Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

Zoning Landslide Hazard in the Masal to Gilvan Road Using a Neural Network Algorithm

Sayyad Asghari Saraskanroud [1]✉ | Zahra Sharifi [2] | Zahra Shahbazi [3]

1. Corresponding author, Department of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: s.asghari@uma.ac.ir
2. Department of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: sharifi1364@yahoo.com
3. Department of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: zahra.shahbazi771@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 13 October 2024
Accepted 05 March 2025
Published online 11 March 2025

Keywords:
Zoning,
Landslide,
Neural Network,
Algorithm.

ABSTRACT

Objective: Landslides, as one of the most dangerous natural hazards in mountainous regions, continuously threaten human infrastructure, especially roads and transportation routes. Their occurrence often results in significant loss of life and property, making it crucial to study and assess landslide hazards for effective zoning. The purpose of this research is to zone the landslide hazard along the Masal to Gilvan road using a neural network algorithm. The neural network algorithm is recognized as one of the most effective machine learning models, capable of solving complex problems in prediction and classification despite its simplicity.

Methods: For this zoning analysis, nine influencing factors were considered: (1) geology, (2) vegetation cover, (3) slope, (4) land use, (5) distance from the road, (6) slope aspect, (7) elevation, (8) distance from fault lines, and (9) distance from rivers. The data were prepared, preprocessed, and then entered into MATLAB 2018. A neural network model was designed and implemented with 9 input neurons, 8 hidden neurons, and 1 output neuron.

Results: The results indicated that the four most influential factors, ranked by weight, were: slope (0.24), vegetation cover (0.17), distance from fault lines (0.14), and geology (0.11). Final validation using the ROC curve showed that the AUC values were 0.854 for the training phase and 0.971 for the testing phase, both of which reflect highly favorable results. The error rate was found to be very low.

Conclusions: Preventing landslides in this area requires preserving vegetation and preventing inappropriate human interventions. Preserving vegetation and sustainable development based on environmental planning can play an effective role in reducing landslide risk.

Cite this article: Asghari Saraskanroud, S., Sharifi, Z., & Shahbazi, Z. (2025). Zoning Landslide Hazard in the Masal to Gilvan Road Using a Neural Network Algorithm. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 11 (4), 45-60. http//doi.org/10.61186/jsaeh.11.4.6

© The Author(s)
Publisher: Kharazmi University
DOI: https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.4.6

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Landslides are one of the most common geomorphological phenomena in mountainous areas, occurring due to various geological, geomorphological, hydrological, and anthropogenic factors. These events can lead to significant economic, social, and environmental damages, posing serious threats to infrastructure such as roads, bridges, power transmission lines, and residential areas. In recent years, increasing construction activities and the expansion of transportation networks in mountainous regions have exacerbated landslide occurrences. The Masal-Gilvan Road, due to its geographical location and topographic features, is highly susceptible to landslides. Identifying landslide-prone areas and zoning them is a crucial step towards crisis management, damage reduction, and optimal planning for sustainable development. With the advancement of modern technologies, artificial intelligence and machine learning models have gained attention among researchers for analyzing and predicting geomorphological phenomena. The artificial neural network (ANN) algorithm, as one of the most powerful machine learning tools, can identify complex patterns and provide highly accurate landslide predictions. This study aims to zone landslide hazard along the Masal-Gilvan Road using the ANN algorithm.

Methods

The study area, the Masal-Gilvan Road, is located within the provinces of Gilan and Ardabil and serves as one of the key transportation routes in this region. Due to its passage through mountainous areas, the road exhibits multiple geomorphological complexities, and the frequent landslides in recent years have heightened the importance of its assessment and zoning. In this study, nine influential factors were considered for landslide hazard analysis, including: geology, vegetation cover, slope, land use, distance from roads, slope aspect, elevation, distance from faults, and distance from rivers. The data utilized included geological maps, digital elevation models (DEM), Sentinel-2 satellite imagery, and field survey data. The initial data processing was performed using ArcGIS 10.8, and after preparing the required layers, the data were transferred to MATLAB 2018. The designed artificial neural network model consisted of three main layers: Input layer: Comprising nine neurons, each representing one of the nine influencing factors. Hidden layer: Consisting of eight neurons, which processed the data and extracted relationships between input variables. Output layer: Delivering the final landslide hazard zoning results. To optimize model performance, the training process was repeated 250 times, and the data were divided into 70% for training and 30% for testing. Model accuracy was assessed using the ROC curve and the AUC metric.

Results

The modeling results indicated varying influences of different factors on landslide occurrences in the study area. Slope was identified as the most significant factor, accounting for 24% of the total weight, as steep slopes are more susceptible to landslides due to decreased stability and increased shear stress. Vegetation cover played a crucial role in reducing landslide risk, contributing 17% to the model. Areas with dense vegetation exhibited greater stability, while regions with sparse or no vegetation were highly prone to severe landslides. Distance from faults was also a key influencing factor, with a weight of 14%. Areas near fault lines, due to tectonic activity and earthquake-induced vibrations, were more susceptible to landslides. Geology accounted for 11% of the total weight, indicating that formations composed of loose and unconsolidated rocks had a higher potential for landslides.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

The final landslide hazard zoning map categorized the study area as follows: 29.7 km² in the very high hazard class, 38.2 km² in the high hazard class, 19.5 km² in the moderate hazard class, 27.5 km² in the low hazard class. These findings demonstrated that the western parts of the Masal-Gilvan Road, particularly around the Gilvan village, had the highest landslide risk, whereas the eastern sections with denser vegetation exhibited lower hazard levels. The model evaluation using the ROC curve showed that the AUC value was 0.854 for the training phase and 0.971 for the testing phase, confirming the high accuracy and minimal error in landslide prediction.

Conclusion

This study demonstrated that using the artificial neural network (ANN) algorithm for landslide hazard zoning is highly accurate and can serve as an effective tool for managing natural disaster risks. The findings highlighted that slope, vegetation cover, distance from faults, and geology were the most critical factors influencing landslide occurrence. One key insight from this research is the significant role of vegetation cover in reducing landslide risk. The deforestation, overgrazing, and uncontrolled expansion of road infrastructure in recent years have heightened the susceptibility of slopes to landslides. Additionally, tectonic activity and proximity to active faults have further intensified the occurrence of this phenomenon.

Author Contributions

All authors participated in data collection, preparation of the research report, and data analysis.

Data Availability Statement

Data is available upon request from the authors.

Acknowledgements

The respected referees are thanked for providing structural and scientific comments.

Ethical considerations

The author has observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by them.

Funding

This article has no sponsor.

Conflict of interest

According to the author's declaration, this article has no conflict of interest.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸ – ۵۱۴۶

Homepage: https://khu.ac.ir

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان با استفاده از الگوریتم شبکه‌عصبی

صیاد اصغری سراسکانرود [۱]✉ | زهرا شریفی [۲] | زهرا شهبازی [۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir

۲. گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sharifi1364@yahoo.com

۳. گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: zahra.shahbazi771@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

کلیدواژه‌ها:
پهنه‌بندی،
زمین‌لغزش،
شبکه عصبی،
الگوریتم.

چکیده

هدف: زمین‌لغزش یکی از خطرناک‌ترین مخاطرات طبیعی در نواحی کوهستانی همواره تأسیسات انسانی به‌ویژه جاده‌ها و محورهای ارتباطی را تهدید می‌کند و رخداد آن خسارات جانی و مالی بسیاری را همراه دارد لذا مطالعه و شناخت این مخاطره در جهت پهنه‌بندی خطر وقوع آن امری ضروری است. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان با استفاده از الگوریتم شبکه‌عصبی می‌باشد. الگوریتم شبکه‌عصبی جزء بهترین مدل‌های یادگیری ماشینی محسوب می‌شود که در عین سادگی توانایی حل مسائل پیچیده در امر پیش‌بینی و طبقه‌بندی را دارد.

روش پژوهش: برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش ۹ عامل تأثیرگذار به ترتیب: ۱- زمین‌شناسی ۲-پوشش گیاهی ۳- شیب ۴- کاربری اراضی ۵- فاصله از جاده ۶-جهت شیب ۷- ارتفاع ۸- فاصله از گسل ۹- فاصله از رودخانه استفاده‌شده است. بنابراین داده‌ها بعد از تهیه و پیش‌پردازی وارد نرم‌افزار متلب ۲۰۱۸ شده و مدل‌سازی الگوریتم شبکه‌عصبی با ۹ نورون ورودی ۸ نورون میانه و ۱ نورون خروجی طراحی و اجراشد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که چهار عامل که بیش‌ترین ارزش وزنی را داشته به ترتیب مربوط به لایه‌های شیب با مقدار ۰/۲۴ درصد، پوشش گیاهی با مقدار ۰/۱۷ درصد، عامل فاصله از گسل با مقدار ۰/۱۴ درصد، زمین‌شناسی با مقدار ۰/۱۱ می‌باشد. و صحت‌سنجی نهایی از خروجی با استفاده از نمودار ROC نشان داد که مقدار AUC عدد ۰/۸۵۴ در بخش آموزش و ۰/۹۷۱ در بخش تست شبکه هر دو در حالت بسیار مطلوب قرار دارند و میزان خطا بسیار پایین است.

نتیجه‌گیری: پیشگیری از زمین‌لغزش در این منطقه مستلزم حفظ پوشش گیاهی و جلوگیری از مداخلات انسانی نامناسب است. حفظ پوشش گیاهی و توسعه پایدار بر اساس برنامه‌ریزی محیطی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خطر زمین‌لغزش داشته باشد.

