پیش‌بینی قابلیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت، گرگان)

کاظم نصرتی[1*]، مینا حیدری[1]، محمدمهدی حسین‌زاده[1] و سمیه عمادالدین[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۹)

چکیده

حوضه آبخیز زیارت در جنوب شهرستان گرگان به‌دلایل ژئومورفولوژیک، آنتروپوژنیک و زمین‌شناسی همواره در معرض وقوع حرکات توده‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش است. هدف از این مطالعه پیش‌بینی قابلیت وقوع زمین‌لغزش و تحلیل فاکتورهای مؤثر بر آن در این حوضه با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر است. به این منظور لایه‌های متغیرهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و عکس‌های هوایی تهیه شدند، همچنین لایه‌های میزان رس، ماسه، سیلت، رطوبت اشباع و حد روانی خاک بعد از برداشت ۳۲ نمونه از نقاط لغزشی زمین‌لغزش‌ها و۳۲ نمونه از نقاط فاقد لغزش و تجزیه آزمایشگاهی، آماده شدند. فاکتورهای کنترل کننده زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر مشخص و براساس ضرایب آنها نقشه پیش‌بینی قابلیت رخداد زمین‌لغزش تهیه و اعتبارسنجی شد. نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش این حوضه به پنج کلاس خطر شامل خطر بسیار کم تا خطر بسیار زیاد طبقه‌بندی شد. با توجه به این نقشه، بیشترین مساحت حوضه به کلاس خطر بسیار زیاد با حدود ۱۶/۸ کیلومتر مربع تعلق دارد. نتایج اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC)، مقدار ۰/۶۹ به‌دست آمد که نشان‌دهنده معتبر بودن نتایج این مدل برای حوضه آبخیز زیارت است. به‌طورکلی، نتایج این مطالعه می‌تواند برای اقدامات اصلاحی و آبخیزداری پهنه‌های با خطر بالا برای وقوع زمین‌لغزش مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز زیارت، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲. گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، گرگان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: k_nosrati@sbu.ac.ir

مقدمه

مخاطرات ژئومورفولوژیک به‌عنوان پدیده‌ای بالقوه زیان‌بار مطرح است و حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها، از مهم‌ترین این مخاطرات هستند. زمین‌لغزش‌ها تقریباً ۹ درصد از بلایای طبیعی را که در سراسر جهان در طی سال ۱۹۹۰ اتفاق افتاده، به خود اختصاص داده‌اند و به‌نظر می‌رسد در دهه‌های بعدی، به‌دلیل توسعه شهرها، جاده‌سازی و قطع پیوسته جنگل‌ها در مناطق مستعد زمین‌لغزش ادامه داشته باشد (۲). تنوع آب‌وهوایی و موقعیت قرارگیری کشور ایران در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ – هیمالیا، فراوانی تغییرات اقلیمی، زمین‌شناختی و ژئومورفولوژی ناشی از آن، منجر به بلایای طبیعی گوناگون از جمله حرکات دامنه‌ای شده است (۱). ناپایداری‌های دامنه‌ای، امروزه یکی از مخاطرات طبیعی است که همه ساله مسئول خسارات عظیم مالی، شامل هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم است (۱۲ و ۱۵). زمین‌لغزش از فرایندهای اصلی زمین‌ریختی و حرکات دامنه‌ای است که تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۶). پارامترهای متعددی مانند آب‌وهوا، شیب، دما، پوشش گیاهی، ارتفاع، لیتولوژی، حساسیت سنگ به فرسایش، فاصله از گسل، هم‌جهت بودن شیب دامنه با شیب لایه رویی، رطوبت خاک و تغییرات کاربری اراضی بر وقوع زمین‌لغزش تأثیرگذار هستند (۱۳ و ۱۴). شرایط محیطی که موقعیت، فراوانی و نوع زمین‌لغزش را کنترل می‌کنند شامل شرایط توپوگرافی، مورفولوژی، سنگ‌شناسی، حضور و فراوانی ناپیوستگی‌های سنگ‌شناسی شامل سنگ بستر، گسل‌ها، درزه‌ها و سیستم‌های رخ، نوع و عمق خاک، گسترش و نوع پوشش گیاهی و ویژگی‌های مکانیکی و هیدرولوژیکی سنگ‌های منطقه هستند (۴ و ۷)، همچنین رشد جمعیت در دهه‌های اخیر، گسترش شهرها به سوی نواحی کوهستانی و پرشیب و دخالت هر چه بیشتر بشر در طبیعت، سبب افزایش رخداد زمین‌لغزش‌ها و بالا رفتن میزان خسارات و تلفات این پدیده در سال‌های اخیر شده است. در نتیجه برای کنترل و کاهش رخداد زمین‌لغزش در مناطق در معرض خطر، پیش‌بینی زمین‌لغزش‌ها الزامی است (۳ و ۱۲).

روش‌های مختلفی برای شناخت عوامل کنترل کننده زمین‌لغزش و پیش‌بینی آن وجود دارد که می‌توان به روش رگرسیون لجستیک، رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر، روش فازی، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش فرایند تحلیل شبکه اشاره کرد (۲، ۸، ۹ ، ۱۰، ۱۶ و ۱۹). تاکنون تحقیقات متعددی با روش‌های مذکور انجام شده است: واندن ایچ‌هات و همکاران برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در منطقه فلمیش آردنز بلژیک، از روش آماری چند متغیره رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر استفاده کردند. نتایج نشان داد توافق خوبی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده وجود دارد و بر این اساس، نقشه خطر وقوع زمین‌لغزش به چهار دسته تقسیم شد (۱۹). سونگ و همکاران از دو روش برای یافتن مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش‌های سطحی و کم‌عمق منطقه سابای در ژاپن استفاده کردند. از بین روش‌های استفاده شده برای این منظور، روش رگرسیون لجستیک با ۸۹ درصد صحت و ۵۴/۵ درصد نسبت موفقیت، مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی توزیع پتانسیل خطر زمین‌لغزش‌های سطحی و کم‌عمق است (۱۷). بای و همکاران با این دیدگاه که زمین‌لغزش تأثیر بزرگی بر زندگی انسان، محیط و توسعه اقتصاد محلی دارد، اقدام به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه لیان یانگینگ چین کردند. آنها از نقشه‌های دیجیتالی، مدل رقومی ارتفاع منطقه، نقشه‌های زمین‌شناسی، شبکه جاده و رودخانه برای آنالیز استفاده کردند. زمین‌لغزش‌ها شناسایی و در طول بازدیدهای میدانی مشخص شدند. نقشه به‌دست آمده از آنالیز داده‌ها، منطقه را از نظر حساسیت زمین‌لغزش به چهار دسته تقسیم می‌کند که در این بین منطقه با حساسیت خیلی بالا با ۱۱/۹۳ درصد و منطقه با حساسیت خیلی کم با ۴۷/۲ درصد، دارای کمترین و بیشترین میزان حساسیت هستند (۱۲). آنبالاگان و همکاران، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دره

