعیت^۱» (وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش‌ها) با نقشه‌ی احتمالاتی را به کار می‌گیرد. دامنه‌ی ارزش ROC از ۰/۵ تا ۱ می‌باشد، که در آن ۱ نشان‌دهنده‌ی یک برازش کامل و ۰/۵ نشان‌دهنده‌ی یک برازش اتفاقی است (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵). در سال‌های اخیر، استفاده از ROC بدلیل در دسترس بودن نرم‌افزارهای کامپیوتری برای تولید راحت منحنی و نیز محاسبه‌ی مساحت زیرمنحنی متداول‌تر شده است (کلین بائوم و کلین، ۲۰۱۰). رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی پدیده‌های دوحالته از کارایی بالایی برخوردار است. بدین منظور می‌بایست لایه‌ی حوضه‌ی مطالعاتی بولین شده و مقدار ۱ برای پهنه‌ها یا پیکسل‌های لغزشی و مقدار ۰ برای پهنه‌های فاقد زمین‌لغزش اختصاص داده شود. ۷۰ درصد زمین‌لغزش‌های منطقه برای اجرای مدل و ۳۰ درصد زمین‌لغزش‌ها برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

به منظور ارزیابی عوامل مؤثر در رویداد زمین‌لغزش (متغیر وابسته) حوضه‌ی آبریز نازلو مدل رگرسیون لجستیک بکار گرفته شد و براساس ضرایب بدست آمده برای متغیر مستقل از طریق اجرای مدل، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام گرفت.

با توجه به ضرایب متغیرهای مستقل (جدول ۲) می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای لیتولوژی، شیب و جهت شیب از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. برعکس، متغیرهای فاصله از گسل و کاربری اراضی تأثیر اندکی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی مطالعاتی دارند. برای اینکه ضرایب رگرسیونی مناسب باشند، لایه‌ی زمین‌لغزش‌های موجود به عنوان Y یا متغیر پاسخ و لایه‌ی متغیرها (لیتولوژی، شیب، جهت شیب و ...) به عنوان متغیر X می‌باشند. جدول (۱) ضرایب حاصل از رابطه‌ی رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر آماره‌های آزمون معناداری مدل (جدول ۲) نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن این مدل برای حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

جدول (۱): مقادیر ضرایب متغیرهای مستقل

Table (1): The coefficients of the independent variables

ضریب	متغیر
۲/۵۹۲۹۴۱	لیتولوژی
۲/۱۷۴۹۳۱	شیب
۱/۹۴۴۹۰۲	جهت شیب
۱/۸۴۵۲۹۷	شاخص پوشش گیاهی (NDVI)
۱/۶۴۴۷۵۸	فاصله از جاده
۱/۱۴۹۱۸۸	ارتفاع
۰/۹۴۴۶۰۰	فاصله از رودخانه
۰/۶۷۷۶۶۵	بارش
۰/۴۹۱۶۶۵	فاصله از گسل
۰/۴۳۴۲۴۱	کاربری اراضی

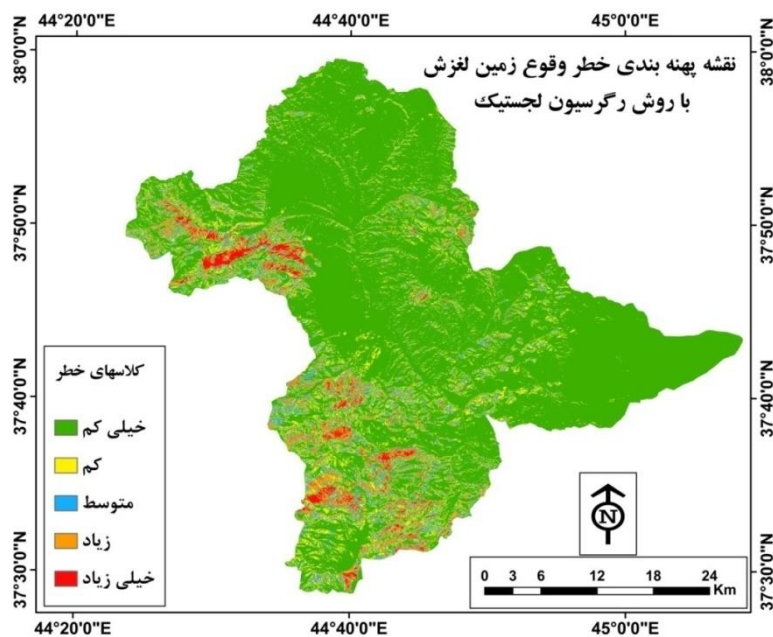
جدول (۲): آماره‌های مهم آزمون معناداری مدل رگرسیون لجستیک

