



Landslide Risk Zoning using Logistic Regression and Anfis Models in Hashtjin Catchment Area in Ardabil Province

Shokrollah Kiani¹, Akram karimkhani¹, Ahmad Mazidi^{1*}

¹ Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Yazd University, Yazd, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:
Received 08 May 2021
Accepted 12 August 2021
Available online 12 August 2021

Keywords:
Logistic Regression,
Landslide, Anfis, Roc
Curve, Hashtjin.

Citation: Kiani, Sh. karimkhani, A., Mazidi, A. (2021). Landslide Risk Zoning using Logistic Regression and Anfis Models in Hashtjin Catchment Area in Ardabil Province. *Geography and Sustainability of Environment*, 11 (2), 55-73. doi: [10.22126/GES.2021.6461.2391](https://doi.org/10.22126/GES.2021.6461.2391)

ABSTRACT

Landslides are one of the most important environmental processes, especially in mountainous landscapes. Identifying sensitive areas and preparing a landslide risk zoning map is an important step in preventing and reducing the damage caused by this phenomenon. Hashtjin basin, with its mountainous face and considering the geological, lithological, climatic and human conditions, has the necessary conditions for the formation of landslides; therefore, the current study aims at landslide risk zoning in the given area. Therefore, landslide sensitivity analysis for Hashtjin watershed is evaluated according to the efficiency of the results obtained from two models of logistic regression and Anfis to achieve the research goal. Using the interpretation of aerial photographs and field visits, control areas, as a dependent variable, were recorded by GPS. Then, the factors affecting landslides in the area including slope, direction, elevation lines, distance from waterway, distance from fault, distance from road, geology, land use and rainfall were identified according to various sources, field studies and consultation with experts; Then, layers were prepared as independent variables in GIS Arc environment. Moreover, logistic and ANFIS regression models were implemented by entering the aforesaid layers into TERRSET and MATLAB software environment, respectively. The final landslide hazard map of the area was prepared in 5 hazard classes. In this study, 25% of the control samples were used as test data to measure the accuracy of the studied models. The results of validation of the performance of the mentioned models by performing the ROC curve showed that the accuracy of Anfis model and logistic regression were equal to 88.23 and 86.45%, respectively. The findings from Enfis model reveal that approximately 4854 hectares, equivalent to 20.6% of the Hashtjin area are in high and very high class in terms of landslide risk.



پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و آنفیس در حوضه آبریز هشتجین استان اردبیل

شکراله کیانی^۱، اکرم کریمخانی^۱، احمد مزیدی^{۱*}

^۱ گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

شناسایی مناطق حساس و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، گام مهمی در مسیر پیشگیری و کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع این پدیده است. حوضه هشتجین با داشتن چهره کوهستانی و با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، لیتولوژی، اقلیمی و انسانی، شرایط لازم را برای شکل‌گیری حرکات لغزشی دارد؛ بنابراین هدف نوشتار پیش رو پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این منطقه است. در پژوهش حاضر حساسیت زمین لغزش برای حوضه آبریز هشتجین با توجه به ارزیابی کارایی نتایج حاصل از دو مدل رگرسیون لجستیک و آنفیس برای دستیابی به هدف پژوهش، تجزیه و تحلیل شد. با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و بازدید میدانی، مناطق شاهد به‌عنوان متغیر وابسته، با جی.پی.اس ثبت و در ادامه عوامل مؤثر بر ایجاد زمین لغزش در منطقه شامل شیب، جهت، خطوط ارتفاعی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و بارش با توجه به‌مرور منابع مختلف، مطالعات میدانی و مشورت با کارشناسان شناسایی شد؛ سپس در محیط نرم‌افزار ترست، متلب به‌ترتیب مدل رگرسیون لجستیک و آنفیس اجرا شدند. نقشه نهایی خطر زمین لغزش منطقه در پنج کلاس خطرپذیری تهیه شد. در پژوهش حاضر از ۲۵٪ نمونه‌های شاهد به‌عنوان داده‌های آزمون، به‌منظور سنجش میزان صحت مدل‌های مورد بررسی، استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی کارایی مدل‌های پیش‌گفته با اجرای منحنی راک نشان داد که دقت مدل آنفیس و رگرسیون لجستیک به‌ترتیب برابر ۸۸/۲۳٪ و ۸۶/۴۵٪ بوده است. نتایج بر اساس مدل آنفیس بیانگر آن است که حدود ۴۸۵۴ هکتار، معادل ۲۰/۶٪ از منطقه هشتجین از نظر مخاطره زمین لغزش در کلاس زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۰
پذیرش ۲۱ مرداد ۱۴۰۰
دسترسی آنلاین ۲۱ مرداد ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

رگرسیون لجستیک، زمین لغزش، آنفیس، منحنی راک، هشتجین.

استناد: کیانی، شکراله؛ کریمخانی، اکرم مزیدی، احمد (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و آنفیس در حوضه آبریز هشتجین استان اردبیل. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱ (۲)، ۵۵-۷۳.

doi: [10.22126/GES.2021.6461.2391](https://doi.org/10.22126/GES.2021.6461.2391)

مقدمه

زمین لغزش‌ها، پدیده‌هایی خطرناک و فاجعه‌بار به‌شمار می‌شوند (هاک^۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ روسی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹) که هر ساله اثرات زیادی از جمله خسارت‌های اقتصادی، تخریب زیرساخت‌ها و مشکلات زیست‌محیطی بر جوامع بشری وارد می‌کند (چن^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). عوامل مختلفی بر وقوع این پدیده تأثیر دارند که در این میان می‌توان به‌شدت و مدت بارندگی (چانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۷)، پراکنش فضایی پوشش گیاهی (فورستر^۵ و همکاران، ۲۰۱۷) توپوگرافی، شرایط خاک، واحدهای زمین‌شناختی، هیدرولوژی و فعالیت‌های انسان اشاره کرد (اقدام^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات درمورد زمین‌لغزش بیانگر این است که زمین‌لغزش مخاطره‌ای است که اغلب به‌فراوانی روی می‌دهد و در همهٔ قاره‌ها وجود دارد و برای انسان‌ها، زیرساخت‌ها و محیط زیست تهدید جهانی است (بروک^۷ و همکاران، ۲۰۱۸). در این خصوص تولید نقشه‌های دقیق منطقه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش از موضوعات مهم برای مطالعات مدیریت خطر است (کلوکسین^۸ و همکاران، ۲۰۱۶).

هدف از تهیهٔ نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش، تفکیک سطح زمین به مناطق همگن، بر اساس احتمال ناپایداری به‌واسطهٔ حرکات توده‌ای در موقعیت‌های خاص است (داس^۹ و همکاران، ۲۰۱۰). این نقشه‌ها در آینده به تجسم فضایی برای پیش‌بینی زمین‌لغزش مناطق خاصی کمک می‌کند (داو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵). مناطق ناهموار به‌دلیل شیب زمین، لیتولوژی، بارش، تکتونیک و سایر عوامل در وقوع زمین‌لغزش از پتانسیل بیشتری برخوردارند. به‌دلیل اینکه پیش‌بینی زمان و محل دقیق وقوع زمین‌لغزش‌ها مشکل است، شناسایی نقاط حساس و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از زمین‌لغزش اهمیت فراوانی دارد (رجبی و همکاران، ۱۳۹۹). کشور ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت تکتونیکی و لرزه‌ای زیاد، تنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش، شرایط طبیعی دارد (نوجوان و همکاران، ۱۳۹۸). ایران با داشتن مناطق کوهستانی وسیع که بیش از نیمی از وسعت کشور را تشکیل می‌دهد و با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی، بارندگی و شرایط آب‌وهوایی و توپوگرافی متنوع از جمله کشورهای است که وقوع زمین‌لغزش‌های متعددی را تجربه کرده است؛ از دیگرسو، رشد روزافزون جمعیت ایران، افزایش فعالیت‌های عمرانی، صنعتی و کشاورزی را در مناطق پرشیب در پی داشته است.

تعرض انسان‌ها در محیط زیست طبیعی، تغییر کاربری اراضی دامنه‌ای و توسعهٔ مناطق مسکونی و فعالیت‌های مشابه در دامنه‌های پرشیب بر میزان خسارات ناشی از پدیدهٔ فرونشست افزوده است (اجل‌لوئیان و همکاران، ۱۳۹۲). در این میان حوضهٔ آبخیز هشتجین واقع در استان اردبیل که ارتفاعات با شیب زیاد دارد، به‌دلیل شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی، سازندهای سست و سایر عوامل نیز از این قاعده مستثنا نیست. بر اساس مشاهدات میدانی زمین‌لغزش‌های متعددی در این منطقه اتفاق افتاده و احتمال وقوع زمین‌لغزش‌های

- 1- Haque
- 2- Rossi
- 3- Chen
- 4- Chang
- 5- Foerster
- 6- Aghdam
- 7- Broeckx
- 8- Colkesen
- 9- Das
- 10- Dou

دیگر نیز بسیار است. در چنین وضعیتی لزوم پهنه‌بندی حساسیت و ارزیابی پتانسیل منطقه به وقوع زمین‌لغزش را در راستای برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های عمرانی آشکار می‌سازد. ناپایداری دامنه‌ای به‌واسطه مجموعه‌ای از عوامل زمینی وابسته به هم از جمله سنگ‌شناسی، ویژگی‌های خاک، شیب، شرایط هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و سرانجام فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود.