لاچونگ، در منطقه سیکیم هند پرداختند. آنها در این پژوهش از فراوانی نسبی زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه و روش منطق فازی در محیط GIS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مناطق دارای شیب بین ۳۵ تا ۴۵ درجه، با جهت‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب، با جنس زمین لوم شنی – راک، سنگ کوارتزیت و میگماتیت از لحاظ رخداد زمین‌لغزش، نسبت به مناطق دیگر مستعدتر و آسیب‌پذیرتر هستند (۱۱). مقیمی و همکاران با روش ANP مناطق پایدار و ناپایدار شهر رودبار را مشخص و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش این شهر را ارائه کردند (۱۰). ثروتی و همکاران با بهره‌گیری از روش آماری رگرسیون لجستیک مشخص کردند که عواملی مانند فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، جنس سازند، شیب و شکل سطح زمین در وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز رودخانه سیکان بیشترین تأثیر را دارند (۲). مختاری اصل و رنجبریان شادباد در ارزیابی و پهنه‌بندی احتمال خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز یایجیلو با از استفاده از روش AHP به تحلیل داده‌ها، نقشه‌ها، مقایسه زوجی آنها و همچنین وزن‌دهی به هریک از لایه‌ها در محیط ArcGIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش AHP به‌دلیل استواری بر مبنای مقایسه زوجی می‌تواند موجب دقت در محاسبات شود (۹). شیرانی و عرب عامری خطر وقوع زمین لغزش را در حوضه دز علیا با استفاده از روش رگرسیون لجستیک بررسی کردند (۸). نتایج این مطالعه نشان داد که لایه طبقات ارتفاعی مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش است و وقوع آن با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک دارد. با توجه به مرور پیشینه تحقیق، تاکنون در ایران از روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر برای ارزیابی و پیش‌بینی زمین‌لغزش استفاده نشده است و همچنین در بیشتر مطالعات موجود، از پارامترهای خاکشناسی که براساس نمونه‌برداری جامع از نقاط سطح لغزشی و فاقد لغزش تعیین شده باشند، استفاده نشده است. بدین ترتیب هدف از این مطالعه، پیش‌بینی قابلیت وقوع زمین‌لغزش و تحلیل فاکتورهای مؤثر بر آن در حوضه آبخیز زیارت، در استان گلستان با استفاده از روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر است.

