تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز سجارود با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

سیده زهره موسوی خطیر، عطاء الله کاویان* و کریم سلیمانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۵)

چکیده

در تحقیق حاضر به منظور مدل‌سازی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز سجارود از روش تحلیل آماری رگرسیون لجستیک چند متغیره استفاده شده است. ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه شامل ۹۵ نقطه لغزشی به عنوان متغیر وابسته تهیه شد و عدد یک به حضور و عدد صفر به ۹۵ نقطه تصادفی عدم حضور زمین لغزش تعلق گرفت. ده عامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، بارندگی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زه‌کشی، فاصله از جاده، کاربری اراضی و سنگ شناسی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. تأثیر هر متغیر مستقل بر وقوع و عدم وقوع زمین لغزش بر اساس ضرایبی که در معادله رگرسیون لجستیک ایجاد می‌شوند، مشخص شد. تفسیر ضرایب نشان داد که شبکه جاده مهم‌ترین نقش را در بروز زمین لغزش‌های منطقه برعهده دارد. ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، بارندگی و فاصله از گسل به دلیل عدم هم‌بستگی آماری با وقوع زمین لغزش از مدل نهایی حذف شدند. پس از انتقال معادله نهایی احتمال وقوع به نرم‌افزار Arc/view 3.2a ، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه تهیه شد. نتایج ارزیابی صحت نشان داد صحت کلی نقشه تولیدی ۸۵/۳ درصد است. بر این اساس ۵۳ درصد از مساحت حوزه در منطقه خیلی کم خطر، ۱۸/۳ درصد در منطقه کم خطر، ۲۱ درصد در منطقه با خطر متوسط و ۷/۷ درصد مساحت حوزه در منطقه پرخطر قرار گرفتند. صحت مدل آماری و نقشه پهنه‌بندی حاصل بر اساس آماره‌های -2LL ، R^2 ناگلکرک و R^2 کوکس و اسنل ارزیابی و مورد تأیید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، پهنه‌بندی خطر، رگرسیون لجستیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سجارود

۱. به ترتیب کارشناس ارشد، استادیار و دانشیار آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.kavian@sanru.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

مقدمه

زمین لغزش‌ها در ایران یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی بوده که هرساله نقش بسزایی در تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب مراتع، باغ‌ها و مناطق مسکونی و هم‌چنین فرسایش و انتقال حجم بالای رسوب در حوزه‌های آبخیز کشورمان دارند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸ وقوع حدود ۲۵۹۰ زمین لغزه در کشور باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ باب خانه، ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ایجاد رسوب سالانه به حجم ۹۶۳۸۰۷ مترمکعب شده است (۸). ارتفاع از سطح دریا، درجه و جهت شیب از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش می‌باشند (۱۶ و ۱۸). شکل شیب از عوامل مؤثر دیگر بر حرکت‌های توده‌ای است که محققین کمی از جمله کن و همکاران (۱۴)، گریکو و همکاران (۲۳) و لی و سمبات (۲۹) اهمیت تأثیر این عامل را بر حرکت‌های توده‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. از طرفی مهم‌ترین گسیختگی‌ها در شیب‌ها بعد از باران‌های سنگین و نفوذ آب به داخل ترک‌ها و شکاف‌ها رخ می‌دهد (۳). فعالیت گسل‌های بزرگ و فعال نیز از جمله عناصر تکتونیکی مؤثر در فعالیت زمین لغزش‌ها می‌باشند (۱۱). هم‌چنین شبکه‌های زه‌کشی و آبراهه‌ها می‌توانند با ایجاد فرسایش و یا اشباع نمودن افق‌های پایینی خاک طی بالا کشیدن سطح آب در کانال خود، سبب وقوع زمین لغزش گردند (۳۳ و ۳۴). فعالیت‌های انسانی از جمله جاده سازی نیز از جمله مهم‌ترین عوامل وقوع زمین لغزش در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آید (۱۱، ۲۳ و ۳۰). هم‌چنین وضعیت موجود در پوشش سطح و کاربری اراضی و نیز تغییرات آن طی دوره‌های متوالی می‌باشد (۲، ۱۹، ۲۳ و ۲۹). هم‌چنین از آنجا که تنوع بافت و سنگ‌شناسی در سنگ‌ها و خاک‌ها منجر به تفاوت در استحکام و نفوذپذیری آنها می‌شود عامل زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در وقوع زمین لغزش‌ها ایفا می‌کند (۱۱ و ۱۸).

لزوم پیش‌بینی وقوع و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به منظور مدیریت و تعدیل خطر به توسعه مدل‌های تجربی و آماری فراوانی با تأکید بر استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) منجر شده است (۳۱). استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزار پایه بررسی در پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش با هدف مدیریت داده‌های مکانی و به همراه برخی مدل‌های مناسب بسیار مؤثر است. تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش بر دانش پیچیده حرکت‌های شیب و عوامل کنترل کننده آنها استوار است. فرایند تشکیل این نقشه‌ها مستلزم روش‌های کیفی و کمّی زیادی است. برخی روش‌های کیفی بر دسته‌بندی و وزن‌دهی عوامل مؤثر استوارند که می‌توانند به روش‌های نیمه کمّی در طبیعت تحول یابند. از جمله می‌توان به تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (۵، ۶ و ۳۴)، روش ترکیب وزنی خطی (WLC) (۹) اشاره کرد. روش‌های کیفی یا نیمه کمّی از آنجا که بسته به دانش کارشناس تغییر می‌کند، اغلب برای مطالعات منطقه‌ای مناسب هستند (۲۴).

روش‌های کمّی بر پایه بیان عددی ارتباط بین عوامل مؤثر و زمین لغزش‌ها استوارند. روش‌های آماری از جمله روش‌های کمّی هستند. روش آماری دو متغیره (۲۷) مستلزم مقایسه نقشه پراکنش زمین لغزش با نقشه عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش به منظور رتبه‌بندی طبقات متناظر و مطابق با نقش آنها در تشکیل زمین لغزش‌هاست. از جمله روش‌های آماری چند متغیره نیز می‌توان آنالیز تشخیصی (۱۲ و ۱۵)، شبکه عصب مصنوعی (۲۲ و ۲۶)، منطق فازی (۲۵) و رگرسیون لجستیک (۲۰، ۲۱، ۲۴، ۳۲، ۲۹ و ۳۵) را برای تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع زمین لغزش نام برد.