تجزیه و تحلیل مشترک تمامی متغیرهای زمینی در رابطه با توزیع فضایی زمین‌لغزش‌ها، به‌واسطه ابداع و معرفی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، یعنی ابزاری ایدئال برای تحلیل پارامترهایی با میزان بالایی از تغییرپذیری فضایی، به‌شدت فزونی یافته است. پژوهشگران در طول دو دهه گذشته طیف وسیعی از فرایندهای مدل‌سازی و روش‌هایی را برای بهبود پیش‌بینی و تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش‌ها توسعه داده‌اند، تکنیک‌های ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش‌ها به دو دسته کمی و کیفی تقسیم می‌شوند. تکنیک‌های کمی برای ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش شامل مدل رگرسیون لجستیک (لی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷؛ پلیکرتیس^۲ و چالکیاس^۳، ۲۰۱۸؛ وجتکووا و وجتک^۴، ۲۰۲۰؛ گیگووایس^۵ و همکاران، ۲۰۱۹؛ بابلی مؤخر و همکاران، ۱۳۹۷) و سیستم عصبی و منطق فازی (لی زو^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ اصغری و بلواسی، ۱۳۹۷؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۹؛ رجبی و همکاران، ۱۳۹۹) است. برخی از مدل‌های کیفی در شرایط جغرافیایی ویژه‌ای ارائه می‌شوند؛ به‌طوری که عوامل هر مدل متناسب با شرایط خاص آن منطقه بوده، یا بر بعضی عوامل تأکید بیشتری شده است و ممکن است برای مناطق دیگر چندان مناسب نباشد، همچون فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۷ مفهوم وزن‌دهی و رتبه‌بندی را نیز در نظر می‌گیرند و ممکن است نیمه کمی نیز نامیده شوند (معزز و همکاران، ۱۳۹۸؛ روستایی و همکاران، ۱۳۹۸؛ محمدنیا و فلاح قالهری، ۱۳۹۷).

هریک از روش‌های پهنه‌بندی، مزایا و معایب خاص خود را دارند به‌طوری که هیچ روش جامعی مورد قبول تمامی پژوهشگران در سراسر دنیا باشد، وجود ندارد. بر اساس شرایط هر منطقه، می‌بایست روش مناسب انتخاب شود و پهنه‌بندی بر اساس آن روش صورت گیرد. هدفی که از پژوهش حاضر دنبال می‌شود این است که حرکات و ناپایداری‌های دامنه‌ای و عوامل مؤثر در آن شناخته شود تا به این وسیله از اثرات زیان‌بار آن در عرصه‌های منابع طبیعی و سایر بخش‌های توسعه عمرانی و اقتصادی جلوگیری کرده و نقاط با پتانسیل بالای خطر، شناسایی و پهنه‌بندی شود. بدین‌منظور با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه هشتجین استان اردبیل، دو مدل رگرسیون لجستیک و مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی مقایسه تطبیقی شد. سیستم استنتاج عصبی - فازی، یکی از مناسب‌ترین رویکردها در زمینه پیش‌بینی مکانی خطر وقوع زمین‌لغزش است و به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. این منحنی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیات تعیینی، شناسایی احتمالات و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به‌صورت کمی برآورد می‌کند. مزیت اساسی مدل پیش‌گفته در این است که تمامی متغیرهای مستقل به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته شده و وارد مدل می‌شوند.

1- Le

2- Polykretis

3 - Chalkias

4- Vojtekova & Vojtek

5- Gigovic

6- Li Zhu

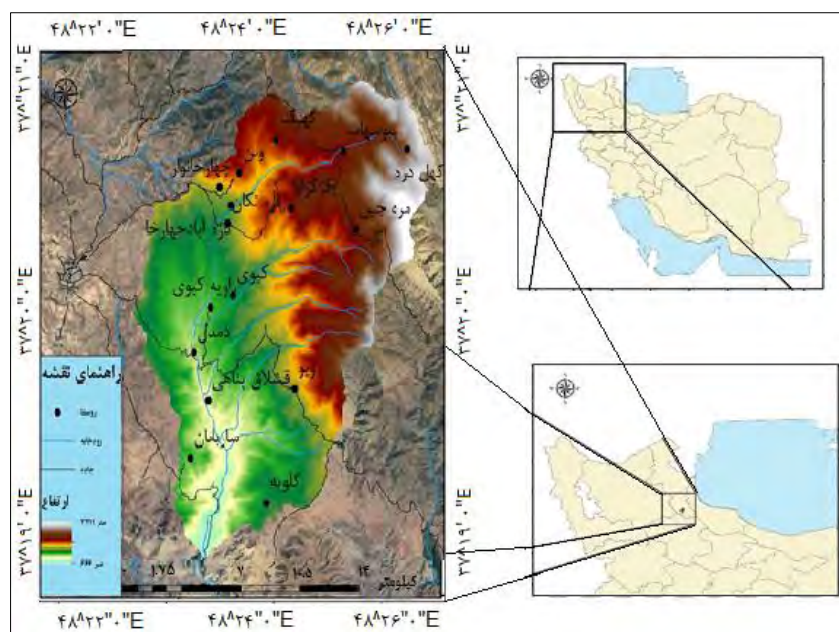
7- Analytic Network Process (ANP)

معرفی منطقه مورد بررسی

حوضه آبخیز هشتجین طبق تقسیمات کشوری در دهستان خورش رستم از توابع شهرستان خلخال و در استان اردبیل واقع شده است و از نظر موقعیت جغرافیایی در $48^{\circ}14'$ تا $48^{\circ}31'13''$ طول شرقی و $37^{\circ}22'03''$ تا $37^{\circ}30'1'$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱)، به طوری که روستای هشتجین با جمعیتی برابر شش هزار نفر و با اقلیم معتدل و نیمه خشک در مرکز آن واقع شده است. مساحت این حوضه آبخیز حدود ۲۳۵۴۲ هکتار است. به لحاظ ژئومورفولوژیکی قسمت غرب و شمال حوضه کوهستانی و متشکل از ارتفاعات با شیب زیاد است و به تدریج به سمت جنوب از ارتفاعات کاسته شده و شیب ملایم تر می شود. حداکثر ارتفاع حوضه معادل ۳۴۱۱ متر در ارتفاعات شمالی و حداقل ارتفاع آن برابر با ۶۶۵ متر در حاشیه رودخانه اصلی است. شیب عمومی آن نیز از سمت شرق و غرب به سمت مرکز حوضه در امتداد دامنه ارتفاعات است. در این منطقه ناپایداری های دامنه ای به ویژه به صورت زمین لغزش های بزرگ و کوچک نقش مهمی در تحویل دامنه ها ایفا می کنند. این گونه ناپایداری های دامنه ای افزون بر تخریب اراضی و رسوب زایی، به عنوان یک مخاطره ژئومورفولوژیکی نیز مطرح هستند که در برخی از موارد تهدیدی جدی برای سکونت گاه ها و تأسیسات زیربنایی منطقه به شمار می روند.

مواد و روش ها

به منظور بررسی وضعیت زمین لغزش های رخ داده در گذشته به عنوان نقاط نمونه آموزشی و همچنین تعیین عوامل مؤثر بر وقوع آن در منطقه هشتجین، ابتدا عکس های هوایی منطقه طی بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ با استفاده از گوگل ارث^۱ بررسی شده و سپس به منظور تأیید نتایج حاصل از تفسیر عکس های هوایی و تطبیق با واقعیت های زمینی، به کمک افراد محلی منطقه بازدید میدانی صورت گرفت. با برداشت میدانی صورت گرفته، تعداد ۴۱ زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه شناسایی و با استفاده از دستگاه جی.پی.اس، موقعیت و حدود هر یک از آن ها ثبت شد. در عین حال عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه نیز در بازدید میدانی تعیین شد که شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، زمین شناسی، بارش و کاربری اراضی بوده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

در نوشتار پیش رو نقشه‌های شیب، جهت و خطوط ارتفاعی، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ده‌متری استر تهیه و نقشه آبراهه منطقه نیز با استفاده از افزونه آرک هیدرو^۱ ترسیم شد. نقشه راه‌های ارتباطی منطقه نیز از روی داده‌های وزارت راه و شهرسازی و نقشه وضعیت لیتولوژی منطقه از روی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ رقومی‌سازی شد. لایه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از روی تصویر ماهواره‌ای و گوگل‌ارث با قدرت تفکیک بالا و تصویر ماهواره سنتینل ۱ مربوط به تابستان ۲۰۱۹ میلادی با استفاده از روش حداکثر احتمال و با دقت ۸۶/۸۹٪ در محیط نرم‌افزار انوی^۲ طبقه‌بندی شد. در ادامه نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارش و کاربری اراضی که نیاز به کلاس‌بندی داشته‌اند نیز پس از امتیازدهی بر اساس نظر خبرگان و کارشناسان متخصص طبقه‌بندی شدند. به‌منظور تهیه و آماده‌سازی لایه‌های موضوعی و اجرای مدل‌های پژوهش از نرم‌افزارهای جی.آی.اس^۳، متلب^۴، انوی و ترست^۵ استفاده شده است.