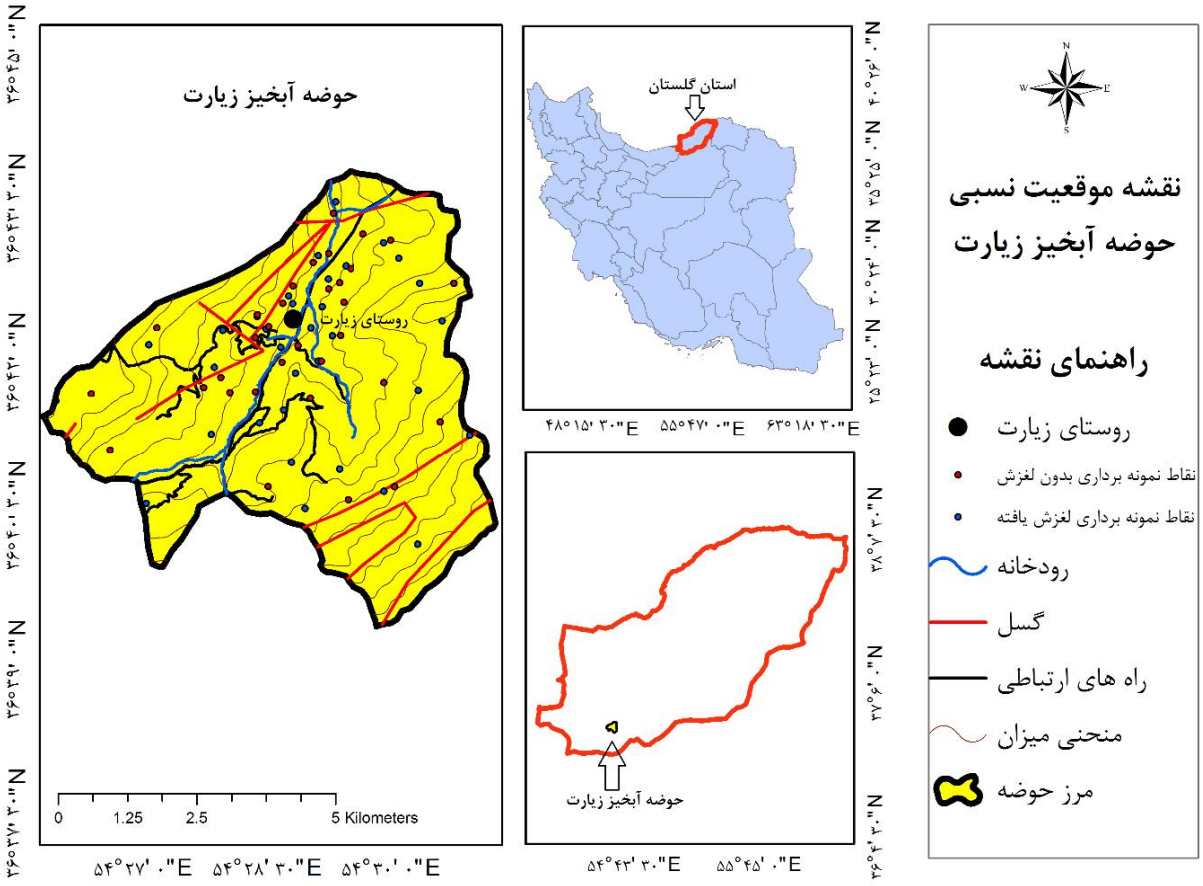
مواد و روش‌ها

معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبخیز زیارت از حوضه‌های کوهستانی با مساحت ۳۷/۴۴ کیلومتر مربع و محیط ۲۹/۰۸ کیلومتر در مختصات جغرافیایی "۳۲ '۳۹ °۳۶ تا "۵۹ '۴۳ °۳۶ عرض شمالی و "۴۷ '۲۵ °۵۴ تا "۴۷ '۳۰ °۵۴ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه از لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب شهرستان گرگان قرار گرفته و یکی از زیرحوضه‌های رودخانه قره‌سو به‌شمار می‌رود. البته حوضه مورد مطالعه زیرحوضه‌ای از حوضه زیارت است که در بخش مسکونی واقع شده و بیشترین زمین‌لغزش‌های رخ داده، در این قسمت وجود دارند. در این حوضه، میانگین بارندگی سالانه در دوره آماری ۱۳۹۳ – ۱۳۹۹، ۵۰۶/۹۵ میلی‌متر و میانگین دما، ۱۴/۱ درجه سانتی‌گراد است. بلندترین ارتفاعات این حوضه با ارتفاع ۲۹۲۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه مربوط به بخش شمالی و خروجی حوضه با ارتفاع ۷۶۰ متر است. حوضه آبخیز زیارت، به‌دلیل دریافت نزولات جوی کافی، وجود شیب‌های تند، فعالیت‌های تکتونیکی، وجود ناحیه‌های خرد شده مستعد وقوع زمین‌لغزش است که علاوه‌بر این، عواملی مانند جنگل‌تراشی، جاده‌سازی، سازه‌های مسکونی (ویلاسازی) و زلزله موجب تشدید این پدیده شده است. شکل (۲) تصویری از لغزش را در این منطقه نشان می‌دهد.

تهیه و آماده‌سازی داده‌ها و نقشه‌ها

در این پژوهش، نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، شبکه هیدروگرافی و راه‌های ارتباطی از طریق نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های سازندهای زمین‌شناسی و گسل با توجه به نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شدند. علاوه‌بر این، نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر Google Earth رسم



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز زیارت و نقاط نمونه‌برداری بدون لغزش و لغزش یافته

شکل ۲. زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زیارت

شد. در تهیه لایه شیب و جهت دامنه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۱۰ متر استفاده شد و نقشه های مبنای تهیه مدل رقومی، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با دقت ارتفاعی ۱۰ متر است و درستی و میزان دقت بر مبنای مدل رقومی ارتفاع موجود است. با توجه به اینکه مقیاس نقشه‌های مورد استفاده (توپوگرافی و زمین‌شناسی) متفاوت بوده است، در تهیه نقشه‌ها از حداقل مقیاس در تهیه نقشه‌ها تبعیت

شد و با ژئورفرنس کردن لایه‌ها، تمامی نقشه‌ها بر هم منطبق شدند. لازم به‌ذکر است که با توجه به تفاوت ماهیت پدیده‌ها، تفاوت مقیاس نقشه‌ها خللی در پردازش داده‌ها به همراه نداشته است، هرچند وجود نقشه‌های با مقیاس بزرگ‌تر می‌توانست بر دقت کار اضافه کند (مثلاً نقشه زمین‌شناسی موجود در ایران مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ است). جهت ثبت زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه با بازدید میدانی از حوضه، نقاط لغزش یافته شناسایی و ثبت شدند. شکل (۳) نقشه‌های تغییرات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شیب جهت شیب، و کاربری اراضی را نشان می‌دهد.

به‌منظور تهیه نقشه‌های پارامترهای مرتبط با خاک‌شناسی مؤثر بر زمین‌لغزش، ۳۲ نمونه خاک از سطح لغزشی زمین‌لغزش‌ها و ۳۲ نمونه از پهنه‌هایی که فاقد لغزش بودند برداشت شد (شکل ۱). سعی شد تا عمق نمونه‌ها منطبق با عمق لغزش نمونه‌برداری شده باشد. پس از انتقال نمونه‌ها و هوا خشک کردن آنها، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و تجزیه آزمایشگاهی برای تعیین متغیرهای درصد شن، سیلت، رس (با روش هیدرومتری)، رطوبت اشباع (روش وزنی) و حد روانی (روش کاسه گرانده) انجام شد و در نهایت نقشه‌های مورد نیاز با استفاده از روش کریجینگ ساده که نسبت به روش‌های دیگر میان‌یابی کمترین خطا را داشت، تهیه شد. برای فازی‌سازی نقشه‌های متغیرهای کمی براساس نوع متغیر از توابع مختلف استفاده شد. لایه‌های متغیرهای کیفی و یا متغیرهایی که طبقات آنها براساس نظر کارشناسی وزن‌دهی شدند، براساس مقادیر حداقل و حداکثر داده‌ها با استفاده از رابطه (۱) استانداردسازی شد تا مقادیر آنها بین صفر و یک قرار گیرند.

$$(X-Min_{(x)})/(Max_{(x)}-Min_{(x)}) \qquad [۱]$$

رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

رگرسیون لجستیک عادی (OLR) ارتباط بین یک متغیر پاسخ دو حالتی (وجود یا عدم وجود یک متغیر) و مجموعه‌ای از متغیرهای پاسخگو (X1, X2,...,Xn) را شرح می‌دهد. متغیرهای پاسخگو ممکن است پیوسته یا گسسته بوده و نیازی به توزیع فراوانی ندارند. تابع پاسخ لجستیک را می‌توان به‌صورت رابطه (۲) نوشت:

$$P(Y_i = X_i) = \frac{Exp(B_1 + B_2 + X_i + \ldots + B_n + X_i)}{1 + Exp(B_1 + B_2 + X_i + \ldots + B_n + X_i)} \qquad [۲]$$

در این رابطه، p= احتمال وقوع، Yi= متغیر وابسته، Xi= متغیر مستقل، B_1 = ضریب ثابت، B_2= ضریب زاویه متغیرها (عرض از مبدأ) و EXP= تابع نمایی است. رگرسیون لجستیک، با وجود محبوبیتش، درصورتی‌که کل منطقه تأثیر یافته از آن متغیر، بسیار کوچک‌تر از کل منطقه مورد مطالعه باشد، ممکن است مشکلاتی را سبب شود. برای جلوگیری از این مسائل، اصلاحاتی در رگرسیون عادی ایجاد شد و این روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر نام گرفت. اولین اصلاح مربوط به انتخاب یک نمونه نماینده است. به‌جای انتخاب تعداد مساوی از سلول‌های پهنه لغزشی و پهنه غیر لغزشی، یک تا پنج‌بار بیشتر از سلول‌های پهنه غیر لغزشی باید انتخاب شود. انتخاب متغیرهای وابسته ممکن است نمونه‌گیری براساس ضرایب لجستیک را نشان دهد و بنابراین اصلاح ثانویه‌ای که اصلاح مقدماتی نامیده می‌شود، نیاز است. با استفاده از شکست واقعی یک‌ها در جمعیت، T و شکست مشاهده شده یک‌ها در اطلاعات نمونه، $\bar{y}$، α جدا شده اصلاح شده را می‌توان به‌صورت رابطه (۳) محاسبه نمود:

