Kharazmi University

Journal of Engineering Geology

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

Landslide hazard zonation along Tuskestan road using analytical hierarchy process (AHP) method in GIS environment

Nafise Shokri[1], Aliakbar Momeni[2]✉

1. MSc student, Faculty of earth sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: nafiseh.sh2010@gmail.com

2. Associate professor, Faculty of earth sciences Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: Ali_moomeni@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 3 October 2024
Received in revised form 27 November 2024
Accepted 1 December 2024

Keywords:
Landslide hazard zonation, Tuskestan, Geographic Information System, Analytical Hierarchy Process.

ABSTRACT

The purpose of this study is to produce a map of landslide hazard potential along the Tuskestan road using the Analytical Hierarchy Process (AHP) model. The effective parameters on landslides that were used in this study are lithology, slope, slope aspect, vegetation, distance from road, distance from stream, and distance from fault. First, a map of each of these parameters is prepared and divided into three or four subgroups based on their variations. Then, using hierarchical analysis, a weight was assigned to each of these subgroups based on the degree of superiority , in orderto compare them with each other, thus convertingqualitative maps into quantitative maps. The result of this weighting showed that lithology and slope had the greatest effect, while the distance from the fault had the least effect in landslide hazard zoning. The final weight of each layer was obtained by multiplying the weight of each parameter by the weight of its sub-group. Finally, these quantitative maps were integrated into the Geographic Information System (GIS) environment to obtain the final on landslide hazard zonation map. The evaluation of the location of the previous landslides showed that among the 7 old landslides, 6 landslides were in the range of high hazard potential and 1 landslide was in the relatively high hazard category, which indicates the accuracy of the landslide hazard map. The resulting hazard zoning map showed that 9.3% of the area, or 355 ha, was in the high landslide hazard category.

Introduction

Landslides are defined as the downward movement of slope material in the form of rock, soil or debris under the action of gravity, and have been classified into different classes of landslide movement. Landslides pose a significant threat to road networks around the world. This is particularly important in mountainous areas. Due to the importance of landslide hazards, many researchers have conducted landslide studies to produce a landslide hazard zoning map. Landslide hazard zonation (LHZ) maps are of great help to planners and field engineers for selecting suitable locations for implementing development projects in mountainous terrain, as well as, in adopting appropriate mitigation measures in unstable hazard-prone areas. The Tuskestan region is a mountainous region that receives significant rainfall every year due to weather conditions. The presence of a significant slope, high rainfall, and suitable lithological conditions, especially around the Tuskestan road, has resulted inthis area having a high potential for landslides, and in some parts of this route, landslide potential have activated and landslides have occurred. Due to the aesthetic appeal of this route, the traffic load on the Tuskestan road is significant and the occurrence of a landslide can be a high risk for this route. For this reason, the purpose of this research is to investigate and identify areas with landslide potential by providing a landslide susceptibility zonation map along the Tuskestan road.

Cite this article: Shokri, N., Momeni, A.A. (2024). Landslide hazard zonation along Tuskestan road using analytical hierarchy process (AHP) method in GIS environment. Journal of Engineering Geology, 18 (4), 479-500. https//doi.org/10.22034/JEG.2024.18.4.104487

© The Author(s).

Publisher: Kharazmi University.

DOI: https//doi.org/10.22034/JEG.2024.18.4.104487

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]

[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]

[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

Materials and methods

The purpose of this study is to develop a map of landslide hazard potential along the Tuskestan road using Analytical Hierarchy Process (AHP) model. The effective parameters on landslides that were used in this study are lithology, slope, slope aspect, vegetation, distance from road, distance from stream, and distance from fault. At the First, a map of each of these parameters is made and divided into three or four subgroups based on their variations. Then, using hierarchical analysis, a weight was assigned to each of these parameters and their sub-groups based on the degree of superiority compared to each other, so that qualitative maps were converted into quantitative maps.. The final map is then produced by summing the points of all the layers used. For a better and faster understanding of this map, based on the points obtained for the studied area, the strength map was reclassified into 4 categories with different landslide susceptibility potentials, including A (susceptible), B (relatively susceptible), C (relatively non-susceptible) and D (non-susceptible). In order to validate the LHZ map, existing landslides in the study area were first identified through Google Earth surveys and field visits. Finally, the location of existing landslides was compared with the Landslide Hazard Zone map to determine the accuracy of the map.

