دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مقایسهٔ نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (LR) و مدل عمومی تجمیع‌یافته (GAM)

زینب تیموری یانسری[۱]، سیدرضا حسین‌زاده[۲]، عطاالله کاویان[۳] و حمیدرضا پورقاسمی[۴]

۱ – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲– دانشیار دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسوول: srhosseinzadeh@um.ac.ir)
۳– دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴– استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۵

چکیده

زمین‌لغزش، یکی از رایج‌ترین مخاطرات طبیعی است که زندگی، اموال و دارایی‌های مردم را در مناطق کوهستانی به مخاطره می‌اندازد. بنابراین، شناسایی مناطق در معرض خطر زمین‌لغزش به‌منظور پیشگیری و کاهش خسارات ناشی از وقوع آن، امری ضروری است. هدف از پژوهش حاضر، مقایسه دو مدل رگرسیون لجستیک (LR) و عمومی تجمیع‌یافته (GAM) و ارزیابی عملکرد آن‌ها، جهت تهیهٔ نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش در حوزهٔ آبخیز چهاردانگه استان مازندران می‌باشد. به‌این منظور ابتدا نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش منطقه با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای گسترده میدانی تهیه گردید. سپس نقشه پراکنش زمین‌لغزش به‌صورت تصادفی به ۷۰ درصد داده‌های آموزشی جهت مدل‌سازی و ۳۰ درصد داده‌های آزمایشی به‌منظور اعتبارسنجی تقسیم شد. نقشه‌های عوامل تاثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش، شامل عوامل توپوگرافی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و عوامل انسانی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید و در نهایت، با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، ارزیابی مدل‌های مذکور صورت پذیرفت. نتایج ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک و مدل عمومی تجمیع‌یافته به ترتیب با سطح زیر منحنی ۸۱/۲ درصد و ۸۲/٤ درصد، بیانگر مناسب بودن هر دو روش، جهت تهیهٔ نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه می‌باشد. هرچند مدل عمومی تجمیع‌یافته با اندکی دقت بیش‌تر، نسبت به مدل رگرسیون لجستیک کارآیی بیش‌تری در شناسایی مناطق حساس به وقوع زمین‌لغزش دارد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، مدل رگرسیون لجستیک، مدل عمومی تجمیع‌یافته، حوزهٔ آبخیز چهاردانگه

مقدمه

زمین‌لغزش که تحت عنوان حرکت توده‌ای از سنگ، واریزه و خاک به‌طرف پایین دامنه اطلاق می‌شود، یکی از رایج‌ترین بلایای طبیعی است که زندگی، اموال و دارایی‌ها مردم را به مخاطره می‌اندازد (۳۵). در مقایسه با دیگر خطرات زمین‌شناسی، زمین‌لغزش از نظر مقیاس کوچک‌تر ولی پراکنش بیشتری دارد و در بسیاری از موارد خطرناک‌تر می‌باشد (۴۰). زمین‌لغزش، نقش مهمی در تکامل لندفرم‌ها داشته و خطری جدی در بسیاری از مناطق جهان محسوب می‌شود (۳۰). انتظار می‌رود که در دهه‌های آینده به‌علت رشد جمعیت، توسعه مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها در مناطق پرخطر، جنگل‌زدایی مستمر و افزایش بارش‌های منطقه‌ای، خسارات ناشی از زمین‌لغزش افزایش یابد (۳۵). در دو دههٔ گذشته تحقیقات زیادی در ارتباط با حساسیت زمین‌لغزش در سراسر دنیا انجام شده است. پژوهشگران زیادی برای تهیهٔ نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از رویکردهای مختلف تلاش کرده‌اند. نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش، برای شناخت مناطق در معرض خطر رخداد زمین‌لغزش، برنامه‌ریزی و مدیریت بحران و کاهش خطر زمین‌لغزش امری ضروری می‌باشد (۲۰). این نقشه‌ها را می‌توان با استفاده از یک مدل مناسب و در اختیار داشتن داده‌های لغزشی و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل تهیّه کرد (۴). روش‌های حساسیت زمین‌لغزش را می‌توان به سه گروه عمدهٔ ابتکاری، قطعی و آماری تقسیم‌بندی کرد (۱۵). مدل‌های ابتکاری، ذهنی هستند و به‌علت اعمال نظر کارشناسان در تعیین وزن هر یک از عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش امکان اشتباه وجود دارد (۷). و این خطر وجود دارد که انتظارات، تفسیر نهایی را تحت تاثیر قرار دهد و محقق آنچه را که می‌خواهد، برای دیدن ببیند. (۱۹). مدل‌های قطعی بر مبنای روابط ریاضی پایه‌گذاری شده‌اند. مدل‌های قطعی، به قوانین فیزیکی وابسته‌اند که در آن نیاز به محاسبهٔ رابطهٔ بین نیروهای مقاوم و محرک حرکات توده‌ای است. به‌علت اینکه در مدل‌های قطعی، نیاز به اطلاعات دقیق و جزیی از ویژگی سنگ و خاک، هندسهٔ شیب، خصوصیات ناپیوستگی و شرایط هیدرولوژیکی دامنه‌ها وجود دارد، تنها برای مناطق با مقیاس کوچک قابل استفاده می‌باشند (۴۲). از اواخر دههٔ ۱۹۷۰ استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره در مطالعات ژئومورفیک مورد توجه قرار گرفت و از اوایل قرن بیستم استفاده از روش‌های آماری به‌منظور مطالعهٔ فرایندهای سطح زمین و لندفرم‌ها به شدت گسترش یافت و از روش‌های سنتی رگرسیون حداقل مربعات[۱] (LS) به روش‌های ماشین یادگیری بسیار پیشرفته تغییر یافت (۱۹). در طول دههٔ گذشته، مطالعات مختلفی در ارتباط با حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری صورت پذیرفته است. این روش‌ها به‌دلیل استفاده از داده‌های ورودی مختلف، توسعهٔ تکنیک‌های سنجش از دور، ابزارهای مدل‌سازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌سرعت گسترش یافته‌اند (۳۱). برخی از مطالعاتی که در دههٔ اخیر با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و عمومی تجمیع‌یافته انجام پذیرفته به شرح ذیل می‌باشد: رگرسیون لجستیک (LR)[۲] (۴۴،۳۹،۳۸،۳۷،۳۶،۳۰،۲۸،۲۳،۸) و مدل عمومی تجمیع‌یافته (GAM)[۳] (۳۸،۳۲،۲۹،۲۶،۱۳،۱۲،۳). بیشترین فراوانی رخداد زمین‌لغزش در ایران، در استان

1- Traditional Least Square Regression
2- Methods Logistic Regression (LR)
3- Generalized Additive Model (GAM)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]