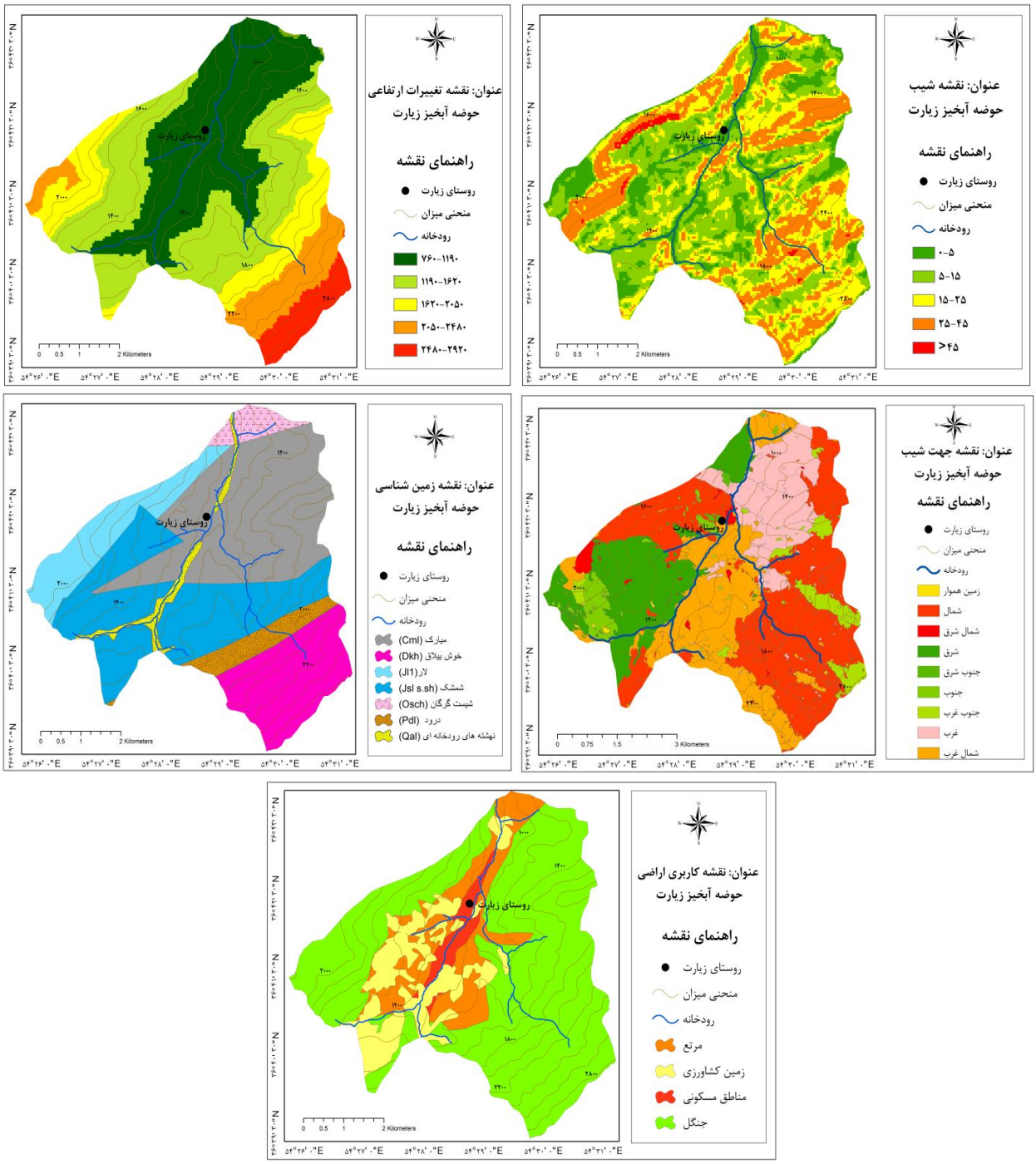
$$\alpha = \bar{\alpha} - \ln\left[\left(\frac{1-T}{T}\right)\left(\frac{\bar{y}}{1-\bar{y}}\right)\right] \qquad [۳]$$

با این وجود محاسبه احتمالات، $\tilde{p}_1$ با جابه‌جایی α جدا شده رابطه (۳) در رابطه (۲) باعث کم براورد کردن احتمالات می‌شود. چون نامعلومی تخمین در ضرایب B^i نادیده گرفته می‌شود. با اضافه کردن عامل اصلاحی C_i به $\tilde{p}_1$، احتمالات اصلاح شده بدین صورت به‌دست می‌آیند:

$$\tilde{p}_1 + C_i = p(Y_i = 1) \qquad [۴]$$

برای هر مشاهده C_i بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$C_i = (0/5 - \tilde{p}_1)\tilde{p}_1(1-\tilde{p})XV(\beta)X' \qquad [۵]$$



شکل ۳. نقشه‌های ویژگی‌های مختلف استفاده شده در مدل پیش‌بینی زمین‌لغزش

X یک بردار (n+1)×1 مقادیر برای هر متغیر مستقل، X' برگردان X است و V(β) ماتریس واریانس کوواریانس است (۲۰).

روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر معمولاً در مطالعات ژئومورفولوژی استفاده می‌شود، اما همیشه به یک تشخیص قوی از عوامل کنترل منجر نمی‌شود، همچنین رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر با تکرار، ترکیبی از قدرت روش احتمالاتی و آماری است که می‌تواند برخی از

محدودیت‌های قبلی را از طریق انتخاب تحولات متغیر قوی توسعه دهد و باعث پیشرفت تجزیه و تحلیل عوامل کنترل زمین‌لغزش‌ها شود. علاوه‌بر آن می‌تواند به‌طور گسترده‌ای برای آنالیزهای آماری مخاطرات طبیعی مورد استفاده قرار گیرد (۱۳). در مطالعه حاضر چون مساحت پهنه‌های لغزش یافته بسیار کوچک‌تر از مساحت کل منطقه است، بایستی از رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر بهره گرفته شود. بدین منظور از نرم‌افزار R استفاده شد. R، یک زبان برنامه‌نویسی و یک محیط نرم‌افزاری برای محاسبات آماری و تحلیل داده است، که براساس زبان S و Skim پیاده‌سازی شده است. این نرم‌افزار به‌صورت باز متن است و تحت اجازه‌نامه گنو به‌صورت رایگان در دسترس همگان قرار دارد (۵ و ۱۸). نرم‌افزار R، اغلب به‌منظور انجام محاسبات آماری به‌کار می‌رود. این نرم‌افزار قابل به‌کارگیری در محاسبات ماتریسی است و در این زمینه همپای نرم‌افزارهایی چون اکتاو و نسخه تجاری متلب است. با استفاده از محیط نرم‌افزاری R، می‌توان رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر را اجرا کرد (۱۹).