Results and Discussion

The lithology was divided into four categories including A to D. Group A (susceptible condition) includes soft rocks that have clay minerals in their composition, such as shale and marl, or these soft rocks are interlayered with other rocks such as sandstone. The Mobarak Formation and some parts of the Khoshyeylagh Formation were considered as Group B with relatively vulnerable conditions in terms of stability. The Dorud and Route Formations were placed in Group C with relatively non-sensitive conditions. The limestone and igneous hard rock formations were classified as Group D, not susceptible to landslides. Four main northeast-southwest trending faults were distinguished and boundaries of 200, 500 and 1000 m were selected as buffer limits between categories A, B, C and D respectively. For the distance from the road parameter, limit distances of 200, 500, and 1500 were chosen as buffer limits between categories A, B, C, and D, respectively. It is known that the susceptibility to landslides increases as the distance from the road decreases. Based on the distance from the stream parameter, areas with less than 100 m away were considered as category A (susceptible to landslides) due to slope saturation and toe erosion potential, were considered as A category (susceptible to landslide). The other distance limit was 250 m and 500 m for separation categories B-C and C-D. Due to the high density of the stream network, significant parts of the study area are in category A. Slope percentage is a more effective parameter for landslide instability. Slope percentage is a more effective parameter for landslide instability. In general, the potential for slope instability increases as the slope value increases. In this study, slope values of approximately 30, 15 and 5% were selected to divide the study area intofour categories A, B, C, and D, respectively. The influence of slope aspect lies in the amount of sunlight it absorbs. Naturally, the snow melts and dries faster in the directions that receive more light, so the weathering potential in these areas is less, and they have more stable conditions. Based on this parameter, the study was divided into 8 categories (A-H). The north (A) and north-east (B) have very vulnerable and vulnerable conditions, and the south (H) and south-west (G) have very vulnerable and non-vulnerable conditions. Most of the western parts of the road are located in category E and the winding road section in the central part of the study area is located in category A. Based on the vegetation parameter, the study area was divided into four categories including A (no vegetation), B

(agricultural land), C (bushes and trees, grasses and lawns), and D (frost cover). The northern half of the study area is laid in category D. The pairwise comparison matrix was generated to assign weights for both parameters and sub-parameters. Based on the main parameter's pairwise comparison matrix, of the main parameter, lithology received the highest weight with a weight of 0.296 and was considered the most important parameter. Meanwhile, the parameter of the distance from the fault with a weight of 0.021 was the least important parameter for landslide susceptibility. The consistency ratio (CR) was used to evaluate the adequacy of the pairwise comparison. This parameter was less than 0.05 in this work, indicating a satisfactory level of consistency.

The quantified maps were then combined to produce a landslide susceptibility map. The range of variation on this map is between 682 and, 4575. Considering the limits of 25%, 50% and 75% of this range of change, the study area was divided into four classes in terms of landslide susceptibility. The main part of the areas with high landslide potential (class A) is located in the central part of the study area, in the part where the road curves. The statistical evaluation of this class shows that 9.3% of the studied area, with an area of 355 ha, is in the category with high potential for landslide occurrence. It was observed that out of 7 landslides that occurred, 6 landslides occurred in the highly susceptible areas and one landslide occurred in a relatively susceptible area.

Conclusion

Conclusion

1- The results of the hierarchical analysis showed that, among the 7 parameters used, lithology and slope have the greatest influence and distance from the fault has the least influence in the area.

2- The zonation map obtained showed that 9.3% of this area, with an area of 355 hectares, is in the high landslide risk category.