علی‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در ایران در زمینه مدل‌سازی خطر زمین‌لغزش‌ها انجام شده است، اما دانش استفاده از روش‌های آماری جدید مانند رگرسیون لجستیک، چندان مورد آزمون قرار نگرفته است. از سوی دیگر با توجه به تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی به منظور بهره‌برداری از جنگل‌های شمال که منجر به مستعد نمودن دامنه‌ها به وقوع زمین لغزش شده (۷)، لزوم تهیه نقشه‌های پیش‌بینی مکانی خطر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

وقوع زمین لغزش به صورت کمّی بیش از پیش اهمیت می‌یابد.

بر این اساس هدف از تحقیق حاضر بررسی میزان تأثیر عوامل مؤثر و توسعه مدل آماری چند متغیره لجستیکی به منظور پیش‌بینی مکانی احتمال وقوع زمین لغزش‌ها در حوزه آبخیز سجارود در استان مازندران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سجارود یکی از زیر حوزه‌های بابلرود در استان مازندران است که با مساحت ۱۶۲۸۸ هکتار در محدوده جغرافیایی ۶۴۱۸۸۳/۸۱ تا ۶۵۳۸۲۰/۷۲ طول شرقی و ۴۰۰۷۱۶۶/۵۴ تا ۴۰۳۱۰۵۷/۰۵ عرض شمالی واقع است (شکل۱). بارندگی متوسط سالانه منطقه۷ /۵۷۲ میلی‌متر و نوع اقلیم منطقه مرطوب است. از نظر زمین شناسی در این حوزه نهشته‌های دوران سنوزوئیک شامل رسوبات دوره نئوژن، حاوی کنگلومرا با افق‌های ماسه سنگی و مارن سیلتی، گلسنگ، مارن آهکی و سنگ آهک مارنی است که بخش‌های وسیعی از حوزه را در بر گرفته است. رسوبات دوره کواترنر در این منطقه شامل آبرفت‌های قدیمی و مخروط افکنه‌های جوان و واریزه‌ها است که اغلب در حاشیه رودخانه قرار دارند. بیشتر منطقه توسط پوشش جنگلی با تیپ غالب ازگیل و و ولیک و راش- ممرز پوشیده شده که در ارتفاعات پایین‌تر اکثراً به باغ و زمین‌های زراعی تبدیل شده‌اند (۱). زمین لغزش‌های بسیاری در منطقه مورد مطالعه دیده شده‌اند که اکثراً از نوع لغزش‌های چرخشی کشیده، دارای گسترش عمقی زیاد و با تغییر شکل طولی و عرضی بسیار کم نسبت به عمق هستند.

پراکنش زمین لغزش‌ها

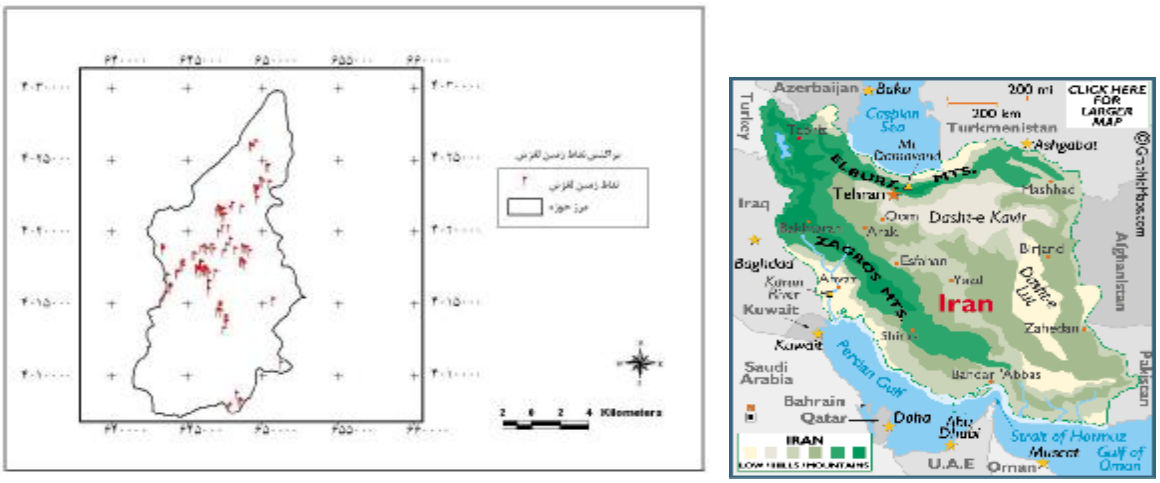
در این تحقیق بر اساس تفسیر عکس‌های هوایی سیاه و سفید با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، تعداد ۶۰ زمین لغزش شناسایی و در مطالعات میدانی و صحرایی مورد بازبینی و تأیید قرار گرفتند. هم‌چنین تعداد ۳۵ زمین لغزش ثبت شده توسط آبخیزداری استان مازندران نیز بررسی شد. بنابراین در مجموع ۹۵ نقطه زمین لغزش شناسایی شدند. نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در محیط نرم افزار Arc/view 3.2a تهیه (شکل۱) و به نقشه رستری با اندازه سلول‌های ۳۰ در ۳۰ متر تبدیل شد.

لایه‌های عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش

در رگرسیون لجستیک با گنجاندن متغیرهای مستقل بیشتر و البته با شرط تأثیر نقش مهم بر تعیین متغیر وابسته مدل کامل‌تری خواهیم داشت (۱۰). براساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نیز مطالعات میدانی، ۱۰ عامل اولیه مؤثر بر زمین لغزش‌های منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، میانگین بارندگی سالانه، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از جاده، کاربری اراضی و سنگ شناسی شناسایی شدند. نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر ذکر شده، در محیط نرم افزار Arc/view3.2a تهیه و برای پردازش آماده شدند. از نقشه توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع (Digital elevation model) با پیکسل‌های ۳۰ متر در۳۰ متر استفاده شد. بر اساس نقشه رستری مدل رقومی ارتفاع، نقشه‌های طبقات ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب و شکل شیب تهیه شدند. با اعمال فرمول گرادیان بارندگی منطقه بر مدل رقومی ارتفاع، نقشه طبقات بارش منطقه تهیه شد. بر اساس طبقه‌بندی فواصل معین ازشبکه گسل‌های رقومی شده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه تهیه شد. نقشه‌های فاصله از جاده و فاصله از شبکه زه‌کشی با طبقه‌بندی فواصل معین از شبکه جاده و شبکه هیدروگرافی رقومی شده از نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شدند. بر اساس طبقه‌بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست ETM^{+} و بازدید صحرایی و کنترل صحت، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. هم‌چنین بر اساس تفکیک و رقومی کردن پلی گون‌های واحدهای سنگ شناسی از نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط نرم افزار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]



شکل ۱. موقعیت زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه

Arc/view3.2a، نقشه زمین شناسی منطقه با ۱۲ واحد سنگی متفاوت مربوط به دوره‌های تریاس، کرتاسه، ترشیاری و کواترنرتهیه شد.