برای رسیدن به ضرایب بهینه رگرسیون در پژوهش حاضر، لایه زمین‌لغزش‌های رخ داده قبلی به‌عنوان متغیر مستقل (Y) انتخاب شد؛ به‌طوری که به رویداد وقوع زمین‌لغزش عدد یک و به عدم وقوع آن صفر اختصاص داده شد. بدین ترتیب سایر لایه‌های از پیش تهیه‌شده (شیب، جهت، خطوط ارتفاعی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، لیتولوژی، کاربری اراضی و بارش) به‌عنوان متغیر پیش‌گو (X) در نظر گرفته شدند. به‌منظور آماده‌سازی لایه‌های تهیه‌شده برای ورود به محیط مدل، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی با پیکسل‌سایز ۲۱/۲۴*۲۱/۲۴ به فرمت رستری تبدیل شدند و سپس برای اجرای مدل رگرسیون لجستیک به محیط نرم‌افزار ترست وارد شدند. پس از معرفی لایه‌های هفت‌گانه به‌عنوان متغیرهای مستقل و لایه زمین‌لغزش‌های شاهد منطقه هشتجین به مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی، مدل مورد نظر پس از طی مراحل اجرایی در محیط نرم‌افزار متلب به اجرا درآمد. از آنجاکه در شرایط عادی نرم‌افزارهای معمولی متلب، قابلیت تحلیل هم‌زمان بیش از سه متغیر را ندارد، لازم بود که ابتدا متغیرها با استفاده از ابزار فیش نت^۶ در محیط آرک جی.آی.اس. به‌صورت ارزش برداری درآورده شدند و سپس این داده‌ها با استفاده از کدنویسی در محیط متلب، به‌منظور عملیات اجرایی با حلقه FOR وارد محیط این نرم‌افزار شدند.

مدل رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یکی از انواع مدل‌های خطی تعمیم‌یافته است که برای تجزیه و تحلیل وجود یا عدم وجود متغیر وابسته بسیار مناسب بوده و برای پیش‌بینی ناپایداری دامنه‌ای استفاده می‌شود (دای و لی^۷، ۲۰۱۲). نکته اصلی در رگرسیون لجستیک این است که متغیر وابسته متغیری دو حالتی است و فقط می‌تواند عدد یک به‌معنی وقوع رویداد و عدد صفر به‌معنی عدم وقوع رویداد را به خود اختصاص می‌دهد. رگرسیون لجستیک از روش برآورد حداکثر احتمال برای یافتن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را بهتر برازش می‌دهند، استفاده می‌کند. هدف از تحلیل رگرسیون لجستیک، همانند مدل‌های رگرسیونی معمولی، دستیابی به مدلی مناسب و در عین حال ساده به‌منظور بررسی ارتباط بین متغیر پاسخ (وابسته) با یک یا مجموعه‌ای از

1- ARC/Hydro

2- ENVI

3- GIS

4- Matlab

5- Terrset

6 - Fishnet

7- Dai & Lee

متغیرهای مستقل است. با این ویژگی که در این گونه مدل‌ها متغیر پاسخ بر خلاف رگرسیون معمولی عموماً از نوع رسته‌ای دو یا چندحالتی است. در رگرسیون لجستیک می‌توان احتمال پیش‌بینی رخداد (در پژوهش حاضر، زمین‌لغزش) $Y = 1$ را بر اساس رابطه ۱ بیان کرد:

$$\text{رابطه ۱} \quad \left(\quad \mid \quad \right) \text{—————}$$

در مورد مطالعه حساسیت زمین‌لغزش، هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین (در عین حال معقول‌ترین) مدل برازش برای بیان رابطه بین وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش‌ها (متغیر وابسته) و مجموعه‌ای از پارامترهای مستقل مانند زاویه شیب، جهت شیب و زمین‌شناسی است و بر اساس رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\text{رابطه ۲} \quad Y = \text{Logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n$$

لوجیت یا لگاریتم احتمالی در حقیقت مقدار لگاریتم طبیعی احتمال است. P : احتمال متغیر وابسته Y و $1-P$: نسبت شانس یا احتمال، B_0 : مقدار ثابت و B_1, \dots, B_n : ضرایبی هستند که مشارکت عوامل مستقل (X_1, X_2, \dots, X_n) را با متغیر Y نشان می‌دهند. انعکاس تغییرات کاربری اراضی در هر پیکسل دو ارزش است که به صورت تغییر یا عدم تغییر نشان داده می‌شود. در رگرسیون لجستیک استفاده از متغیرهای مستقل که نقش مهمی در تعیین متغیر وابسته داشته باشند، مدل کامل‌تری را ایجاد می‌کند. انتخاب این متغیرهای مستقل کار مشکلی است و در سطح جهانی معیار مشخصی برای این کار وجود ندارد (ایالو و یاماگیسی، ۲۰۰۵).

مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی (آنفیس)^۲

در واقع آنفیس از یک مدل ترکیبی تشکیل شده است که در آن گره‌های موجود در لایه‌های مختلفی از شبکه، با ارائه یک شبکه عصبی مناسبی برای حل مسائل تخمینی، به پارامترهای فازی رسیدگی می‌کنند. در این مدل از تحلیل‌های پیچیده آماری خودداری شده و بر اساس توابع غیر خطی به هریک از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش وزنی اختصاص داده شده است که مبتنی بر آموزش عوامل مؤثر در زمین‌لغزش بوده، با تقسیم داده‌ها در طبقات آموزشی و آزمایشی و بهره‌گیری از توابع سیگموئید به پهنه‌بندی مناطق مستعد اقدام می‌کند. در نوشتار پیش رو به منظور پردازش داده‌ها دو سری اطلاعات برای تحلیل در سیستم شبکه عصبی استفاده می‌شود: اول نقشه زمین‌لغزش‌های موجود و دوم نقشه پهنه‌هایی که احتمال زمین‌لغزش در آن‌ها بسیار پایین است. اطلاعات این دو نقشه اولیه برای آموزش شبکه عصبی ضروری هستند. داده‌ها پس از ورود به شبکه عصبی مصنوعی به صورت تصادفی بین $0/7$ و $0/7$ وزن‌دهی شدند و آنگاه در مرحله آموزش هر عامل دارای وزن جدیدی شد که از این وزن‌ها برای پیش‌بینی میزان خطر در دیگر پیکسل‌ها استفاده شد.