استناد: اصغری سراسکانرود، صیاد؛ شریفی، زهرا؛ و شهبازی، زهرا (۱۴۰۳). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان با استفاده از الگوریتم شبکه‌عصبی. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۱ (۴)، ۴۵-۶۰. https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.4.6

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

CC BY NC

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

مقدمه

در سال‌های اخیر، با رشد جمعیت و توسعه شهری، پیشرفت سریع تکنولوژی، شبکه‌های حمل‌ونقل و جاده‌های ارتباطی در سراسر جهان گسترش‌یافته‌اند. این گسترش نه‌تنها دسترسی و ارتباطات را تسهیل کرده، بلکه تأثیرات عمیقی بر اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه در مناطق کوهستانی گذاشته است (آلبرتی[1]، ۲۰۲۰). هم‌چنین شبکه‌های ارتباطی به‌عنوان یکی از عوامل مهم در تغییر و تخریب سیستم‌های مورفودینامیکی شناخته می‌شوند و در صورت مدیریت نادرست، می‌توانند منجر به تغییرات زیست‌محیطی گسترده‌ای شوند که تعادل طبیعی این مناطق را بر هم می‌زنند (جاکارد[2] و همکاران، ۲۰۰۲۰). زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان یکی از متداول‌ترین مخاطره‌های مناطق کوهستانی در سراسر جهان محسوب می‌شود و رخداد این پدیده هرساله خسارات سنگینی را از نظر جانی و مالی به‌دنبال دارند که شامل تخریب جنگل‌ها، زمین‌های زراعی حاصلخیز، مناطق مسکونی، شبکه‌های حمل‌ونقل و هم‌چنین بخش گردشگری است (کریمی سنگ‌چینی و همکاران، ۱۴۰۲).

زمین‌لغزش عبارت است از جابه‌جایی مواد روی دامنه‌ها به سمت پایین‌دست که تحت تأثیر نیروی جاذبه بوده و سرعت آن می‌تواند از بسیار آرام تا سریع، متغیر باشد (گوزتی[3]، ۲۰۰۶). این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که نیروی ناشی از وزن سطحی مواد از از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک بیش‌تر شود (شوکلا و زاهد[4]، ۲۰۱۱). چنین شرایطی، توده‌های خاک یا سنگ نمی‌توانند به‌درستی در جای خود باقی بمانند و حرکت به سمت پایین دامنه آغاز می‌شود (علی‌پور و ملکیان، ۱۳۹۴). عواملی نظیر زلزله، بارندگی و ذوب برف به همراه فعالیت‌های انسانی از قبیل ساخت جاده‌ها، سازه‌ها و عملیات معدن‌کاری می‌توانند به‌عنوان عواملی که وقوع زمین‌لغزش را در مناطق مختلف، به‌ویژه در نواحی کوهستانی، تشدید می‌کنند، مطرح شود (هوات و جمال الدین[5]، ۲۰۰۵). شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع مخاطرات دامنه‌ای و ارزیابی خطرات مرتبط با این پدیده در نواحی مختلف، ازجمله نیازهای اساسی و حیاتی برای برنامه‌ریزان به شمار می‌آید (وهاب‌زاده و همکاران، ۱۴۰۳).

با توجه به تنوع زیاد وقوع پدیده زمین‌لغزش، هیچ روش استانداردی برای شناسایی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع آن وجود ندارد، اما با به‌کارگیری مدل‌های علمی، می‌توان ابزارهای دقیقی را برای آماده‌سازی و بهینه‌سازی نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش و هم‌چنین مدل‌های پیش‌بینی برای لغزش‌ها فراهم کرد که این امر می‌تواند مشکلات مربوط به شناسایی و پهنه‌بندی خطر را کاهش دهد (متن[6]، ۲۰۱۵). لذا، ایجاد یک استراتژی ایمن به‌منظور حفاظت از منابع انسانی و طبیعی و کاهش خسارات ناشی از این پدیده، برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار اهمیت زیادی دارد (حاتمی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۱). هم‌چنین، توسعه یک مدل مناسب و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش می‌تواند به مراجع ذی‌صلاح در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی کمک شایانی نماید.

کشور ایران به‌دلیل داشتن توپوگرافی کوهستانی و فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی بالا، به‌همراه شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی متنوع، محیطی مناسب برای وقوع پدیده زمین‌لغزش ایجاد کرده‌است. این پدیده‌ها نه‌تنها تهدیدی برای زیرساخت‌ها و امنیت جانی ساکنان مناطق کوهستانی هستند، بلکه تأثیرات عمیقی بر اکوسیستم‌های محلی و کشاورزی نیز می‌گذارند (زرگانی و علیم‌زاده، ۱۴۰۳). جاده ارتباطی ماسال به گیلوان به‌عنوان یک مسیر ارتباطی درجه ۲ شناخته می‌شود که استان گیلان را از شهر ماسال به شهرستان‌خلخال از ناحیه گیلوان وصل می‌کند که در پنج سال اخیر با توسعه شبکه ارتباطی در منطقه و عبور شبکه راه‌ها و آسفالت بخش زیاد از مسیرهای کوهستانی منطقه، اهمیت اقتصادی، گردشگری و مواصلاتی این محور موردتوجه قرارگرفته است. محور ارتباطی ماسال به گیلوان به‌خاطر قرارگیری در منطقه‌ی کوهستانی و شرایط ژئومورفیک و زمین‌شناسی خاص، مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. که در چند دهه‌ی اخیر با وقوع این نوع مخاطره، سبب ایجاد آسیب به زیرساخت‌های

[1] - Alberti
[2] - Jaccard
[3] - Guzzetti
[4] - Shukla & Zahid
[5] - Huat & Jamaludin
[6] - Meten

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

انسانی و خسارات جانی و مالی فراوانی شده است. بنابراین شناخت نواحی مستعد و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقه برای کاهش خسارات به وجود آمده امری ضروری است. هدف این پژوهش پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان با استفاده از الگوریتم شبکه‌عصبی می‌باشد.

پیشینه پژوهش

۱. پیشینه تجربی

در خصوص موضوع مورد بررسی مطالعات مختلفی در سطح ایران و خارج از آن انجام‌شده است که به‌طور مختصر به‌آن پرداخته‌شده است:

اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۱)، به ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره WLC، OWA، VIKOR و MABAC در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه گیوی‌چای استان اردبیل) پرداختند و نتایج نشان داد که مدل VIKOR نسبت به سایر مدل‌ها کارایی بیش‌تری دارد. صدیقی و همکاران (۱۴۰۲)، به مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. محققین در این پژوهش از مدل رگرسیون‌لجستیک برای مدل‌سازی زمین‌لغزش استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که به ترتیب جنس و شیب زمین، مؤثرترین عوامل در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه است. پس‌ازآن فاکتورهای فاصله از جاده‌های ارتباطی و در انتها میزان بارش بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد زمین‌لغزش در منطقه دارند. زارعی و همکاران (۱۴۰۲)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز بیونیژ، استان‌کرمانشاه پرداختند. در این تحقیق از مدل LIM استفاده‌شده و نتایج نشان داد حدود ۳۴ درصد منطقه در محدود خطر زیاد تا خیلی‌زیاد، حدود ۴۱ درصد منطقه در محدوده پتانسیل کم تا خیلی‌کم خطر و مابقی منطقه در محدوده با پتانسیل متوسط وقوع زمین‌لغزش واقع شده‌اند. مددی و تقی‌زاده (۱۴۰۳)، به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در گردنه صائین (محور ارتباطی شهر اردبیل_سراب) پرداختند در این تحقیق از روش ANP جهت مدل‌سازی استفاده‌شده است و نتایج نشان داد که مناطق پرخطر بیش‌تر در شیب ۱۰-۴۰ درصد، در مناطقی با میزان بارندگی ۳۰۰-۴۵۰ میلی‌متر و در فواصل نزدیک از جاده ارتباطی، رودخانه و گسل قرار دارند. اسفندیاری و همکاران (۱۴۰۳)، به شناسایی عوامل‌مؤثر بر زمین‌لغزش در جاده آستارا تا تونل نمین با استفاده از مدل MLP پرداختند و نتایج نشان داد که خروجی وزنی مدل MLP بیش‌ترین ارزش وزنی را برای لایه زمین‌شناسی با مقدار ۰/۲۶ برای لایه کاربری اراضی و فاصله از جاده به ترتیب مقدار ۰/۱۴ و ۰/۱۳ اختصاص داده است. هم‌چنین در بخش اعتبارسنجی مدل مقدار AUC عدد ۰/۹۴۸ در بخش آموزش و ۰/۹۶۲ در بخش تست شبکه را نمایش می‌دهد که گویای این است که مدل هم در بخش آموزش و هم در بخش تست دارای اعتبار بالایی می‌باشد.

کاساگلی و نیکولا[1] (۲۰۲۳)، به پایش و پیش‌بینی زمین‌لغزش با تکنیک‌های سنجش‌ازدور پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که مدیریت مؤثرتر خطر زمین‌لغزش مستلزم استفاده بیش‌تر از big data، استفاده استراتژیک‌تر از منابع نظارتی و ارتباط بهتر با ساکنان مناطق مستعد زمین‌لغزش است. شو[2] و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی کاربرد سنجش‌ازدور در مطالعات زمین‌لغزش در کشور چین پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که در طول دو دهه گذشته، روش‌ها و استراتژی‌های بررسی زمین‌لغزش با توسعه سریع فناوری‌های سنجش‌ازدور در چین، به‌ویژه پس از زمین‌لغزش (شینمو[3]، ۲۰۱۷) به‌شدت تغییر کرده است و بررسی جامع زمین‌لغزش با ادغام رویکردهای چند رشته‌ای، ازجمله سنجش‌ازدور، زمین‌شناسی و اکتشافات ژئوفیزیکی، می‌تواند بهترین نتیجه را حاصل کند. گومز[4] و همکاران (۲۰۲۳)، به توزیع مکانی و زمانی زمین‌لغزش با استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی جهانی و باز زمین‌لغزش پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که از تجزیه‌وتحلیل پایگاه داده UGLD، قاره‌های آمریکا و آسیا را به‌عنوان

[1] - Casagli& Nicola
[2] - Xu
[3] - Xinmo
[4] - Gómez

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

قاره‌هایی با بیش‌ترین تعداد زمین‌لغزش و تلفات مرتبط نشان می‌دهد. هی[1] و همکاران (۲۰۲۴)، به کاربرد هوش‌مصنوعی در سه بعد ارزیابی خطر زمین‌لغزش بررسی جامع پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که در بین الگوریتم‌ها، شبکه‌های عصبی‌کانولوشن (CNN) و شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) دو مدلی هستند که بیش‌ترین استفاده را با نتایج رضایت‌بخش در ارزیابی خطر زمین‌لغزش دارند. هونگ[2] و همکاران (۲۰۲۴)، به مدل‌سازی پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش: بررسی و ساخت نظریه نامتعادل نیمه نظارت‌شده پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که دقت ROC و نرخ پیش‌بینی مدل RF نامتعادل نیمه‌نظارت‌شده با نسبت‌های نامتعادل از ۱/۱ به ۱/۱۶۰ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین، نتایج نظریه نامتعادل نیمه نظارت‌شده زمانی کارآمد است که نسبت زمین‌لغزش به غیر زمین‌لغزش، ۱/۱۶۰ درصد باشد، بنابراین نتایج مدل نهایی از دقت کافی برخوردار است. لئو[3] و همکاران (۲۰۲۴)، به پهنه‌بندی حساسیت لغزشی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در منطقه بزرگ شیان، چین پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق حساس به زمین‌لغزش متوسط تا بسیار زیاد قادر به مهار ۸۲/۵۸ درصد از زمین‌لغزش‌های تاریخی هستند. زمین‌لغزش از جمله خطرناک‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شوند که می‌تواند خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی به همراه داشته باشد. جاده ارتباطی ماسال به گیلوان به دلیل قرار گرفتن در یک منطقه کوهستانی، شاهد وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد بوده که خسارات زیادی را در این ناحیه به وجود آورده است. بنابراین، شناسایی نواحی مستعد این مخاطرات به‌منظور اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و مدیریت بحران، امری ضروری و حیاتی به‌شمار می‌آید.