4- 85% of the landslides that have occurred in the studied area are in the high risk category, and it shows the reasonable accuracy of the prepared map.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]

[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

نشریه زمین شناسی مهندسی
Journal home page https://jeg.khu.ac.ir
دانشگاه خوارزمی
دسترسی آزاد
شاپا الکترونیکی ۲۹۸۱-۱۶۰۰

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در طول جاده توسکستان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط GIS

نفیسه شکری[۱] ، علی اکبر مؤمنی[۲] ✉

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: nafiseh.sh2010@gmail.com
۲. دانشیار، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: Ali_moomeni@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

کلیدواژه‌ها:
پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، توسکستان، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی.

چکیده

هدف از این مطالعه تهیه نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش در طول جاده توسکستان با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. پارامترهای مؤثر بر زمین لغزش در این مطالعه لیتولوژی، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل می‌باشد. در ابتدا، نقشه هر کدام از این پارامترها تهیه شده و بر مبنای میزان تغییرات آن به سه یا چهار زیر گروه تقسیم شده‌اند. سپس با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به هرکدام از این زیرگروه‌ها بر مبنای میزان برتری نسبت به هم وزنی اختصاص داده شد تا نقشه‌های کیفی به نقشه‌های کمی تبدیل شود. نتیجه این وزن‌دهی نشان داد که لیتولوژی و شیب به ترتیب بیش‌ترین تأثیر و فاصله از گسل کم‌ترین تأثیر را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش داشتند. وزن نهایی هر لایه اطلاعاتی از حاصل‌ضرب وزن هر پارامتر در وزن زیر معیار به دست آمد. در نهایت این نقشه‌های کمی در محیط GIS تلفیق شدند تا نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بدست آمد. بررسی موقعیت لغزش‌های رخداد قبلی نشان داد که از بین ۷ لغزش قدیمی تعداد ۶ لغزش در محدوده پتانسیل خطر بالا و یک لغزش در رده خطر نسبتاً بالا قرار داشت که نشان دهنده صحت نقشه خطر زمین لغزش تهیه شده است. نقشه پهنه‌بندی به دست آمده نشان داد که ۹/۳ درصد از این محدوده به مساحت ۳۵۵ هکتار در رده خطر بالای رخداد زمین لغزش قرار دارد.

مقدمه

به طور کلی جاده‌ها در مناطق کوهستانی در معرض رانش شدید زمین و رویدادهای گسیختگی شیب هستند چرا که خود با برهم زدن تعادل شیب می‌توانند باعث فعال شدن زمین‌لغزش‌های بالقوه گردند. فعالیت‌های انسانی در طول ساخت بزرگراه‌ها و جاده‌های کوهستانی شیب طبیعی را مختل می‌کند و آن‌ها را در برابر شکست‌ها آسیب‌پذیر می‌کند. بنابراین جاده‌های کوهستانی به دلیل بالا بودن شیب و فعالیت‌های انسانی ناشی از ساخت جاده مانند از بین بردن تکیه‌گاه زیرین و اعمال بار ترافیکی به شیب، مناطقی هستند که با این مخاطره زمین‌شناختی مواجه خواهند بود. لذا به‌منظور مدیریت خطر و ریسک رخداد زمین‌لغزش در جاده‌های مناطق کوهستانی لازم است تا مسیر جاده از نظر پتانسیل رخداد این پدیده، پهنه‌بندی گردد. پهنه‌بندی لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر بروز زمین لغزش بر روی شیب دامنه است.

با توجه به اهمیت مخاطرات زمین‌شناسی و از جمله زمین لغزش‌ها در برنامه‌ریزی پروژه‌های توسعه‌ای نظیر خطوط ارتباطی و خطوط انتقال نیرو، محققین بسیاری در ایران و

استناد: شکری، ن.، مومنی، ع.ا. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در طول جاده توسکستان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط GIS. مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۸ (۴)، ۴۷۹-۵۰۰. https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.4.104487

ناشر: دانشگاه خوارزمی.

