Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و دوم، شماره‌ی ۷۷
بهار ۱۴۰۱، صفحات ۱۴-۱

DOI:10.52547/GeoSpa.22.1.1

*معصومه رجبی[۱]
محمد حسین رضایی مقدم[۲]
احمد تک زارع[۳]

تحلیل کمی خطر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی آن در حوضه الموت رود با استفاده از متد رگرسیون لجستیک

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۵

چکیده

زمین‌لغزش و ناپایداری دامنه‌ای مخاطرات مهمی برای فعالیت انسانی هستند که باعث خساراتی می‌شوند. این ناپایداری و مخاطرات به‌عنوان پدیده‌ای بالقوه و زیان‌بار مطرح است. کشور ما ایران با توپوگرافی عمدتا کوهستانی، فعالیت‌های زمین ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین‌لغزش ایجاد کرده است. هدف از این پژوهش شناسایی عوامل موثر در ایجاد زمین‌لغزش و تعیین نقاط دارای پتانسیل زمین‌لغزش در حوضه الموت رود در استان قزوین با استفاده از متد رگرسیون لجستیک می‌باشد. در این پژوهش نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه از طریق مطالعه عکس‌های هوایی و بازدید میدانی با استفاده از GPS و تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. ۸ عامل موثر شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از گسل و تراکم شبکه زهکشی مورد استفاده قرار گرفت و پس از شناسایی اقدام به پردازش آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MATLAB، ARC GIS، IDRISI و EXEL گردید. بر اساس نتایج حاصله ۵۸/۲٦ درصد از مساحت حوضه در محدوده خطر بسیار کم و کم و ۱۷/٤٤ درصد در محدوده

*۱- دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز. (نویسنده مسئول). E-mail: mrajabi@tabrizu.ac.ir
۲- دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز.
۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

خطر زیاد و بسیار زیاد واقع شده است. همچنین عوامل ارتفاع و فاصله از رودخانه بیش‌ترین امتیاز را در ایجاد زمین لغزش دارند. همچنین شاخص‌های اعتبار سنجی مدل شامل pseudo ROC و Square Chi-square به‌ترتیب ۹۵۷/- ۲۸۳/۲۵۱۱ و ۰/۳۵۱۸ محاسبه گردیدند که از اعتبار قابل قبولی برخوردار می‌باشند.

کلید واژه‌ها: الموت رود، زمین‌لغزش، تصاویر ماهواره‌ای، پهنه‌بندی، رگرسیون لجستیک.

مقدمه

لند فرم‌ها و اشکال ژئومورفیک در هر منطقه از زمین تحت تاثیر عوامل مختلف دچار تغییرات فراوانی می‌شوند. مناطق کوهستانی از جمله محیط‌هایی محسوب می‌شوند که به دلیل وضعیت توپوگرافی و شرایط اقلیمی تحت تاثیر فرآیندهای مختلف درونی و بیرونی قرار دارند. در این مناطق سیستم‌های مورفوژنز گلاسیر، پرگلاسیر و فلویال سبب تشکیل لندفرم‌های مختلف از گذشته تاکنون شده است. نواحی کوهستانی به دلیل شکل و موقعیت خود دچار تغییرات مورفولوژیکی فراوانی می‌باشند در برخی نقاط نیروهای اولیه و اشکال حاصل از آن‌ها دستخوش دگرگونی فراوانی شده و لذا دسته‌بندی نیروهای مولد و اشکال حاصل از آن دشوار خواهد بود. یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر مورفولوژی این نواحی، حرکات توده‌ای و بخصوص زمین‌لغزش می‌باشد. زمین‌لغزش‌ها همواره یک خطر بالقوه در نواحی کوهستانی محسوب شده و هرساله تلفات و خسارات فراوانی را در مناطق مختلف جهان در برداشته است. در دهه‌های اخیر به کمک متدها و روش‌های آماری گوناگون سعی شده است متغیرهای کیفی موثر در پدیده زمین‌لغزش به‌صورت کمی بیان گردد و ارتباط هر یک از این عوامل، میزان و چگونگی تاثیر آن‌ها در رخداد زمین‌لغزش تحلیل گردد. به دلیل این‌که پیش‌بینی زمان و محل دقیق وقوع زمین‌لغزش‌ها مشکل می‌باشد شناسایی نقاط حساس و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از زمین‌لغزش اهمیت فراوانی دارد. در جهان تحقیقات بسیار زیادی جهت مطالعه و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها صورت گرفته است و سعی شده است با روش‌های مختلف به ارزیابی این حرکات دامنه‌ای بپردازند که به مواردی از این مطالعات اشاره می‌گردد.

پیشینه پژوهش

Rustaei (2004)، در مطالعه‌ای به بررسی علل وقوع زمین‌لغزش در روستای نصیرآباد ورزقان از توابع آذربایجان شرقی پرداخت. در این تحقیق داده‌های زمین‌شناسی و عوامل ژئومورفولوژیکی، اقلیم، پوشش گیاهی و نوع خاک موثر در ناپایداری منطقه مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که منطقه نصیرآباد از پتانسیل بالایی در وقوع زمین‌لغزش برخوردار است.

Rajabi & Rustaei (2013)، در مقاله‌ای به پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه رودخانه گیوی چای با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس انتشار پرداختند. در این مطالعه از داده‌های ٤١ زمین‌لغزش رخ داده استفاده

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

شد و لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، DEM، لیتولوژی، فاصله از گسل، شبکه هیدروگرافی، کاربری اراضی و پراکنش زمین‌لغزش توسط GIS ترسیم شدند.

Baharwendy & Suri (2015)، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لغزش در حوضه سپید دشت لرستان با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و GIS پرداختند. در این تحقیق ۹ عامل موثر بر لغزش‌های حوضه شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده و آبراهه مورد بررسی قرار گرفت.