نتایج

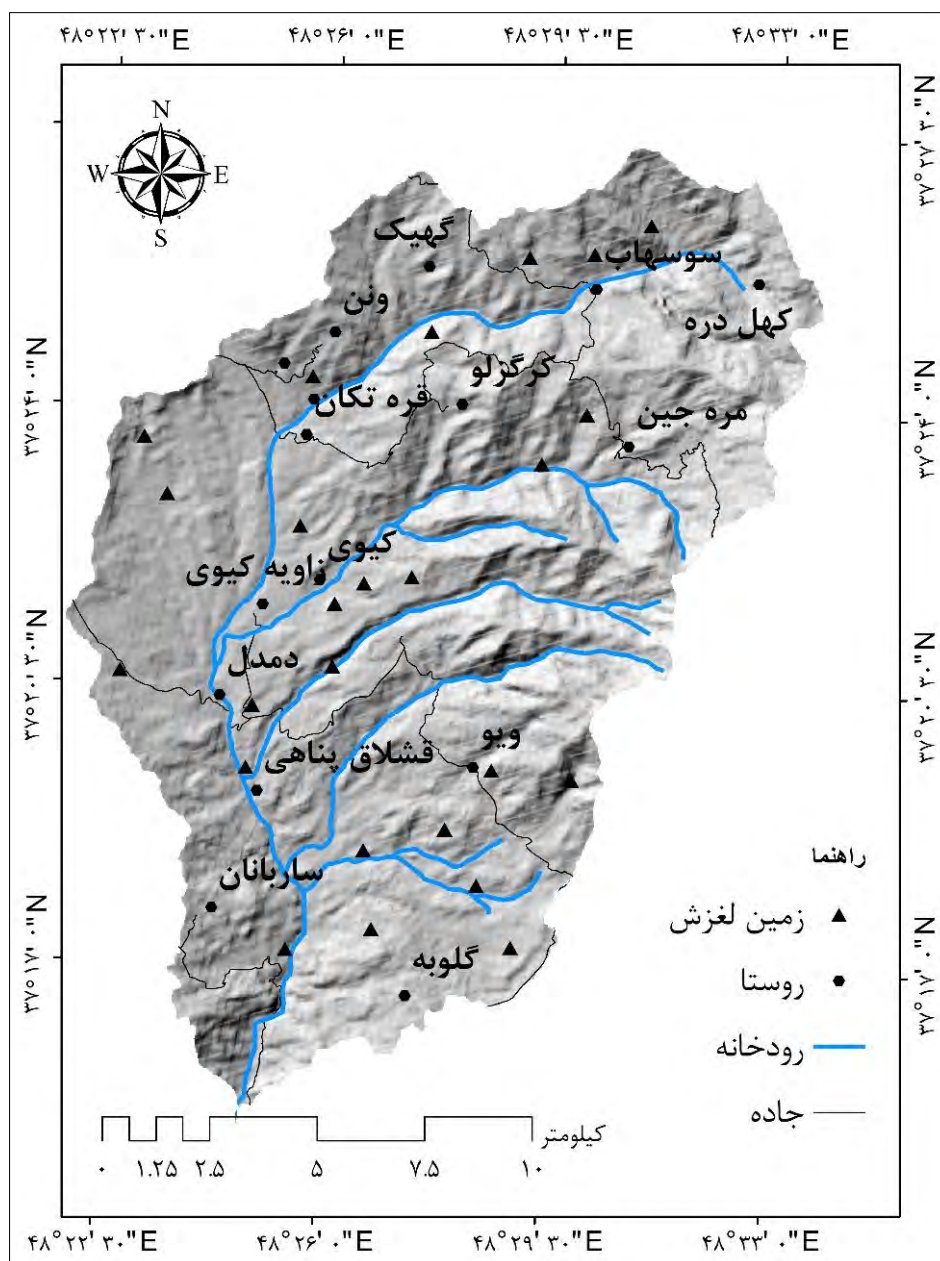
پراکندگی فضایی زمین‌لغزش‌های منطقه

در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، تهیه نقشه پراکندگی فضایی زمین‌لغزش‌های منطقه یکی از مهم‌ترین مراحل کار است. در واقع، برای بررسی و شناخت شرایطی که منجر به بروز زمین‌لغزش در مکان خاصی شده است، تهیه نقشه توزیع جغرافیایی زمین‌لغزش‌ها ضرورت

1- Ayalew & Yamagishi

2- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS)

می‌یابد. زمین‌لغزش‌ها آثار بسیار مشخصی همچون زخمه‌های لغزشی، وجود روانه‌ها و توده‌های درهم‌لغزش‌یافته، به‌هم‌ریختگی دامنه‌ها و انحراف مسیر آبراهه‌ها برجای می‌گذارند که شناسایی آن‌ها را با تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا امکان‌پذیر می‌سازد. در موارد مشکوک نیز می‌توان با مراجعه میدانی وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش را بررسی کرد. برای منطقه مورد مطالعه، ۴۱ رخدادهای زمین‌لغزش بزرگ و کوچک از راه تصاویر ماهواره‌ای و گوگل‌ارث با قدرت تفکیک بسیار بالا (در حدود ۷۰ سانتی‌متر) و بازدیدهای میدانی شناسایی و تعیین حدود شدند (شکل ۲). بیشتر این زمین‌لغزش‌ها با روند شمال شرق - جنوب غرب رخ داده‌اند (شکل ۳). در این مناطق، رخدادهای زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین فرایندهای ژئومورفولوژیکی در تحول لندفرم‌های منطقه است که می‌تواند مخاطراتی را نیز متوجه سکونت‌گاه‌ها و تأسیسات زیربنایی منطقه سازد. تعداد قابل توجهی از زمین‌لغزش‌ها در پیرامون جاده ارتباطی رخ داده است.



شکل ۲. پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. نمونه‌ای از زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه آبخیز هشتجین

لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در زمین لغزش

در پژوهش حاضر، نه متغیر اساسی (شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی و بارش) در رخداد زمین لغزش‌های منطقه مطالعاتی مشخص شده و تأثیر هر یک از این متغیرها بررسی شد. در بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که گسل‌ها تأثیری بر زمین لغزش‌های منطقه نداشته‌اند و علت این امر، نبود گسل فعال در اطراف و خود محدوده مورد مطالعه است. این امر در معادله رگرسیون لجستیک نیز تأیید شد؛ بنابراین متغیر گسل در پهنه‌بندی حذف شد. بدیهی است که در پهنه‌بندی حساسیت منطقه نسبت به رخداد زمین لغزش، تمامی متغیرها به صورت ترکیبی در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه، تأثیر هر کدام از این متغیرها به اختصار بررسی می‌شود.

شیب

از لحاظ تئوری با فرض یکسان بودن سایر پارامترها در مناطقی که میزان شیب بیشتر باشد، احتمال رخداد زمین لغزش نیز بالاتر است. طبقه‌بندی‌های مختلفی برای کلاس‌های شیب در پژوهش‌ها و روش‌های مختلف آمده است. متوسط شیب منطقه مطالعاتی $23/8\%$ است. تنها حدود 7% از منطقه مورد مطالعه دارای شیب کمتر از 5% و حدود 14% آن دارای شیب‌های بین 5% تا 10% است. اراضی با شیب کم در سطح بخشی از فلات‌های مرتفع منطقه پراکنده شده‌اند. رخداد زمین لغزش‌های منطقه از شیب 0% تا 15% دارای روند افزایشی و از شیب‌های 15% تا 20% کاهش می‌شود. مساحت توده‌های لغزشی در طبقات شیب بیش از 20% به حداکثر می‌رسد. تقریباً 27% منطقه مورد مطالعه دارای شیب بیش از 20% است که حدود 28% زمین لغزش‌های منطقه در این طبقات شیب اتفاق افتاده‌اند (جدول ۱، شکل ۴).

جهت شیب

جهت شیب یکی دیگر از متغیرهایی است که در وقوع زمین لغزش‌های منطقه تأثیرگذار بوده است. جهات شیب در منطقه مورد مطالعه اهمیت فراوانی در رابطه با نوع هوازدگی و تخریب مواد دامنه‌ها و توزیع رطوبت به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده ناپایداری‌های دامنه‌ای دارد. با توجه به اطلاعات موجود، توزیع جهت شیب در منطقه مورد مطالعه کمابیش یکسان است؛ اما زمین لغزش‌ها در تمامی جهات جغرافیایی به طور یکسانی رخ نداده‌اند. زمین لغزش‌ها در جهات شمالی حداکثر و در جهات جنوبی حداقل هستند (شکل ۵).

ارتفاع

با توجه به توزیع ارتفاعات (شکل ۶) می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه درجه ناهمواری بالایی دارد. زمین‌لغزش‌های منطقه تا ارتفاع ۲۱۶۵ متری روند افزایشی و سپس روند کاهشی را نشان می‌دهند (جدول ۱). در واقع حدود ۶۰٪ زمین‌لغزش‌های منطقه در طبقات ارتفاعی بین ۶۶۵ تا ۲۱۶۵ متر اتفاق افتاده است. با توجه به مقادیر بالای نسبت فراوانی زمین‌لغزش در این طبقات ارتفاعی، در آینده نیز احتمال وقوع زمین‌لغزش در این طبقات ارتفاعی بیشتر خواهد بود.