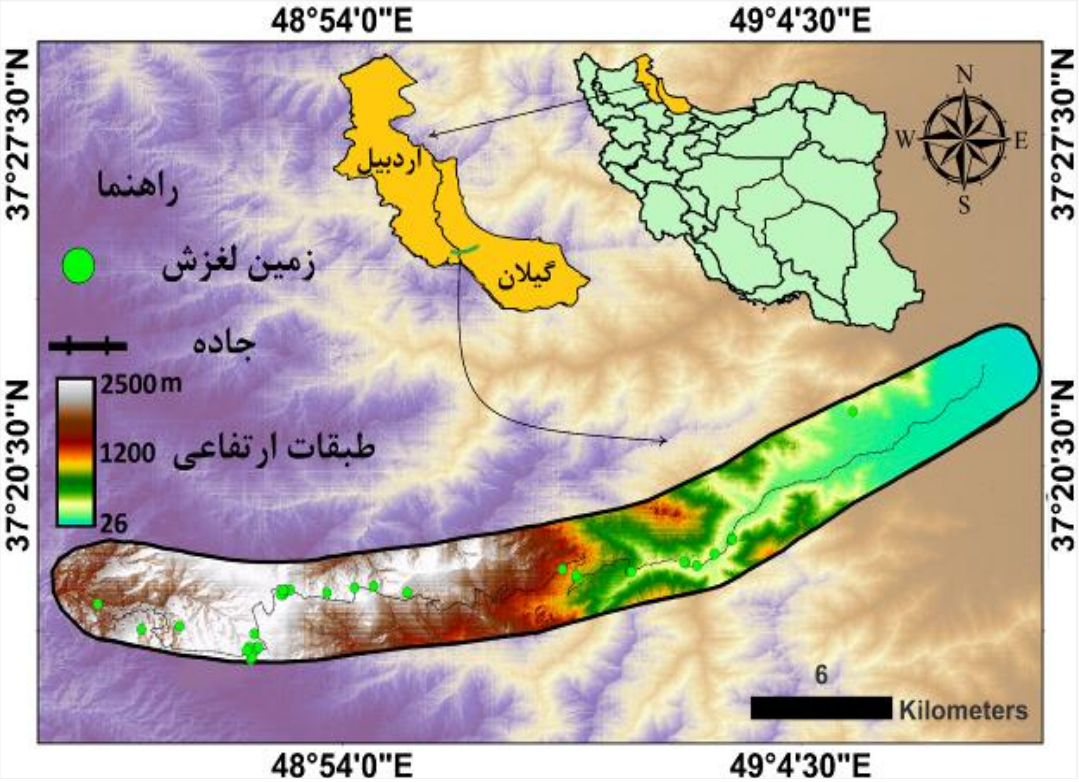
روش شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

جاده ارتباطی ماسال به گیلوان به طول ۵۹ کیلومتر در ناحیه غربی استان گیلان و اردبیل با مختصات جغرافیایی ۳۷° درجه'۲۰ دقیقه "۴۰ ثانیه تا ۳۷° درجه ' ۲۷ دقیقه "۳۰ ثانیه عرض شمالی و۴۸° درجه '۵۴ دقیقه"۰۰ ثانیه تا ۴۹° درجه '۴ دقیقه "۳۰ ثانیه طول شرقی قرار دارد (شکل۱). محور موردنظر تا مرکز استان گیلان (شهر رشت) ۵۵ و به شهرستان خلخال از محور موردنظر ۱۲۰ کیلومتر فاصله وجود دارد. جاده ماسال به گیلوان به‌عنوان یک جاده درجه ۲، در یک دهه اخیر به یکی از مناطق توریستی استان گیلان و اردبیل تبدیل‌شده و وجود جنگل‌های هیرکانی و وجود گردنه‌های پر پیچ‌وخم کوهستانی همراه با اقلیم مناسب سبب‌شده که مسافران زیادی در ایام سال به منطقه مورد مطالعه مراجعه کنند. از ارتفاعات منطقه می‌توان به رشته‌کوه‌های تالش در ناحیه غربی اشاره کرد که بیش‌ترین ارتفاع منطقه ۲۵۰۰ متر و کم‌ترین ارتفاع ۲۶ متر مربوط به خود شهر ماسال است. در مسیر جاده ماسال به گیلوان سازندهای مختلفی دیده می‌شود، در نزدیکی شهر ماسال رسوبات جدیدتر به سن کواترنری که شامل رسوبات عهد حاضر و پادگانه‌های آبرفتی است، قرار دارد. از ۱۰ کیلومتری شهر ماسال تا غربی‌ترین بخش منطقه بیش‌تر سنگ‌های منطقه از نوع سنگ‌های دگرگونی همراه با آندزیت، آهک و شیل را شامل می‌شود که قدیمی‌ترین آن‌ها مربوط به اواسط پالئوزویک است. این منطقه از نظر تکتونیکی بسیار فعال است و تحت تأثیر دوره‌های مختلف کوه‌زایی، ساختارهای چین‌خورده متعددی مانند طاقدیس و ناودیس در آن قابل‌مشاهده هستند. درنتیجه این فعالیت‌های تکتونیکی، گسل‌ها و شکستگی‌های متعددی در منطقه شکل‌گرفته‌اند (وهاب‌زاده، ۱۴۰۲). که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به گسل‌های امتداد رودخانه خالکایی اشاره کرد.

[1] - He
[2] - Huang
[3] - Liu

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

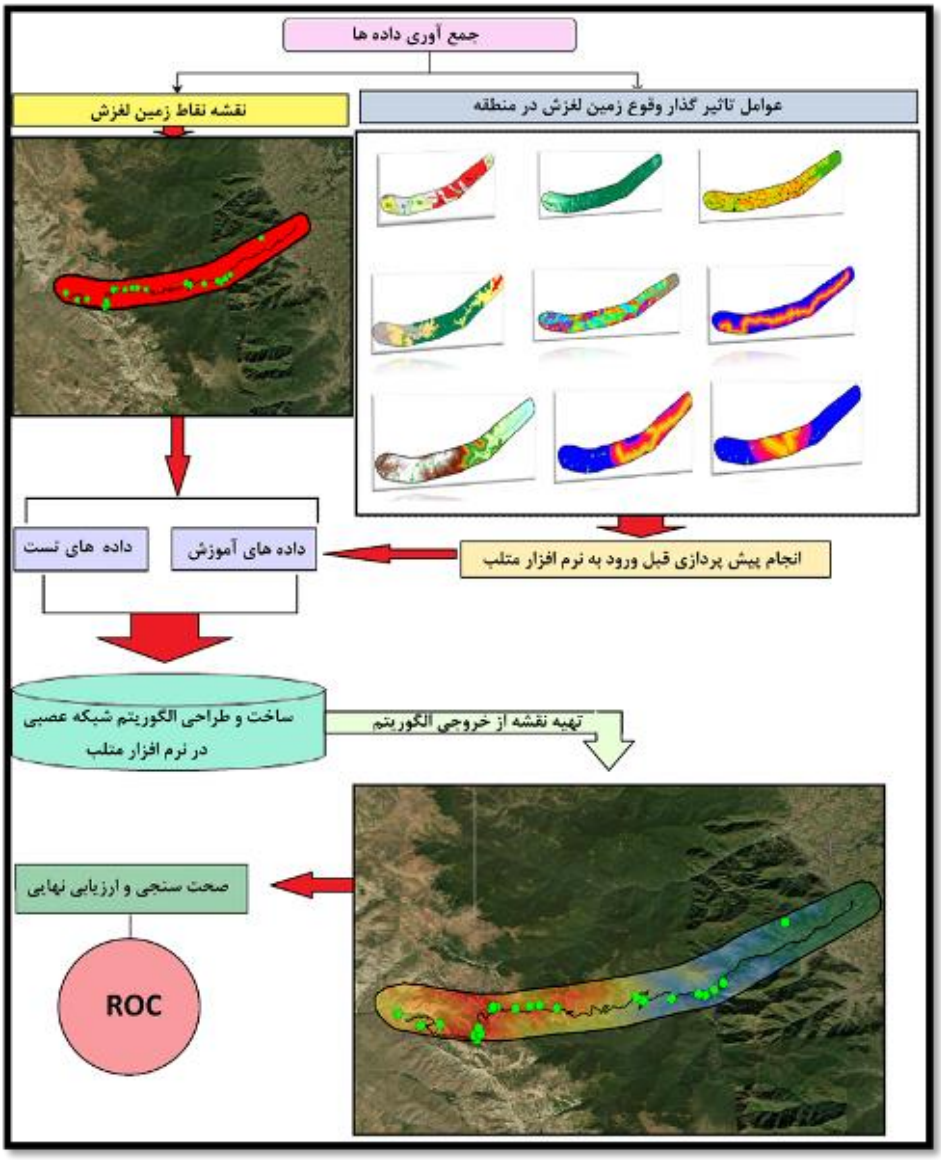


شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

۲. داده‌ها و روش کار

در پروسه انجام این پژوهش از داده و اطلاعات مختلفی استفاده‌شده است که شامل: نقشه زمین‌شناسی رضوان‌شهر و نقشه زمین-شناسی ماسوله با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که نقشه مربوط به سازندهای زمین‌شناسی از این نقشه اخذشده است، نقشه توپوگرافی استان‌گیلان و شهرستان‌خلخال با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ که لایه‌های مربوط به جاده از این نقشه برداشت‌شده است، از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ مربوط به ماهواره ALOS – PALSAR و هم‌چنین از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ مربوط به سال ۲۰۲۴ ماه ژوئن برای کاربری اراضی با ضریب کاپای ۸۷/۲ درصد و شاخص پوشش‌گیاهی استفاده‌شده است. هم‌چنین برای برداشت مناطق خطرناک به‌لحاظ زمین‌لغزش از دستگاه GPS استفاده‌شده است. تمام داده‌های مورداستفاده برای آماده‌سازی در مرحله اول وارد نرم‌افزار Arc GIS.10.8 شده و پردازش مقدماتی روی تمام لایه‌ها انجام‌شده است، سپس داده‌ها جهت مدل‌سازی به نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ وارد شدند و کار طراحی و ساخت الگوریتم شبکه‌عصبی در جهت پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش انجام‌شده است (شکل۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]