Hemmati et al (2019)، در پژوهشی خطر ناپایداری دامنه‌ای را با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محدوده گسل بناروان بررسی نمودند. در این پژوهش ۹ عامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت‌شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی و پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج این تحقیق عامل ارتفاع با بیش‌ترین ضریب بهترین متغیر پیش‌بینی کننده احتمال وقوع ناپایداری دامنه‌ای در منطقه است.

Kamranzad et al (2015)، در تحقیقی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از GIS و روش‌های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. در این مطالعه ٦ عامل مقدار شیب، جهت شیب، جنس مصالح زمین‌شناسی، فاصله از گسل، شتاب زمین‌لرزه و میزان بارندگی مورد ارزیابی قرار گرفتند و در محیط GIS کلاسه‌بندی شدند. در این پژوهش کل حوضه در ٤ کلاس کم‌خطر، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد.

Samandar & Hejazi (2019)، در پژوهشی به مطالعه‌ای عوامل موثر در ایجاد ناپایداری دامنه‌ای و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع در حوضه کمانج چای علیا تبریز با استفاده از مدل رگرسیون عصبی و شبکه عصبی پرداختند. بر اساس نتایج این تحقیق درصد پهنه‌های با خطر بسیار بالا در مدل شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک به ترتیب برابر ٥/٦ و ٨/٣ درصد می‌باشد و عمدتا در محدوده‌های نزدیک به شبکه‌های زهکشی می‌باشد.

Yalcin (2008)، نقشه آسیب‌پذیری خطر زمین‌لغزش برمبنای GIS با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل‌های آماری دومتغیره را در اردسن ترکیه انجام داد. در این مطالعه روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، شاخص آماری Wi و فاکتور وزن‌دهی WFP برای تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری حاصل از این روش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

Conforti et al (2014)، به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز توربولو (شمال کالابریاایتالیا) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده حدود ٤٨٪ از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفتند. همچنین نتایج به‌دست آمده از اعتبار سنجی نشان از دقت بالای مدل استفاده شده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه را داشت. در مدل ۱ به کمک متد AHP مناطق در ٤ کلاس کم، متوسط، بالا و خطر بسیار بالا طبقه‌بندی شدند. در مدل ۲ نواحی با خطر بسیار بالا بیش‌تر در مناطق شرقی و شمالی منطقه مورد مطالعه گسترش یافته‌اند. همچنین بخشی از جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه به‌عنوان خطر بالا و بسیار بالا طبقه‌بندی شدند. حوضه الموت رود استان قزوین با توجه به توپوگرافی و شرایط ویژه محیطی از مناطق مستعد به

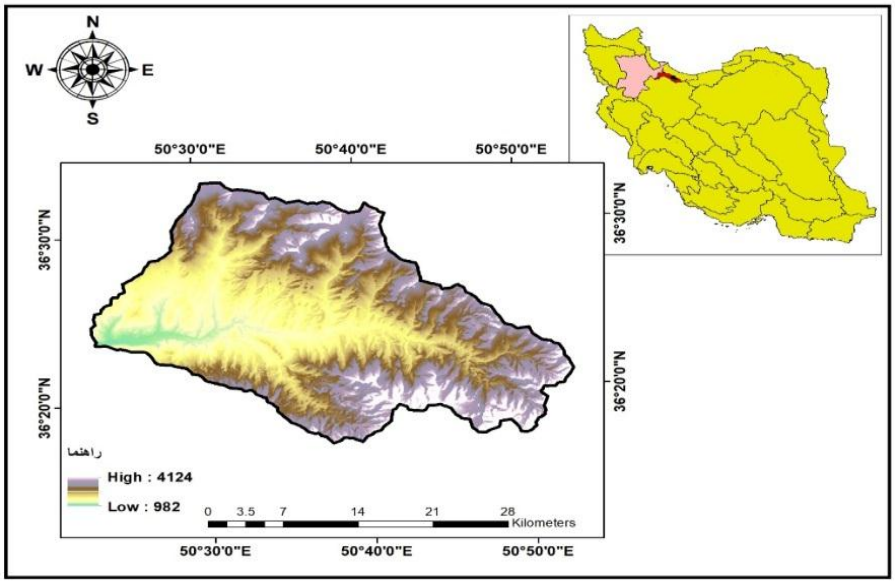
Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

لحاظ حرکات دامنه‌ای و به‌خصوص زمین‌لغزش می‌باشد. هدف از این تحقیق شناسایی عوامل و فاکتورهای موثر و پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در حوضه الموت رود استان قزوین به کمک متد رگرسیون لجستیک می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز الموت رود با مساحت ۷۲۳/٦ کیلومترمربع، با مختصات ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه و ٥٤ ثانیه طول شرقی و ۳٦ درجه و ۱۷ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳٦ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۷ ثانیه عرض شمالی در شمال شرقی استان قزوین در یک منطقه کوهستانی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از زیر حوضه‌های هیدرولوژیکی قزل‌اوزن محسوب شده و بخش‌هایی از منطقه کوهستانی الموت از رشته البرز را شامل می‌شود و به دلیل شرایطی نظیر ارتفاع، شیب زیاد، لیتولوژی و بارش نسبتا بالا پتانسیل فراوانی در ایجاد زمین‌لغزش دارد.