زمین‌شناسی

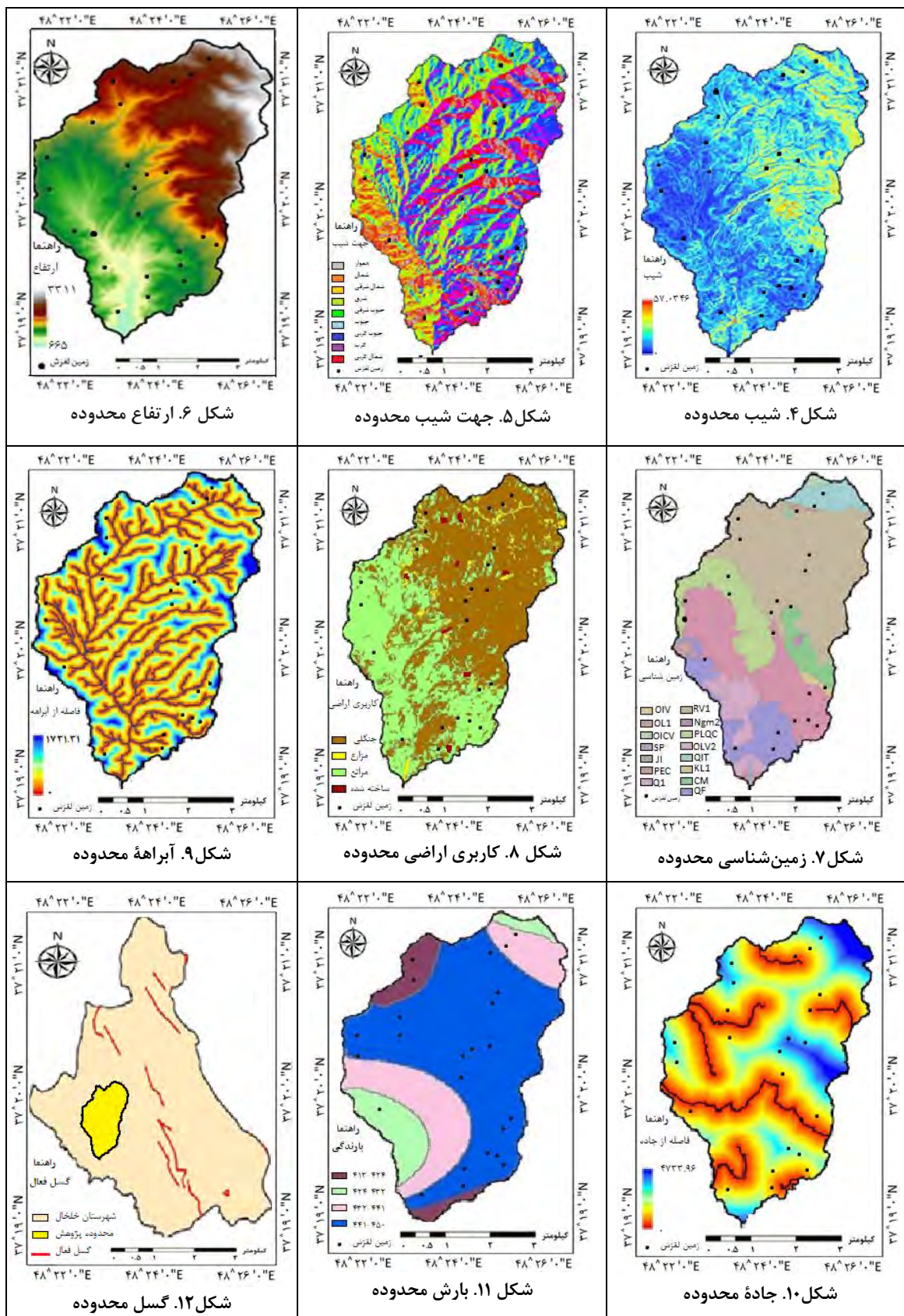
با توجه به مساحت توده‌های لغزشی در واحدهای زمین‌شناسی مختلف (جدول ۱) می‌توان به تأثیر بسیار زیاد برخی از واحدها در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه پی برد. واحد OI-v2 (تراکی بازالیت و تراکی آندزیت سطح فرسوده) با اینکه تنها حدود ۱۱٪ از منطقه مورد مطالعه را پوشانده است، اما حدود ۲۸٪ از توده‌های لغزشی منطقه بر روی این واحد جای گرفته‌اند. رسوبات آبرفتی قدیم دومین واحد زمین‌شناسی است که در رابطه با زمین‌لغزش‌های منطقه از اهمیت بسیاری دارد. این واحد در حدود ۷٪ از منطقه مطالعاتی را می‌پوشاند. در حدود ۲۶٪ توده‌های لغزشی منطقه روی این واحد واقع شده‌اند (شکل ۷). با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته، با اینکه در سایر واحدهای زمین‌شناسی شرایط کنترل‌کننده زمین‌لغزش (به‌ویژه حضور آب، شیب و جهت شیب) برقرار است، اما زمین‌لغزشی بر روی آن‌ها صورت نگرفته یا در مقیاس بسیار محدود و محلی به‌وقوع پیوسته است؛ از این رو می‌توان به کنترل شدید متغیر زمین‌شناسی بر وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه پی برد. می‌توان بیان داشت که زمین‌لغزش‌های منطقه در درجه اول در کنترل متغیر زمین‌شناسی هستند.

کاربری اراضی

کاربری‌های منطقه مطالعاتی (شکل ۸) به‌طور عمده به‌صورت اراضی جنگلی و مراتع هستند که در حدود ۵۳٪ منطقه به این نوع کاربری اختصاص یافته است. پوشش عمده زمین در منطقه به‌صورت مرتعی با پوشش گیاهی کمابیش غنی است که در محدوده غرب و جنوب منطقه گسترده شده‌اند. با توجه به نوع پوشش اراضی منطقه مطالعاتی بدیهی است که بیشتر لغزش‌های منطقه (حدود ۶۸٪) در کلاس مراتع قرار بگیرند. با توجه به توزیع توده‌های لغزشی در هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی عمده منطقه (جدول ۱) می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل نبود تفاوت‌های اساسی در توزیع توده‌های لغزشی در کلاس‌های مراتع و اراضی دیم (به‌عنوان کاربری‌های غالب منطقه) تأثیر کاربری اراضی در وقوع لغزش‌های منطقه اندک است.

آبراهه‌ها

بخشی از زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه در مجاورت آبراهه‌ها اتفاق افتاده‌اند که برخی از آن‌ها را می‌توان به پدیده زیرشویی و برداشت مواد زیرین دامنه‌ها به‌وسیله جریانات موجود نسبت داد. برای دخالت‌دادن تأثیر فاصله از آبراهه در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه، لایه فاصله از آبراهه‌ها تهیه شد (شکل ۹). در حدود ۲۶٪ توده‌های لغزشی منطقه در فاصله صفر تا سیصد متری آبراهه‌ها واقع شده‌اند (جدول ۱). برخی از لغزش‌های منطقه به این دلیل که از حجم و وسعت زیادی برخوردارند، از فاصله صفر تا سیصد و حتی چهارصد متری آبراهه‌ها امتداد یافته‌اند و به همین دلیل در چندین کلاس از لایه موضوعی فاصله از آبراهه اثرگذار هستند.



مدل رگرسیون لجستیک

ضرایب و انحراف از معیار حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک با هفت متغیر مستقل نشان می‌دهد که متغیر طبقات ارتفاعی و کاربری اراضی به ترتیب بیشترین و کمترین انحراف از معیار را دارند (جدول ۲). با توجه به ضرایب متغیرهای مستقل و همچنین بر اساس رابطه رگرسیون لجستیک می‌توان نتیجه گرفت که چهار متغیر زمین‌شناسی، شیب، جهت شیب و ارتفاع، مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه هستند (رابطه ۳). نکته قابل توجه، وزن بسیار بالا متغیر زمین‌شناسی نسبت به سایر متغیرها است. این امر نشان‌دهنده حساسیت بسیار شدید برخی از واحدهای زمین‌شناسی منطقه نسبت به وقوع زمین‌لغزش است.

$$\text{logit(LandSlide)} = 3.9383 + 1.936 * \text{Aspect} + 2.805 * \text{DEM} + 3.034 * \text{Lithology} - 1.111 * \text{Landuse/Cover} + 0.570 * \text{Roads} - 1.949 * \text{Slope} + 0.0024 * \text{River}$$

رابطه ۳ رگرسیون لجستیک:

اهمیت زمین‌شناسی در نقشه خروجی از مدل رگرسیون لجستیک نیز به خوبی نمایان است (شکل ۱۳). ضرایب پایین لایه کاربری اراضی را می‌توان به توزیع فضایی کمابیش یکنواخت زمین‌لغزش‌های منطقه در کلاسه‌های این لایه نسبت داد. به همین دلیل می‌توان به تأثیر اندک این متغیر در وقوع لغزش‌های منطقه پی برد. ضریب جاده‌های ارتباطی منطقه با مقدار ۰/۰۲ نشان‌دهنده تأثیر نسبتاً اندک این متغیر در وقوع لغزش‌های منطقه است. نتایج حاصل از پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک مطابق شکل ۱۳ نشان داده شده است.