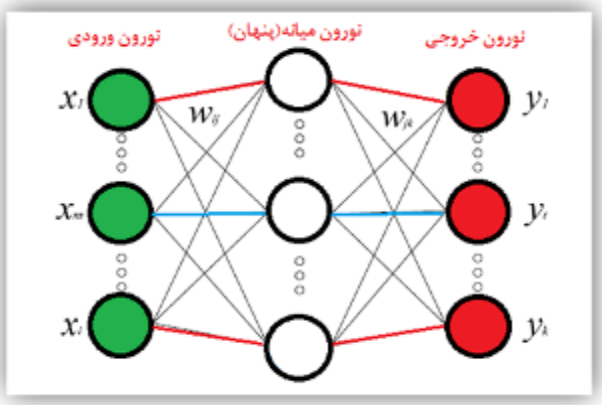
شکل ۲. نمودار جریانی تحقیق

روش‌های آماری کامل به دلیل امکان درک بهتر روابط بین زمین‌لغزش‌ها و عوامل آماده‌ساز و تضمین سطوح پایین‌تر ذهنیت نسبت به روش‌های اکتشافی، بیش‌تر مورد ترجیح مؤسسات علمی و پژوهشی قرار می‌گیرند (ارمینی[1] و همکاران، ۲۰۰۵). بسیاری از الگوریتم‌های شبکه عصبی ارتباط نزدیکی با روش‌های آماری دارند و در کاربرد الگوریتم شبکه‌های عصبی برای ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش، به‌عنوان مدل‌های "جعبه سیاه" طبقه‌بندی می‌شوند (بی شوپ[2]، ۱۹۹۹۵). الگوریتم شبکه‌عصبی بر اساس یک ساختار خود سازمان‌دهنده بناشده است که به سیستم عصبی بیولوژیکی مغز پستانداران به‌ویژه انسان شباهت دارد هم‌چنین بیش‌تر مدل‌ها از واحدهای پردازشی ساده و به‌شدت مرتبط (نورون‌ها) تشکیل‌شده‌اند که دائماً با یکدیگر در ارتباط هستند، به‌طور مداوم، نورون‌ها در لایه‌های مختلف قرار دارند و شبکه‌های عصبی‌مصنوعی بر اساس تعداد لایه‌ها و روش‌های آموزش متفاوت می‌شوند (لی [3]و همکاران، ۲۰۱۹). الگوریتم شبکه‌عصبی از سه لایه شامل: ۱- نورون ورودی ۲- نورون‌میانه ۳- نورون خروجی تشکیل‌شده است (شکل۳). که هر لایه وظایف خاص خود را بر عهده دارد و تعداد نورون‌ها و توابع فعال‌سازی هر لایه با استفاده

[1] - Ermini
[2] - Bishop
[3] - Li

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

از آزمون و خطا و با هدف دستیابی به بهترین عملکرد، مشخص می‌شود (دیموث[1]، ۲۰۰۰). اتصالات بین واحدهای پردازشی از طریق وزن‌ها به‌طور فیزیکی نشان داده می‌شوند و هر نورون دارای قانونی برای جمع‌کردن وزن‌های ورودی و هم‌چنین قانونی برای محاسبه مقدار خروجی است و از این طریق مدل با استفاده از توابع انتقال تکمیل می‌شود که ارتباط بین لایه‌ها را ممکن ساخته و خروجی نورون را تولید می‌کند (لی [2]و همکاران، ۲۰۲۳). بزرگ‌ترین مزیت الگوریتم شبکه‌عصبی ساختار ساده و سرعت محاسبه سریع آن است، اما به دلیل استفاده از تابع فعال‌سازی خطی، احتمال میزان سنجش خطا وجود دارد (دلشادپور[3]، ۲۰۰۳). ازاین‌رو، بهینه‌سازی روش‌های یادگیری و انتخاب مناسب‌ترین توابع فعال‌سازی، می‌تواند دقت مدل را بهبود بخشیده و کارایی آن را در مطالعات مربوط به زمین‌لغزش افزایش دهد.



شکل ۳. تصویر ساختار الگوریتم شبکه عصبی

الگوریتم شبکه عصبی برای محاسبه نورون‌های وردی از دستور زیر استفاده می‌کند، (منهاج، ۱۳۸۸).

$$xj = \sum w_{ij} I_i$$ رابطه (۱)

در رابطه فوق، x ورودی است که به نورون منفرد j داده می‌شود wij نیز به اوزان بین نورون i و نورون j اشاره دارد و خروجی نورون i مربوط به لایه ورودی یا پنهان است. خروجی نورون j از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (منهاج، ۱۳۸۸).

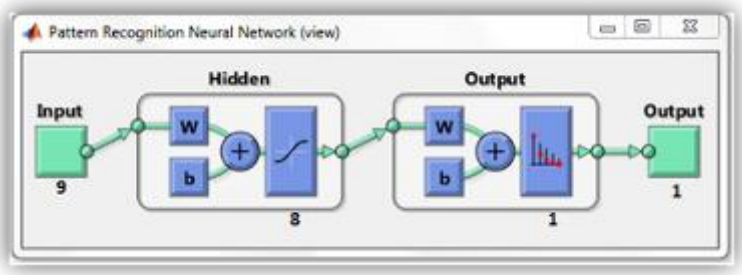
$$O_j = f(x_j)$$ رابطه (۲)

تابع f معمولاً یک تابع سیگموئیدی غیرخطی است که تناسب با هدف لایه‌های ورودی طراحی و به مدل اضافه‌شده است. الگوریتم شبکه‌عصبی جهت مدل‌سازی نیازمند دو دسته داده‌های آموزشی، آزمایشی است، داده‌های آموزشی به‌منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌شده توسط مدل استفاده می‌شود. و بخش سوم داده‌ها که همان داده‌های مربوط به صحت‌سنجی نهایی است از دو داده آموزشی و آزمایشی اخذ می‌شود. در جهت مدل‌سازی زمین‌لغزش در برنامه متلب نسخه ۲۰۱۸ با ۹ مورد از لایه‌ها به‌عنوان ورودی به شبکه معرفی شدند و برای شبکه موردنظر ۸ نورون پنهان معرفی شد (شکل۴). ۸ نورون پهنان در میان نورون‌های ورودی قرار می‌گیرد و کار پردازش و انتقال اطلاعات به لایه‌های دیگر را برای اخذ ویژگی‌ها و الگوهای پیچیده‌تر را فراهم می‌کنند. پس از اتمام کار طراحی و تنظیم پارامترهای الگوریتم شبکه‌عصبی، اقدام به یادگیری و پردازش می‌کند. در این خصوص تکرار یادگیری و فرایند آن میزان خطا را کاهش داده و سبب می‌شود که کیفیت خروجی افزایش یابد، که در خصوص مدل‌سازی انجام‌شده تکرار فاز یادگیری الگوریتم شبکه‌عصبی بر روی عدد۲۵۰ هدف‌گذاری شده و بعد از ۲۵۰ بار تکرار نتیجه اولیه را ایجاد می‌کند که در خصوص میزان خطای حاصل از مدل‌سازی باید اشاره کرد که میزان دقت اولیه الگوریتم شبکه‌عصبی بعد از ۲۵۰ بار تکرار در حالت مطلوب می‌باشد و با میزان ۹۷/۴ درصد موفقیت می‌توان به مراحل

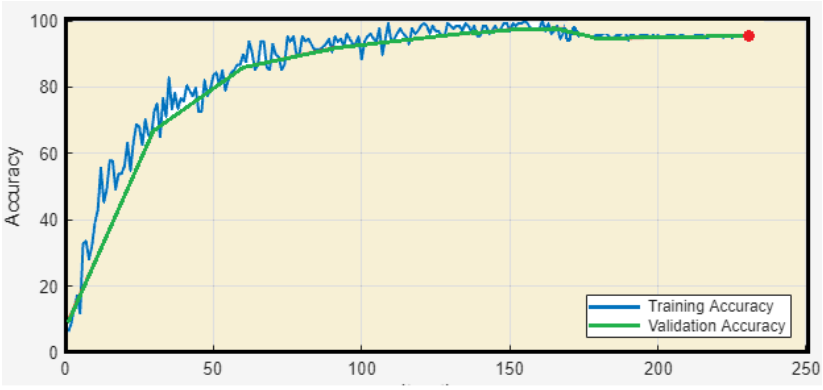
[1] - Demuth
[2] - Li
[3] - Delshadpour

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

نهایی در فرایند مدل‌سازی اعتماد کرد (شکل۵).