الموت از شمال به حوضه آبریز ۲ هزار و ۳ هزار تنکابن مازندران، از جنوب و شرق به حوضه آبریز طالقان رود و از غرب به حوضه شاهرود محدود می‌شود. شبکه هیدرولوژی اصلی حوضه الموت رود می‌باشد و شعبات فرعی آن نظیر آتان رود، اندج رود و تاله رود به‌صورت همگرا با جهت شمالی-جنوبی وارد خط القعر اصلی حوضه (الموت رود) می‌گردند. شاهرود یکی از زیر حوضه‌های اصلی قزل‌اوزن از ۲ شاخه طالقان رود و الموت رود تشکیل می‌شود. این دو رودخانه پس از اتصال در غرب روستای شیرکوه، شاهرود را تشکیل داده و با طی مسیری در حدود ۱٦۰ کیلومتر به موازات البرز در لوشان وارد سد منجیل می‌شود.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز الموت رود

Figure1: location of alamut watershed

ناهمواری‌های منطقه بخشی از رشته اصلی البرز مرکزی محسوب می‌شوند. روند عمومی ناهمواری‌ها شرقی-غربی بوده و از روند عمومی البرز تبعیت می‌نمایند. شبکه اصلی آبراهه حوضه (الموت رود) با جهت تقریبا شرقی-غربی

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

جریان داشته و شعبات فرعی غالبا شبکه‌های فرسایشی می‌باشند که عمود بر محور اصلی وارد می‌شوند. روند زمین‌ساخت منطقه به‌وسیله فرونشینی در شمال شرق منطقه و وجود یک توده سخت (بلوک خزر جنوبی) که در شمال حوضه قرار دارد کنترل شده است.

مواد و روش‌ها

اطلاعات و داده‌های مکانی در این تحقیق از منابع ذیل تهیه شده است:

– نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و۱/۲۰۰۰۰سازمان نقشه‌برداری در تعیین محدوده دقیق حوضه،

– نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ شکران، جواهرده، رامسرو قزوین سازمان زمین‌شناسی کشور در مطالعه سازندهای زمین‌شناسی ،گسل‌ها و تکتونیک حوضه،

– از تصاویر ماهواره‌ای SENTINEL2A و LAND SAT 8 OLI در مطالعه حوضه و شناسایی زمین‌لغزش‌ها،

- بازدیدهای میدانی و کنترل مختصات زمین‌لغزش‌ها به کمک GPS،

- تجزیه‌وتحلیل اطلاعات با استفاده از نرم‌افزارهای IDRISI ,ARC GIS ,EXEL MATLAB،

- اجرای مدل رگرسیون لجستیک.

مدل رگرسیون لجستیک

مدل رگرسیون لجستیک[4] یکی از روش‌های آماری پیش‌بینی کننده دوجزئی برای متغیرهای وابسته دارای ماهیت باینری است. حالت محتمل این چنین متغیرهایی در دو حالت صفر و یک (وقوع وعدم وقوع، مانند حالت مفروض در هنگام بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای) محدود می‌شود. روش رگرسیون لجستیک برای تشریح رابطه غیرخطی موجود میان یک و یا چند متغیر مستقل با یک متغیر وابسته باینری به‌کار می‌رود؛ بنابراین در این روش رابطه رگرسیونی متغیرها خطی نبوده بلکه به‌صورت منحنی شکل یا لجستیک است. در این مدل برآوردها و تخمین‌ها در دامنه‌ای از صفر تا یک قرار می‌گیرند که اعداد نزدیک به صفر نشان‌دهنده احتمال وقوع کم‌تر و اعداد نزدیک به یک نشان‌دهنده احتمال وقوع بیش‌تر هستند (Rahimi, 2011). مزیت مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایر تکنیک‌های آماری چند متغیره مانند آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی این است که متغیر وابسته می‌تواند تنها دو مقدار داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است. در پژوهش حاضر، از مدل رگرسیون لجستیک به‌منظور تحلیل ارتباط فضایی بین رویداد فرآیند زمین‌لغزش و عوامل مؤثر در این رویداد استفاده می‌شود که هدف اصلی از اجرای آن یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته (فرآیندهای دامنه‌ای) و مجموعه گروهایی از متغیرهای مستقل در رویداد فرآیندهای دامنه‌ای است. شکل عمومی معادله رگرسیون لجستیک به‌صورت رابطه (۱) است.

4- Regression Logestic

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

معادله (۱)

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

که در آن P احتمال رویداد حادثه (در این پژوهش فرآیندهای دامنه‌ای) و Z پارامتر یا فاکتور خطی است و از رابطه (۲) به‌دست می‌آید، e نیز عدد ثابت ۲/۷۱۸ می‌باشد.

معادله (۲)

$$Z = \log i\, t(p) = Ln(\frac{P}{1-P}) = C_0 + C_1X_1 + \ldots C_nX_n$$

که C_0 عرض از مبدأ یا ضریب ثابت مدل و X_1, X_2, X_{NA} ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل $C_1, C_2 \ldots C_n$ هستند. با تغییر در مقدار Z از ∞ - تا ∞ + احتمال وقوع فرآیندهای دامنه‌ای (P) به‌صورت S از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که هر چه عدد به یک نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع فرآیندهای دامنه‌ای بیش‌تر و هر چه عدد به صفر نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع آن کم‌تر خواهد بود (Chau et al., 2004)[5]. کاربرد مدل رگرسیون لجستیک جهت شناسایی عوامل مؤثر در رویداد فرآیندهای دامنه‌ای به دو حالت حضور و عدم حضور این رویداد و یا به عبارتی صفر و یک هست؛ بنابراین به پهنه‌های لغزشی عدد یک و به پهنه‌هایی که زمین‌لغزش حضور نداشت عدد صفر داده شد (Ayalew et al., 2005)[6].