Table (2): Important statistics of significance test of logistic regression model

آماره	مقدار
-2log0	۱۸۸۱۰۳/۲۹۴۵
-2log(likelihood)	۱۲۳۹۸۶/۹۸۶۷
Pseudo R_square	۰/۳۴۰۹
Goodness of fit	۱۰۰۱۸۵۵/۵۴۴۷
Chisquare	۶۴۱۱۶/۳۰۷۸
ROC	۰/۹۵۸۱

با توجه به اینکه در این پژوهش مقدار شاخص Pseudo R_Square برابر ۰/۳۴ بوده و همچنین با توجه به اینکه این مقدار بزرگ‌تر از آستانه ۰/۲ می‌باشد این مدل برازش قابل قبولی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص ChiSquare نیز بر اساس روابط رگرسیونی مدل برابر ۶۴۱۱۶/۳ انتخاب گردیده است که با توجه به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه تعیین شده است، در نتیجه فرض صفر بودن تمام ضرایب نیز رد می‌گردد.

جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش روش‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق، از روش طبقه‌بندی انحراف استاندارد بدلیل تطابق بیشتر آن با واقعیت منطقه، برای پهنه‌بندی استفاده شده است (شکل ۱۳).



شکل (۱۳): نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با روش رگرسیون لجستیک

Fig (13): Landslide zonation map by logistic regression method

منطقه‌ی مورد مطالعه به ۵ کلاس خطر زمین‌لغزش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد. جدول (۳) مساحت کلاس‌های مختلف خطر را نشان می‌دهد.

جدول (۳): مساحت کلاس‌های خطر حاصل از پهنه‌بندی

Table (3): Area of zoning hazard classes

کلاس‌های خطر	مساحت کلاس‌های خطر به درصد	مساحت توده‌های لغزشی در هر کلاس
خیلی کم	۶۷/۰۴	۶/۴۴
کم	۱۵/۰۹	۱۳/۶۰
متوسط	۶/۴۳	۱۱/۷۵
زیاد	۷/۴۲	۲۸/۳۸
خیلی زیاد	۴/۰۳	۳۹/۸۴

با توجه به نتایج بدست آمده حدود ۱۱/۴۵ درصد منطقه تحت شرایط خطر بالا قرار داشته که قابل تأمل بوده و توجه بیشتری را می‌طلبد. قابل توجه است که بیش از ۶۸ درصد زمین‌لغزش‌ها نیز در محدوده‌ی پهنه‌های زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. ارزیابی دقت مدل از طریق منحنی ROC صورت گرفته که یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌ها است (سوتس^۱، ۱۹۸۸). منحنی ROC میزان دقت مدل را بصورت کمی نشان می‌دهد. سطح زیرمنحنی ROC بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده و عدم تخمین آن است. ایده‌آل‌ترین مدل بیشترین سطح زیر منحنی را دارد (پورقاسمی، ۱۳۸۹). در این تحقیق سطح زیرمنحنی ROC برابر ۰/۹۵۸ انتخاب گردیده است که مقدار بسیار بالایی را نشان می‌دهد و حاکی از آن است که زمین‌لغزش‌ها، رابطه‌ی قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجیستیک دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجیستیک در حوضه‌ی آبریز نازلوچای انجام گردیده است. ضرایب بدست آمده در جدول ۲ بیانگر این است که وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه با عوامل لیتولوژی، شیب و جهت شیب رابطه‌ی مستقیم و با کاربری اراضی، فاصله از گسل رابطه‌ی ضعیفی دارد و نشان می‌دهد که احتمال وقوع زمین‌لغزش با تغییر لیتولوژی، شیب و جهت شیب افزایش می‌یابد (در واقع با تغییر نوع لیتولوژی، و متفاوت بودن حساسیت آنها، امکان شرایط لغزشی نیز متفاوت خواهد بود. ضمناً با افزایش شیب امکان وقوع لغزش نیز افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین بعضی از جهت‌ها با داشتن رطوبت بیشتر (دامنه‌های رو به شمال) شرایط را برای وقوع لغزش افزایش خواهند داد). با توجه به مقدار ضرایب می‌توان گفت که لیتولوژی مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش و پس از آن به ترتیب لایه‌های شیب، جهت