شکل ۴. تصویر نمونه مدل‌سازی در برنامه متلب



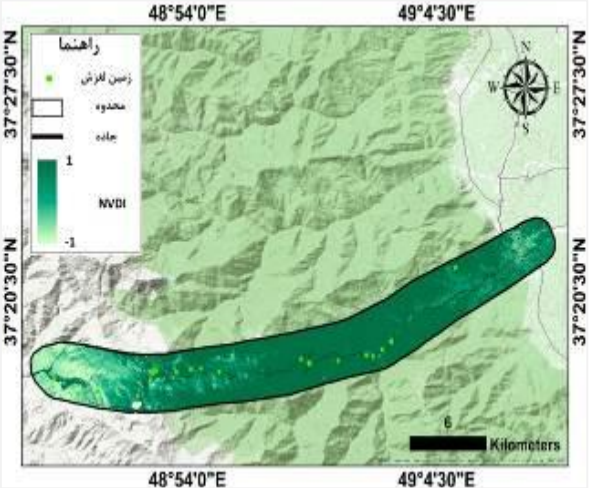
شکل ۵. نمودار میزان دقت و موفقیت الگوریتم شبکه عصبی در مدل‌سازی

یافته‌های پژوهش

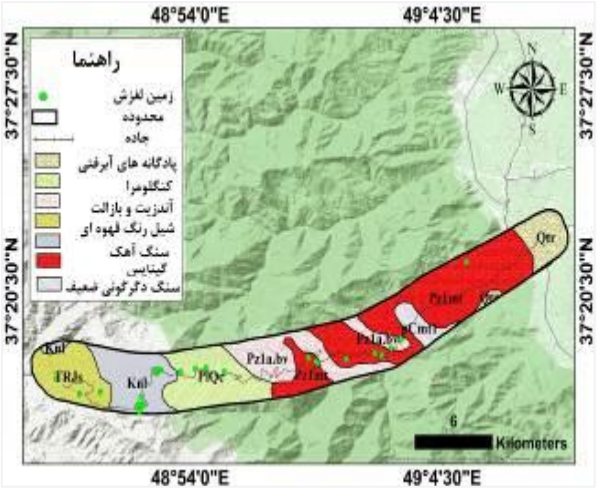
۱. تولید تصاویر رستری و مدل‌سازی

با توجه به بازدیدهای میدانی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان، ۹ لایه اطلاعاتی شامل: ۱-زمین‌شناسی ۲-پوشش گیاهی ۳- شیب ۴- کاربری اراضی ۵- فاصله از جاده ۶-جهت شیب ۷- ارتفاع ۸- فاصله از گسل ۹- فاصله از رودخانه، با فرمت تصاویر رستری تولید و برای مدل‌سازی مورداستفاده قرارگرفته شده است (شکل ۶ تا ۱۵). هم‌چنین از نقشه نقاط واقعی زمین‌لغزش نیز در فرآیند یادگیری و آموزش الگوریتم شبکه‌عصبی استفاده‌شده است. پس از تهیه لایه‌ها، تمام لایه‌های موردنظر به‌صورت منفرد در یک مقیاس استاندارد طبقه‌بندی شدند. لایه‌های طبقه‌بندی‌شده پس از هم‌پوشانی با لایه نقاط واقعی زمین‌لغزش با استفاده از ابزار محاسبات آماری در نرم‌افزار GIS.10.8 تبدیل به مقادیر عدد شده و پس از استخراج مقادیر سلولی لایه‌ها که با نقاط واقعی زمین‌لغزش هم‌پوشانی شده است در صورت نقش هر مقدار در زمین‌لغزش عدد ۱ و در صورت عدم تأثیر عدد ۰ به آن تعلق می‌گیرد. با توجه به مدل‌سازی در الگوریتم‌های یادگیری ماشینی که شبکه‌عصبی نیز بخشی از آن محسوب می‌شود، روش‌های مختلفی وجود دارد که در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش از الگوریتم شبکه‌عصبی استفاده‌شده است به‌منظور بهبود یادگیری شبکه، مقادیر ورودی پیش از پردازش در بازه ۰ تا ۱ نرمال‌سازی شدند (وهاب‌زاده، ۱۴۰۲). پس از تکمیل فرآیند پیش‌پردازش، مدل‌سازی در نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ با ۹ نورون ورودی با ۸ نورون میانه و ۱ خروجی انجام شد و ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد داده‌ها برای تست الگوریتم طراحی‌شده اختصاص داده شد.

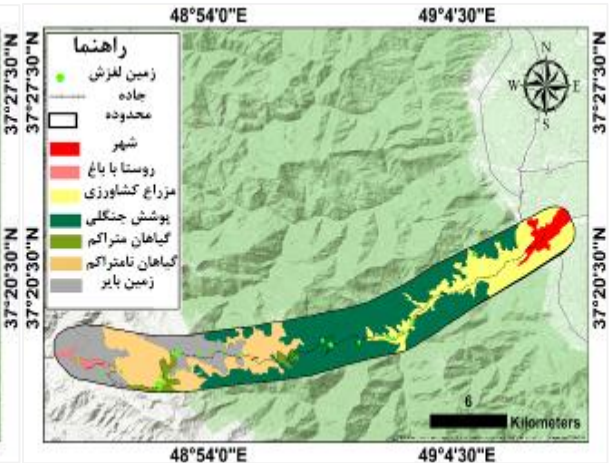
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]



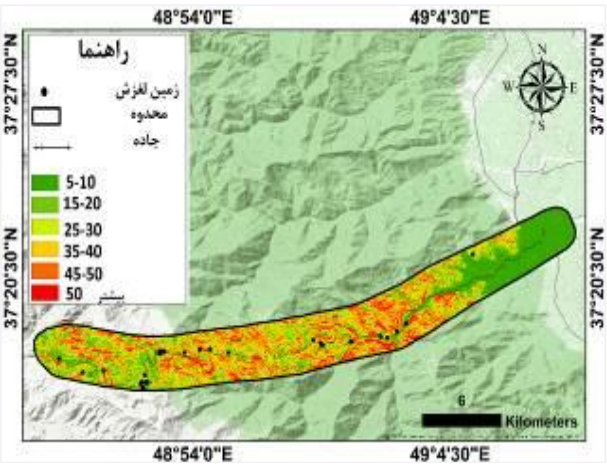
شکل ۶. نقشه زمین‌شناسی



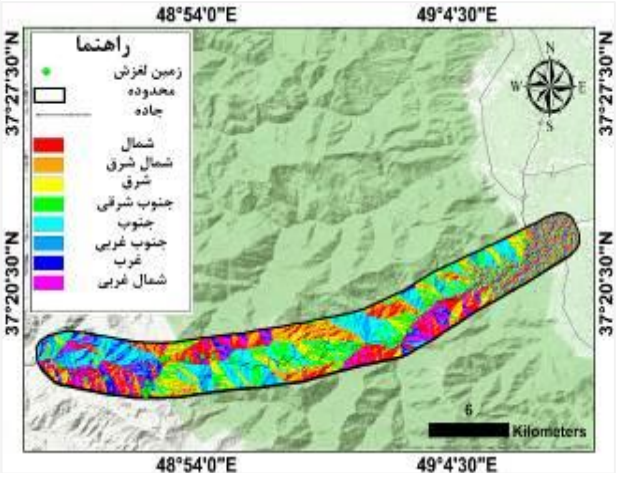
شکل ۷. نقشه شاخص پوشش گیاهی



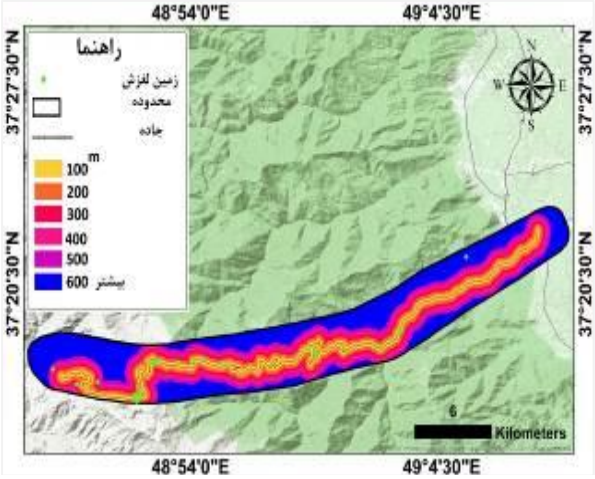
شکل ۸. نقشه شیب



شکل ۹. نقشه کاربری اراضی

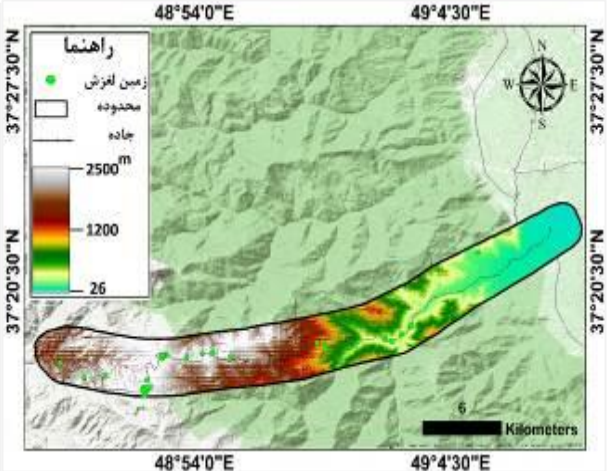


شکل ۱۰. نقشه فاصله از جاده

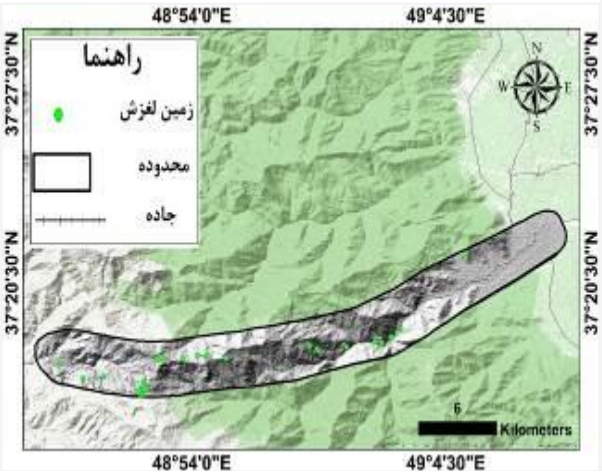


شکل ۱۱. نقشه جهت شیب

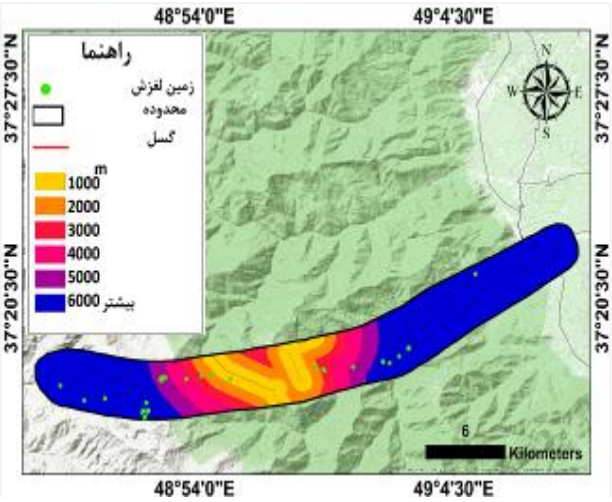
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]