اعتبار سنجی مدل آماری رگرسیون لجستیک

به‌منظور ارزیابی صحت مدل آماری مورد استفاده از آزمون‌های زیر استفاده کردیم:

آزمون Chi Square

آزمون کی دو، تست معتبر و معمولی برای رگرسیون لجستیک است از اختلاف بین (L) 2Ln- برای مدل بهترین برازش و (L0) 2Ln- برای فرضیه صفر است، به‌دست می‌آید. چنانچه این آماره در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار باشد (Chi Square> 14.1) فرضیه صفر (H0) رد می‌شود.

آزمون Pseudo R Squar (PR2)

معادله (۳) PR2 =(L) Ln /(L0) Ln -1مقدار PR2 نشان می‌دهد که چگونه مدل لجستیک، مجموعه داده‌ها را برازش می‌دهد (Menard,2002). بنابراین PR2 مساوی با ۱ نشان‌دهنده برازش کامل مدل است، چنانچه این مقدار برابر صفر باشد نشان‌دهنده عدم رابطه متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می‌باشد. چنانچه مقدار PR2 بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد، نشان‌دهنده برازش نسبتاً خوب مدل است (Ayalew et al., 2005).

آزمون ROC

معیار دیگری که برای تفسیر بسیار آسان است، توجه به این مساله که مدل چه مقدار می‌تواند متغیر وابسته را به‌خوبی پیش‌بینی کند. در این مورد نرم‌افزار ادریسی از معیار ROC برای مقایسه یک نقشه بولین (وجود یا عدم

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

وجود فرآیند دامنه‌ای) با نقشه احتمال به‌کار می‌رود. مقدار ROC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است که ۱ نشان‌دهنده تطابق کامل و ۰/۵ نشان‌دهنده تطابق اتفاقی است (Motavally and Ismaili, 2012).

یافته‌ها و بحث

– تهیه لایه‌های اطلاعاتی

به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی ۸ متغیر مستقل شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از عوارض خطی مانند گسل و رودخانه، کاربری اراضی، تراکم شبکه زهکشی و زمین‌شناسی به همراه لایه پراکنش زمین‌لغزش تهیه شدند. نقشه‌ها و نمودارهای مربوط به عوامل موثر ذکر شده در محیط GIS پردازش شدند (شکل‌های ۳ و ٤). از نقشه توپوگرافی جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاعی استفاده شد. بر اساس نقشه رستری مدل رقومی ارتفاعی، نقشه شیب و جهت شیب تهیه شدند. لایه گسل با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شد و فاصله از لایه‌ای خطی رودخانه و جاده با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه شدند. لایه کاربری اراضی نیز با بازدید از منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای و آمار و اطلاعات سازمان مراتع کشور تهیه شدند. همچنین بر اساس تفکیک و رقومی کردن پلی گون‌های واحد سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی در محیط GIS سازندهای زمین‌شناسی منطقه تهیه شدند. علاوه بر متغیرهای مستقل گزینش شده برای برقراری و ایجاد رابطه نیاز به متغیر وابسته‌ای بود که در این میان لایه پراکنش زمین‌لغزش به‌عنوان متغیر وابسته انتخاب شد. نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌های حوضه (شکل ۲) از طریق مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه و از طریق بازدیدهای میدانی و به کمک GPS موقعیت و مختصات آن‌ها مورد صحت سنجی قرار گرفت.

جدول ۱– لایه‌های کاربردی مورد استفاده

Table 1- Application layers used

ردیف	لایه کاربری	معیار	نوع معیار	چگونگی تولید
۱	کاربری اراضی	Land use	کیفی	نقشه‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور
۲	فاصله از رودخانه	D-river	کمی	نقشه‌های توپوگرافی
۳	سنگ‌شناسی	Lithology	کیفی	نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰
٤	فاصله از جاده	D-road	کمی	نقشه توپوگرافی
۵	فاصله از گسل	D- fault	کمی	نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰
٦	شیب	Slope	کمی	Dem
۷	جهت شیب	Aspect	کمی –کیفی	Dem
۸	ارتفاع	Elevation	کمی	Dem

برای آماده کردن لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز جهت پهنه‌بندی ابتدا نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر در ناپایداری‌های دامنه‌ای که متغیرهای مستقل در رویداد ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند، وارد نرم‌افزار ادریسی شد و مورد پردازش

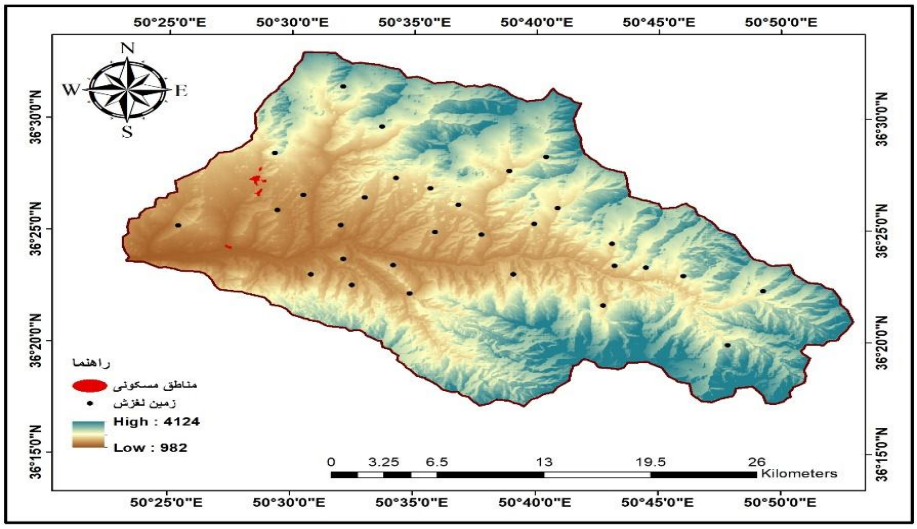
Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