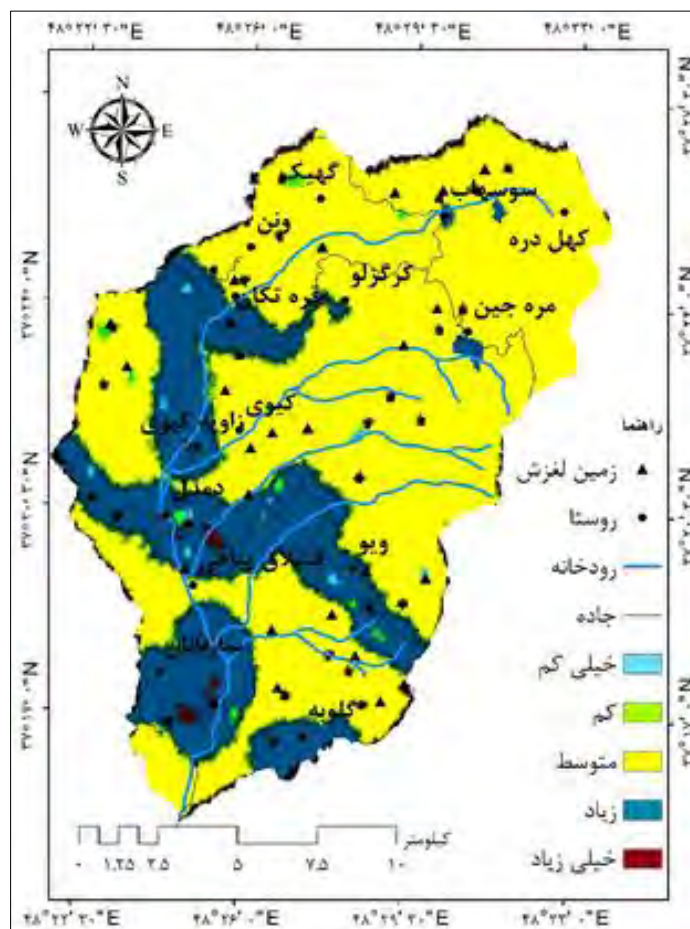
مدل آنفیس

برای تعیین دقیق مناطق لغزش‌پذیر در مدل فازی عصبی ما نیاز به نقاط تعلیمی داشته و به این سبب، ۷۰٪ از داده‌ها به عنوان نقاط تعلیمی و ۳۰٪ برای نقاط تست به مدل معرفی شد. مدل فازی عملگرهای مختلفی برای فازی‌سازی دارد. در جریان اجرای این مدل، پس از اعمال عملگرهای مختلف، عملگر GbellMF به دلیل عملکرد مناسب‌تر استفاده شد که نمودار این عملگر بر اساس شکل ۱۴ ارائه شده است.

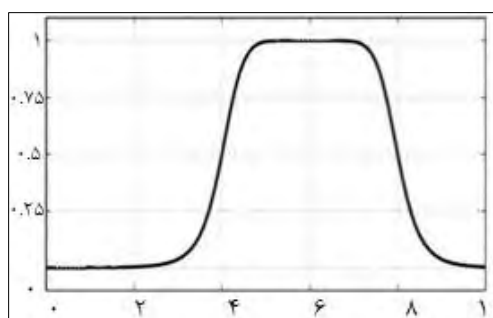
پس از اجرای این مدل مشخص شد که مقدار ضریب تعیین (R2) و ضریب خطا به ترتیب برابر ۰/۰۹۲۳۶ و ۰/۰۱۷۲ است. نقشه نتایج حاصل از پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از مدل فازی - عصبی بر اساس شکل ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۲. ضرایب و انحراف معیار حاصل رگرسیون لجستیک

متغیرهای مستقل / عدد ثابت	انحراف از معیار	ضرایب
عدد ثابت	-	۳/۹۳
جهت	۵۰۲۳/۶	۱/۹۳
طبقات ارتفاعی	۵۷۵۲/۱	۲/۸
زمین‌شناسی	۴۹۲۴/۵	۳/۰۳
کاربری اراضی	۴۹۲۲/۴	-۱/۱۱
فاصله از جاده	۵۶۱۱/۷	۰/۵۷
شیب	۴۹۳۰/۵	۱/۹۴
فاصله از رودخانه	۵۰۷۱/۱	۰/۰۰۲

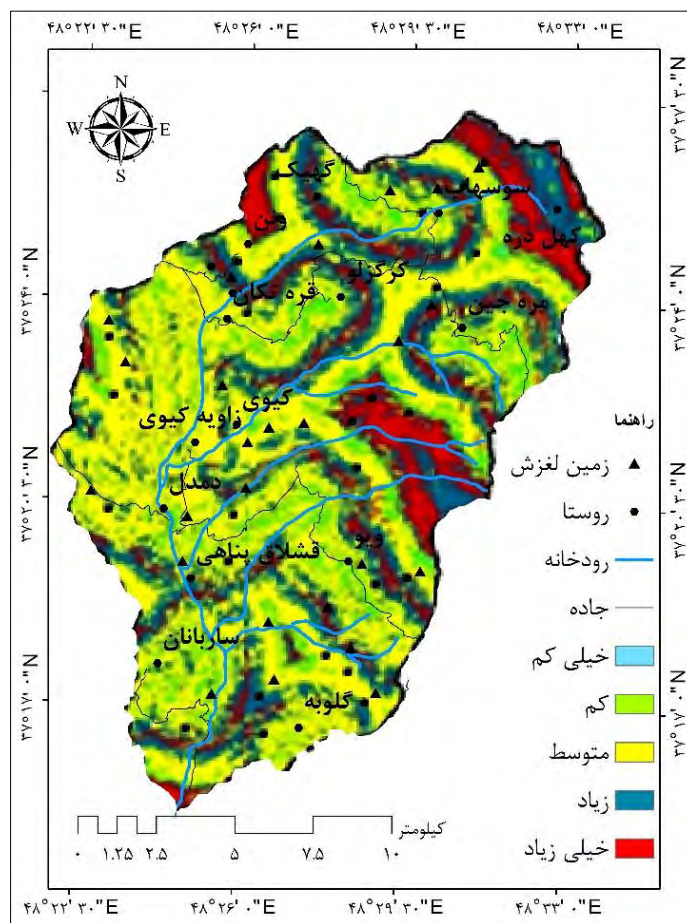


شکل ۱۳. نقشه احتمال زمین‌لغزش با مدل رگرسیون لجستیک



شکل ۱۴. عملگر GbellMF

در پژوهش حاضر برای تعیین میزان صحت نتایج حاصل از دو مدل رگرسیون لجستیک، روش منحنی راک استفاده شده است. این منحنی یک نمودار پراکندگی از حساسیت برای سیستم طبقه‌بندی‌کننده باینری است که آستانه تمییز آن متغیر است. برای رسیدن به هدف پیش‌گفته، از ۴۱ زمین‌لغزش رخ داده و ثبت شده در محدوده مورد مطالعه، ده مورد یا ۲۵٪ نمونه‌ها در هیچ‌یک از مدل‌ها استفاده نشد و به‌عنوان نمونه‌های مقایسه‌ای مدل در روش منحنی راک استفاده شدند. سطح زیر منحنی بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از راه توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است؛ بنابراین مساحت زیر منحنی به‌عنوان معیار دقت و صحت مدل استفاده می‌شود (متیو^۱، ۲۰۰۷).



شکل ۱۵. نقشه احتمال زمین لغزش با مدل آنفیس

نتایج حاصل از پهنه‌بندی مدل رگرسیون لجستیک در پنج کلاس خطر شامل خطرپذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد برحسب مساحت و درصد آورده شده است که حدود ۶۱۰۰ هکتار، معادل ۲۶٪ از منطقه هشتجین در کلاس زیاد و خیلی زیاد از نظر مخاطره زمین لغزش قرار دارند (جدول ۳). بر اساس نتایج مدل فازی - عصبی مشخص شد که حدود ۴۸۵۴ هکتار، معادل ۲۸٪ از منطقه هشتجین از نظر مخاطره زمین لغزش، در کلاسه زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. برای تعیین میزان اهمیت هریک از طبقات عوامل مؤثر، ابتدا مساحت و درصد زمین لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل مؤثر مشخص شد.

جدول ۳. نتایج مدل رگرسیون لجستیک

درصد	مساحت (هکتار)	خطرپذیری کلاس
۰/۲۲	۵۲	خیلی کم
۰/۰۶	۱۳	کم
۷۳/۸۵	۱۷۳۷۷	متوسط
۲۵/۵	۶۰۱۳	زیاد
۰/۳۷	۸۷	خیلی زیاد

جدول ۴. نتایج مدل آنفیس

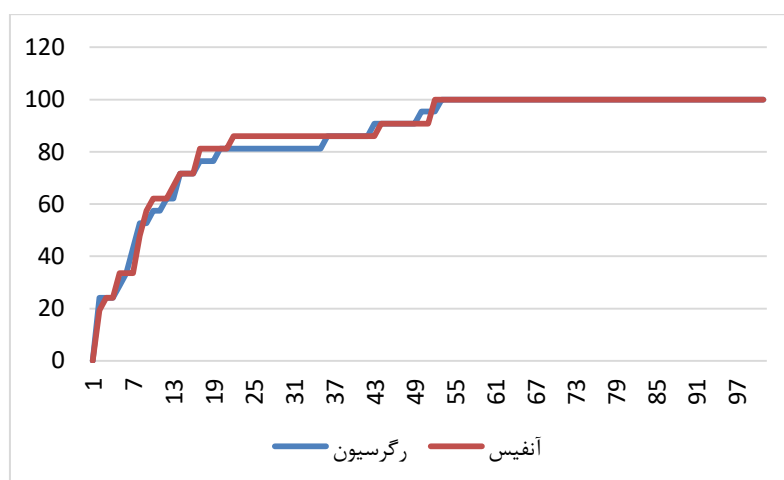
درصد	مساحت (هکتار)	کلاس خطرپذیری
۰/۷۲	۱۷۱	خیلی کم
۲۶/۶۸	۶۲۸۴	کم
۵۱/۹۶	۱۲۲۳۳	متوسط
۱۲/۲۴	۲۸۸۱	زیاد
۸/۴	۱۹۷۳	خیلی زیاد

بحث

نتایج صحت‌سنجی در قالب نمودار، برای تعیین میزان صحت نتایج حاصل از دو مدل رگرسیون لجستیک روش منحنی راک نشان داده است که دقت مدل آنفیس و رگرسیون لجستیک به ترتیب برابر $88/23\%$ و $86/45\%$ بوده است (شکل ۱۶).