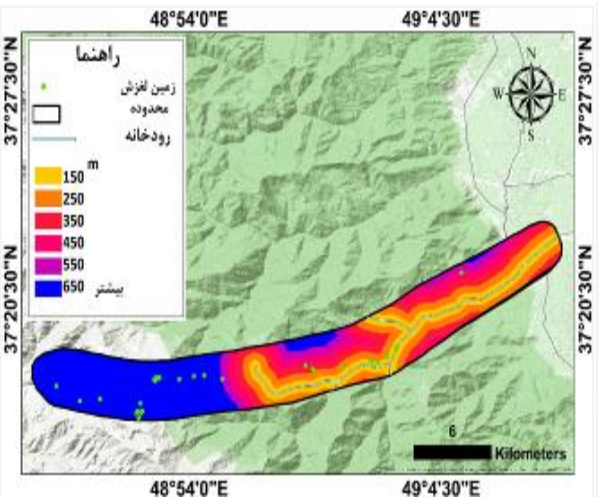
شکل ۱۲. نقشه نقاط واقعی زمین‌لغزش



شکل ۱۳. نقشه ارتفاع



شکل ۱۴. فاصله از رودخانه



شکل ۱۵. فاصله از گسل

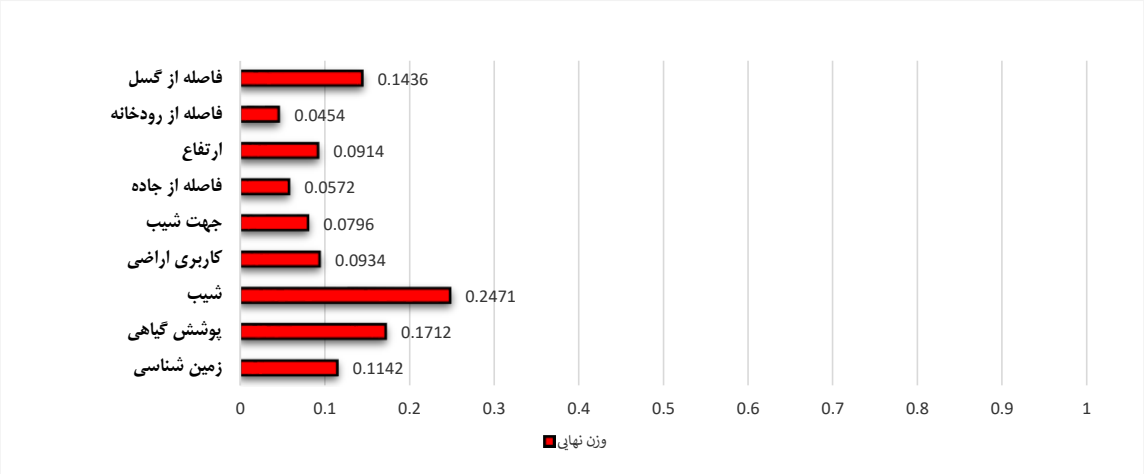
وزن‌های نهایی هر ورودی از طریق فرآیند تکرار، آموزش و ارتباط میان نورون‌های شبکه محاسبه‌شده است. هم‌چنین، میزان ارزش وزنی هر معیار در بازه‌ای بین ۰ تا ۱ قرار دارد و هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده خطر بالاتر برای وقوع زمین‌لغزش است. با توجه به (جدول۱) و (شکل۱۶) نتایج نشان‌دهنده این است که در الگوریتم شبکه‌عصبی چهار عامل که بیش‌ترین ارزش وزنی را داشته به ترتیب مربوط به لایه‌های شیب با مقدار ۰/۲۴ درصد، پوشش‌گیاهی با مقدار ۰/۱۷ درصد، عامل فاصله از گسل با مقدار ۰/۱۴ درصد، زمین‌شناسی با مقدار ۰/۱۱ درصد، بوده که این نشان می‌دهد که وقوع زمین‌لغزش و خطرات ناشی از آن در منطقه موردمطالعه، بیش‌ترین وابستگی را به این متغیرها دارد. هم‌چنین نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰) که به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های owa و ANN در شهرستان پاوه پرداختند، دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی است که به‌صورت مختصر به‌آن پرداخته می‌شود. نتایج کار آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین عامل تأثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش عوامل مثل شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و خاک می‌باشد که در مقایسه این پژوهش با تحقیق حاضر نشان می‌دهد که خروجی‌ها تا حدی مشابه بوده و برخی پارامترهای تأثیرگذار در هر دو مطالعه همسو هستند. اما به‌لحاظ کلی تفاوت‌های مهم و ساختاری در هر دو پژوهش وجود دارد، به‌عنوان مثال در پژوهش اصغری و همکاران از دو مدل مختلف برای مطالعه رخداد زمین‌لغزش استفاده‌شده که در بین این مدل‌ها ANN بیش‌ترین کارایی را داشته هم‌چنین در این پژوهش نیز از الگوریتم شبکه‌عصبی استفاده‌شده اما تفاوت‌های ساختاری در نوع پیاده‌سازی الگوریتم شبکه-عصبی بوده است، به‌عنوان مثال در پژوهش اصغری سراسکانرود و همکاران از ۸ ورودی و ۱۳ نورون پنهان استفاده‌شده درحالی‌که در پژوهش حاضر از ۹ ورودی و ۸ نورون پنهان با سیستم تکرار ۲۵۰ بار برای مدل‌سازی استفاده‌شده که درصد میزان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

خطای بسیار پایینی داشته است و درنهایت، نتایج نشان می‌دهد که مدل‌سازی انجام‌شده در این پژوهش دارای دقت بالایی بوده و بهترین بازده را در تحلیل زمین‌لغزش ارائه داده است.

جدول ۱. مقادیر وزن نهایی

متغیر	زمین‌شناسی	پوشش گیاهی	شیب	کاربری اراضی	جهت شیب	فاصله از جاده	ارتفاع	فاصله از رودخانه	فاصله از گسل
وزن	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۹	۰/۷	۰/۵	۰/۹	۰/۴	۰/۱۴
رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

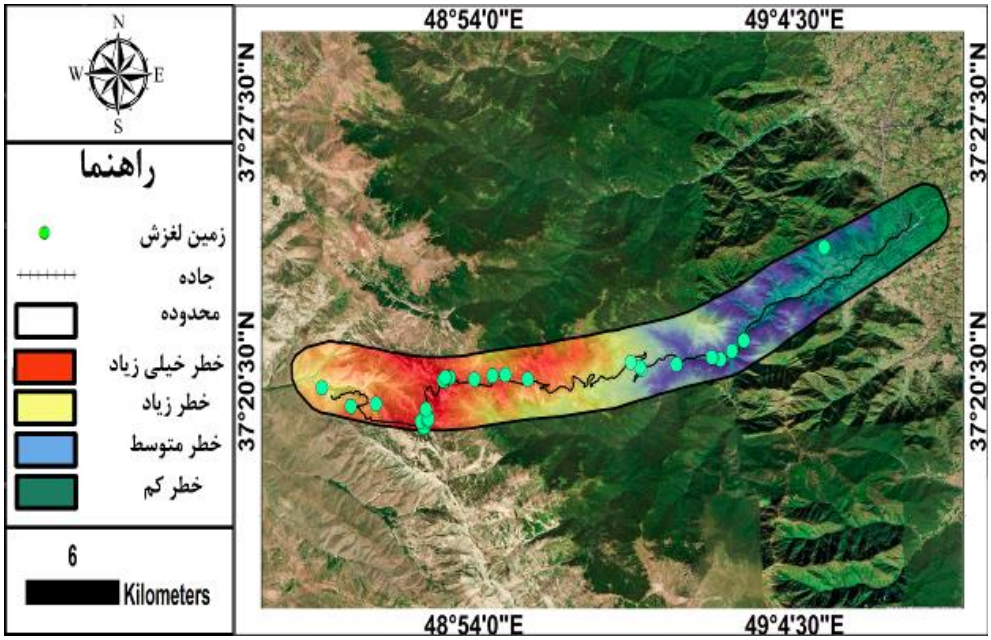


شکل ۱۶. نمودار درصد وزنی نهایی

پس از تعیین وزن نهایی عوامل تأثیرگذار درخطر وقوع زمین‌لغزش، مقادیر وزنی در بازه ۰ تا ۱ در نرم‌افزار GIS.10.8 به نقشه پهنه‌بندی تبدیل‌شده است و نقشه ایجادشده در چهار طبقه خطرپذیری طبقه‌بندی‌شده است (شکل۱۷). طبق (جدول۲) مساحت طبقات خطرپذیری نشان‌دهنده این است که در الگوریتم شبکه‌عصبی بیش‌ترین طبقه به‌لحاظ خطرپذیری دارای مقدار ۲۹/۷ کیلومترمربع برای طبقه خطرپذیری خیلی‌زیاد، برای طبقه زیاد مقدار ۳۸/۲ کیلومترمربع، در بخش خطرپذیری متوسط نیز نتایج مقادیر مساحت نشان‌دهنده این است که الگوریتم شبکه‌عصبی با مساحت ۱۹/۵ کیلومترمربع اختصاص داده است و در آخر طبقه خطرپذیری کم با مساحت ۲۷/۵ کیلومترمربع می‌باشد. از نظر پراکندگی فضایی طبقات خطرپذیری، بیش از نیم درصد کل مساحت منطقه در طبقات خطرپذیری زیاد تا خیلی زیاد قرار دارد. این مناطق عمدتاً در بخش غربی منطقه، به‌سمت محدوده روستای گیلوان واقع شده‌اند. در مقابل، بخش شرقی منطقه، که شهر ماسال در آن قرار دارد، عمدتاً در طبقه خطرپذیری کم دسته‌بندی شده است. بر اساس تحلیل ۹ عامل اصلی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، مشخص شد که عامل شیب به دلیل هندسه دامنه‌ها، تأثیر بالاتری در رخداد زمین‌لغزش دارد. به دلیل قرارگیری کمربند چین‌خورده کوه‌های تالش در امتداد ناحیه غربی منطقه، دامنه‌ها عمدتاً پرشیب هستند. این شرایط سبب شده است که تحت تأثیر یک یا دو عامل دیگر، تنش برشی سطح دامنه افزایش‌یافته و مواد سطحی شروع به حرکت کنند. مشاهدات و بازدیدهای میدانی از منطقه نیز نشان می‌دهد که در ناحیه غربی و اطراف روستای گیلوان، زمین‌لغزش‌های متعددی با ابعاد مختلف رخ داده‌اند. این زمین‌لغزش‌ها در برخی موارد در امتداد جاده و یا در پایه دامنه‌ها گسترش دارد که رخداد آن علاوه بر آسیب به زیرساخت‌های انسانی سبب فرسایش و از دست رفتن خاک می‌شود. هم‌چنین عوامل دیگر که بعد از شیب درصد مهمی را به خود اختصاص داده پوشش‌گیاهی است (شکل ۱۹). وجود پوشش‌گیاهی متراکم می‌تواند در رخداد زمین‌لغزش عامل بازدارنده تلقی شود درحالی‌که زمین‌های فاقد پوشش‌گیاهی و یا زمین‌های نامتراکم در مقابل زمین‌لغزش آسیب‌پذیر می‌باشند. آنچه به‌لحاظ پوشش‌گیاهی در منطقه مشخص است این بوده که ناحیه شرقی و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