قرار گرفتند، بر این اساس سه لایه رودخانه، جاده و گسل که در ابتدا به‌صورت لایه وکتوری بودند به لایه رستر تبدیل شده سپس تابع Distance برای آن‌ها اجرا گردید تا لایه‌های فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده به‌دست آمد. لایه‌های کاربری اراضی و لیتولوژی نیز از لایه وکتوری به رستری تبدیل شدند. برای آن‌ها تابع Edit/ASSIGN تعریف شد در این قسمت وزن هر کلاس بر اساس درصد تراکم ناپایداری‌های دامنه‌ای در هر کلاس معین گردید. درصد تراکم ناپایداری‌های دامنه‌ای از نسبت مساحت ناپایداری‌ها در هر کلاس به مساحت کل ناپایداری‌ها به‌دست آمد. در ادامه لایه‌های شیب، جهت دامنه و طبقات ارتفاعی توسط تابع Reclassify به‌صورت مجدد کلاس‌بندی گردید.

جدول ۲- متغیرها و لایه‌های نقشه‌ای تهیه شده برای تحلیل، مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش

Table 2- Variables and map layers prepared for analysis, modeling and landslide risk forecasting

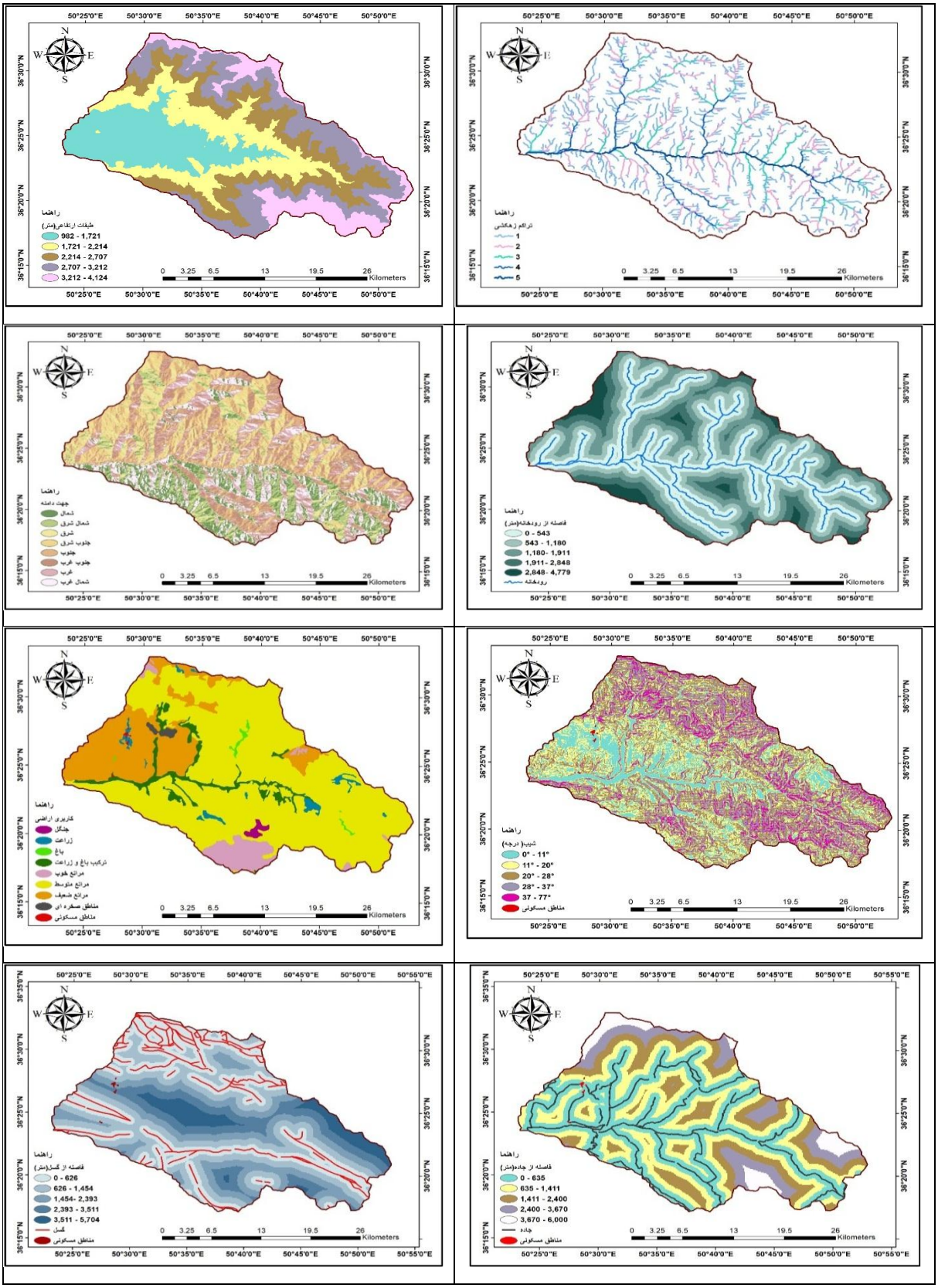
متغیرها	نوع متغیرها				
	لایه‌ها	مستقل	وابسته	کمی	اسمی (کیفی)
توپوگرافی	ارتفاع از سطح دریا	❊		❊	
	درجه شیب	❊		❊	
	جهت شیب	❊		❊	❊
زمین‌شناسی	لیتولوژی	❊			
	فاصله از گسل	❊		❊	●
هیدروگرافی	فاصله از رودخانه	❊		❊	
کاربری زمین	کاربری اراضی	❊			❊
هیدروگرافی	فاصله از آبراه	❊		❊	
حرکت توده‌ای	زمین‌لغزش		❊		❊