شیب و پوشش گیاهی می‌باشد. بررسی لیتولوژی منطقه به عنوان اولین عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش نشان داده است که زمین‌لغزش‌های بیشتری بر روی سنگ‌های آهکی و کنگلومرا رخ داده است که می‌تواند ناشی از تحول دامنه‌ای و انباشت مواد تخریبی بر روی آنها باشد. شیب دامنه نیز از عوامل لغزشی است که بدلیل نیروی ثقل و کاهش مقاومت برشی خاک در شیب‌های بیش از ۱۰ درصد تا ۴۵ درصد منجر به ناپایداری دامنه می‌گردد که در اکثر تحقیقات انجام گرفته جزء عوامل تأثیرگذار می‌باشد. همچنین دامنه‌های متمایل به شمال بدلیل دریافت و حفظ رطوبت بیشتر نسبت به دامنه‌های جنوبی و بدلیل کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک از حساسیت بیشتری نسبت به زمین‌لغزش برخوردار هستند که با نظر کن و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. شیرانی و همکاران (۱۳۹۴) در حوضه‌ی دز علیا بعد از ارتفاع، عوامل لیتولوژی، شیب و جهت شیب را به عنوان عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. عابدینی و همکاران (۱۳۹۳) در کردستان (بیجار) عوامل شیب و جهت شیب را از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند که می‌تواند مؤید نتایج حاصل از تحقیق حاضر باشد. گرکو^۱ و همکاران (۲۰۰۷) و نفسلی اوغلو^۲ و همکاران (۲۰۰۸) نیز در تحقیقات خود به نقش تأثیرگذار لیتولوژی بر روی رخداد زمین‌لغزش تأکید نموده‌اند. سطح زیر منحنی ROC نیز برابر ۰/۹۵۸ انتخاب گردیده است که مقدار بسیار بالایی را نشان می‌دهد و حاکی از آن است که زمین‌لغزش‌ها، رابطه‌ی قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک دارد. در نهایت منطقه به پنج کلاس خطر کم، خیلی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید. در مجموع با توجه به نتایج حاصله و بررسی نتایج تحقیقات دیگر محققان، روش رگرسیون لجستیک از کارایی لازم و کیفیت مناسب برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش برخوردار می‌باشد.

بحث مهمی که در این تحقیق می‌توان به آن اشاره و تأکید داشت، نقش جهت شیب در ناپایداری دامنه و وقوع زمین‌لغزش می‌باشد که اکثر محققان و یا حتی تمام آنها با کم

1- Grecoet al, 2007

2- Nefeslioglu et al., 2008

توجهی از کنار آن رد می‌شوند، در صورتی که با توجه به ماندگاری بیشتر رطوبت بدلیل عدم دریافت مستقیم انرژی خورشید، مستعد رخداد زمین‌لغزش بوده و بیشتر آنها در این دامنه‌ها (شمالی) بوقوع می‌پیوندند که ضروری است توجه خاصی در بررسی‌های زمین‌لغزش به این موضوع داده شود. در بررسی حوضه‌ی آبریز نازلوچای نیز این مورد از ارزش بررسی خاص برخوردار می‌باشد. بررسی لغزش‌های صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که نزدیک به ۷۷٪ اتفاقات در دامنه‌های متمایل به شمال رخ داده است که نشان از تأثیر رطوبت فراوان بوده و نشان‌دهنده‌ی نقش بالای جهت شیب در وقوع زمین‌لغزش است.