مرکزی به‌لحاظ پوشش‌گیاهی غنی و دارای پوشش جنگلی می‌باشد درحالی‌که مناطق عاری از درختان و پوشش‌گیاهی، زمین‌لغزش متنوعی در آن دیده می‌شود، اما در ناحیه غربی شرایط بسیار متفاوت بوده چرا که این منطقه دارای پوشش‌گیاهی ضعیف می‌باشد که در اثر قطع درختان و چرای بیش از حد دام تنوع پوشش‌گیاهی بسیار ضعیف به وجود آمده، بنابراین در سطح دامنه‌ها هیچ‌گونه ریشه یا پوشش حفاظتی طبیعی وجود ندارد و در اثر افزایش تنش برشی موجب شکستن دامنه‌ها و حرکت مواد سطحی می‌شود. علاوه بر شیب و پوشش‌گیاهی، وجود گسل‌ها نیز یکی از عوامل کلیدی در وقوع زمین‌لغزش در منطقه است. به دلیل چین‌خوردگی‌های متعدد در منطقه، فعالیت‌های تکتونیکی به‌طور مداوم رخ می‌دهد. وقوع زمین‌لرزه‌ها در نزدیکی گسل‌ها، امواج لرزه‌ای را تا کیلومترها در سطح زمین انتقال می‌دهد و این امواج باعث می‌شوند که دامنه‌ها ناپایدار شده و در اثر لرزش و جابه‌جایی، مواد سطحی شروع به حرکت کنند.



شکل۱۷. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان

جدول۲. مساحت طبقات خطرپذیری

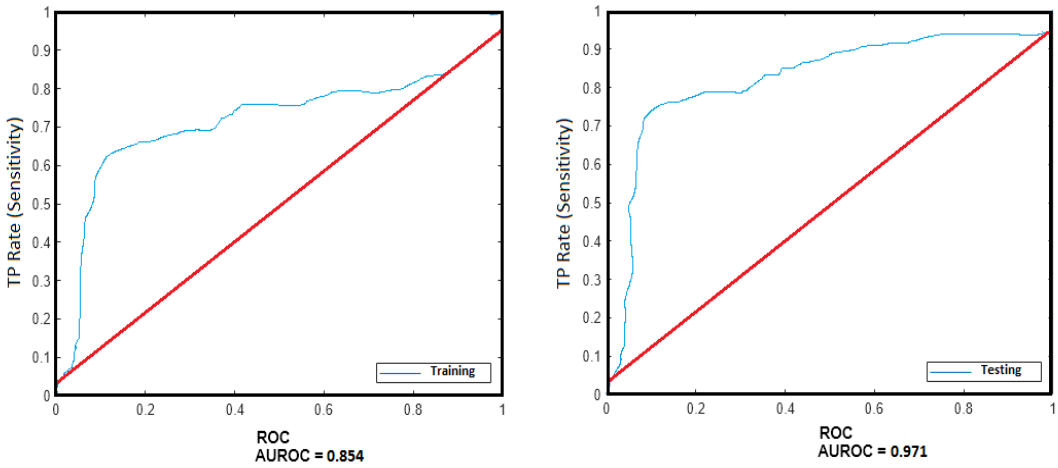
طبقات خطرپذیری	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت به کیلومترمربع	۲۷/۵	۱۹/۵	۳۸/۲	۲۹/۷
رتبه	۱	۲	۳	۴

شکل ۱۸. وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان در محدوده ۱۵ کیلومتری روستای گیلوان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

۲. اعتباری سنجی نتایج با نمودار ROC

در این پژوهش، برای ارزیابی میزان موفقیت خروجی الگوریتم شبکه‌عصبی و سنجش میزان خطا از نمودار ROC بهره‌گیری شده است. این نمودار رابطه‌ای بین درصد پیکسل‌هایی که به‌اشتباه توسط شبکه به‌عنوان زمین‌لغزش طبقه‌بندی شدند ولی در واقع زمین‌لغزش نیستند (محور افقی) و درصد پیکسل‌هایی که به‌درستی به‌عنوان زمین‌لغزش تشخیص داده‌شده‌اند (محور عمودی) را نشان می‌دهد. بهترین عملکرد زمانی حاصل می‌شود که مساحت زیر منحنی (AUC) در نمودار ROC به مقدار ۱ نزدیک‌تر باشد، زیرا این امر نشان‌دهنده دقت بالا و میزان خطای پایین مدل است. هم‌چنین اعتبارسنجی بخش آزمایش شبکه به‌عنوان بخش پایانی ارزیابی کلی کارکرد الگوریتم شبکه‌عصبی طراحی‌شده، مطرح است و کیفیت داده‌های خروجی وابسته به نوع و میزان آموزش مدل تغییر می‌کند. در مرحله آزمایش شبکه، امکان استفاده از مقادیر سلولی مناطق خطر زمین‌لغزش وجود ندارد. به‌همین دلیل، در فرآیند طراحی کلی الگوریتم شبکه‌عصبی، داده‌ها به نسبت ۷۰ درصد برای آموزش و ۳۰ درصد برای آزمایش شبکه تقسیم‌بندی شده‌اند و نرم‌افزار به‌طور خودکار با چینش داده‌های طبقه‌بندی‌شده و مقایسه نحوی تشخیص، میزان خطای مدل را محاسبه می‌کند. با توجه به هر دو نمودار بخش آموزش و تست الگوریتم شبکه‌عصبی، هر دو نمودارها با توجه به درصد AUC در شرایط عالی قرار دارند و هم آموزش و هم تست شبکه دارای خطای خیلی کم‌تری است که نشان می‌دهد طراحی و ساختارهای الگوریتم شبکه‌عصبی با ۹ نورون ورودی و ۸ نورون ورودی با تکرار ۲۵۰ بار بهترین نتیجه را حاصل می‌کند. این نتایج بیانگر آن است که آموزش صحیح مدل، منجر به افزایش اعتبار خروجی در مرحله تست‌شده و اختلاف جزئی میان عملکرد دو بخش، نشان‌دهنده پایداری و قابلیت تعمیم بالای الگوریتم شبکه‌عصبی است. بخش تست دارای تفاوت اندکی است و مقدار AUC عدد ۰/۸۵۴ در بخش آموزش و ۰/۹۷۱ در بخش تست شبکه را نمایش می‌دهد (شکل۱۹).



شکل ۱۹. نمودار ارزیابی نتایج نهایی ROC

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش انجام‌شده به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان با استفاده از الگوریتم شبکه‌عصبی پرداخته‌است. رخداد زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی علاوه بر آسیب به زیرساخت‌های انسانی، می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به محیط طبیعی وارد کند. در این مطالعه و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد نظر ۹ عامل تاثیرگذار شناسایی شد و نتایج نشان‌داد که از بین عوامل ۹ گانه، شیب، پوشش‌گیاهی، فاصله از گسل، زمین‌شناسی جزء چهار عامل مهم بودند که بیش‌ترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزش در منطقه ایفا می‌کردند. با توجه به توپوگرافی منطقه که در یک ناحیه کوهستانی قرارگرفته وجود دامنه‌های پرشیب و گردنه‌های پر پیچ‌وخم یکی از خصوصیات بارز منطقه محسوب می‌شود اما پراکنش زمین‌لغزش تنها مربوط به مناطق کوهستانی و دامنه‌های پرشیب نیست بلکه رخداد آن مستلزم وجود مجموعه‌ای از شرایط مختلف است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

بررسی‌های میدانی و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که منطقه موردمطالعه در ناحیه‌ای با پوشش گیاهی جنگلی تا نیمه‌متراکم و ضعیف قرارگرفته است. بااین‌حال، در دهه‌های اخیر، بخش‌های غربی محدوده به دلیل قطع درختان و چرای بیش‌ازحد دام، دچار کاهش تنوع پوشش گیاهی شده است که این امر باعث کاهش مقاومت آن در برابر زمین‌لغزش شده است. علاوه بر این، گسترش جاده، نابودی جنگل‌ها و توسعه بی‌رویه ویلا سازی موجب افزایش حساسیت دامنه‌های پرشیب به زمین‌لغزش شده است. حتی در برخی نقاط، با چشم غیرمسلح نیز می‌توان بخش‌هایی از دامنه را که به‌صورت تدریجی در حال جدا شدن و حرکت هستند، مشاهده کرد. در پای بسیاری از دامنه‌ها نیز آثار بریدگی سطحی ناشی از زمین‌لغزش به‌وضوح دیده می‌شود و اکثر پای دامنه‌ها جای بریدگی سطحی حاصل از زمین‌لغزش دیده می‌شود. بخش دینامیک درونی نیز در منطقه به‌لحاظ رخداد زمین‌لغزش نقش بسزایی دارد. قرارگیری منطقه موردمطالعه در زون چین‌خورده البرز غربی – آذربایجان سبب شده که رشته‌کوه تالش تا امتداد کوهستان باغرو، محلی برای رخداد انواع حرکات دامنه‌ای باشد. رشته‌کوه‌های تالش دارای چین‌خوردگی‌های متناوبی است و ساختار زمین‌شناسی اولیه آن رسوبی بوده، و تحت چین‌خوردگی‌های متناوب در اثر فشردگی لایه‌های زمین، گسل‌های مختلفی در منطقه وجود دارد که اکثراً در خصوص زمین‌لرزه‌ها و یا نزدیکی به کانون لرزش رابطه مستقیمی دارند. لذا فرکانس و امواج پخش‌شده از زمین‌لرزه به علت پخش آن از درون زمین سبب لرزش و جابجایی دامنه‌ها می‌شود که گاهی این امر با روانگرایی خاک خود را نشان می‌دهد بنابراین وجود گسل‌ها نیز یکی از عوامل مهم در رخداد زمین‌لغزش در منطقه بوده است.