شکل ۲: نقشه پراکنش زمین‌لغزش در حوضه الموت

Figure 2: Landslide distribution map in Alamut basin

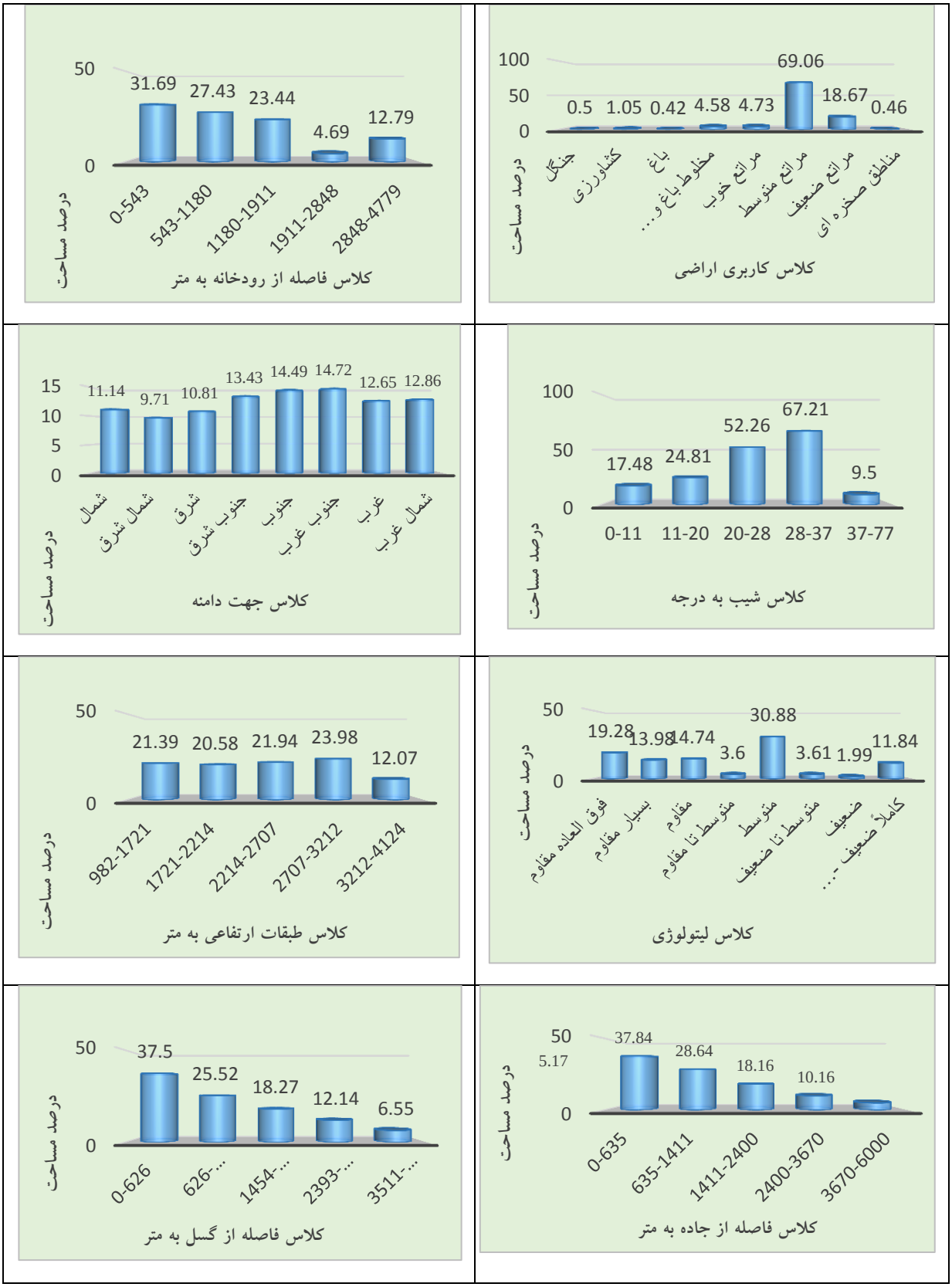
Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025



شکل ۳: نقشه لایه‌های موثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه

Figure 3: Map of effective layers in creating landslides in the basin

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025



شکل ٤: نمودارهای مربوط به لایه‌های مختلف اطلاعاتی

Figure 4: Diagrams of different layers of information

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

جدول ۳- ضرایب محاسبه شده در مدل رگرسیون لجستیک

Table 3- Coefficients calculated in the logistic regression model

ضرایب	متغیرهای مستقل	
-٦/٥٦٥٨	عدد ثابت	X_0
۰/۰۰۱۳۲۹	جهت شیب	X1
۰/۰۰۰۰٤۹	فاصله از گسل	X2
۰/۰۰۰٤۲۱	فاصله از رودخانه	X3
۰/۰۰۰۰۷۵	فاصله از جاده	X4
۰/۲۵٦۷۰۷	ارتفاع	X5
۰/۵۲۰۳۵۹	کاربری اراضی	X6
۰/۰۱۳۱٤۲	لیتولوژی	X7
۰/۰۰۱۷۷٦	شیب	X8

معادله رگرسیون لجستیک با توجه به ضرایب موجود در جدول (۱) به شکل رابطه ذیل می‌باشد:

معادله (٤)

logit(landslide) = -6.5856 - 0.001329*aspect + 0.000049*disrupt
-0.000421* deriver - 0.000075*discoid - 0.256707*Elevation
+ 0.520359*land use - 0.013142*Lithology + 0.001776*slop

در جدول (۲) شاخص‌های اعتبار حاصل از رگرسیون ارائه شده است. از آزمون‌های Chi-square،ROC و Pseudo R-square در محاسبه استفاده شده است.