مازندران گزارش شده است (۳۱). حوزهٔ آبخیز چهاردانگه که در محدودهٔ سیاسی استان مازنداران واقع شده است، به‌علت کوهستانی بودن منطقه و وجود سازندهای زمین‌شناسی حساس به رخداد زمین‌لغزش که متشکل از ماسه سنگ، کنگلومرا، سنگ آهک با میان لایه‌های مارن و شیل می‌باشند، یکی از مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. با توجه به گستردگی پراکنش رخداد زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه، شناسایی مناطق حساس و در معرض خطر زمین‌لغزش و عوامل موثر در وقوع آن، امری ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش، شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش، تعیین مناطق حساس به‌وقوع آن با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و مدل عمومی تجمیع‌یافته، مقایسه دو مدل و انتخاب بهترین مدل در حوزهٔ آبخیز چهاردانگه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در جنوب شهرستان ساری با مساحت ۱۲۱۱ کیلومترمربع و در محدودهٔ جغرافیایی″۰۱′۱۱°۵۳ تا ″۵۷′۵۸°۵۳ طول شرقی و ″۳۱′۰۷°۳۶ تا ″۳۱′۲۶°۳۶ عرض شمالی واقع‌گریده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۱۴۹۹ متر و کمینه و بیشنه ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۲۳۲ و ۳۲۱۱ متر و دارای شیب متوسط ۱۸/۱۸ درجه می‌باشد. متوسط دمای منطقه ۱۲/۳۴ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر و حداقل متوسط دمای منطقه به‌ترتیب ۲۶/۲۰ و ۳/۲۷- می‌باشد. متوسط بارش سالانه منطقه ۴۶۴/۶۲ میلی‌متر است. حداکثر و حداقل بارش منطقه مربوط به ماه‌های آذر و خرداد با ۸۴/۰۵ و ۱۹/۲۳ میلی‌متر می‌باشد و بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه، منطقهٔ مورد مطالعه، در اقلیم مرطوب سرد واقع گردیده است. اختلاف ارتفاع و به‌دنبال آن تغییر در میزان بارش، شرایط متفاوت اقلیمی را در غرب و شرق منطقه ایجاد کرده، به‌نحوی که بخش غربی حوزه پوشیده از جنگل‌های متراکم و بخش شرقی حوزه تحت گسترهٔ مراتع و جنگل‌های کم‌تراکم می‌باشد. واحدهای سنگی که گسترهٔ منطقه را پوشانیده‌اند، شاملِ رسوبات پالئوزویک تا عهد حاضر می‌باشد که به علت تنوع واحدهای سنگی در ۱۱ گروه عمده به شرح ذیل قرار گرفته‌اند: ۱- نهشته‌های قاره‌ای. ۲- نهشته‌های رودخانه‌ای. ۳- میان لایه‌های کنگلومرا. ماسه سنگ و مارن. ۴- مارن. ۵- سنگ‌های آتشفشانی. ۶- میان لایه‌های ماسه سنگ و مارن. ۷- میان لایه های آهکی. ۸- سنگ آهک توده‌ای. ۹- سنگ آهک. ۱۰- ماسه سنگ. ۱۱- کنگلومرا. به‌نحوی که ۶۵/۳۲ درصد مساحت منطقه متشکل از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ آهک با میان‌لایه‌های شیل و مارن می‌باشد.

نقشه پراکنش زمین‌لغزش

اولین گام در تهیهٔ نقشهٔ حساسیت، خطر و ریسک زمین‌لغزش در مقیاس منطقه‌ای، تهیهٔ نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش می‌باشد (۲۷) که بیانگر موقعیت و ویژگی زمین‌لغزش‌هایی است که در گذشته رخ داده‌اند (۴۶). این نقشه به‌منظور ارتباط بین رخداد زمین‌لغزش و عوامل موثر بر وقوع آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌این منظور، ابتدا موقعیت زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه با استفاده از تصاویر Google Earth و بازدیدهای گستردهٔ میدانی شناسایی گردید و در مجموع ۴۸۵ زمین‌لغزش در منطقه تشخیص داده شد. از این تعداد، ۳۴۰ (۷۰ درصد) زمین‌لغزش به‌صورت تصادفی به‌عنوان داده‌های آموزشی انتخاب شد و ۱۴۵ (۳۰ درصد) زمین‌لغزش دیگر، به‌منظور اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد (شکل ۱).

عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش

شناسایی و پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع زمین‌لغزش، نیازمند شناخت دقیق عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش است (۳۲). با این جود شناسایی عوامل اصلی ایجاد فرایندهای ژئومورفیک به‌دلیل پیچیدگی و چند متغیره بودن سیستم‌ها، مشکل و چالش‌زا است. در پژوهش‌های مختلف از انواع نقشه‌های موضوعی مانند ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و عوامل انسانی به‌منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش استفاده شده است. در تحقیق حاضر، لایه‌های اطلاعاتی درجهٔ شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیم‌رخ، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص وضعیت توپوگرافی، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده، تراکم گسل، تراکم زهکشی و تراکم جاده به‌عنوان عوامل تاثیر گذار در رخداد زمین‌لغزش در نظر گرفته شده‌اند. به‌این منظور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه مدل رقومی ارتفاع[1] با تفکیک مکانی ۲۰×۲۰ متر در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و پارامترهای مورفومتریک درجهٔ شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیم‌رخ، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی[2] (رابطه ۱) و شاخص وضعیت توپوگرافی[3] از آن به‌دست آمد. لایه کاربری اراضی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شد و پس از به‌روز رسانی و انجام اصلاحات با استفاده تصاویر Google Earth مورد استفاده قرارگرفت. نقشهٔ شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده[4] (NDVI) نیز از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، سنجنده OLI پس از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک به‌دست آمد (رابطهٔ ۲). نقشهٔ سنگ‌شناسی منطقه از رقومی‌کردن نقشه‌های زمین‌شناسی ورقه‌های کیاسر و پل‌سفید در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و لایه‌های فاصله از گسل و تراکم گسل از آن استخراج گردید. لایه‌های فاصله از شبکهٔ آبراهه، تراکم زهکشی، فاصله از جاده، تراکم جاده نیز از نقشه‌های توپوگرافی تهیه گردید.

$$TWI = Ln(\frac{A_c}{tan\beta}) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

A_c: مساحت منطقهٔ زهکشی، β: گرادیان شیب بر حسب درجه، TWI: شاخص رطوبت توپوگرافی.

1- Digital Elevation Model (DEM)
2-Topographic Wetness Index (TWI)
3- Topographic Position Index (TPI)
4- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]

رابطه (۲) $$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R}$$

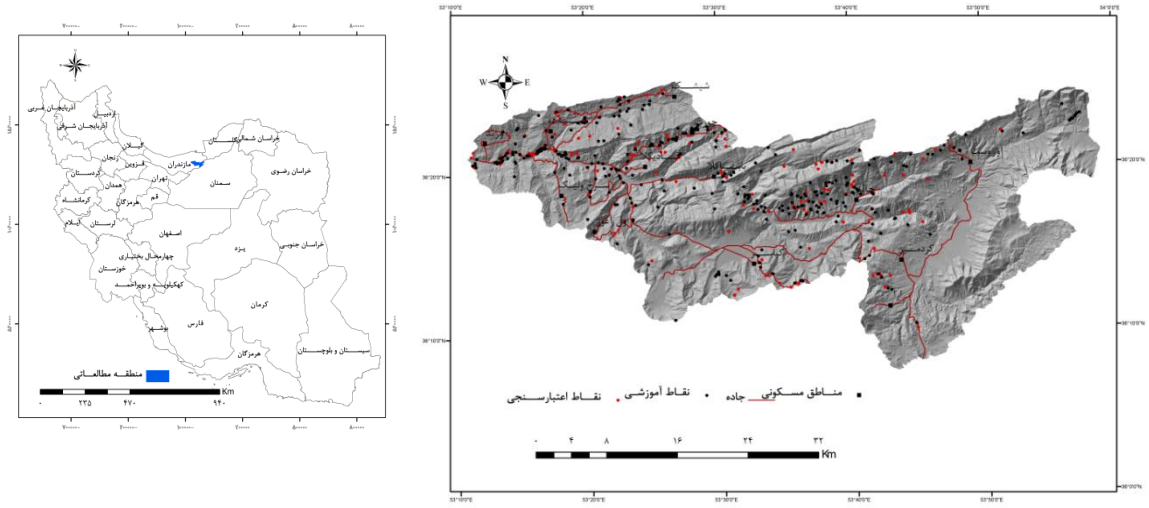
که در آن IR و R، به‌ترتیب باند مادون قرمز و قرمز طیف الکترومغناطیسی می‌باشد.

مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش

در پژوهش حاضر، از دو مدل رگرسیون لجستیک و عمومی تجمیع‌یافته، برای تهیهٔ نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش در حوزهٔ آبخیز چهاردانگه استفاد شد. بعد از آماده‌سازی داده‌های مربوط به هر یک از عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش در نرم‌افزار ArcGIS و تهیهٔ جداول مربوطه، داده‌ها به نرم‌افزار آماری R منتقل گردید و تجزیه و تحلیل‌های آماری در محیط این نرم‌افزار و برای مدل GAM با استفاده از بسته GRASP صورت پذیرفت (شکل ۲).

رگرسیون لجستیک

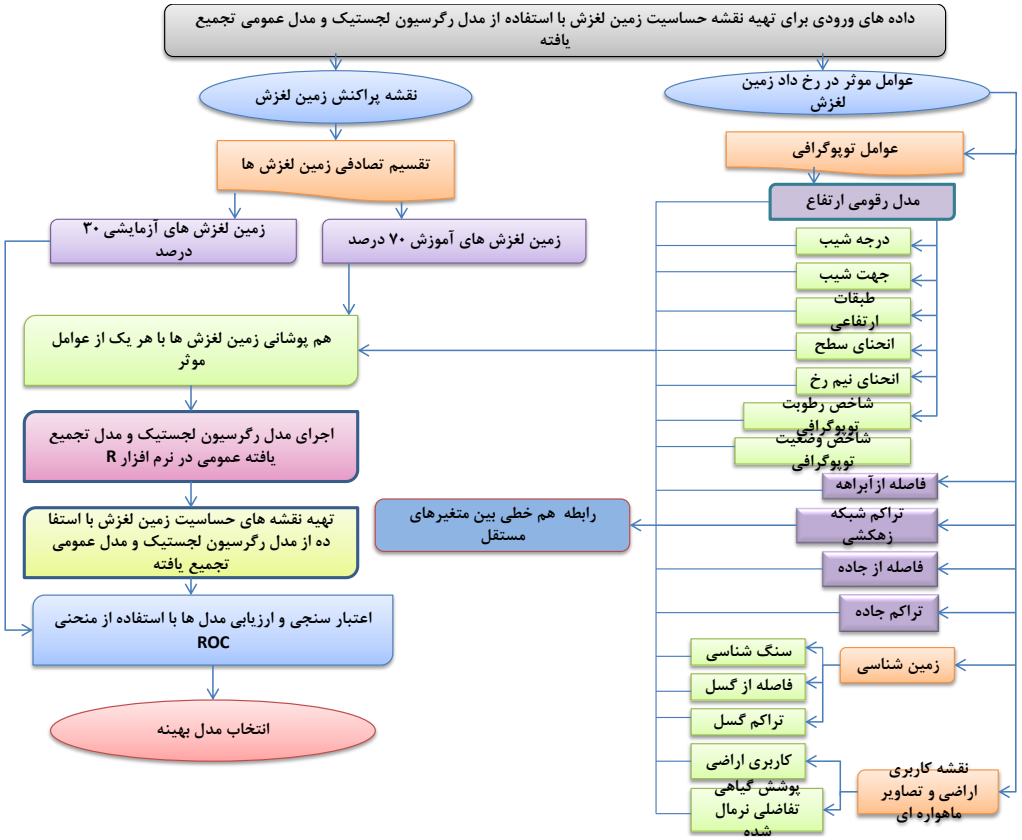
رگرسیون لجستیک، یکی از روش‌های پرکاربرد جهت تهیهٔ نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش می‌باشد که اولین بار توسط Atkinson و Massari (۲) برای مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش به کار گرفته شد (۱۳). رگرسیون لجستیک، رویکرد مدل‌سازی ریاضی است که جهت توصیف رابطهٔ بین چندین متغیر مستقل نسبت به متغیر وابسته استفاده می‌شود (۶). یکی از مزیت‌های رگرسیون لجستیک، امکان استفاده از متغیرهای پیوسته و گسسته و یا ترکیبی از هر دو نوع می‌باشد. در این روش نیازی به برقراری توزیع نرمال بین متغیرهای مستقل نیست (۵). به‌طور کلی استفاده از رگرسیون لجستیک، در تهیهٔ نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش شامل آماده‌سازی عوامل مستقل و وابسته (پراکنش زمین‌لغزش) با در نظر گرفتن حضور و عدم‌حضور داده‌های لغزشی است. به‌عبارت دیگر، هدف از رگرسیون لجستیک، یافتن بهترین مدل جهت توصیف ارتباط بین حضور و عدم حضور زمین‌لغزش (متغیر وابسته) و مجموعه‌ای از پارامترهای مستقل است (۱۰). در رگرسیون لجستیک، به‌منظور نشان دادن حضور و عدم حضور زمین‌لغزش به ترتیب کد ۱ و صفر داده می‌شود. با استفاده از ضرایب تعیین شده در رگرسیون لجستیک، می‌توان نسبت تاثیر هر یک از متغیرهای مستقل را تخمین زد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure1. Location map of the study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]



شکل ۲- نمودار جریانی تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های عمومی تجمیع یافته و رگرسیون لجستیک
Figure 2. Flowchart of landslide susceptibility mapping using LR and GAM models

مدل لجستیک، بیانگر مدل رگرسیونی حداکثر احتمال است که به شکل ساده بر اساس رابطه‌های ۳ و ۴ بیان می‌شود (۲۳).

$$P = \frac{1}{1+e^{-z}}$$ رابطه (۳)

$$z = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_nx_n$$ رابطه (۴)

P: احتمال رخداد زمین لغزش، z: مدل لجستیک خطی، b_0: ضریب ثابت مدل، b: وزن هر یک از عوامل موثر، n: تعداد عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش، x: هر یک از عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش.

مدل عمومی تجمیع یافته

GAM که اولین بار توسط Hastie و Tibshirani (۱۶) ارائه گردید، نسخهٔ ارتقا یافتهٔ مدل‌های خطی عمومی (GLM) است که در آن تابع هموار، جایگزین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده خطی شده و قادر به تبیین روابط غیرخطی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پاسخ می‌باشد و ظرفیت آشکار ساختن روابط پیچیده‌تر را بین متغیرهای وابسته محیطی دارد. مدل GAM بر اساس تئوری رگرسیون پایه‌گذاری شده و با استفاده از این روش امکان مدل‌سازی احتمال وقوع یک رویداد به صورت حضور و عدم حضور نیز فراهم می‌گردد (۱۹). قابلیت بالای GAM در مدل‌سازی پیش‌بینی در مطالعات مختلف جغرافیای طبیعی ثابت شده است (۱۸). به‌طور کلی مدل GAM به صورت معادله زیر تعریف می‌شود (رابطهٔ ۵).

$$g(\mu_i) = X_i\beta + \sum_{j=1}^{m} f_i(x_{ij})$$ رابطه (۵)

که در آن $\mu_i = E(Y_i)$ ،$Y_i \sim$ مجموعه‌ای از توزیع نمایی (مانند: توزیع نرمال، دوجمله‌ای و پواسون)، X_i: ردیف i ام ماتریس مدل برای اجزای مدل پارامتریک. f_i: تابع هموار متغیر کمکی x_i و β: ضریب ثابت مدل است (۱۱). مهم‌ترین ویژگی مدل GAM مشابه بودن آن با روش‌های ماشین یادگیری و قابلیت تفسیر آسان این الگوریتم می‌باشد (۳۲،۲۹،۱۲،۱۱).