به‌منظور انتخاب ۲۰ نمونه جهت اعتبارسنجی مدل، یک لایه نقطه‌ای در محیط نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس و با ابزار Hawth Tools ایجاد شد که برخی از نقاط آن منطبق بر پهنه‌های لغزش یافته و برخی دیگر منطبق بر پهنه‌های بدون لغزش بودند. از این نقاط ۲۰ درصد جدا شد تا در اعتبارسنجی از آنها استفاده شود. بقیه نقاط بر روی تمام لایه‌های رستری قرار داده شد تا نقاط، ارزش لایه‌های ذکر شده را به‌خود بگیرند. در نهایت نیز جدول ایجاد شده وارد نرم‌افزار R شده و ضرایب مربوط به هر متغیر مستقل، در مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر برای پهنه‌بندی به‌دست آمد. در بخش اعتبارسنجی نیز، برای اینکه صحت مدل مورد استفاده در حوضه مورد مطالعه سنجیده شود، ۸۰ درصد نقاط موجود برای اجرای مدل روی نقشه پهنه‌بندی قرار گرفته و با روش منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC) در محیط نرم‌افزاری SPSS اعتبار مدل به‌وسیله منحنی ROC و آماره‌های آن مشخص شد.

چنانچه مقدار این شاخص برابر یک باشد، نشان‌دهنده برازش کامل مدل و چنانچه مقدار آن برابر ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده عدم برازش مدل خواهد بود. این شاخص از آنجایی اهمیت دارد که مبنای آن مقادیر حقیقی احتمال نیست بلکه در نظر گرفتن مقادیر به‌صورت رتبه‌ای است. یعنی خروجی رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر که به‌صورت مقادیر احتمال وقوع است، به‌صورت نسبی بررسی می‌شود (۱۹).

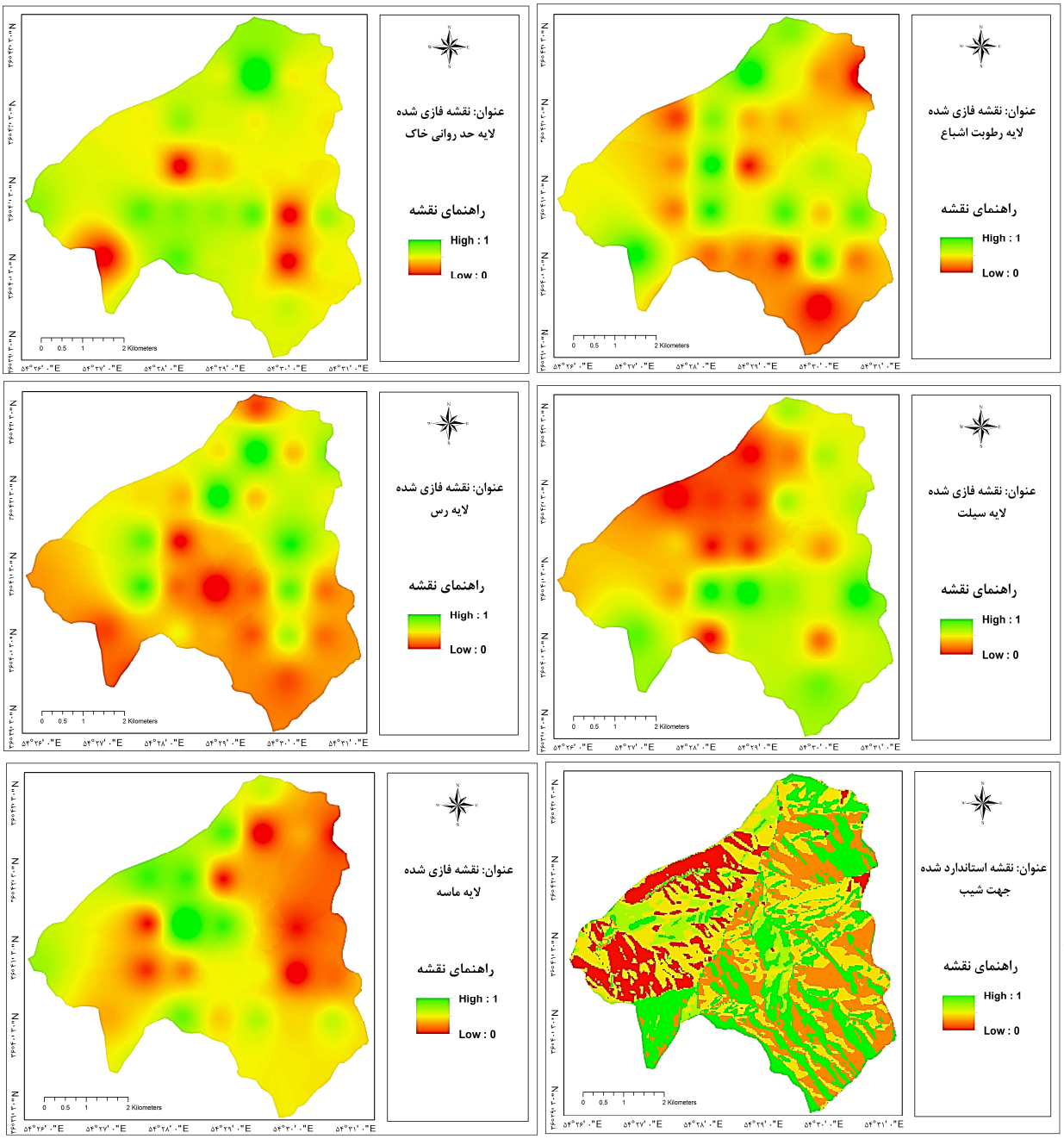
نتایج و بحث

در شکل (۴) نقشه‌های کلاس‌بندی شده لایه‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش نشان داده شده اند که مقادیر آنها با روش‌های استانداردسازی شده و فازی، بین صفر و یک قرار گرفته و نرمال شدند. جدول (۱) ضرایب و میزان معنی‌دار بودن متغیرهای مستقل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش را نشان می‌دهد. این جدول حاصل اجرای مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر روی داده‌های نقاط به‌دست آمده با ابزار Hawth Tools است که نقاط، ارزش لایه‌های رستری را به‌خود گرفته و ضرایبی را به هر متغیر اختصاص دادند.