© نویسندگان.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

سایر کشورها، به مطالعه موضوع پهنه‌بندی پرداخته‌اند. متشرعی و همکاران(Motasharei et al., 2012)، به بررسی خطر لغزش در جاده تهران-چالوس پرداختند و نقشه پهنه‌بندی آن را تهیه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که از کل طول جاده، ۱۶درصد دارای خطر بسیار زیاد و ۴۲ درصد دارای خطر زیاد برای وقوع زمین لغزش، می‌باشد. حسنی و همکاران (Hasani et al., 2017)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش جاده کن—سولقان را به روش منطق فازی انجام داده و در محیط نرم افزار IDRISI و ArcGIS نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای این منطقه تهیه کردند و مشاهده کردند که اغلب این لغزش‌ها در مناطق با خطر بالا قرار داشته‌اند. فیروزی و همکاران(Firuzi et al., 2021)، در پژوهشی به بررسی ارتباط لیتولوژی و ساختارهای تکتونیکی با انواع ناپایداری‌های شیب‌های سنگی در مسیر آزاد راه قزوین-رشت پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد شباهتی بین انواع لغزش‌ها و پراکندگی آن‌ها وجود دارد. اصغری و همکاران (Asghari et al., 2020)، نقشه پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش جاده سراب —نیر را با استفاده از مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی تهیه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان بارش و ارتفاع نسبت به سایر عوامل تأثیر بیش‌تری در ایجاد نواحی پرخطر ایفا می‌کنند. آرین تبار و همکاران (Ariyantabar et al., 2021)، با استفاده از روش جمع کیفی (QS)و تعیین گامای بهینه نقشه پهنه‌بندی لغزش منطقه توسکستان را تهیه نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که پهنه‌هایی با سازندهایی سست و نزدیک به راه‌های ارتباطی پتانسیل بیش‌تری برای لغزش دارند. صمدزاده (Samadzadeh, 2015)، خطر زمین لغزش در جاده اردبیل-سرچم را پهنه‌بندی کرد. بدین منظور با استفاده از روش آماری به لایه‌ها وزن داده و آن‌ها را تلفیق کرد. نتیجه به دست آمده نشان داد که بخش قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه در رده خطر خیلی زیاد قرار دارد.

فیضی زاده و سلطانی(Fezizadeh and Soltani, 2020)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در قطعه ۵ راه آهن اردبیل-میانه را انجام دادند و از سه روش منطق فازی، مثلث سلسله مراتبی فولر و تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده کردند. مجرد و همکاران (Mojarad et al., 2020) خطر زمین لغزش را در حوزه آبریز قوچان-شیروان پهنه‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بخش جنوب غربی حوزه بیش‌ترین میزان حساسیت به لغزش را به خود اختصاص داده است.

زنگمنه و همکاران (Zangmene et al., 2023)، با استفاده از روش AHP پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را در منطقه بافوسام-دسچنگ در غرب کامرون انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش از ۶۶٪ محدوده مورد مطالعه در رده خطر خیلی بالا قرار دارد و تعداد ۸۷٪ از لغزش‌های رخ داده در این محدود با رده حساسیت خیلی بالا بوده است. احمد و همکاران (Ahmad et al., 2023)، عملکرد مدل‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نسبت فرکانس (FR) را در تهیه‌ی نقشه حساسیت زمین لغزش در رشون، شمال غرب پاکستان، مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که روش FR در پهنه‌بندی لغزش‌های قدیمی عملکرد بهتری از روش AHP داشته است. آسماره (Asmare, 2023)، کاربرد و اعتبار سنجی روش‌های AHP و FR برای نقشه‌برداری حساسیت زمین لغزش در اطراف کوه چوک، شمال غربی اتیوپی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که روش‌های AHP و FR در پیش‌بینی زمین لغزش‌های این منطقه به ترتیب دارای دقت ۸۵/۸ و ۸۲٪ می‌باشد. پرادهان و همکاران (Pradhan et al., 2022)، به بررسی اثر ترکیبی بارندگی و قطع جاده بر زمین لغزش در مناطق کوهستانی نپال پرداختند و به این نتیجه رسیدند که وجود یک بریدگی جاده، احتمال زمین‌لغزش را در طول بارندگی افزایش می‌دهد و حداقل سطح بارندگی مورد نیاز برای شروع زمین‌لغزش را کاهش می‌دهد. لو و همکاران(Luu et al.,