جدول ٤- شاخص‌های آماری حاصل از مدل رگرسیون لجستیک

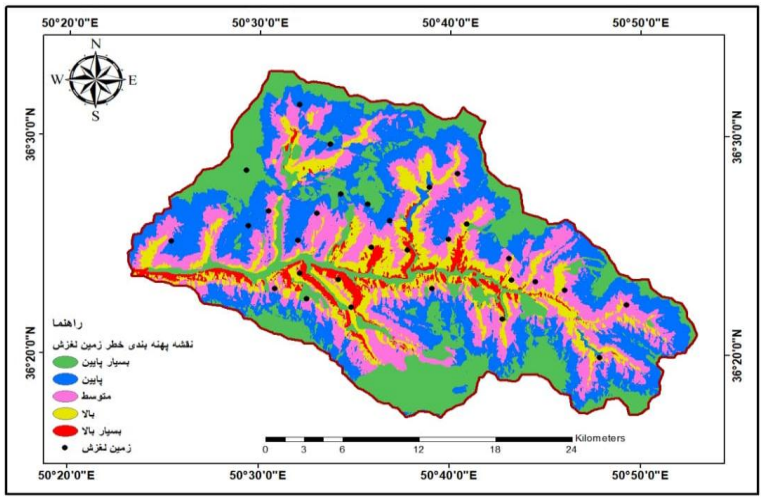
Table 4- Statistical indicators obtained from the logistic regression model

مقدار محاسبه شده	شاخص مورد نظر
۳۸۲/۱۱۲۵	Chi-square
۰/۹۵۷	pseudo-R-square
۰/۸۱۵۳	ROC

نقشه پهنه‌بندی

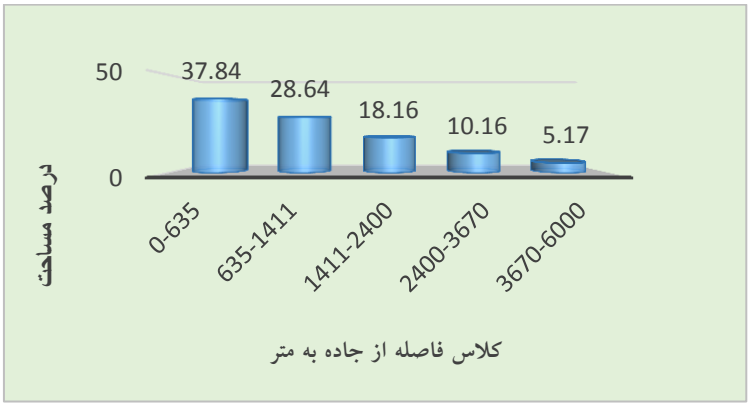
جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه الموت به روش رگرسیون لجستیک ابتدا وزن عوامل و کلاس‌های موثر بر وقوع زمین‌لغزش مشخص، سپس اهمیت هر عامل با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک ارزیابی و سپس اعتبار مدل رگرسیون به کمک شاخص‌های ذکر شده و بر اساس معادله ٤ تعیین و نقشه پهنه‌بندی (شکل ۵) برای حوضه الموت رود ترسیم شد. بر اساس پتانسیل خطر حوضه به ۵ کلاس بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم شد و سپس درصد زمین‌لغزش در هر کلاس محاسبه و نمودار آن ترسیم شد (شکل ٦).

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025



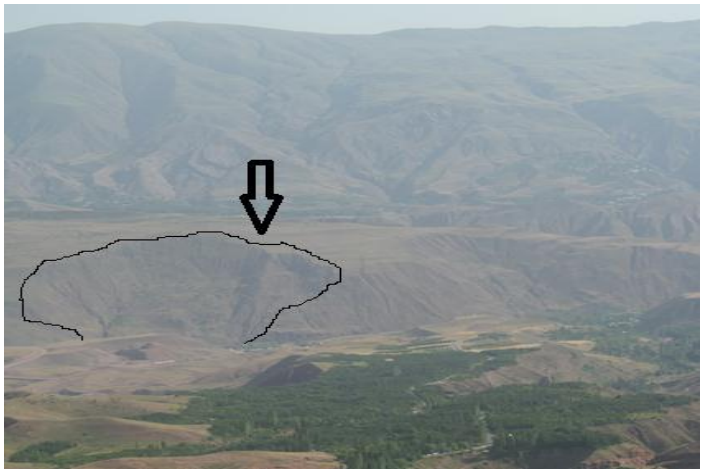
شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه الموت رود به روش رگرسیون

Figure 5: Landslide zoning map of Alamut river basin by regression method



شکل ٦: نمودار مساحت تحت اشغال کلاس‌های خطر در حوضه الموت رود

Figure 6: Graph of the area occupied by hazard classes in the Alamut river basin



شکل ۷: زمین‌لغزش بزرگ روستای مینودشت الموت

Figure 7: Large landslide in Minodasht village of Alamut

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

نتیجه‌گیری

شناسایی و ارزیابی بلایای طبیعی اولین گام در کاهش خسارات و خطرات ناشی از آن‌ها می‌باشد. اجرای طرح‌های مهندسی و برنامه‌های پیشگیری از وقوع حوادث طبیعی بدون شناخت کامل از ساختارها و فاکتورهای مولد آن‌ها امکان‌پذیر نیست. مناطق کوهستانی به علت انرژی بسیار زیاد به لحاظ دینامیکی همواره به‌عنوان کانون‌های اصلی ایجاد انواع حرکات دامنه‌ای مطرح می‌باشند. حرکات دامنه‌ای به‌خصوص زمین‌لغزش‌ها در زمره پرخطرترین و پرزیان بارترین آن‌هاست که همگام با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است. از آنجا که پیش‌بینی زمان و مکان رخداد زمین‌لغزش از توان دانش فعلی بشر خارج است، برای بیان حساسیت دامنه‌ها به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق مختلف می‌پردازند (Shadfar et al., 2007). تثبیت دامنه‌ها با روش‌های مختلف و جلوگیری از دستکاری مناطق و دامنه‌های حساس به‌عنوان مهم‌ترین برنامه جلوگیری از حرکات دامنه‌ای و خصوصا زمین‌لغزش‌ها مطرح می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک در حدود ٤/١٠ درصد از مساحت حوضه الموت رود از نظر وقوع زمین‌لغزش در پهنه با خطر بسیار بالا و ٥٨/٢٦ درصد منطقه در پهنه با خطر پایین و بسیار پایین قرار دارد. در بین متغیرهای وابسته طبقات ارتفاعی در مدل حاضر بیش‌ترین ضریب را در پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش‌ها در حوضه دارا می‌باشد.