مدل‌سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک روش آماری متعلق به گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم یافته است که با استفاده از متغیرهای مستقل، احتمال وقوع یک حادثه را مورد پیش‌بینی قرار می‌دهد. هدف اصلی از رگرسیون لجستیک، مدل‌سازی احتمال وقوع یک رویداد دو حالتی متداول، حضور و عدم حضور عوامل مختلف و معنی‌داری این حضور و عدم حضور است (۲۱). در مورد نقشه حساسیت زمین لغزش، هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته (زمین لغزش) و مجموعه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌هاست.

شکل عمومی معادله رگرسیون لجستیک به صورت رابطه ۱ است.

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}} \qquad [1]$$

P: احتمال رخداد حادثه (در این تحقیق احتمال وقوع زمین لغزش)

z: پارامتر یا فاکتور خطی است و از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$z = \log it(p) = Ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = c_0 + c_1 x_1 + \ldots + c_n x_n \qquad [2]$$

C_o: عرض از مبدا یا ضریب ثابت مدل

$c_1, c_2 \ldots c_n$: $x_1, x_2 \ldots x_n$ ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل هستند.

با تغییر مقدار z از $-\infty$ تا $+\infty$ احتمال وقوع زمین لغزش (p) به صورت منحنی s از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که هرچه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع زمین لغزش بیشتر و هرچه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع، کمتر خواهد بود (۱۶ و ۱۸). مزیت رگرسیون لجستیک نسبت به سایر رگرسیون‌هایی که ضرایب مدل را با حداکثر مربعات به دست می‌آورند این است که علی‌رغم عدم نیاز به وجود رابطه خطی میان متغیر مستقل و وابسته، هم‌چنین لزومی به برقراری توزیع نرمال بین متغیرهای مستقل وجود ندارد و این مدل فرض نمی‌کند که متغیرهای مستقل دارای واریانس‌های آماری برابر باشند (۱۶ و ۲۹).

از آنجا که کاربرد مدل آماری رگرسیون لجستیک ایجاد ارتباط بین عوامل ناپایداری شیب و متغیر وابسته دو حالته یعنی وقوع و عدم وقوع زمین لغزش است، علاوه بر ۹۵ نقطه لغزشی شناسایی شده در منطقه، ۹۵ پیکسل و یا نقطه رستری دیگر به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

طور تصادفی در سراسر حوزه انتخاب شده و پس از همپوشانی با نقشه‌های عوامل مؤثر به کلاس‌های شامل حضور نقاط وقوع، کد ۱ و به سایر کلاس‌ها کد صفر تعلق گرفت. هم‌چنین در مورد نقاط غیر لغزشی، به طبقات عوامل مؤثر شامل حضور نقاط غیر لغزشی عدد ۱ و به سایر طبقات، کد صفر تعلق گرفت. با ورود داده‌ها به مدل آماری رگرسیون لجستیک گام به گام (Stepwise) و انتخاب روش پیش‌رونده شرطی (Forward conditional) تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها صورت گرفت.

در پایان مدلی با حذف متغیرهای مستقل غیر معنی‌دار به دست آمد و در نهایت ضرایبی به کلاس‌های متغیرهای مستقل همبسته با متغیر وابسته اختصاص داده شد. با توجه به ضرایب حاصل از تحلیل رگرسیون لجستیک، ضریب مثبت β به این معنی است که آن متغیر نقش بیشتری در وقوع زمین لغزش دارد و بالعکس ضریب منفی β نمایانگر هم‌بستگی ضعیف متغیر مستقل با متغیر وابسته (زمین لغزش) است (۱۱). پس از اعمال ضرایب به دست آمده از مدل به طبقات متغیرهای مستقل، مطابق رابطه ۱ پارامتر خطی z تهیه شده که با جای‌گذاری پارامتر خطی z در معادله اصلی رگرسیون لجستیک (رابطه ۲) و انتقال آن به نرم افزار Arc/view 3.2a نقشه اولیه احتمال خطر زمین لغزش با محدوده بین صفر و یک تهیه شد. سپس این نقشه به بیست طبقه با فواصل احتمال مساوی ۰/۰۵تقسیم‌بندی و پس از همپوشانی با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوزه، هیستوگرام درصد فراوانی زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه در مقابل بیست طبقه احتمال، ترسیم شد. تقسیم‌بندی نهایی طبقات احتمال زمین لغزش بر اساس این هیستوگرام انجام گرفت (۱۸ و ۱۹) و در پایان چهار کلاس خیلی کم خطر، خطر کم، خطر متوسط و خطر بالا برای نقشه نهایی خطر وقوع زمین لغزش به دست آمد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری جهت توسعه مدل در محیط نرم‌افزار SPSS 15 انجام شد (۴).