ارزیابی نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش

یکی از مهم‌ترین مراحل در مدل‌سازی، ارزیابی اعتبار پیش‌بینی و حساسیت مدل است (۳۰). با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل‌ها، نمی‌توان از داده‌های به‌کار گرفته شده در مدل‌سازی استفاده کرد، از ۳۰ درصد (۱۴۵) زمین‌لغزشی که به‌صورت تصادفی انتخاب شده بود، استفاده گردید. سپس با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی[1] ROC دقت پیش‌بینی و حساسیت مدل تهیه شده، مورد ارزیابی قرار

1- Receiver operating characteristics

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]

گرفت. منحنی ROC، نمایش گرافیکی از مقدار خطای مثبت و خطای منفی است. در این منحنی، در محور x مقدار خطای مثبت و بر روی محور y مقدار خطای منفی نمایش داده می‌شود. سطح زیر منحنی (AUC)[1]، بیانگر کیفیت یک سیستم پیش‌بینی‌کننده از طریق توصیف توانایی آن در پیش‌بینی درست وقوع یا عدم وقوع رخدادهای از پیش تعریف شده است (۹). سطح زیر منحنی، نشان‌دهندهٔ میزان دقت مدل است. مقدار AUC بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است (۶۵). مقادیر AUC ۱-۰/۹، ۰/۹-۰/۸، ۰/۸-۰/۷، ۰/۷-۰/۶ و ۰/۶-۰/۵ به‌ترتیب بیانگر ارزیابی تخمین عالی، خیلی‌خوب، خوب، متوسط و ضعیف است (۳۲).

نتایج و بحث

یکی از مهم‌ترین مراحل در مدل‌های رگرسیونی خطی، بررسی رابطهٔ بین متغیرهای مستقل یا آزمون هم‌خطی است (۳۲). ضریب تحمل[2] و عامل تورم واریانس (VIF)[3]، دو شاخص مهم، جهت تشخیص وجود رابطهٔ هم‌خطی بین متغیرهای مستقل در مدل رگرسیون خطی است. مقادیر ضریب تحمل کمتر از ۰/۱ یا ۰/۲ و عامل تورم واریانس بالاتر از ۵، نشان‌دهندهٔ مسئله هم‌خطی و همبستگی زیاد بین دو متغیر است (۳۰،۲۵،۲۱). با توجه به جدول ۱، بیشترین مقدار عامل تورم واریانس و کمترین مقدار ضریب تحمل، به ترتیب ۲/۵۸ و ۰/۳۸۷ می‌باشد. بنابراین هیچ هم‌خطی بین متغیرهای مستقل مشاهده نشد. نتایج ضرایب β حاصل از مدل رگرسیون خطی (جدول ۱)، بیانگر آن است که درجهٔ شیب، تراکم زهکشی، انحنای نیم‌رخ، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و جهت‌های شیب با مقدار ضریب β بالای صفر، تاثیر مثبت بر زمین‌لغزش‌های حوزهٔ آبخیز چهاردانگه دارند. به‌طور مثال با افزایش شیب، زمین‌لغزش‌های منطقه افزایش یافته است. عوامل شاخص پوشش‌گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، کاربری اراضی، شاخص وضعیت توپوگرافی، انحنای سطح، ارتفاع و تراکم جاده با مقدار β زیر صفر، تاثیر منفی بر زمین‌لغزش‌های منطقه دارند. به‌عبارتی عوامل ذکرشده رابطهٔ معکوس با رخداد زمین‌لغزش دارند. همچنین گروه‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱ واحدهای سنگ‌شناسی دارای رابطهٔ مثبت با رخداد زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه می‌باشند و گروه ۶ واحد سنگ‌شناسی متشکل از ماسه‌سنگ با میان لایه‌های مارن، با مقدار β، ۱/۹۷۷ بیشترین تاثیر مثبت را بر رخداد زمین‌لغزش دارد. در حالی که گروه‌های ۸ و ۹ واحدهای سنگ‌شناسی به ترتیب با مقدار β (۰/۱۱۶- و ۰/۱۵۰-)، ارزش‌های منفی دارند. علاوه بر این، نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک بیانگر انحراف صفر[4] ۹۴۲/۶۸ بر ۶۷۹ درجهٔ آزادی[5] است. در حالی‌که انحراف باقیمانده[6] ۶۳۲/۲۶ بر درجهٔ آزادی ۶۴۴ با مقدار معیار اطلاعاتی آکائیک[7] ۷۰۴/۲۶ می‌باشد. در نهایت، نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک براساس ضرایب به‌دست آمده (جدول ۱ و رابطه ۶)، تهیه و به چهار طبقه حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد براساس روش چارک[8] تقسیم گردید. مساحت مربوط به هر یک از طبقات، به‌ترتیب ۲۰/۱۸، ۲۷/۷۴، ۲۷/۵۰ و ۲۴/۵۸ درصد می‌باشد (شکل ۶).

رابطه (۶)

$$LS_{LR} = ((-0.164) + (Aspect) + (Slope\ degree * 0.107) + (Altitude * -0.0014) + (Fualt\ density * -0.022) + (Drainage\ density * -0.102) + (Road\ density * -0.00058) + (Distance\ from\ fault * 0.000072) + (Distance\ from\ drainege * 0.0015) + (Plan\ Curvature * -0.108) + (Profile\ Curvature * 0.099) + (TPI) + (TWI * 0.058) + (Lithology) + (Land\ Use))$$

نتایج حاصل از بررسی اهمیت و تاثیر عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش در مدل نهایی GAM (جدول ۲ و شکل ۴) نشان داد که از بین ۱۶ عامل به‌کار گرفته شده در مدل، ۷ عامل، شاملِ گروه‌های سنگ‌شناسی، درجهٔ شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از جاده و شاخص پوشش‌گیاهی تفاضلی نرمال شده برای مدل نهایی انتخاب شدند. در حالی‌که عوامل جهت شیب، تراکم گسل، فاصله از آبراهه، انحنای سطح، انحنای نیم‌رخ، شاخص وضعیت توپوگرافی از تحلیل نهایی حذف گردیدند. درصد اهمیت و یا سهم هر یک از عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش در جدول ۲ ارائه شد. نتایج بیانگر آن است که عوامل گروه‌های سنگ‌شناسی (۲۹/۴۳ درصد)، کاربری اراضی (۲۷/۸۹ درصد)، شیب (۱۸/۱۳ درصد) و ارتفاع (۱۰/۱۲ درصد) بیشترین تاثیر را بر رخداد زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه داشته‌اند. فاصله از جاده (۲/۴۷ درصد)، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (۳/۳۷ درصد)، شاخص رطوبت توپوگرافی (۴/۱۰ درصد) و تراکم جاده (۴/۴۶ درصد)، تاثیر کمتری بر رخداد زمین‌لغزش در حوزهٔ آبخیز چهاردانگه داشته‌اند. نتایج حاصل از پارامترهای عملکردی مدل GAM (جدول ۳)، نشان داد که مقدار ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیل‌شده، مجذور میانگین مربعات خطا و معیار اطلاعاتی آکائیک در مدل نهایی به ترتیب $r^2 = 0.40$ ،$r^2 adjusted = 0.39$ ،$RMSE = 0.38$، $rRMSE = 77.37$ و $AIC = -621.74$ می‌باشد. به‌عبارتی ضریب همبستگی مدل، r=۰/۶۳ است. مهم‌ترین مرحله در تفسیر مدل GAM، توصیف منحنی پاسخ جزئی پیش‌بینی‌کننده می‌باشد (۳۲،۲۴). نتایج بررسی شکل ۵، نشان‌داد که در مناطقی که تراکم زهکشی بالاتر است، احتمال رخداد زمین‌لغزش نیز بیشتر است که با نظرات Jaafari و همکاران (۲۲)، Pourghasemi و Rossi (۳۲) مطابقت دارد. به‌علت این که آبراهه‌ها با فرسایش و پاشویی‌های مداوم و یا اشباع نواحی پایین‌دست دامنه‌ها، تاثیر منفی بر روی پایداری دامنه‌ها می‌گذارند (۴۱). همچنین در مناطق با درجهٔ شیب بالاتر، احتمال رخداد زمین‌لغزش بیشتری نیز وجود دارد که با نتایج Regmi و همکاران (۳۴)، Youssef و همکاران (۴۳) مطابقت دارد. در منطقهٔ مورد مطالعه، در دامنه‌های پرشیب به‌علت برتری تنش برشی بر نیروی مقاوم و همچنین دخالت عوامل انسانی از طریق جاده‌سازی و تغییر کاربری، بر ناپایداری دامنه‌ها افزوده شده و شرایط جهت وقوع زمین‌لغزش