مقایسه نقشه زمین‌شناسی (شکل ۷) با توزیع فضایی زمین‌لغزش‌های منطقه (شکل ۲) و معادله رگرسیون لجستیک (رابطه ۳) و نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مدل‌های کمی پژوهش (شکل ۱۳ و ۱۵) در منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده تأثیر قاطع زمین‌شناسی بر رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی است. از نظر درصد مساحت کلاس‌های خطر زیاد و بسیار زیاد، هردو روش نتایج تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند؛ به طوری که می‌توان گفت در حدود 23% منطقه مورد مطالعه در کلاس خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است (جدول ۳ و جدول ۴) که این پهنه‌ها به طور عمده بر محدوده غرب شهر هشتجین منطبق است. مجموعه‌ای از شرایط باعث شده است که رخداد زمین‌لغزش در قسمت‌هایی از منطقه مطالعاتی از احتمال وقوع بسیار بالایی برخوردار باشند. با وجود این، پراکندگی سازندهای خاص زمین‌شناسی که شرایط بسیار مساعدی را برای ناپایداری دامنه‌ای به صورت تخریب توده‌ای فراهم می‌سازند در درجه اول اهمیت قرار دارند. بیشتر زمین‌لغزش‌های منطقه بر روی واحدهای زمین‌شناسی رسوبات آبرفتی قدیم و واحد تراکی بازالیت و تراکی آندزیت سطح فرسوده رخ داده‌اند.

در نتایج حاصل از پهنه‌بندی و پیش‌بینی مکانی هردو مدل مورد استفاده نیز پهنه‌های منطبق بر این واحدها از احتمال وقوع زمین‌لغزش بالایی برخوردار هستند. این امر برای سکونت‌گاه‌ها و زیرساخت‌های مستقر بر روی این پهنه‌ها مخاطره جدی ایجاد می‌کنند. احداث جاده‌های ارتباطی بر روی این واحدهای حساس به زمین‌لغزش، نه تنها منجر به افزایش مخاطرات ناشی از رخداد زمین‌لغزش شده است؛ بلکه خود این جاده نیز می‌تواند محرک ناپایداری دامنه‌ای شود. در این رابطه، شیب، جهت شیب و ارتفاع نقش تعیین‌کننده‌ای بر وقوع زمین‌لغزش بر روی این واحدهای زمین‌شناسی ایفا می‌کنند و نیز وجود بعضی از سازندهای آهکی و حساس به فرسایش آبی سبب افزایش رخداد لغزش می‌شوند (فام^۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ حنیفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۱۶. منحنی راک در مدل‌های آنفیس و رگرسیون لجستیک

نتایج حاصل از رخدادهای نقش شیب در وقوع لغزش‌ها نشان داد زمین‌لغزش‌های منطقه در شیب‌های ۱۵٪ تا ۲۰٪ روند افزایشی است. تقریباً ۲۷٪ منطقه مورد مطالعه دارای شیب ۱۵٪ تا ۲۰٪ است که حدود ۲۸٪ زمین‌لغزش‌های منطقه در این طبقات شیب اتفاق افتاده‌اند که زمین‌لغزش در شیب‌های کمتر به دلیل برتری نیروهای مقاومت برشی نسبت به تنش برشی کمتر و در شیب‌های خیلی زیاد هم به دلیل عدم توسعه و وجود خاک با ضخامت قابل ملاحظه کمتر به وقوع می‌پیوندد (شیرزادی و همکاران، ۱۳۹۶)، تقریباً ۲۷٪ منطقه مطالعاتی شیب بیش از ۲۰٪ دارد که حدود ۲۸٪ زمین‌لغزش‌های منطقه در این طبقات شیب اتفاق افتاده‌اند (جدول ۱، شکل ۴). با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته، بیشتر زمین‌لغزش‌های منطقه بر روی واحدهای زمین‌شناسی واحدهای رسوبات آبرفتی قدیم و واحد تراکی بازالیت و تراکی آندزیت سطح فرسوده رخ داده‌اند. با توجه به توزیع توده‌های لغزشی در هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی عمده منطقه (جدول ۱) می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل نبود تفاوت‌های اساسی در توزیع توده‌های لغزشی در کلاس‌های مراتع و اراضی دیم (به‌عنوان کاربری‌های غالب منطقه) تأثیر کاربری اراضی در وقوع لغزش‌های منطقه اندک است (شکل ۸). پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد بیشتر در محدوده‌هایی از کاربری اراضی اتفاق می‌افتند که در آن‌ها تغییر کاربری از حالت مرتع به زمین‌های زراعی و باغی رخ داده باشد (شارما و ماهاجان^۱، ۲۰۱۹). حدود ۲۶٪ توده‌های لغزشی منطقه در فاصله صفر تا سیصد متری آبراهه‌ها واقع شده‌اند (جدول ۱). برخی از لغزش‌های منطقه به این دلیل که از حجم و وسعت زیادی برخوردارند، از فاصله صفر تا سیصد و حتی چهارصد متری آبراهه‌ها امتداد یافته‌اند و به همین دلیل در چندین کلاس از لایه موضوعی فاصله از آبراهه اثرگذار هستند. در محدوده مورد مطالعه حدود ۴٪ از زمین‌لغزش‌های منطقه در پیرامون جاده‌های ارتباطی و تا شعاع ۲۵۰ متری از آن‌ها اتفاق افتاده‌اند (جدول ۱).

نتیجه‌گیری

با توجه به خسارت‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش، لازم است که در مناطق حساس، نقشه پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش که از ابزارهای اساسی مدیریت و کاهش خسارات احتمالی این پدیده است، با روش مناسب صورت پذیرد. بدین منظور در پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه هشتجین استان اردبیل، دو مدل رگرسیون لجستیک و مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی مقایسه تطبیقی شد. با توجه به لایه‌های مورد استفاده در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش، به ترتیب عامل زمین‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب و شیب، بیشترین ارزش را در ناپایداری دامنه‌ها در این محدوده داشته‌اند. واحدهای زمین‌شناسی تحت تأثیر رخداد زمین‌لغزش عموماً شامل رسوبات آبرفتی قدیم و واحد تراکی بازالیت و تراکی آندزیت سطح فرسوده است. با توجه به دخل و تصرف زیاد در طول محورهای ارتباطی، کاربری‌های مربوط به مرتع، عموماً در کلاس حساسیت زیاد جای گرفته‌اند؛ بنابراین در کنار شرایط محیطی مستعد برای رخداد زمین‌لغزش فعالیت‌های انسانی نقشی تأثیرگذار در تشدید ناپایداری دامنه‌ها در این محدوده دارد.

بر اساس بررسی‌های میدانی، جاده‌ها می‌توانند به‌عنوان متغیر محرک در بروز زمین‌لغزش‌ها در نظر گرفته شوند؛ اما باید توجه داشت که در منطقه مورد مطالعه، زمین‌لغزش‌ها به‌طور عمده در محدوده‌هایی پراکنده هستند که شرایط لیتولوژیکی مساعدی دارند. پراکندگی زمین‌لغزش‌ها بر روی سایر واحدهای زمین‌شناسی بسیار تصادفی بوده و حاصل دخالت چندین عامل اثرگذار به‌صورت محلی و موضعی است. نتایج حاصل از

آنالیز منحنی راک نشان داد که دقت حاصل از مدل فازی - عصبی از مدل رگرسیون لجستیک بهتر و قابل استنادتر است.

منابع

اجل لوثیان، رسول؛ میرصانعی، رضا؛ فاتحی، لیلیا (۱۳۹۲). شناخت و تحلیل کاربردی زمین‌لغزش. اصفهان؛ جهاد دانشگاهی.

اصغری، صیاد؛ بلواسی، ایمانعلی (۱۳۹۷). مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل منطق فازی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه آبریز سیمره چنار. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷ (۲)، ۱۵۸-۱۸۲.
بابلی مؤخر، حمید؛ شیرانی، کوروش؛ تقیان، علیرضا (۱۳۹۷). ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تلفیقی فاکتور اطمینان و رگرسیون لجستیک با به‌کارگیری شاخص‌های ژئومورفومتریک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷ (۳)، ۹۱-۱۱۶.