ارزیابی صحت مدل

یک روش تحلیلی استاندارد در رگرسیون لجستیک به منظور بررسی صحت مدل، آزمون درصد صحت پیش‌بینی مدل بر اساس جدول طبقه‌بندی صفر و یک (Classification table) برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش بینی شده است (۱۶). در صورتی‌که احتمال پیش‌بینی شده (P) برای نقاط زمین لغزش بالاتر از ۰/۵ و برای نقاط غیر لغزشی پایین‌تر از ۰/۵ به دست آید، پیش‌بینی مدل موفق است (۱۷). برای یک مدل موفق، نقاط صفر باید نزدیک به انتهای پایینی یا (P=۱) و نقاط ۱ در انتهای بالایی طبقه‌بندی یا (P=۱) ظاهر شوند(۱۷). در روش دیگر ارزیابی صحت مدل، فاکتورهای R^2 ناگلکرک (Nagelkerk)، R^2 کوکس و اسنل (Cox and Snell) و منفی دو برابر لگاریتم لایکلیهود (-2 Log Likelihood) مورد بررسی قرار گرفت. دامنه تغییرات R^2 از صفر تا یک بوده و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده صحت بیشتر مدل است(۱۷). منفی دو برابر لگاریتم لایکلیهود نیز شبیه مربع کای رفتار می‌کند و زمانی مدل با داده‌های مشاهده‌ای تطابق دارد که مقدار کمتری از این شاخص را به خود اختصاص دهد.

نتایج

توسعه مدل آماری

براساس تفسیر عکس‌های هوایی و نیز مطالعات میدانی، ۹۵ نقطه زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه شناسایی و نقشه پراکنش آنها در محیط نرم‌افزار Arc/view 3.2a تهیه شد (شکل ۱). هم‌چنین نقشه‌های عوامل مؤثر بر زمین لغزش‌های منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، طبقات میانگین بارندگی سالانه، طبقات فاصله از گسل، فاصله از شبکه زه‌کشی و فاصله از جاده، کاربری اراضی و سنگ شناسی بر اساس داده‌های اولیه شامل نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصویر ماهواره‌ای لندست ETM^+ در محیط نرم‌افزار Arc/view 3.2a تهیه شده‌اند (شکل‌های ۲ تا ۶). هم‌چنین درصد وقوع و تراکم زمین لغزش در طبقات مختلف عوامل مؤثر در جدول ۱ آمده است. هم‌چنین نقشه لایه‌های اطلاعاتی (عوامل مؤثر) مختلف در شکل ۲

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

جدول ۱. فراوانی زمین لغزش‌ها و ضرایب مدل در کلاسه‌های موثر

سطح معنی‌داری	ضریب مدل (β)	درصد تراکم زمین لغزش (تعداد در کیلومتر مربع)	کلاس	عامل مؤثر
۰/۰۰۰	-۲/۲۹	۱۱/۳	۰-۵	درجه شیب
۰/۰۱۱	۳/۶۳	۱۴/۱	شمال غربی	جهت شیب
۰/۰۰۷	۱/۷۳	۳۰/۸	۴۰۰-۶۰۰	فاصله از شبکه زه‌کشی
۰/۰۰۰	۴/۶۸	۳۱/۹	۰-۱۰۰	فاصله از جاده
۰/۰۰۰	۲/۵۱	۴/۶	۱۰۰-۲۰۰	فاصله از جاده
۰/۰۰۱	-۲/۱۵	۱۲/۷	جنگل متراکم	کاربری اراضی
۰/۰۰۰	۲/۰۹	۲۹/۶	($PLQ^{c,m,s}$) کنگلومرا، مارن سیلت دار، ماسه سنگ، سیلت سنگ	سنگ شناسی
۰/۰۰۸	۱/۶۶	۲۶/۱	($M_{2,3}^{m,s,l}$) مارن، ماسه سنگ و سیلت سنگ آهکی، مارن سیلت دار، سنگ آهک ماسه‌ای، گل سنگ	سنگ شناسی
۰/۰۰۵	-۲/۶۵			ضریب ثابت مدل

آمده است. با ورود کلیه متغیرهای مستقل و وابسته شامل ۹۵ نقطه لغزشی (عدد یک) و ۹۵ نقطه تصادفی غیر لغزشی (عدد صفر) به مدل آماری رگرسیون لجستیک و انتخاب روش پیش‌رونده پلکانی، تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گرفته و متغیرهای مستقل بدون هم‌بستگی آماری در سطح اعتماد ۹۰% با وقوع زمین لغزش، از معادله نهایی حذف و به سایر متغیرهای مستقل بر اساس میزان هم‌بستگی با متغیر وابسته، ضرایبی تعلق گرفت (جدول۱).

با توجه به تعلق بالاترین ضریب معنی‌دار مثبت مدل (β =۴/۶۸۲) به فاصله۰-۱۰۰ متری از جاده، نزدیکی به جاده به عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر زمین لغزش‌های منطقه معرفی شده است، به طوری‌که با فرض ثابت ماندن سایر عوامل، به ازای هر متر نزدیکی به جاده، احتمال وقوع زمین لغزش $e^{۴/۶۸۲}$ یا ۱۰۷/۹۸۳ برابر خواهد شد.

با جای‌گذاری ضرایب مدل در رابطه ۲، پارامتر خطی Z به دست آمد:

$$Z= (-۲/۶۴۹) + ۴/۶۸۲(h_1) + (۲/۵۰۵)(h_2) + (۳/۶۲۸)(c_9) + (۲/۰۹۲)(J_7) + (۱/۶۵۵)(j_{10}) + (۱/۷۲۵)(g_3) + (-۲/۱۵۰)(I_1) + (-۲/۲۸۷)(b_1)$$

[۴]

با قرار دادن پارامتر خطی Z در رابطه ۱ معادله نهایی مدل رگرسیون لجستیک (رابطه ۵) توسعه یافت.

$$p(landslideoccurence) = \frac{۱}{۱+e^{-(-۲/۶۴۹+۴/۶۸۲(h_1)+۲/۵۰۵(h_2)+۳/۶۲۸(c_9)+۲/۰۹۲(j_7)+۱/۶۵۵(j_{10})+۱/۷۲۵(g_3)-۲/۱۵۰(i_1)-۲/۲۸۷(b_1)}}$$

[۵]

P (landslide occurrence): احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه است که دامنه آن بین صفر و یک متغیر است.