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

2023)، به تجزیه و تحلیل حساسیت سیل و لغزش برای یک جاده کوهستانی در ویتنام با استفاده از مدل‌سازی فضایی پیشرفته ماشین (ML) پرداختند. دانگانا و همکاران (Dhungana et al., 2023)، با استفاده از روش AHP، نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را در داخل و اطراف استان بگ ماتی نپال تهیه کردند. پاندی و همکاران(Pandey et al., 2019)، به بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی و کاربرد تکنیک‌های یادگیری ماشینی در مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش در طول بزرگراه ناهان به راجگر هند پرداختند. پرادهان و سیدیکو (Pardhan and Siddique, 2020)، به بررسی ارزیابی پایداری شیب‌های سنگی حاشیه جاده در جاده‌های مستعد لغزش در هیمالیا با استفاده از روش عددی عناصر محدود و نرم افزار Phase2 پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای سنگ‌های درزه‌دار استفاده از معیار نرمال شده هوک و براون نتایج بهتری نسبت به معیار مور کلمب در پی دارد.

منطقه توسکستان منطقه‌ای کوهستانی بوده که با توجه به وضعیت آب و هوایی، بارش قابل توجه‌ای را هر ساله به خود می‌بینند. وجود شیب قابل توجه، بارندگی بالا و شرایط لیتولوژیکی مناسب، بخصوص در اطراف جاده توسکستان، باعث شده تا این منطقه پتانسیل بالای برای رخداد لغزش داشته که در برخی نقاط این مسیر زمین لغزش‌های بالقوه فعال شده و رانش زمین به وقوع پیوسته است (شکل ۱). با توجه به جاذبه زیبا شناختی این مسیر، رفت و آمد و بار ترافیکی در جاده توسکستان قابل توجه بوده و رخداد لغزش می‌تواند ریسک بالایی برای این مسیر داشته باشد. به همین منظور هدف از انجام این پژوهش بررسی و شناسایی مناطق دارای پتانسیل لغزشی با استفاده از روش پهنه‌بندی استعداد رخداد زمین لغزش در این مناطق می‌باشد.



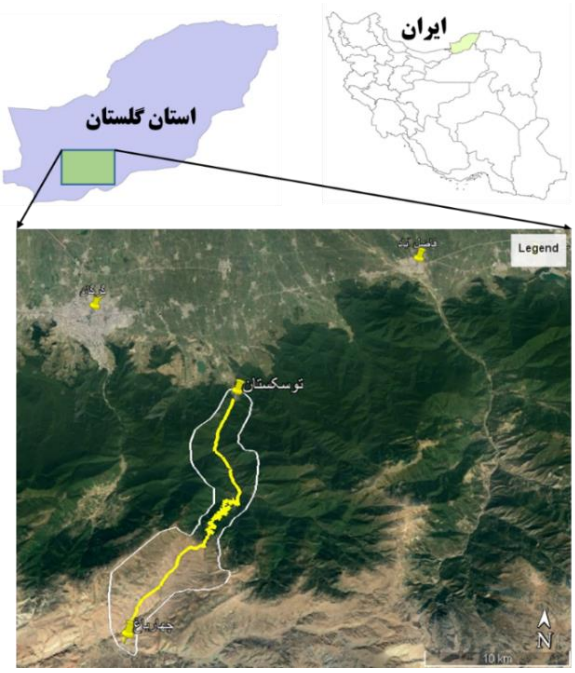
شکل ۱. تصاویری از برخی لغزش‌های رخ داده در مجاورت جاده توسکستان
Fig. 1. Photgraphs of landslides that occurred in the vicinity of Tuskestan road

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.1044487]