از بین متغیرهای مؤثر در این مدل، متغیر مستقل فاصله از رودخانه با ضریب بتای ۲/۰۶۶ به‌عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زیارت تعیین شد. در گام نهایی نیز برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه، ضرایب به‌دست آمده در نرم‌افزار R را در محیط ArcGIS روی لایه‌ها اعمال کرده و نقشه پهنه‌بندی خطر با جمع لایه‌ها به‌صورت شکل (۵) تهیه شد. با استفاده از این روش، علاوه‌بر پهنه‌بندی خطر، می‌توان نواحی با احتمال وقوع بیشتر زمین‌لغزش را برای آینده پیش‌بینی کرد.

با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز زیارت، مساحت کلاس‌های مختلف خطر در این حوضه به‌صورت جدول (۲) به‌دست آمد.

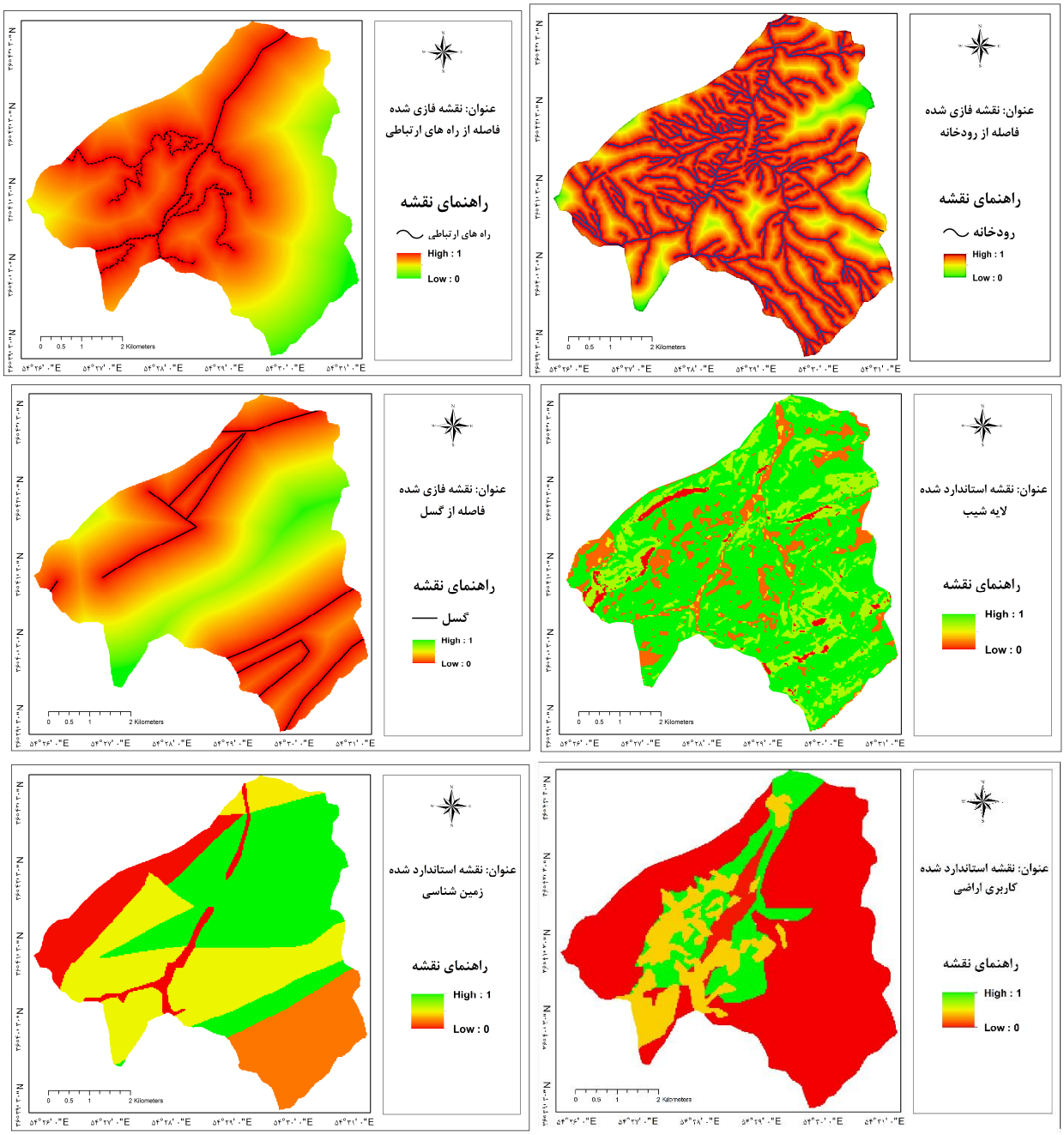
نتایج اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر در حوضه آبخیز زیارت در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه



شکل ۴. نقشه های نرمال شده لایه‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش

به جدول (۳) و شکل (۶) مقدار سطح زیر منحنی عدد ۰/۶۹۴ را نشان می‌دهد که این مقدار چون به عدد یک نزدیک است، می‌توان به نتایج مدل اطمینان کرد.

نتایج این مطالعه با نتایج برخی مطالعات که از روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر استفاده کردند (۱۹) انطباق دارد. وان‌دن‌ایچ‌هات و همکاران با فرض اینکه عواملی که سبب ایجاد زمین‌لغزش در آینده می‌شوند، با عوامل ایجاد آنها در گذشته یکسان هستند، نقشه پیش‌بینی خطر وقوع زمین‌لغزش را با استفاده از روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر به‌دست آوردند و عنوان شد که این روش می تواند ابزار مهمی برای پیشگیری از رخداد خطر و