1- Area Under the Curve (Auc) 2- Tolerance 3- variance inflation factor (VIF) 4- Null deviance
5- Freedom degrees 6- Residual deviance 7- Akaike Information Criterion 8- Quantile

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]

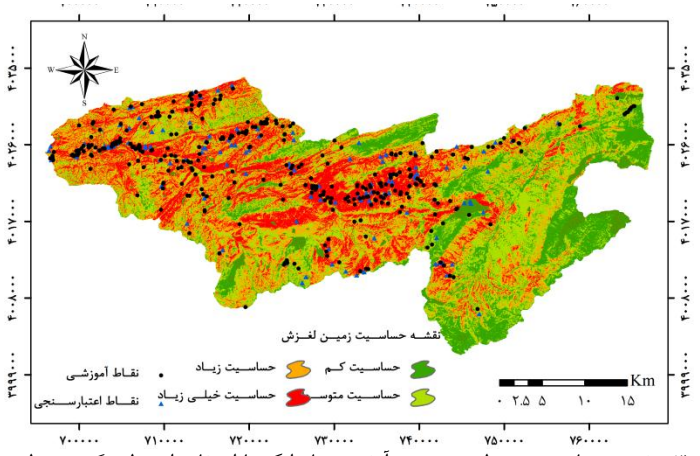
فراهم شده است. این مسئله بیانگر رابطهٔ مثبت بین افزایش این عوامل و رخداد زمین‌لغزش می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از شکل ۵، نشان‌داد که در ارتفاعات پایین‌تر، مناطق نزدیک به جاده و مناطقی که مقدار NDVI و TWI پایین‌تری دارند، احتمال رخداد زمین‌لغزش بیشتر می‌باشد. این مسئله بیانگر وجود رابطه‌ای معکوس بین رخداد زمین‌لغزش و عوامل مذکور است. به‌عبارتی با کاهش ارتفاع، فاصله از جاده، مقدار NDVI و TWI رخداد زمین‌لغزش افزایش می‌یابد. هرچند انتظار می‌رود که با افزایش ارتفاع، بر فراوانی لغزش‌ها افزوده شود، اما در منطقهٔ مورد مطالعه، به‌علت وجود خاک‌های عمیق‌تر در ارتفاعات پایین و همچنین دخالت عوامل انسانی در پایین دست مناطق کوهستانی، شرایط جهت وقوع زمین‌لغزش فراهم‌تر است که با نتایج Jaafari و همکاران (۲۲)، Pourghasemi و Rossi (۳۲) مطابقت دارد. علت فراوانی بیشتر رخداد زمین‌لغزش در نزدیکی جاده‌ها، به جهت آن است که جاده‌ها به‌خصوص در مناطق کوهستانی به‌علت سیستم زهکشی نامناسب و ایجاد بی‌ثباتی مکانیکی در دامنه‌ها، موجب افزایش احتمال رخداد زمین‌لغزش می‌گردند.

جدول ۱- رابطه هم‌خطی و ضرایب رگرسیونی عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش حاصل از مدل رگرسیون لجستیک

Table 1. The multi-collinearity diagnosis indices and regression coefficients of conditioning factors used in the LR

عامل	β	انحراف معیار	مقدار Z	Pr(>|z|)	ضریب تحمل (Tolerance)	عامل تورم واریانس(VIF)
ضریب ثابت	- ۰/۱۶۴	۰/۰۰۱۳۴۹	-۰/۰۱۲	۰/۹۹۰۲	---	---
جهت شیب شمال	۰/۱۵۱۵	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۱	۰/۹۹۱۰	۰/۹۸۱	۱/۰۱۹
شمال شرق	۰/۱۴۳۵	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۱	۰/۹۹۱۵	---	---
شرق	۰/۱۴۹۸	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۱	۰/۹۹۱۱	---	---
جنوب شرق	۰/۱۵۶۴	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۲	۰/۹۹۰۷	---	---
جنوب	۰/۱۵۸۳	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۲	۰/۹۹۰۶	---	---
جنوب غرب	۰/۱۵۴۳	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۱	۰/۹۹۰۸۷	---	---
غرب	۰/۱۵۱۹	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۱	۰/۹۹۱۰۲	---	---
شمال غرب	۰/۱۵۵۵	۰/۰۰۱۳۴۹	۰/۰۱۲	۰/۹۹۰۸	---	---
ارتفاع	-۰/۰۰۱۴۶	۰/۰۰۰۳۳۵	-۴/۳۶	۰/۰۰۰۰۱۳***	---	---
تراکم گسل (km/km^2)	-۰/۰۲۲۴	۰/۰۳۳	-۰/۶۸۱	۰/۴۹۵۷	۰/۶۳۶	۱/۵۷۳
تراکم زهکشی (km/km^2)	۰/۱۰۲۳	۰/۰۶۵۳۵	۱/۸۸۲	۰/۰۵۹۸۹	۰/۷۰۴	۱/۴۲۰
تراکم جاده (km/km^2)	-۰/۰۰۰۵۸۹	۰/۰۰۰۲۴۹	-۲/۳۶۱	۰/۰۱۸۲*	۰/۴۵۱	۲/۲۱۵
فاصله از گسل (m)	۰/۰۰۰۰۷۲۳	۰/۰۰۰۱۳۲	۰/۵۴۵	۰/۵۸۶	۰/۴۸۸	۲/۰۵۰
فاصله از آبراهه (m)	۰/۰۰۱۵۳	۰/۰۰۰۱۸۶	۰/۸۲۵	۰/۴۰۹۲	۰/۷۰۵	۱/۴۱۸
انحنای سطح (m/100)	-۰/۱۰۸۱	۰/۱۸۳۳	-۰/۵۹۰	۰/۵۵۵	۰/۶۲۰	۱/۶۱۴
انحنای نیم‌رخ (m/100)	۰/۰۹۹۵	۰/۱۴۹۴	۰/۶۶۶	۰/۵۰۵	۰/۷۲۲	۱/۳۸۵
درجهٔ شیب	۰/۱۰۷۳	۰/۰۱۲۳۹	۰/۸۶۵	۲e-۱۶****	۰/۶۰۹	۱/۶۴۹
TPI (دامنه)	-۰/۳۴۶۹	۰/۳۱۹۴	-۱/۰۸۶	۰/۲۷۷	۰/۵۰۴	۱/۹۸۳
TPI (خط‌الرأس)	-۰/۲۰۶۶	۰/۳۰۷۳	-۰/۶۷۲	۰/۵۰۱	---	---
TWI	۰/۰۵۸۸۶	۰/۰۷۵۹	۰/۷۷۶	۰/۴۳۸	۰/۵۵۰	۱/۸۱۸
سنگ‌شناسی گروه ۲	۰/۸۶۴۶	۱/۳۰۱	۰/۶۶۴	۰/۵۰۶۵	۰/۷۵۸	۱/۳۲۰
گروه ۳	۰/۸۵۷۱	۱/۲۶۵	۰/۶۷۸	۰/۴۹۸	---	---
گروه ۴	۱/۵۸۴	۱/۵۹۲	۰/۹۹۵	۰/۳۱۹۵	---	---
گروه ۵	۰/۸۲۶۷	۱/۴۷	۰/۵۶۲	۰/۵۷۳۸	---	---
گروه ۶	۱/۹۷۷	۱/۲۸۷	۱/۵۳	۰/۱۲۴۵	---	---
گروه ۷	۰/۶۲۶	۱/۲۸۷	۰/۴۸۷	۰/۶۲۶	---	---
گروه ۸	-۰/۱۱۶۴	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۵	۰/۹۹۶	---	---
گروه ۹	-۰/۱۵۰۸	۰/۰۰۱۰۵	-۰/۰۱۴	۰/۹۸۸	---	---
گروه ۱۰	۱/۱۳۹	۱/۸۱	۰/۶۲۹	۰/۵۲۹	---	---
گروه ۱۱	۰/۲۵۰۷	۱/۳۲۲	۰/۱۹	۰/۸۴۹	---	---
NDVI	-۲/۲۳	۰/۸۵۵۸	-۲/۶۰۹	۰/۰۰۹۰۷ **	۰/۷۱۵	۱/۳۹۹
کاربری کشاورزی	-۰/۵۵۶۶	۰/۳۰۳۳	-۰/۱۵۳۵	۰/۰۶۶۰۵	۰/۴۸۹	۲/۰۴۳
جنگل	-۰/۱۶۴	۰/۰۰۱۱۷۹	-۰/۰۱۴	۰/۹۸۸۹۱	---	---
مسکونی	-۰/۶۴۰۶	۰/۴۱۰۸	-۱/۵۵۹	۰/۱۱۸۹	---	---
مرتع	-۰/۱۵۸۶	۰/۰۰۱۵۸	-۰/۰۱۰	۰/۹۹۲۰۱	---	---