مقدار شاخص آماری pseudo R-square محاسبه شده برای حوضه در مدل رگرسیون لجستیک ۰/۹۵۷ می‌باشد که با توجه به آستانه قابل قبول بزرگ‌تر از ۰/۲ برای این شاخص، مدل از برازش قابل قبولی برخوردار است. شاخص Chi-square نیز ۳۸۲/۱۱۲۵ محاسبه گردید که این عدد بسیار بیش‌تر از آستانه تعیین شده است در نتیجه صفر بودن همه ضرایب نیز رد می‌گردد. شاخص ROC نیز برابر ۰/۸۱۵۳ محاسبه شد که مقدار بالای آن حاکی از رابطه قوی حرکات توده‌ای با مقادیر حاصل از رگرسیون می‌باشد.

حوضه الموت رود به ٥ کلاس خطر زمین‌لغزش بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین تقسیم‌بندی شد. از کل مساحت ٧٢٣/٦ منطقه ٢٧/١٦ درصد آن در کلاس خیلی‌پایین (١٩٦/٥) کیلومتر مربع، ٣١/١ درصد (٢٢٥/٠٣) کیلومتر مربع در کلاس پایین، ٢٤/٢٨ درصد (١٧٥/٦٩) کیلومتر مربع در کلاس متوسط، ١٣/٣٤ درصد (٩٦/٥٢) کیلومتر مربع در کلاس بالا و ٤/١٠ درصد (٢٩/٦٦) کیلومتر مربع در کلاس بسیار بالا قرارگرفته است. تنوع حوضه از لحاظ لیتولوژیکی و عملکرد فازهای مختلف کوهزایی سبب پیچیدگی این منطقه از نظر زمین‌شناسی شده است. در بخش‌های میانی حوضه به دلیل حساسیت بالای سازندها در برابر فرسایش و حرکات دامنه‌ای اجرای طرح‌های عمرانی نیازمند دقت و مطالعه بیش‌تری است همچنین شیب نسبتا زیاد حوضه سبب افزایش توان قابل ملاحظه فرسایشی آب‌های جاری شده است لذا اجرای طرح‌های آبخوان‌داری و توسعه پوشش گیاهی در مناطق بالادست علاوه بر افزایش ضریب نفوذ سبب حفظ تعادل دامنه‌ها در برابر حرکات و خصوصا زمین‌لغزش‌ها خواهد شد.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 22:31 IRST on Saturday December 13th 2025

References

- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., (2005), "Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications", ***Engineering Geology***, 81 (4): 432-445
- Baharvand, S., Souri, S., (2015), "Landslide risk zoning using artificial neural network method, Sepid Dasht Lorestan basin", ***Journal of Remote Sensing and GIS in Natural Resources***, 6 (4): 31-15. [In Persian].
- Chau, K. T., Sze, Y. L., Fung, M. K., Wong, W. Y., Fong, E. L., Chan, L. C., (2004), "Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS", ***Computers and Geosciences***, 30 (4): 429-443.
- Conforti, M., Pascale's, S., Robustelli, G., Sadao, F., (2014), "Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbel River catchment (Northern Calabria, Italy)", ***Catena***, 113: 236-250.
- Hemmati, F., Mokhtari, D., Roostaei, S., Zamani Qara Chamani, B., (2019), "Determining the sensitivity of occurrence of slope instabilities around Banarvan fault using logistic regression model"***, Journal of Geographical Space***, 65: 151-169. [In Persian].
- Kamranzad, F., Mouhassel Afshar, E., Mojarrab, M., Meamarian, H., (2015), "Landslide risk zoning in Tehran province using data-driven methods and hierarchical analysis", ***Earth Sciences***, , 97: 101-114. [In Persian].
- Menard, S., (2002), "***Applied logistic regression analysis"***, Thousand Oaks, Calif: Sage Publications.
- Motavally, S., Ismaili, R., (2012), "Landslide hazard zoning using gamma fuzzy operator (Case study: Taleghan watershed)", ***Journal of Environmental Erosion Research***, 8: 1-20. [In Persian].
- Rajabi, M., Faizullahpour, M., (2013), "Landslide zoning of Givi Chay river basin using multilayer perceptron model of feedstock after diffusion (Bp)", ***Geography and Development***, 36: 180-161. [In Persian].
- Roostaei, S., (2004), "Investigation of the causes of landslides in Nasirabad village of Varzeqan (East Azerbaijan) using quantitative methods-Quarterly", ***Journal of Teacher of Humanities***, 8: 1- 22. [In Persian].
- Samandar, N., Hejazi, S. A., (2019), "Evaluation of the performance of statistical methods of logistic regression and perceptron multilayer neural network in predicting the occurrence of mass movements (Kamanj Chay Upper watershed) Quarterly", ***Journal of Geographical Space***, 66 (19): 77-97. [In Persian].
- Yalcin, A., (2008), "GIS-based landslide sussptibility mapping using analytical hierchay process and bivariate statistics in Ardesen (turkey) of results and confirmations", ***Catena***, 72: 1-12.