h_1: کلاس اول فاصله از جاده

h_2: کلاس دوم فاصله از جاده c_9: کلاس نهم جهت شیب

J_7: کلاس هفتم سنگ شناسی

j_{10}: کلاس دهم سنگ شناسی

g_3: کلاس سوم فاصله از شبکه زه‌کشی

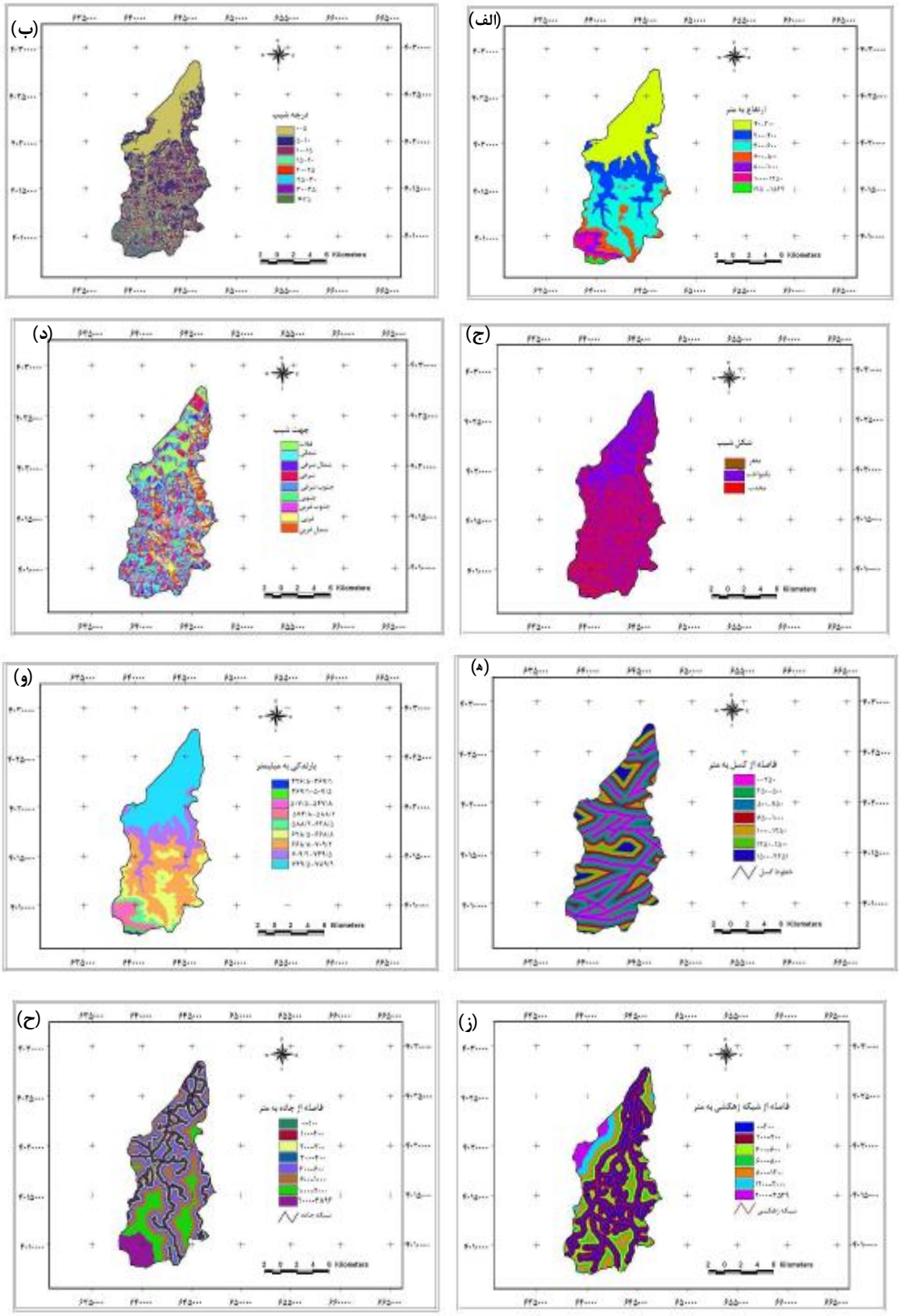
I_1: کلاس اول کاربری اراضی

b_1: کلاس اول درجه شیب

پس از تهیه نقشه اولیه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در محیط نرم افزار Arc/view 3.2a و تقسیم‌بندی آن به بیست طبقه با فواصل احتمال مساوی ۰/۰۵، هیستوگرام احتمال وقوع در مقابل درصد فراوانی حضور و عدم حضور زمین لغزش تهیه گردید (شکل ۳)، و بر اساس آن طبقه‌بندی نهایی انجام گرفت

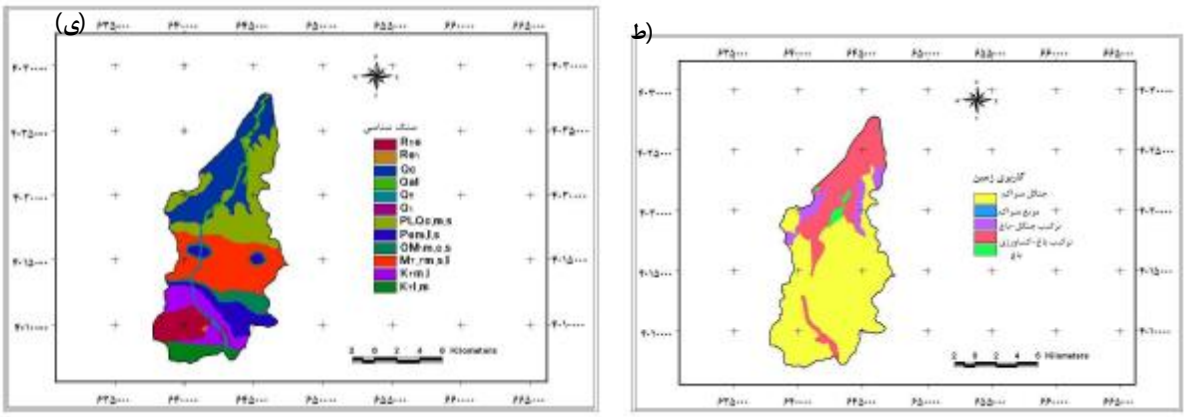
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

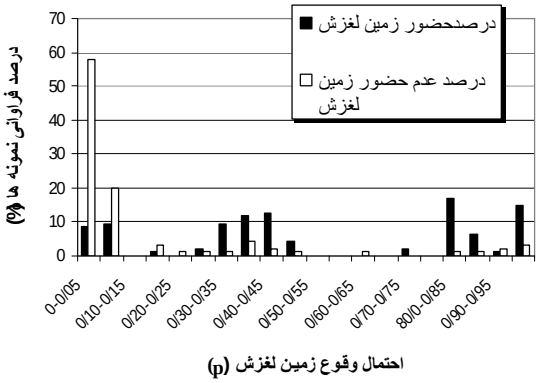


[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]