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در حد فاصل روستای چهارباغ و روستای توسکستان می‌باشد (شکل ۲). این محدوده در طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی واقع شده است. به‌طور کلی به لحاظ اقلیمی، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم مرطوب با میانگین سالانه بارندگی ۶۹۳ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Fig. 2. Geographical location of the study area

روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش شامل شناخت موضوع مورد مطالعه و اهمیت آن، جمع‌آوری اطلاعات پارامترهای مؤثر، آماده‌سازی داده‌ها، تهیه نقشه و لایه‌های مورد نیاز جهت پهنه‌بندی، انتخاب الگوریتم‌های مناسب برای وزن دهی به هر لایه، تلفیق لایه‌های وزن دهی شده و تهیه نقشه‌های نهایی می‌باشد. در این پژوهش که بر مبنای مطالعات پیشین، قضاوت هندسی و امکان دسترسی به داده‌های آن پارامتر، ۷ پارامتر به‌عنوان عوامل مؤثر بر لغزش انتخاب گردید که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

لیتولوژی

ابتدا نقشه زمین‌شناسی ترسیم شده به محیط آرک مپ (ArcMap) اضافه شد و بر مبنای پتانسیل لیتولوژی‌های مختلف به زمین لغزش، یکی از ۴ کلاس A تا D (مناسب تا نامناسب) به هر لیتولوژی اختصاص داده شد. سپس بر مبنای فیلد جدید اضافه شده، نقشه به ۴ کلاس گروه‌بندی شد.

فاصله از گسل

در این قسمت نقشه¬های منطقه مورد مطالعه وارد جی ای اس شد. در مرحله اول، نقشه‌ها زمین مرجع شدند و بعد گسل‌های منطقه مورد نظر کشیده شد. سپس با استفاده از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

دستور Euclidean Distance نقشه فاصله از گسل تهیه شد و به ۴ رده تقسیم شد. مرز رده‌ها۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر تعیین شد.

فاصله از جاده

در این مرحله ابتدا در گوگل ارث جاده توسکستان رسم شد. بعد فایل Kmz به جی آی اس انتقال یافت. در مرحله بعد در قسمت Arc toolbox و با استفاده از دستور Euclidean Distance نقشه فاصله از جاده تهیه و به ۴ رده تقسیم شد. مرز رده‌ها ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ متر تعیین شد

پوشش گیاهی:

در این مرحله، از طریق گوگل ارث چهار نوع پوشش گیاهی از یکدیگر تفکیک شد که شامل علف‌زار و چمن‌زار، بوته‌زار و درختچه‌زار، زمین‌های کشاورزی و جنگل‌های هیرکانی

شیب:

ابتدا نقشه دم (Dem) ایران را بر اساس مرز محدوده مورد مطالعه با استفاده از دستور کلیپ جدا کرده تا دم محدوده مورد مطالعه بدست آید. سپس در محیط آرک مپ نقشه شیب تهیه شد و محدوده مورد مطالعه از نظر شیب به ۴ کلاس رده‌بندی شد.

جهت شیب :

تأثیر جهت شیب در جذب میزان نور خورشید می‌باشد. طبیعتاً جهت‌هایی که نور بیش‌تری می‌گیرند، برف زودتر آب می‌شود و زودتر خشک می‌شوند پس پتانسیل هوازدگی در این مناطق کمتر بوده و شرایط پایدارتری دارند. برعکس جهت‌هایی که به سمت شمال، شمال غرب و شمال شرق هستند نور کم‌تری می‌گیرند. بارندگی ماندگاری بیش‌تری روی شیب دارد، نفوذ آب بیش‌تر، هوازدگی بیش‌تر و پتانسیل لغزش بیش‌تر می‌گردد. با توجه به نقشه دم محدوده مورد مطالعه، نقشه جهت شیب تهیه و به ۸ رده شامل N, NE, E, SE, S, SW, W, NW رده‌بندی شد. برای رده‌بندی شیب محدوده مطالعه به کلاس‌های ذکر شده به ترتیب از آزیموت‌های /۲۲، ۶۷/۵، ۱۱۲/۵، ۱۵۷/۵، ۲۰۲/۵، ۲۴۷/۵، ۲۹۲/۵ و ۳۳۷/۵ استفاده شد.