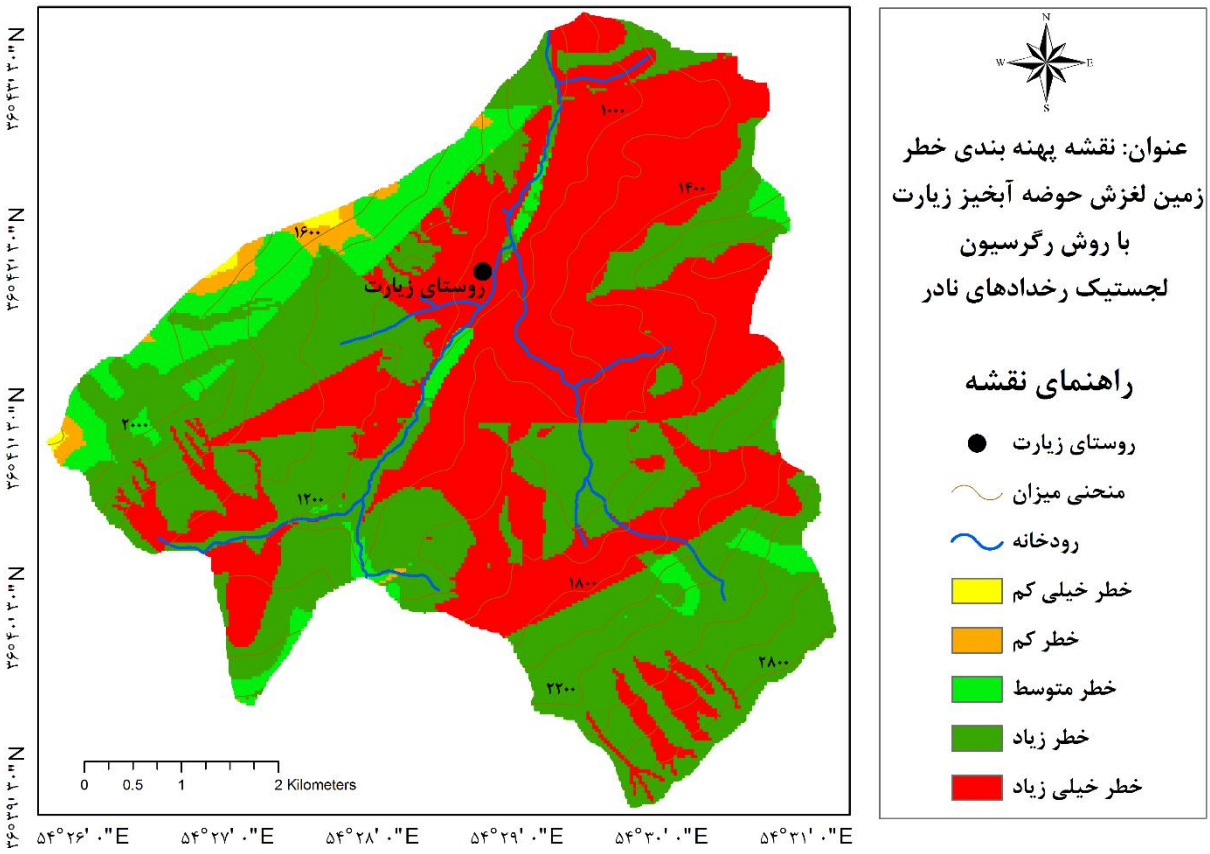
ادامه شکل ۴.

جلوگیری از آسیب رسیدن به اموال مردم در اثر وقوع زمین لغزش باشد (۱۹). نتایج این مطالعه در شناخت مهم‌ترین عامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش با برخی مطالعات انطباق ندارد. به‌طوری‌که نتایج این مطالعه نشان داد، فاصله از شبکه آبراهه و درصد میزان سیلت خاک، از مهم‌ترین عوامل هستند، درحالی‌که شیرانی و عرب عامری طبقات ارتفاعی را به‌عنوان عامل مؤثر شناسایی کردند (۸)، اما با نتایج مطالعه ثروتی و همکاران انطباق دارد و نتایج آنها نشان داد که عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوضه سیکان، به‌ترتیب فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، جنس زمین، شیب و شکل سطح زمین است (۲).

جدول ۱. نتایج رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

پارامتر	ضریب بتا
ضریب ثابت	-۲/۸۴۵۳
سیلت	۲/۰۶۵۸
فاصله از رودخانه	۲/۰۶۶۳
حد روانی	-۱/۶۵۷۳
فاصله از راه‌های ارتباطی	-۲/۳۹۰۲
فاصله از گسل	-۰/۸۹۸۵
زمین‌شناسی	۱/۶۲۴۶
رس	-۰/۹۱۵۶۰
رطوبت اشباع	-۲/۵۱۳۶

*: در سطح ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زیارت با مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

نتیجه‌گیری

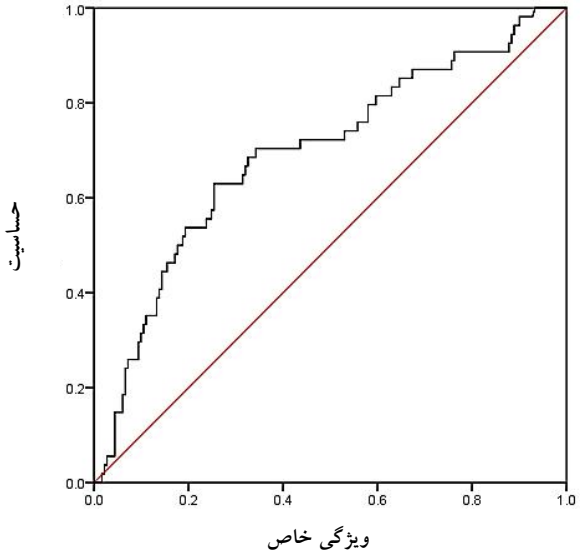
در این پژوهش از روش‌های فازی‌سازی و استانداردسازی برای طبقه‌بندی و نرمال‌سازی لایه‌های اطلاعاتی استفاده شد و تمامی محاسبات و تلفیق لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام

جدول ۲. مساحت طبقه‌های حساس به وقوع زمین‌لغزش با روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

درجه حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش	مساحت (km^2)	درصد مساحت
خطر بسیار کم	۰/۱	۰/۲۷
خطر کم	۰/۵	۱/۳۳
خطر متوسط	۳/۳	۸/۸
خطر زیاد	۱۶/۷۲	۴۴/۶
خطر بسیار زیاد	۱۶/۸۲	۴۵
مجموع	۳۷/۴۴	۱۰۰

جدول۳. نتایج حاصل از اعتبار سنجی منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC)

سطح زیر منحنی	انحراف معیار	سطح معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
			بالا	پایین
۰/۶۹۴	۰/۰۴۳	۰/۰۰۱	۰/۷۷	۰/۶۱



شکل ۶. منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC)

گرفت و نقشه پهنه‌بندی در پنج کلاس خطر تهیه شد. با توجه به اهمیت مطالعه عوامل مؤثر در بروز خطر زمین‌لغزش و شناسایی مناطق حساس از نظر وقوع این پدیده و همچنین پیش‌بینی میزان خطر وقوع زمین‌لغزش برای سطوح مختلف در حوضه آبخیز زیارت، روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر برای این منظور در نظر گرفته شد که نواقص و کاستی‌های مدل رگرسیون لجستیک را پوشش می‌دهد.