پیشگیری از زمین‌لغزش در این منطقه مستلزم حفظ پوشش گیاهی و جلوگیری از مداخلات انسانی نامناسب است. بسیاری از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش که به ویژگی‌های هندسی دامنه مربوط هستند، قابل‌تغییر نیستند و اصلاح آن‌ها مستلزم هزینه‌های بسیار بالا است. اما حفظ پوشش گیاهی و توسعه پایدار بر اساس برنامه‌ریزی محیطی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خطر زمین‌لغزش داشته باشد. مقایسه مناطق مختلف نشان می‌دهد که بخش‌های مرکزی منطقه که دارای کوه‌های مرتفع با شیب بالا، اما پوشش گیاهی متراکم از نوع جنگل‌های هیرکانی هستند، در برابر زمین‌لغزش مقاومت بیش‌تری داشته‌اند. در مقابل، مناطق غربی که دچار تخریب پوشش گیاهی شده‌اند، وقوع زمین‌لغزش بیش‌تری را تجربه کرده‌اند.

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از الگوریتم شبکه‌عصبی، رویکردی نوین و هوشمند را در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در جاده ماسال به گیلوان ارائه داده است. برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که از روش‌های سنتی آماری یا مدل‌های کلاسیک GIS استفاده کرده‌اند، این تحقیق با ترکیب یادگیری ماشینی و تحلیل داده‌های مکانی، دقت و قابلیت پیش‌بینی را به سطح بالاتری ارتقا داده است. نوآوری دیگر این پژوهش، تحلیل تأثیر هم‌زمان عوامل محیطی و انسانی با در نظر گرفتن تغییرات اکولوژیکی است که نشان می‌دهد چگونه تخریب پوشش‌گیاهی و توسعه انسانی می‌تواند پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را افزایش دهد. علاوه بر این، پیشنهاد استفاده از سایر الگوریتم‌های یادگیری عمیق در مطالعات آتی، بستر جدیدی را برای بهبود پیش‌بینی مخاطرات دامنه‌ای فراهم می‌کند. این پژوهش نه‌تنها چارچوبی دقیق و علمی برای مدیریت ریسک ارائه می‌دهد، بلکه می‌تواند به‌عنوان مدلی برای سایر مناطق کوهستانی با شرایط مشابه مورداستفاده قرار گیرد و در مطالعات افرادی مثل اصغری و همکاران (۱۴۰۰)، وهاب‌زاده و همکاران (۱۴۰۳)، اسفندیاری و همکاران (۱۴۰۳) می‌توان کاربرد این مدل‌ها و نتایج مطلوب آن را مشاهده کرد لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی از سایر الگوریتم‌ها و مدل‌های مختلف یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق مثل SVM، RF در خصوص مطالعات مخاطرات دامنه‌ای استفاده شود و نتایج آن با پژوهش حاضر مقایسه شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید آنان است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان در جمع‌آوری داده‌ها، تهیه گزارش پژوهش و تحلیل داده‌ها مشارکت داشتند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسنده این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر بدون حمایت مالی انجام شده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ وهاب‌زاده، مهرداد؛ شیخلر، زهره؛ و ظافت تکله، بهروز (۱۴۰۳). شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در جاده آستارا تا تونل نمین با استفاده از مدل MLP، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، http//doi.org/10.22067/geoeh.2024.87409.147

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ امامی، راشد؛ و پیروزی، الناز (۱۴۰۰). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش های OWA و ANN (مطالعه‌ی موردی: شهرستان پاوه)، *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰ (۲۸)، ۱۳۱-۱۵۰.

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ و پیروزی، الناز (۱۴۰۱). ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره WLC، OWA، VIKOR و MABAC در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه گیوی‌چای استان اردبیل، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۴ (۱)، ۶۵-۹۴.

حاتمی‌فرد، رامین؛ موسوی، سیدحجت؛ و علیمرادی، مسعود (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم آباد، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)*، ۲۳ (۴۷)، ۴۳-۶۰.

زارعی، مهدی؛ مرادی، حدیث؛ علوینیا، سید حسن؛ و علی‌آبادی، کاظم (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز بیونیژ، استان کرمانشاه، *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۴ (۱)، ۱۶۹-۱۸۸.

زرگانی، زینب؛ و علمیزاده، هیوا (۱۴۰۳). پهنه‌بندی مناطق مستعد رخداد زمین‌لغزش و بررسی تاثیر زمین‌شناسی منطقه در حوضه مسجدسلیمان با استفاده از GIS، *هفدهمین همایش ملی پژوهش‌های مدیریت و علوم‌انسانی در ایران*، تهران. https://civilica.com/doc/201722

صدیقی، حدیثه؛ و اسمی، احمدرضا (۱۴۰۲). مدل‌سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: استان چهار محال و بختیاری، *پژوهش‌های دانش زمین*. ۱۴ (۴)، ۴۲-۶۰.

علی پور، حمید؛ و ملکیان، آرش (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی، *جغرافیا و توسعه*، ۱۳ (۳۹)، ۱۶۵-۱۸۰.

کریمی سنگچینی، ابراهیم؛ دسترنج، علی؛ آرامی، سیدحسین؛ شادفر، صمد؛ و ویسکرمی، ایرج (۱۴۰۳). کاربرد الگوریتم یادگیری ماشین بیشینه آنتروپی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز کرگانه، استان لرستان، *مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۸ (۶۴)، ۵۰-۶۳.

مددی، عقیلو؛ و تقی‌زاده، داور (۱۴۰۳). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش درگردنه صائین (محور ارتباطی شهر اردبیل- سراب، *جغرافیا و روابط انسانی*، http//doi.org/:10.22034/gahr.2023.422684.1975

منهاج، محمدباقر (۱۳۸۸). *مبانی شبکه‌های عصبی*، چاپ سوم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۹۸-۱۴۰.

وهاب زاده، مهرداد؛ اسفندیاری درآباد، فریبا؛ و رحیمی، مسعود (۱۴۰۳). مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف یادگیری ماشینی در پهنه‌بندی خطر ریزش بهمن در جاده خلخال به شاهرود، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، http//doi.org/10.22034/gmpj.2024.448966.1493

وهاب‌زاده، مهرداد (۱۴۰۲). پهنه‌بندی مخاطرات دامنه‌ای در جاده خلخال به شاهرود با استفاده از سیستم شبکه عصبی مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه محقق اردبیلی.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]

References

Alberti, M. (2005). The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. *International Regional Science Review*, 28(2), 168-192. https://doi.org/10.1177/0160017605275160

Bishop, K.M. (1999). Determination of translational landslide slip surface depth using balanced cross sections, *Environmental & Engineering Geoscience*., (2), 147-156.

Casagli, N., et al. (2023). Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques. *Nature Reviews Earth & Environment* 4 (1), 51-64.

Delshadpour, S. (2003). *Improved MLP Neural Network as Chromosome Classifier. In Proceedings of the IEEE EMBS Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering*, Osaka-Nara, Japan.

Demuth, H., Beale, M. (2000). Neural Network Toolbox User's Guide. Copyright 1992-2002, BT the Math Works, Inc, *Version*, 4, 840P.

Ermini, L., Catani, F., & Casagli, N. (2005). Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, 66(1-4), 327-343.

Gómez, D., Edwin F., García, E.A. (2023). Spatial and temporal landslide distributions using global and open landslide databases. *Natural Hazards*, 117 (1), 25-55.

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. Geomorphology, 81(1-2), 166-184. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X06001371

Huang, Faming, et al. (2024). Modelling landslide susceptibility prediction: a review and construction of semi-supervised imbalanced theory. *Earth-Science Reviews*, 104700.

Huat, B. B., & Jamaludin, S. (2005). Evaluation of slope assessment system in predicting landslides along roads underlain by granitic formation. *American Journal of Environmental Sciences*, 1(2), 90-96.

Jaccard, C.J., Abbruzzese, J.M., & Howald, E.P. (2020). An evaluation of the performance of rock fall protection measures and their role in hazard zoning. Natural Hazards, 104, 459-491. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04177-4.

Li, D., Huang, F., Yan, L., Cao, Z., Chen, J., & Ye, Z. (2019). Landslide susceptibility prediction using particle-swarm-optimized multilayer perceptron: Comparisons with multilayer-perceptron-only, bp neural network, and information value models. *Applied Sciences*, 9(18), 3664.

LI, D., QU, W., ZHANG, Q., LI, J., & LING, Q. (2023). *Landslide Displacement Prediction Model Integrating Multi-layer Perceptron and Optimized Support Vector Regression*. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 48(8), 1380-1388.

Liu, X., Shao, S., Shao, S. (2024). Landslide susceptibility zonation using the analytical hierarchy process (AHP) in the Great Xi'an Region, China. *Scientific reports*, 14(1), 2941.

Meten, M., PrakashBhandary, N. and Yatabe, R. (2015). Effect of landslide factor combinations on the prediction accuracy of landslide susceptibility maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia, Geoenvironmental Disasters, 2 (1), 1-17.

Shukla, S. K., & Bathurst, R. J. (2012). An analytical expression for the dynamic active thrust from c-φ soil backfill on retaining walls with wall friction and adhesion. Geomechanics and Engineering, 4 (3), 209–218. https://doi.org/10.12989/GAE.2012.4.3.209

Xu, Q., Zhao, B., Dai, K., Dong, X., Li, W., Zhu, X., & Ge, D. (2023). Remote sensing for landslide investigations: A progress report from China. *Engineering Geology*, 321, 107156.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-09-20]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.4.4.0]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.6]