۵- منابع

- Abedini, M., & Fathi, M. H. (2014). Zoning of landslide risk sensitivity in Khalkhal Chay watershed using multi-criteria models. *Quantitative Geomorphological Research*, 2(4), 71-85.
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.
- Can, T., Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., & Duman, T. Y. (2005). Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72(1-4), 250-271.
- Chung, C. F. (2002). Stability analysis of prediction models applied to landslide hazard mapping. *Applied Geomorphology, Theory and Practice*. pp. 1-19.
- Clark, W. A., & Hosking, P. L. (1986). *Statistical methods for geographers* (No. 310 C5).
- Dai, F. C., & Lee, C. F. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228.
- Ebadinejad, S. A., Yamani, M., Maghsoudi, M., & Shadfar, S. (2007). Evaluating the efficiency of fuzzy logic operators in determining landslide capability (Case study of Shirood watershed). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 1(2), 39-44.
- Geological maps of Urmia and Sero with a scale of 1: 100000 and geological maps with a scale of 1: 250,000. Geological Survey of Iran, 1988 and 2006, along with reports.
- Greco, R., Sorriso-Valvo, M., & Catalano, E. (2007). Logistic regression analysis in the evaluation of mass movements susceptibility: the

Aspromonte case study, Calabria, Italy. *Engineering Geology*, 89(1-2), 47-66.

- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216.
- Hosseinzadeh, M. M., Sarvati, M. R., Mansori, A., Mirbaghari, B., & Khazri, S. (2009). Zoning the risk of mass movement occurrences using logistic regression model, case study in vicinity of Sanandaj-Dehgolan road. *Iranian Journal of Geology*, 3(11), 27-37.
- Khodaei, L., Roustaei, S., & Hejazi, S. S. (2017). Evaluation of logistic regression method in landslide potential study Case study: Hajilar Chay river basin. *Journal of Natural Geography*, 10(37), 45-57.
- Kleinbaum, D. G., & Klein, M. (2010). Logistic Regression: A Self-learning Text. Springer Science and Business Media. *New York, NY*.
- Liu, J. G., & Mason, P. J. (2009). Essential image processing and GIS for remote sensing. John Wiley & Sons. 443p.
- Menard, S. (1995). Applied Logistic Regression Analysis: Sage University Series. *Thousand Oaks*. California. 98p.
- Meteorological Studies Report. (2006). General Department of Natural Resources of West Azerbaijan, Chaharmahal Water Rescue Consulting Engineers.
- MirNazari, J., Shahabi, H., & Khezri, S. (2014). Currency and Physics of the AHP and Objectives in the Islamic Republic of Iran. *Journal of Geography and Development*, 37, 53-70.
- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Sonmez, H. (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97(3-4), 171-191.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Mohammadi, M. (2014). Landslide Susceptibility Zoning, Using Weight of Evidence Probabilistic Model. *Engineering Journal of Geospatial Information Technology*, 1(2), 69-80.

- Rahimpour, T., Roostaei, S. & Nakhostinrouhi, M. (2018). Landslide Hazard Zonation Using Analytical Hierarchy Process and GIS A Case Study of Sardool Chay Basin, Ardabil Province. *Hydrogeomorphology*, 4(13), 1-20.
- Roostaei, S., Khairizadeh, M., Sarafrozeh, S., & Najafi Igdir, A. (2012). Landslide risk zoning using the factor of uncertainty model. *National Conference of the Iranian Geomorphological Association*, 1, 163-165.
- Roostaei, S., Najafi Igdir, A., & Hejazi, A. (2018). Landslide Hazard Zonation Using the Fuzzy Logic Method in Nazlo-Chay Basin. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(4), 103-119.
- Sadr al-Din, M., Ismaili, R., & Hosseinzadeh, M. M. (2009). Determination of Landslide Sensitivity Using Logistic Regression in Vaz Basin (Mazandaran Province). *Journal of Natural Geography*, 2(5), 83-73.
- Shariat, J. M., & Ghayoumian, J. (2008). Assessment of Bivariate Statistical Analysis Model in Landslide Hazard Zonation. *Journal of Science (University of Tehran)*, 34 (1), 137-143.
- Shirani, K., & Arabameri, A. R. (2015). Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study:Dez-e-Oulia Basin). *Journal of Water and Soil Science*, 19 (72), 321-335.
- Swets, J.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.
- Teimouri, M., & Asadi Nalivan, O. (2020). Susceptibility Zoning and Prioritization of the Factors Affecting Landslide Using MaxEnt, Geographic Information System and Remote Sensing Models (Case study: Lorestan Province). *Hydrogeomorphology*, 6(21), 155-179.
- Van Westen, C. J. (1998). Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation (GISSIZ). ITC, P. 156.