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]



شکل ۳- نقشه حساسیت زمین‌لغزش حوزه آبخیز چهاردانگه با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

Figure 3. The landslide susceptibility map produced by RL model in Chahardange Watershed

(۳) نتیجهٔ به‌دست آمده با نظرات Youssef و همکاران (۴۳)، Rasai و همکاران (۳۳) و Zare و همکاران (۴۵) مطابقت دارد. رابطهٔ غیرخطی و معکوس شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده با رخداد زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه، به این علت است که شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، با پوشش گیاهی مرتبط است. حضور یا عدم حضور پوشش گیاهی، از عوامل تاثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش محسوب می‌گردد و نقش بسیار پیچده و متضادی در حساسیت زمین‌لغزش ایفا می‌کند (۱۴). نتیجهٔ به‌دست‌آمده با نتایج Hong و همکاران (۲۱) مطابقت دارد. هرچند با افزایش رطوبت توپوگرافی انتظار می‌رود که رخداد زمین‌لغزش افزایش یابد (۱۷،۱۴)، اما در منطقهٔ مورد مطالعه فراوانی رخداد زمین‌لغزش با افزایش رطوبت توپوگرافی، روند معکوس را نشان داد که منطبق با نتایج Hong و همکاران (۲۱) می‌باشد. این مسئله، به‌علت دخالت پارامترهای دیگری همچون وجود سازندهای حساس به وقوع زمین‌لغزش و برهم خوردن تعادل شیب در اثر فعالیت‌های انسانی در این مناطق می‌باشد. از میان عوامل در نظر گرفته شده، گروه‌های سنگ‌شناسی اهمیت و تأثیر بیشتری بر وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند (۲۹/۴۳ درصد) که این امر به جهت آن است که ۶۵/۳۲ درصد مساحت منطقهٔ مورد مطالعه، تحت گستره گروه‌های ۳، ۴، ۶ و ۷ سنگ‌شناسی است که حاوی ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ آهک با میان لایه‌های شیل و مارن می‌باشند و درصورت نفوذ آب در آن‌ها، شرایط برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌شود (۱). بعد از انتخاب گام به‌گام عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش، نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل GAM با استفاده از رابطهٔ ۷ به‌دست آمد.

رابطه (۷)

$$LSM_{GAM} = s(Altitude, 2) + s(Density\ of\ road, 1) + s(Distance\ from\ road, 2) + s(Slope\ degree, 1) + s(TWI, 2) + Litology + s(NDVI, 2) + Landuse$$

که در آن s: زبانهٔ هموارساز و ۱ و ۲: درجهٔ آزادی زبانه هموارساز می‌باشد.

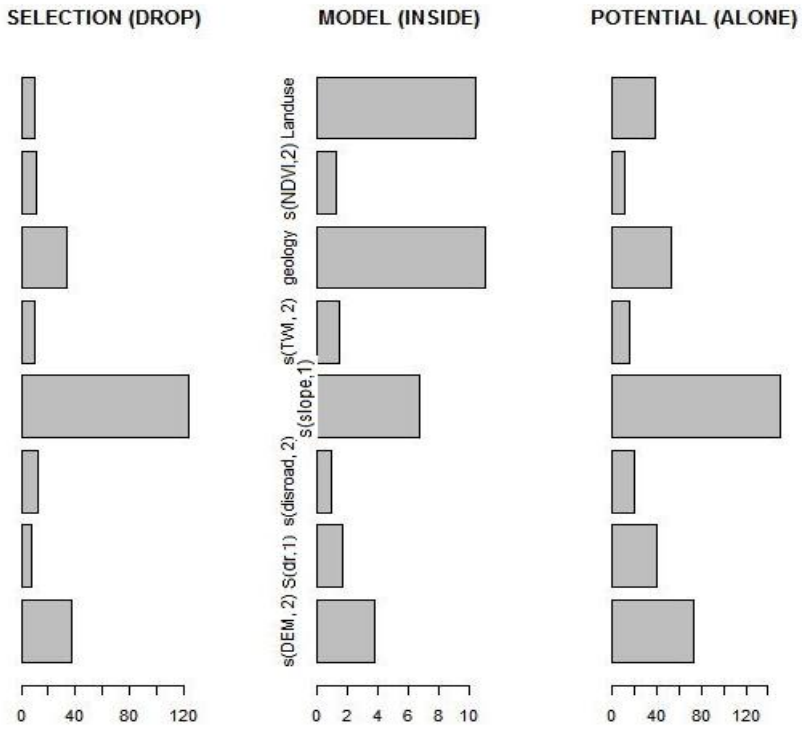
در نهایت، نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل عمومی تجمیع‌یافته (GAM) تهیه و به چهار طبقه حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد براساس روش چارک تقسیم گردید. مساحت مربوط به هر یک از طبقات به‌ترتیب ۱۷/۶۵، ۳۲/۸۸، ۲۵/۰۳ و ۲۴/۴۴ درصد می‌باشد (شکل ۶).

جدول ۲- درصد اهمیت عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش در مدل GAM

Table 2. Model contribution of conditioning factors in GAM model

عامل	ارتفاع	تراکم جاده	فاصله از جاده	درجهٔ شیب	TWI	سنگ‌شناسی	NDVI	کاربری اراضی
درصد اهمیت	۱۰/۱۲	۴/۴۶	۲/۴۷	۱۸/۱۳	۴/۱۰	۲۹/۴۳	۳/۳۷	۲۷/۸۹

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]



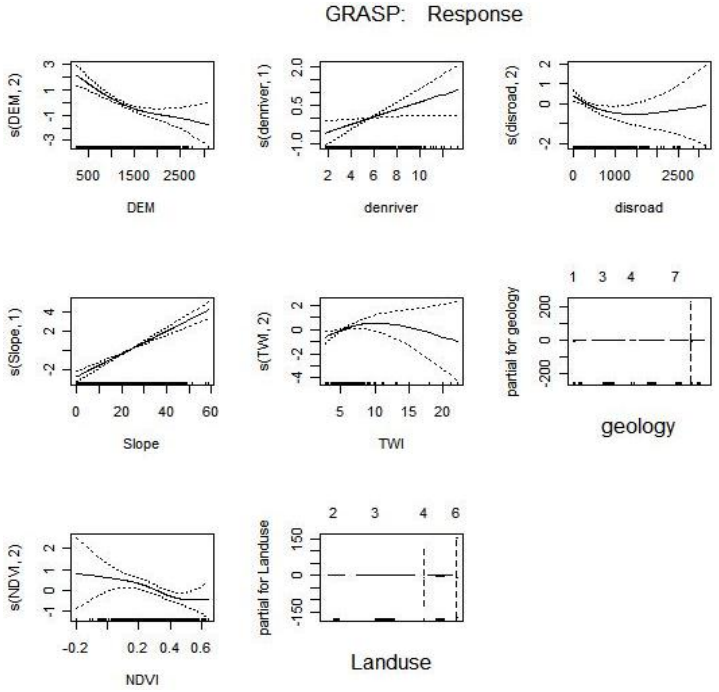
شکل ۴- نتایج میزان اهمیت عوامل مؤثر مورد استفاده در مدل GAM