شکل ۲. نقشه عوامل مؤثر شامل الف: طبقات ارتفاعی، ب: درجه شیب، ج: جهت شیب، د: شکل شیب، ه: بارندگی، و: فاصله از گسل، ز: فاصله از شبکه زه‌کشی، ح: فاصله از جاده، ط: کاربری اراضی، ی: سنگ شناسی



شکل ۳. درصد فراوانی حضور و عدم حضور لغزش در طبقات احتمال مختلف

و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش (شکل ۴) با چهار طبقه احتمالاتی به شرح زیر به دست آمد:

مناطق خیلی کم‌خطر با احتمال وقوع ۰/۰۵-۰، مناطق کم‌خطر با احتمال احتمال ۰/۲۵ - ۰/۰۵ ، مناطق با خطر متوسط با احتمال ۰/۴۰ - ۰/۲۵ و مناطق با خطر بالا با احتمال ۱ - ۰/۴۰

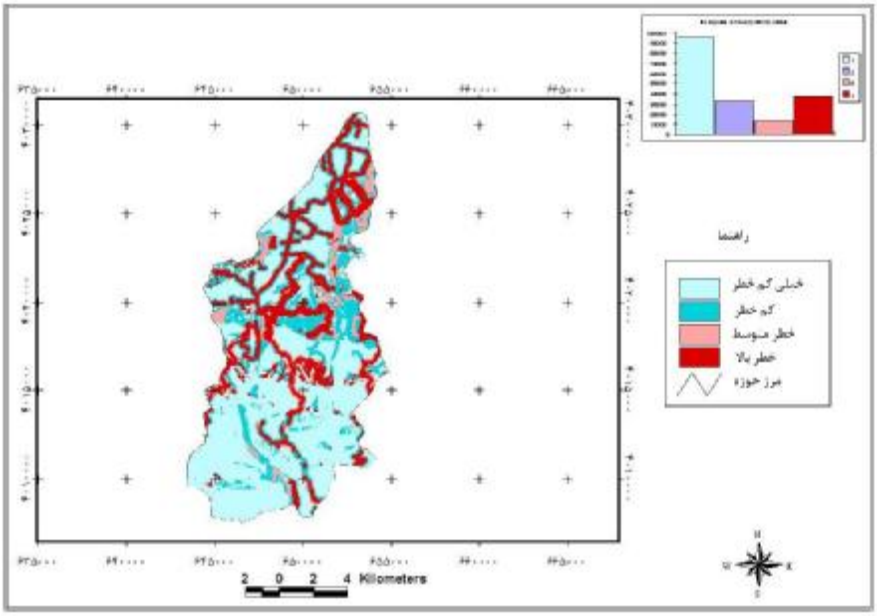
نتایج نشان داد ۵۳/۰۱ درصد از مساحت حوزه در منطقه با خیلی کم خطر، ۱۸/۳۳ درصد در منطقه کم خطر، ۲۰/۹۶ درصد در منطقه با خطر متوسط و ۷/۷ درصد مساحت حوزه در منطقه با خطر بالا قرار گرفته‌اند.

ارزیابی مدل

نتایج ارزیابی صحت مدل در جدول ۲ نشان می‌دهد فاکتور 2LL- در آخرین تکرار مدل برابر ۱۴۱/۷۶۱ و ضرایب R^2 ناگلکرک و R^2 کوکس و اسنل به ترتیب۰/۴۷۳ و ۰/۶۳۰ و می‌باشند (جدول ۲) که نشان‌دهنده تطابق مناسب مدل با داده‌های مشاهده‌ای و معنی‌داری آماری متغیرهای مستقل در مدل با وقوع زمین لغزش‌های منطقه است.

هم‌چنین نتایج آزمون درصد صحت پیش‌بینی مدل به صورت جدول طبقه‌بندی صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش‌بینی شده (P) در جدول ۳ آمده است. نتایج این بخش نشان داد میزان موفقیت پیش‌بینی مدل برای ۹۵ نقطه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]



شکل ۴. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سجارود

جدول۲. ارزیابی صحت مدل بر اساس ضرایب هم‌بستگی

آماره	-2LL	R^2 کوکس و اسنل	R^2 ناگلکرک
مقدار آماره	۱۴۱/۸	۰/۴۴	۰/۶۳

جدول۳. جدول طبقه‌بندی نقاط صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش‌بینی شده

نقاط مشاهده‌ای		نقاط پیش‌بینی شده		
		موقعیت		درصد صحت
		۰	۱	
موقعیت	۰	۸۴	۱۱	۸۸/۴
	۱	۱۷	۷۸	۸۲/۱
درصد کلی صحت مدل				۸۵/۳

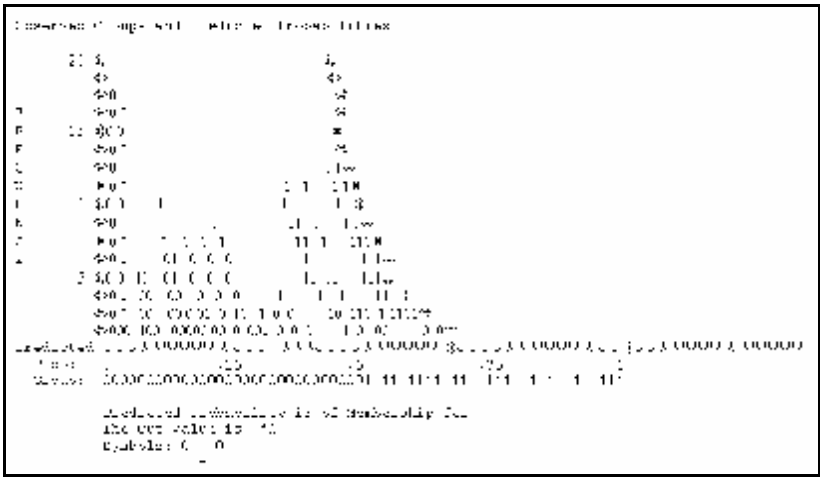
لغزشی حوزه ۸۸/۴ درصد و برای ۹۵ نقطه غیر لغزشی ۸۲/۱ درصد و بنابراین میزان موفقیت کلی مدل ۸۵/۳% بوده که قابل قبول است. شکل ۵ نمودار فراوانی در مقابل احتمال پیش‌بینی شده (P) را برای ۱۹۰ نقطه لغزشی و غیر لغزشی نمایش می‌دهد. برای یک مدل موفق، نقاط صفر باید نزدیک به انتهای پایینی یا (P=۰) و نقاط ۱ در انتهای بالایی طبقه‌بندی یا (P=۱) ظاهر شوند که نتایج این تحقیق مؤید صحت بالای مدل توسعه یافته می‌باشد (شکل ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از روش آماری رگرسیون لجستیک بر اساس ۹۵ نقطه لغزشی و ۹۵ نقطه تصادفی غیر لغزشی استفاده شده است. این روش توسط محقّقین زیادی به خصوص در خارج از کشور به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]