براساس نقشه پهنه‌بندی قابلیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل بالا، بیشترین مساحت در این حوضه، مربوط به کلاس خطر بسیار زیاد با ۱۶/۸۲ کیلومتر مربع و کمترین مساحت، متعلق به کلاس خطر بسیار کم با ۰/۱ کیلومتر مربع است. براساس مدل مورد استفاده، شبکه زهکشی در قالب رودخانه بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته است و نقش آن به‌صورت زیربری و از بین رفتن تکیه‌گاه دامنه‌ها نمود

یافته است. در کنار عامل رودخانه، نوع رسوبات تشکیل دهنده منطقه نیز در تشدید ناپایداری مؤثر بود به گونه ای که درصد سیلت تشکیل دهنده رسوبات دامنه‌ها، دومین عامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌ای در حوضه زیارت بوده است. روی دامنه‌های متشکل از رسوبات سیلتی و رسی، پایداری دامنه‌ها به شیب و ارتفاع آن بستگی دارد. در این رسوبات اغلب لغزش‌های عمیق شکل می‌گیرد. علت آن مقاومت برشی مواد چسبنده است که مقدار آن به‌سمت عمق با سرعت کمتری نسبت به تنش برشی افزایش می‌یابد (۳)، علاوه‌بر این عوامل ذکر شده در وقوع و تشدید زمین‌لغزش، احداث جاده بدون در نظر گرفتن اصول ژئوموفولوژیکی باعث از بین رفتن تکیه‌گاه در شیب‌های تند شده و در صورت مساعد بودن توده از نظر زمین‌شناسی و دخالت دیگر عوامل، وقوع زمین‌لغزش را تسهیل می‌کند.

منابع مورد استفاده

۱. امیر احمدی، ا.، ا. اکبری و س. پور هاشمی. ۱۳۹۳. انتخاب مدل مناسب از بین روش‌های آماری دو متغیره جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بقیع)، *مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۵: ۸۹ – ۷۱.

۲. ثروتی، م.، ک. نصرتی، ش. حسنوندی و ب. میرباقری. ۱۳۹۳. پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز رودخانه سیکان با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، *نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، ۱: ۲۹ – ۱۷.

۳. حسین‌زاده، م. م. و ر. اسماعیلی. ۱۳۹۴. *ژئومورفولوژی رودخانه‌ای. مفاهیم، اشکال و فرآیندها*. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

۴. حسین‌زاده، م.، م. ثروتی، ع. منصوری، ب. میرباقری و س. خضری. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی محدوده مسیر سنندج-دهگلان)، *فصلنامه زمین‌شناسی ایران* ۱۱: ۳۷- ۲۷.

۵. رئیسی، م. ۱۳۹۰. *آموزش گام به گام تحلیل شبکه اجتماعی در زبان R، گزارش تحقیقی عملی درس یادگیری ماشین*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر پلی تکنیک تهران، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات. تهران.

۶. رمضانی، ب. و ه. ابراهیمی. ۱۳۸۸. شناخت عوامل مؤثر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد برنجستانک قائمشهر، *فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیای انسانی* ۴: ۱۳۶- ۱۲۷.

۷. شیرانی، ک.، ع. سیف و ا. نصر. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده ای بر پایه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)، *مجله علوم زمین* ۸۹: ۱۰ – ۳.

۸. شیرانی، ک. و ع. عرب عامری. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۷۲: ۳۳۴-۳۲۱.

۹. مختاری اصل، ا. و م. رنجبریان شادباد. ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی احتمال خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز یایجیلو با مدل AHP، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی* ۴: ۱۳۳ – ۱۱۹.

۱۰. مقیمی، ا.، م. یمانی و س. رحیمی هرآبادی. ۱۳۹۲. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی* ۴: ۱۱۸ – ۱۰۳.

11. Anbalagan, R., R. Kumar, K. Lakshmanan, S. Parida and S. Neethu. 2015. Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim, *Geo environmental Disasters*. 10: 1 – 17.

12. Bai, S., J. Wang, G. Lu, P. Zhou, S. Hou and S. Xu. 2010. GIS-based logistic regression for landslide-susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the three gorges area, China, *Geomorphology* 115: 23-31.

13. Guns, M. and V. Vanacker. 2012. Logistic regression applied to natural hazards: rare event logistic regression with replications, *Natural Hazard and Earth System Sciences* 12: 1937 – 1947.
14. Pradhan, B. and S. Lee. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling, *Environmental Modelling & Software* 25: 747 – 759.
15. Ray, R. L. 2009. Landslides Susceptibility Mapping through Enhanced Dynamic Slope Stability Analysis Using Earth Observing Satellite Measurements, University of New Hampshire. United States.
16. Sezer, E. A., B. Pradhan and C. Gokceoglu. 2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Application* 38: 8208 - 8219.
17. Song, R., D. Hiromu, A. Kazutoki, K. Usio and M. Sumio. 2008. Modeling the potential distribution of shallow-seated landslides using the weights of evidence method and a logistic regression model: a case study of the Sabae Area, Japan, *International Journal of Sediment Research* 23: 106 – 118.
18. Targo, L. 2010. Data Mining with R (Learning with case studies), Chanpman and Hall / CRC. New York.
19. Van Den Eeckhaut, M., T. Vanwalleghem, J. Poesen, G. Govers, G. Verstraeten and L. Vandekerckhove. 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium), *Geomorphology* 76: 392 – 410.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 3, Fall 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Prediction of Landslide Susceptibility Using Rare Events Logistic Regression (A Case-Study: Ziarat Drainage Basin, Gorgan)

K. Nosrati[1*], M. Heydari[1], M. Hoseinzadeh[1] and S. Emadoddin[2]

(Received: August 15-2017 ; Accepted: October 21-2017)

Abstract

Ziarat drainage basin, in the southern part of Gorgan city, is exposed to mass movement, especially landslide occurrence, due to geologic, geomorphologic, and anthropogenic reasons. The objectives of this study were to predict landslide susceptibility and to analyze the effective factors using rare events logistic regression. In view of this, the map layers of the variables including geology, land use, slope, slope aspect, distance of road, distance of fault and distance of river were prepared using topographic and geologic maps and aerial photo interpretation. In addition, the map layers of the soil variables including the percent of clay, silt, sand, and saturation water as well as plasticity limit index were determined based on the laboratory analysis of 32 soil samples collected from landslide sites and 32 soil samples obtained from non-occurrence landslide sites. The controlling factors of landslide were determined using rare events logistic regression analysis; then based on their coefficients, the landslide risk zoning map was prepared and validated. The landslide risk zoning map was classified in five different hazard classes ranging from very low risk to very high risk; the very high risk class with 16.8 km^2 was assigned as the having the highest percent of the catchment area. The results of the model validation showed that the rare events logistic regression model with the receiver operating characteristic (ROC) of 0.69 could be a suitable prediction model for the study area. The results of this study could be, therefore, useful for corrective actions and watershed management landslide high-risk zones.

Keywords: Ziarat watershed, Landslide risk zoning, Rare events logistic regression

1. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Department of Geography, Faculty of Humanity Sciences, University of Golestan, Gorgan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: k_nosrati@sbu.ac.ir