Figure 4. The results of model contribution of conditioning factors used in GAM model

جدول ۳- پارامترهای عملکردی در مدل GAM

Table 3. Performance parameters in GAM model

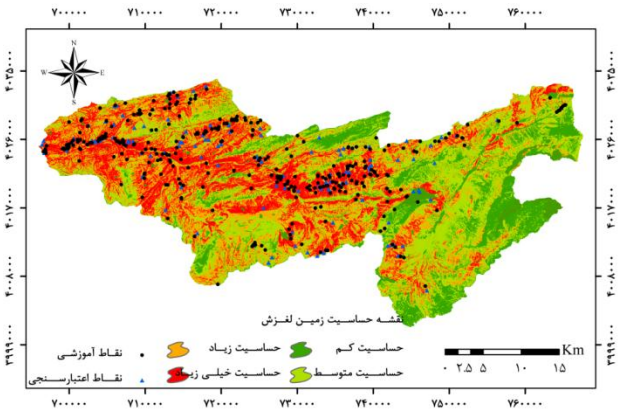
پارامتر	r^2	r^2 تعدیل شده	RSME	rRMSE	AIC
مقدار	۰/۴۰۱	۰/۳۹	۰/۳۸۶	۷۷/۳۷	۶۲۱/۷۴



شکل ۵- منحنی پاسخ جزیی زمین‌لغزش با هر یک از متغیرهای مستقل

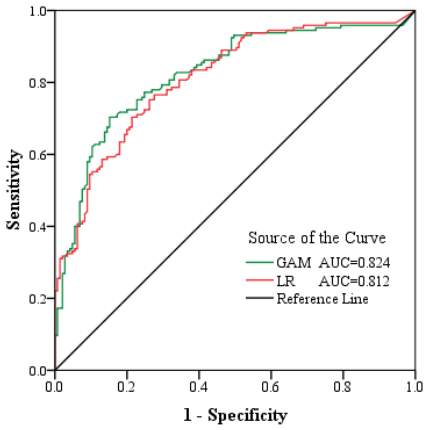
Figure 5. Partial response curves of landslide with each of conditioning factors

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]



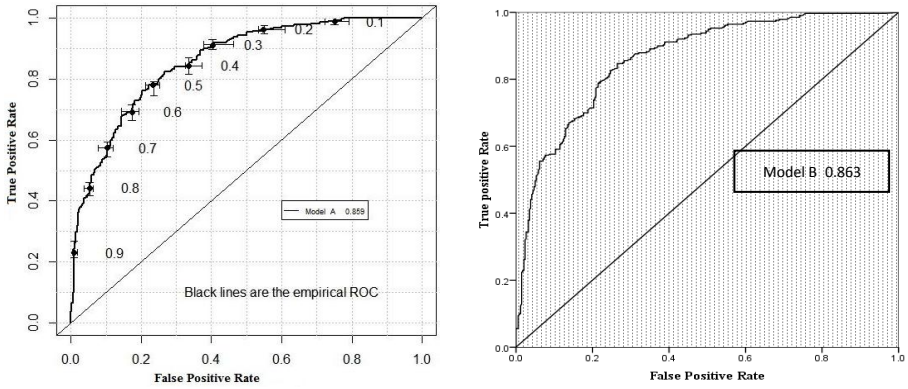
شکل ۶- نقشه حساسیت زمین‌لغزش حوزه آبخیز چهاردانگه با استفاده از مدل GAM

Figure 6. The landslide susceptibility map produced by GAM model in Chahardangeh Watershed



شکل ۷- منحنی تشخیص عملکرد نسبی مدل‌های LR و GAM با استفاده از داده‌های اعتبارسنجی

Figure 7. ROC curves of LR and GAM models in validation phase



شکل ۸- سطح زیر منحنی (AUC) نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش الف) LR و ب) GAM با داده‌های آموزشی

Figure 8. ROC curves of LR and GAM models in training phase

نتایج ارزیابی پیش‌بینی و اعتبارسنجی مدل LR و GAM (شکل ۷ و ۸) به‌ترتیب بیانگر سطح زیر منحنی ۰/۸۵۹ و ۰/۸۶۳ برای پیش‌بینی مدل و ۰/۸۱۲ و ۰/۸۲۴ برای ارزیابی مدل می‌باشد. بنابراین نقشه‌های حساسیت تهیه شده با استفاده از مدل‌های مذکور، روش‌هایی مناسب برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه می‌باشند. درحالی‌که مدل GAM با سطح زیر منحنی بیشتر (AUC_{GAM}=۰/۸۶۳ برای پیش‌بینی مدل و AUC_{GAM}=۰/۸۲۴ برای اعتبار سنجی مدل) دقت بالاتری نسبت به مدل LR دارد. علت این مسئله، در نظر گرفتن و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]

استفاده از عواملی است که روابط غیرخطی با رخداد زمین‌لغزش در منطقهٔ مورد مطالعه دارند که با نتایج به‌دست آمده توسط Park (۲۶)، Goetz و همکاران (۱۲)، Brenning و همکاران (۳) و Steger و همکاران (۳۸) مطابقت دارد.

بنابراین نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش تهیه شده، می‌تواند با انجام برنامه‌ریزی مدیریتی مناسب، نقش موثری در جلوگیری یا کاهش خسارات وارده در مناطق با پتانسیل خطر بالای زمین‌لغزش داشته باشد.