شکل ۵ . نمودار فراوانی نقاط وقوع و عدم وقوع لغزش در مقابل احتمال پیش‌بینی شده

منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته و نتایج حاصل از مدل با صحت بالایی تأیید شده است. برنینگ (۱۳) روش‌های مختلفی را مطالعه و مدل رگرسیون لجستیک با انتخاب گام به گام متغیرهای مستقل را یک روش مناسب جهت پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش معرفی کرد. هم‌چنین لی (۲۸) ازروش رگرسیون لجستیک به منظور ارزیابی خطر زمین لغزش‌های تحت تأثیر بارندگی استفاده کرد. نتایج مدل با استفاده از موقعیت مکانی زمین لغزش‌ها و داده‌های سنجش از دور ارزیابی شدند و ثابت شد که مدل رگرسیون لجستیک در تحلیل احتمال خطر موفق‌تر از مدل نسبت احتمال بوده است. در تحقیق حاضر در ابتدا ۱۰ عامل اولیه مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، میانگین بارندگی سالانه، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زه‌کشی، فاصله از جاده، طبقات کاربری اراضی و واحدهای سنگ شناسی شناسایی شدند. پس از تجزیه و تحلیل آماری عوامل ذکر شده به عنوان متغیر مستقل بر وقوع و یا عدم وقوع زمین لغزش‌های منطقه به روش رگرسیون لجستیک، چهار عامل ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، میانگین بارندگی سالانه و فاصله از گسل به دلیل عدم هم‌بستگی آماری در سطح اعتماد ۹۰ درصد با متغیر وابسته (وقوع و یا عدم وقوع زمین لغزش) از مدل نهایی حذف شدند. پس از اعمال ضرایب معنی‌دار به دست آمده از خروجی مدل در کلاس‌های مربوطه از عوامل مؤثر و محاسبه معادله نهایی احتمال وقوع زمین لغزش، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با تفکیک چهار طبقه خیلی کم خطر، کم خطر، خطر متوسط و پرخطر به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و در محیط نرم‌افزار Arc/view 3.2a تهیه و طی روش‌های ارزیابی صحت مورد تأیید قرار گرفت. با توجه به ضرایب خروجی رگرسیون لجستیک (جدول۱) عامل نزدیکی به جاده مهم‌ترین نقش را در شکست شیب‌های حوزه آبخیز سجارود ایفا کرد. آیالیو و یاماگیشی (۱۱) نیز در منطقه یاهیکو- کاکودای ژاپن نزدیکی به جاده را اولین و مهم‌ترین عامل وقوع زمین لغزش‌های این منطقه معرفی کردند و عنوان کردند اکثر زمین لغزش‌ها در فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده متمرکز شده‌اند. هم‌چنین لی و سمبات (۲۹)، گریکو و همکاران (۲۳) و کلارستاقی و همکاران (۷) به نقش مؤثر جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش‌های مناطق مورد مطالعه خود تأکید کرده‌اند. جهت شیب‌های شمال غربی به عنوان دومین عامل مؤثر بر زمین لغزش‌های این منطقه معرفی شده‌اند که بیانگر نقش مؤثر جهت شیب‌های شمالی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

و شمال غربی در ایجاد زمین لغزش به دلیل وجود بارندگی و رطوبت بیشتر در این دامنه‌ها و انتقال رطوبت بین سازندها به عنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک است. کن و همکاران (۱۴) ضمن تحلیل حساسیت خطر جریان‌های خاکی کم عمق در سه حوزه اگوستر، اگرسی و کلمن، جهت‌های شمال‌غربی را مؤثرترین جهت در وقوع جریان‌های خاکی در این سه حوزه معرفی کرده‌اند. هم‌چنین گارسیا- رودریگوز و همکاران (۲۱) در تهیه نقشه حساسیت به روش رگرسیون لجستیک در منطقه السالوادور نشان دادند که جهت‌های شمال و غرب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش‌های این منطقه دارند. زمین‌شناسی و سازندهای حساس به لغزش در منطقه، به خصوص سازندهای دوره میوسن شامل مارن، مارن سیلت دار، سیلت سنگ آهکی، سنگ آهک ماسه ای و گلسنگ در تحلیل رگرسیون لجستیک، سومین عامل مؤثر در بروز زمین لغزش‌های منطقه معرفی شده‌اند. سازندهای معرفی شده به دلیل داشتن ذرات ریز دانه رس و مارن، پس از جذب رطوبت به دلیل قرار گرفتن در محدوده روانی، در نتیجه ثقل مستعد لغزش شده و در روی دامنه به حرکت در می‌آیند. کن و همکاران (۱۴)، چائو و چان (۱۶)، گریکو و همکاران (۲۳)، لی (۲۸)، نفسلیگلو و همکاران(۳۱) نیز به نقش مؤثر واحدهای سنگ‌شناسی بر وقوع حرکات توده‌ای در تحقیقات خود تأکید نموده‌اند. بر اساس تحلیل رگرسیون لجستیک نزدیکی به شبکه زه‌کشی، کاربری اراضی خصوصاً کاربری جنگل متراکم باتوجه به این‌که اکثر مساحت منطقه، تحت پوشش جنگل بوده و تحت تأثیر فعالیت‌های نادرست انسانی از جمله جاده‌سازی و تغییر کاربری قرار گرفته‌اند و نیز عامل درجه شیب از دیگر عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در حوزه مورد مطالعه معرفی شده‌اند. کن و همکاران (۱۴)، چائو و چان (۱۶)، لی و سمبات (۲۹)، لی و پرادهان (۳۰) و اوهلامچر و دیویس (۳۲) به نتایج مشابهی مبنی بر نقش درجه شیب بر وقوع زمین لغزش درمنطقه مورد مطالعه خود دست یافتند.