حنیفی‌نیا، عبدالعزیز؛ نظرزاد، حبیب؛ نجفی، سعید؛ کرنژادی، آیدینگ (۱۳۹۹). اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن در آبخیز چریک‌آباد ارومیه با استفاده از مدل آنتروپی شانون. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۳ (۴)، ۳۲-۴۸.

رجبی، معصومه؛ تک‌زارع، احمد؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین (۱۳۹۹). پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی مورد مطالعه: حوزه آبریز الموت رود استان قزوین. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۹ (۳)، ۱۷۱-۱۸۵.

روستایی، شهرام؛ حجازی، اسدالله؛ رجبی، معصومه؛ جلالی، نادر؛ نجفی ایگدیر، احمد (۱۳۹۸). کاربرد منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نازلوچای. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۶ (۴)، ۱۰۳-۱۱۹.
شیرزادی، عطاله؛ سلیمانی، کریم؛ حبیب‌نژاد، محمود؛ کاویان، عطاله؛ چپی، کامران (۱۳۹۶). معرفی یک مدل جدید ترکیبی الگوریتم مینا به‌منظور پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش‌های سطحی اطراف شهر بیجار. جغرافیا و توسعه، ۱۵ (۴۶)، ۲۲۵-۲۴۶.

محمدنیا، ملیحه؛ فلاح قاله‌ری، غلام‌عباس (۱۳۹۷). شبیه‌سازی احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۴۸)، ۱۱۵-۱۳۰.

معزز، سمیه؛ روستایی، شهرام؛ رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز نهندچای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸ (۲)، ۲۳-۳۷.

ناصری، عدنان؛ حجازی، اسدالله؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین (۱۳۹۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در پایین‌دست سد سنندج. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱۰ (۱)، ۱-۱۹.

نوجوان، محمدرضا؛ شاه‌زیدی، سمیه‌سادات؛ داودی، محمود؛ امین‌الرعایایی، هاجر (۱۳۹۸). پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از دو مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷ (۴)، ۱۴۲-۱۵۹.

References

- Aghdam, I. N., Pradhan, B. & Panahi, M. (2017). Landslide susceptibility assessment using a novel hybrid model of statistical bivariate methods (FR and WOE) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) at southern Zagros Mountains in Iran. *Environmental Earth Sciences*, 76 (6), 237.
- Ajal Louian, R., Mir Sanei, R. & Fatehi, L. (2013). *Applied Landslide Recognition and Analysis*. Isfahan. University Jihad Publications (In Persian).
- Asghari, S. & Blavasi, I. A. (2018). Comparison of artificial neural network model with fuzzy logic model in landslide risk assessment Case study: Seymareh Chenar catchment.

- Quantitative Geomorphological Research*, 7 (2), 158-182 (In Persian).
- Ayalew, L. & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based Logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yaahiko Mountains, central Japan, *Geomorphology*, 65, 15-31.
- Baboli Mukher, H., Shirani, C. & Taghian, A. (2017). Evaluation of landslide sensitivity zoning map using a combination of reliability factor and logistic regression using geomorphometric indices. *Quantitative Geomorphological Research*, 7 (3), 116 (In Persian).
- Broeckx, J., Vanmarcke, M., Duchateau, R. & Poesen, J. (2018). A data-based landslide susceptibility map of Africa. *Earth-Science Reviews*, October 2018, 102-121. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.002>.
- Chang, J. M., Chen, H., Jou, B. J. D., Tsou, N. C. & Lin, G. W. (2017). Characteristics of rainfall intensity, duration, and kinetic energy for landslide triggering in Taiwan. *Engineering Geology*, 231, 81-87.
- Chen, W., Xie, X., Peng, J., Wang, J., Duan, Z. & Hong, H. (2017). GIS-based landslide susceptibility modelling: a comparative assessment of kernel logistic regression, Naïve-Bayes tree, and alternating decision tree models. *Geomatics. Natural Hazards and Risk*, 1-24.
- Colkesen, I., Sahin, E. & Kavzoglu, T. (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.
- Dai, F. C. & Lee, C. F. (2012). Land slide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau, *Hong kong Geomorphology*, 42, 213-228.
- Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A. & Hack, R. (2010). Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*, 114 (4), 627-637.
- Dou, J., Yamagishi, H., Pourghasemi, H. R., Yunus, A. P., Song, X., Xu, Y. & Zhu, Z. (2015). An integrated artificial neural network model for the landslide susceptibility assessment of Osado Island, Japan. *Natural Hazards*, 78 (3), 1749-1776.
- Foerster, S., Wilczok, C., Brosinsky, A. & Segl, K. (2017). Assessment of sediment connectivity from vegetation cover and topography using remotely sensed data in a dryland catchment in the Spanish Pyrenees. *Soils Sediments* 14, 1982-2000.
- Gigovic, L., Drobnjak, S. & Pamucar, D. (2019). The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi- Criteria Decision Analysis Best–Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping, International. *Jornal of Geo-Information*, 8 (2), 1-29.
- Hanifinia, A., Nazarnejad, H., Najafi, S. & Kornejady, A. (2021). Prioritization of Effective Factors on Landslide Occurrence and Mapping of its Sensitivity in CherikAbad Watershed, Urmia Using Shannon Entropy Model. *Watershed Management Reserch*, 33 (4), 32-48.
- Haque, U., Paula, F. D., Silva Graziella, Devoli., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilpoi, W., Andersen, P., Luk, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D. & Wuo, J. H., (2019). The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995-2014). *Science of The Total Environment*, 682, 673-684.
- Le, L., Lin, Q. & Wang, Y. (2017). Landslide susceptibility mapping on a global scale using the method of logistic regression. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17 (8), 1411.
- Li, Z., Lianghao, H., Linyu, F., Jinsong, H., Faming, H., Jiawu, C., Zihe, Z. & Yuhao, W. (2020). Landslide Susceptibility Prediction Modeling Based on Remote Sensing and a Novel Deep Learning Algorithm of a Cascade-Parallel Recurrent Neural Network. *Sensors (Basel)*, 20 (6), 1576.
- Moazez, S., Rustaei, Sh. & Rahimpour, T. (2019). Landslide risk zoning in Nahand Chay catchment using ANP model and GIS technique. *Quantitative Geomorphological Research*, 8 (2), 23-37 (In Persian).
- Mohammadnia, M. & Fallah Qalehri, Gh. A. (2017). Simulation of landslide probability using

- fuzzy logic and hierarchical analysis process. *Applied Research in Geographical Sciences*, 18 (48), 130-115 (In Persian).
- Naseri, A., Hejazi, A. & Rezaei Moghadam, M. H. (2020). Landslide risk zoning using artificial neural network model downstream of Sanandaj Dam. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 10 (1), 19-19 (In Persian).
- Nojavan, M. R. Shah Zaidi, S., Davoodi, M. & Amin al-Ruayaei, H. (2019). Landslide zoning using two models of hierarchical and fuzzy analysis process (Case study: Kameh watershed, Isfahan province). *Quantitative Geomorphological Research*, 7 (4), 159-142 (In Persian).
- Pham, B. T., Jaafari, A., Prakash, I. & Bui, D. T. (2019). A novel hybrid intelligent model of support vector machines and the MultiBoost ensemble for landslide susceptibility modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78 (4), 2865-2886.
- Polykretis, C. & Chalkias, C. (2018). Comparison and evaluation of landslide susceptibility maps obtained from weight of evidence, logistic regression, and artificial neural network models. *Natural hazards*, 93 (1), 249-274.
- Rajabi, M., Tak Zare, A. & Rezaei Moghadam, M. H. (2020). Landslide risk potential zoning using the studied neural network model: Qazvin Province catchment area. *Quantitative Geomorphology Quarterly*, 9 (3), 185-171 (In Persian).
- Rossi, M., Guzzetti, F., Salvati, P., Donnini, M., Napolitano, E. & Bianchi, C. (2019). A predictive model of societal landslide risk in Italy, *Earth-Science Reviews*, 196, 1-19.
- Rustaei, Sh., Hejazi, A., Rajabi, M., Jalali, N., Najafi Igdar, A. (2019). Application of fuzzy logic in landslide risk zoning in Nazlouchai watershed. *Quantitative Geomorphological Research*, 6 (4), 103-119 (In Persian).
- Sharma, S. & Mahajan, A. K. (2019). A comparative assessment of information value, frequency ratio and analytical hierarchy process models for landslide susceptibility mapping of a Himalayan watershed, India. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78 (4), 2431-2448.
- Shirzadi, A., Soleimani, K., Habibnejad, M., Kavian, A. & Chapi, K. (2017). A Novel Ensemble Algorithm Based Model for Shallow Landslide Susceptibility Assessment Around the Bijar Cityl. *Geography and Development Iranian Journal*, 15 (46), 225-246.
- Vojtekova, J. & Vojtek, M. (2020). Assessment of landslide susceptibility at a localspatial scale applying the multi-criteria analysisand GIS: a case study from Slovaki, *Geomatics. Natural Hazards and Risk*, 11 (1), 131-148.