منابع

1. Ahmadi, H. 2005. Applied Geomorphology. Vol. 1, Water erosion, University of Tehran Press, 688 pp. (In Persian).
2. Atkinson, P.M. and R. Massari.1998. Generalised linear modeling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. Computers & Geosciences, 24(4): 373-385.
3. Brenning, A., M. Schwinn, A.P. Ruiz-Páez and J. Muenchow. 2014. Landslide susceptibility near highways is increased by one order of magnitude in the Andes of southern Ecuador, Loja province. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions, 2(3): 1945-1975.
4. Budimir, A., P.M. Atkinson and H.G. Lewis. 2015. A systematic review of landslide probability mapping using logistic regression. Landslides, 12(3): 419-436.
5. Choi, J., H.J. Oh, H.J. Lee, C. Lee and S. Lee. 2012. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS. Engineering Geology, 124: 12-23.
6. Colkesen, I., E.K. Sahin and T. Kavzoglu. 2016. Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. Journal of African Earth Sciences, 118: 53-64.
7. Dahal, R.K., S. Hasegawa, A. Nonomura, M. Yamanaka, T. Masuda and K. Nishino. 2008. GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. Environmental Geology, 54(2): 311-324.
8. Das, I., A. Stein, N. Kerle and V.K. Dadhwal. 2012. Landslide susceptibility mapping along road corridors in the Indian Himalayas using Bayesian logistic regression models. Geomorphology, 179: 116-125.
9. Devkota, K.C., A.D. Regmi, H.R. Pourghasemi, K. Yoshida, B. Pradhan, I.C. Ryu and O.F. Althuwaynee. 2013. 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. Natural hazards, 65(1): 135-165.
10. Ercanoglu, M. and F.A. Temiz. 2011. Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey). Environmental Earth Sciences, 64(4): 949-964.
11. Fang, X. 2008. Generalized additive models with correlated data. ProQuest, 137pp, ISBN: 0549950907, 9780549950905.
12. Goetz, J.N., R.H. Guthrie and A. Brenning. 2011. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. Geomorphology, 129(3): 376-386.
13. Goetz, J.N., A. Brenning, H. Petschko and P. Leopold. 2016. Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling. Computers & Geosciences, 81: 1-11.
14. Guo, C., D.R. Montgomery, Y. Zhang, K. Wang and Z. Yang. 2015. Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China. Geomorphology, 248: 93-110.
15. Guzzetti, F., A. Carrara, M. Cardinali and P. Reichenbach. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology, 31(1): 181-216.
16. Hastie, T.J. and R. Tibshirani. 1990. Generalized additive models. Chapman & Hall, London, 352 pp.
17. Hengl, T. and H. Reuter. 2009. Geomorphometry: concepts, software, applications. 1st ed. Elsevier, Amsterdam, 772 pp.
18. Hjort, J. and M. Luoto. 2012. Can geodiversity be predicted from space? Geomorphology, 153(154): 74-80.
19. Hjort, J. and M. Luoto. 2013. Statistical methods for geomorphic distribution modeling. Treatise on Geomorphology, Academic Press, San Diego, 59-73.
20. Holec, J., M. Bednarik, M. Šabo, J. Minár, I. Yilmaz and M. Marschalko. 2013. A small-scale landslide susceptibility assessment for the territory of Western Carpathians. Natural Hazards, 69(1): 1081-1107.
21. Hong, H., H.R. Pourghasemi and Z.S. Pourtaghi. 2016. Landslide susceptibility assessment in Lianhua County (China): a comparison between a random forest data mining technique and bivariate and multivariate statistical models. Geomorphology, 259: 105-118.
22. Jaafari, A., A. Najafi, H.R. Pourghasemi, J. Rezaeian and A, Sattarian. 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. International Journal of Environmental Science and Technology, 11(4): 909-926.
23. Kemcal, C., A. Akgun and M.Y. Koca. 2009. Landslide susceptibility assessment in the Izmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression method. Environmental Earth Sciences, 59:745-756.
24. Lehmann, A., J.M. Overton and J.R. Leathwick. 2002. GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction. Ecological modelling, 157(2-3): 189-207.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]

25. O'Brien, R.M. 2007. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors Quality & Quantity, 41(5): 673-690.
26. Park, N.W. and K.H. Chi. 2008. Quantitative assessment of landslide susceptibility using high-resolution remote sensing data and a generalized additive model International Journal of Remote Sensing, 29(1): 247-264.
27. Park, N.W. 2011. Application of Dempster-Shafer theory of evidence to GIS-based landslide susceptibility analysis Environmental Earth Sciences, 62(2): 367-376.
28. Park, S., C. Choi, B. Kim and J. Kim. 2013. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. Environmental earth sciences, 68(5): 1443-1464.
29. Petschko, H., A. Brenning, R. Bell, J. Goetz and T. Glade. 2014. Assessing the quality of landslide susceptibility maps-case study Lower Austria. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14(1): 95-118.
30. Pourghasemi, H. R., H. R. Moradi and S. F. Aghda. 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. Natural hazards, 69(1): 749-779.
31. Pourghasemi, H. R and N. Kerle. 2016. Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran Province, Iran. Environmental earth sciences, 75(3): 185.
32. Pourghasemi, H.R. and M. Rossi. 2017. Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, North of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods. Theoretical and Applied Climatology, 130(1-2): 609-633.
33. Rasai, A., K. Khosravi, M. Habibnejad Roshan, A. Heidari and A. Mashayekhan. 2015. Lnadslide Hazard Zonation using Multivariate Regression in GIS Environment (Case Study: Aghmashhad Watershed, Mazandaran). Watershed Management Research, 12: 205-215. (In Persian).
34. Regmi, A.D., K.C. Devkota, K. Yoshida, B. Pradhan, H.R. Pourghasemi, T. Kumamoto and A. Akgun. 2014. Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. Arabian Journal of Geosciences, 7(2): 725-742.
35. Ren, F. and X. Wu. 2014. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing Data and Machine Learning Methods. M. Buchroithner et al. (eds.), Cartography from Pole to Pole, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 319-333.
36. Romer, C. and M. Ferentinou. 2016. Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment-A Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa. Engineering Geology, 201: 29-44.
37. Solaimani, K., S.Z. Mousavi and A. Kavian. 2013. Landslide susceptibility mapping based on frequency ratio and logistic regression models. Arabian Journal of Geosciences, 6(7): 2557-2569.
38. Steger, S., A. Brenning, R. Bell, H. Petschko and T. Glade. 2016. Exploring discrepancies between quantitative validation results and the geomorphic plausibility of statistical landslide susceptibility maps. Geomorphology, 262: 8-23.
39. Teimoori Yansari, Z. 2018. The study of landslide susceptibility Chahardange Basin with emphasis on comparative assessment methods. Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 144 pp (In Persian).
40. Trigila, A., C. Iadanza, C. Esposito and G. Scarascia-Mugnozza. 2015. Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy). Geomorphology, 249: 119-136.
41. Tsangaratos, P., I. Ilia and D. Rozos. 2013. Case Event System for Landslide Susceptibility Analysis. Landslide Science and Practice, 1: 585-593.
42. Wang, L. J., M. Guo, K. Sawada, J. Lin and J. Zhang. 2016. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network. Geosciences Journal, 20(1): 117-136.
43. Youssef, A.M., H.R. Pourghasemi, Z.S. Pourtaghi and M.M. Al-Katheeri. 2016. Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia. Landslides, 13(5): 839-856.
44. Youssef, A.M., B. Pradhan, H.R. Pourghasemi and S. Abdullahi. 2015. Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia using two bivariate models in GIS. Geosciences Journal, 19(3): 449-469.
45. Zare, M., A. Moghaddamnia, S. Tali Khoshk, H. Salmani. 2015. Landslide Hazard Assessment by using Neuro-Fuzzy Technique in Vaz Watershed. Watershed Management Research, 11: 101-110 (In Persian).
46. Zhang, G., Y. Cai, Z. Zheng, J. Zhen, Y. Liu and K. Huang. 2016. Integration of the statistical index method and the analytic hierarchy process technique for the assessment of landslide susceptibility in Huizhou, China. Catena, 142: 233-244.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]

Comparison of Landslide Susceptibility Maps using Logistic Regression (LR) and Generalized Additive Model (GAM)

Zeinab Timoori Yansari[1], Seyed Reza Hosseinzadeh[2], Ataollah Kavian[3] and Hamid Reza Pourghasemi[4]

1- PhD. Student, Group of Geomorphology, Faculty of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad
2- Associated Professor, Faculty of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad
(Corresponding author: srhosseinzadeh@um.ac.ir)
3- Associated Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Assistant Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
Received: November 20, 2016 Accepted: February 13, 2017

Abstract

Landslide is one of the most common natural disasters that endanger the lives and properties of people in mountainous areas. Therefore, identification of risk exposure areas of landslide is essential to prevent and reduce damages by landslides. The purpose of this study is compared to logistic regression (LR) and generalized additive models (GAM) and the evaluation of their performance for landslide susceptibility mapping in the Chahardangeh Watershed, Mazandaran Province. At the first, landslide locations were identified by Google Earth images and extensive field survey. Then, the landslide inventory map was randomly divided as training data 70% for modeling and the remaining 30% was applied for the model validation. The landslide conditioning factors including topographic, hydrologic, geology and human factors were constructed in GIS. Finally, the receiver operating characteristic (ROC) Curve was used for the model validation. The validation of results showed that the area under the ROC curve for LR and GAM models were 81.2% and 82.4%, respectively. So, both of the models are suitable and efficient methods for landslide susceptibility mapping in the study area. Although, the obtained results showed that the GAM model performed is slightly better than the LR model for determining regions of susceptible to occurrence of landslide in the study area.

Keywords: Landslide, Logistic regression (LR), Generalized additive Model (GAM), Chahardangeh Watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.6.0]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.208]