به عنوان نتیجه‌گیری نهایی تحقیق می‌توان گفت علاوه بر عوامل طبیعی برخی عوامل انسانی از جمله جاده‌سازی غیراصولی در مناطق جنگلی نقش مهم‌تری را بر وقوع زمین لغزش‌های این منطقه ایفا کرده است. هم‌چنین با توجه به نتایج حاصل از صحت بالای نقشه پهنه‌بندی از مدل لجستیک، می‌توان اظهار داشت که این مدل دارای قابلیت لازم جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر در شرایط آبخیزهای مشابه با حوزه آبخیز سجارود است.

سپاسگزاری

بدین ترتیب نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های اداره کل منابع طبیعی استان مازندران به خصوص جناب آقای مهندس هاشم زاده، کارشناس گروه زمین لغزش تشکر و قدردانی نمایند.

منابع مورد استفاده

۱. دفتر مطالعات آبخیزداری استان مازندران.۱۳۷۷. مطالعات جامع حوزه آبخیز شیخ موسی.
۲. شادفر، ص.، م. یمانی، ج. قدوسی و ج. غیومیان. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چالکرود تنکابن). مجله منابع طبیعی ایران (۷۵): ۱۱۹-۱۲۶.
۳. شریعت جعفری، م. ۱۳۷۵. *زمین لغزش(مبانی و اصول پایداری شیبهای طبیعی)*. چاپ اول، انتشارات سازه، تهران.
۴. فتوحی اردکانی، ا. ۱۳۸۳. *کتاب آموزشی SPSS 10* (ترجمه). چاپ پنجم، انتشارات آصال و شایگان، تهران.
۵. فیض نیا، س.، ع. و کلارستاقی، ح. احمدی و م. صفایی. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

زمین لغزش‌ها در حوزه شیرین رود ساری. مجله منابع طبیعی ایران (۵۷): ۳-۲۰.

۶. کلارستاقی، ع. و پ. گرایی. ۱۳۸۶. مدلسازی خطر وقوع زمین لغزش‌ها با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره در حوزه آبخیز و استان- استان مازندران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۸۷ (۴): ۴۹-۶۸.

۷. کلارستاقی، ع.، م. حبیب نژاد روشن و ح. احمدی. ۱۳۸۶. بررسی وقوع زمین لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی. مجله پژوهش‌های جغرافیایی (۶۲): ۸۱-۹۱.

۸. میر صانعی، ر. و ر. کاردان. ۱۳۷۸. نگرشی تحلیلی بر ویژگی‌های زمین لغزش کشور. مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی محیط زیست ایران، چاپ اول، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

9. Ayalew, L. and H. Yamagishi. 2004. Slope movements in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective. Geomorphology 57: 95– 116.
10. Ayalew, L., H. Ymagishi, H. Marui and T. Kanno. 2005. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of result from methods and verifications. Eng. Geol. 81: 432-445.
11. Ayalew, L. and H. Ymagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology 65: 15-31
12. Baeza, C. and J. Corominas. 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surface Proc. and Landforms 26: 1251– 1263.
13. Brenning, A. 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. Natur. Hazards and Earth Sys. Sci. 5:853–862.
14. Can, T., H. A. Nefeslioglu, C Gokceoglu, H. Sonmez and Y. Duman. 2005. Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis. Geomorphology 82: 250-271.
15. Carrara, A., G. Crosta and Frattini. 2003. Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. Earth Surface Proc. and Landforms 28: 1125– 1142.
16. Chau, K.T and J. E. Chan. 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island. Landslides 280-290.
17. Chau, K. T., Y. F.Tang and R. H. C. Wong. 2004. GIS-Based Rock fall hazard map for Hong Kong. Rock Mechanic 41(3): 1-6.
18. Dai, F.C. and C. F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology 42: 213-228.
19. Dai, F. C., F. C. Lee, L. G. Tham, K. C. Ng and W. L. Shum. 2004. Logistic regression modeling of stoem-indused shallow land sliding in time and space on lantau island, Hong Kong. Bull. Eng. Geol. and Environ. 63: 315-327.
20. Davis, J. C., C. H. J.Chang and G. C. Ohlamcher. 2006. Two models for evaluating landslide hazards. Computers & Geosci. 32: 1120-1127.
21. Garcia-Rodriguez, M. J. J. A. Malpica, B. Benito and M. Diaz. 2008. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. Geomorphology 95: 172-191.
22. Gomez, H. and T. Kavzoglu. 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa river basin, Venezuela. Eng. Geol. 78: 11-27.
23. Greco, R., Sorriso –Valvo., Catalano, E. 2007. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria, Italy. Eng. Geol. 89: 47-66.
24. 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 31:181–216
25. Kanungo, D.P., M.K. Arora, S. Sarkar and R. P. Gupta. 2206. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. Eng. Geol. 85: 347-366.
26. Kavabata, D. and J. Bandibas. 2009. Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER image and an artificial neural network (ANN). Geomorphology. Article in press doi: 10.1016/j. geomorph. 2009. 06. 006
27. Kelarestaghi, A. and H. Ahmadi. 2009. Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach andGIS in northern Iran. Arab. J. Geosci. 2: 95-101.
28. Lee, S. 2004. Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. Environ. Manag. 34: 223-232.
29. Lee, S. and T. Sambath. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]

frequency ratio and logistic regression models. Environ. Geol. 50: 847-855.
30. Lee, S. and B. Pradhan. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslides 4: 33-41.
31. Nefeslioglu, H. A., C. Gokceoglu and H. Sonmez. 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. Eng. Geol. 97: 171-191.
32. Ohlamcher, G. C. and J. C. Davis. 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast KansasT USA. Eng. Geol. 69: 331-343.
33. Saha, AK, RP. Gupta and MK. Arora. 2002 GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas. Intl. J. Remote Sens. 23(2):357–369
34. Yaclin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. Catena 72:1–12
35. Yilmaz, I. 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat—Turkey). Computers & Geosci. 35: 1125-1138.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.9.6]