فاصله از آبراهه:

ابتدا از طریق گوگل ارث آبراهه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه ترسیم شد. سپس در محیط آرک مپ و بر مبنای شبکه آبراهه ترسیم شده منطقه مورد مطالعه از نظر فاصله از آبراهه به ۴ کلاس تقسیم شد. برای تقسیم محدوده به این ۴ کلاس از فواصل ۱۰۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ متر به عنوان مرزهای تفکیک کننده استفاده شد.

پس از تهیه نقشه لایه‌های اطلاعاتی هفت‌گانه مورد نیاز در محیط GIS، لازم است که به این لایه‌ها وزن مناسب داده شود. هدف از وزن دادن به معیارها بیان نمودن اهمیت هر معیار نسبت به معیار دیگر است. در این مرحله پس از مشخص شدن معیارهای پهنه‌بندی و طبقه‌بندی نقشه‌ها در رده‌های متفاوت، با توجه به میزان اهمیت هر کدام از پارامتر-ها در پهنه‌بندی رخداد لغزش، وزنی مشخص به آن‌ها داده شد. در این روش از روش وزن دهی تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد که یکی از پرکاربردترین سیستم‌های تصمیم‌گیری برای معیارهای چندگانه می‌باشد. در شکل ۳، ساختار سلسله مراتبی روش وزن دهی AHP مورد استفاده در این پژوهش، نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشخص است، وزن دهی در دو سطح شامل وزن دهی به پارامترها و وزن دهی به زیر پارامتر هر کدام از پارامترها می‌بایستی صورت پذیرد. در این مرحله برای محاسبه وزن پارامترهای مؤثر در پهنه‌بندی رخداد زمین لغزش، ابتدا ماتریس پارامترها تشکیل گردید. برای مقایسه اهمیت هر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

پارامتر نسبت به دیگر پارامترها بسته به درجه برتری از جدول زیر استفاده می‌گردد.

جدول۱. اهمیت‌های نسبی برای مقایسه زوجی بین پارامترها در روش AHP
Table 1. Realative importamce scale of AHP for pairwise comparison of parameters

مقدار کمی اهمیت Intensity of importance	توصیف اهمیت Description of importance
1	اهمیت برابر Equally Preferred
3	اهمیت متوسط Moderately Preferred
5	اهمیت قوی Strongly Preferred
7	اهمیت بسیار قوی Very strongly Preferred
9	اهمیت فوق‌العاده قوی Extremely Preferred
2, 4, 6, 8	اهمیت‌های بینابین کلاس‌های اصلی بالا intermediate states

لازم به ذکر است یکی از اصول اصلی روش وزن دهی، اصل معکوس‌پذیری است بدین معنی که اگر برتری پارامترA نسبت به پارامتر B برابر X باشد، برتری پارامتر B نسبت به پارامتر A،$\frac{1}{x}$خواهد بود. اعداد متعلق به هر ستون ماتریس با یکدیگر جمع شده، سپس هر عضو ماتریس به جمع عوامل تقسیم می‌شود که حاصل آن به وجود آمدن اعداد به صورت نرمال شده می‌باشد. در آخر جمع هر ردیف محاسبه می‌شود که عدد به دست آمده معرف وزن هر عامل می‌باشد. پس از وزن دهی به پارامترها و زیر پارامترها، نقشه‌های اصلاح شده عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی رخداد زمین لغزش تهیه شد به این صورت که در ابتدا وزن هر زیر کلاس را با وزن پارامتر ضرب کرده و نقشه جدیدی تهیه گردید. در واقع نقشه‌های کیفی به نقشه‌های کمی تغییر یافتند. در ادامه با جمع امتیاز تمامی لایه‌های استفاده شده، نقشه نهایی تهیه شده است. برای درک بهتر و سریع‌تر این نقشه نیز بر اساس امتیازهای به دست آمده برای منطقه مورد مطالعه، کلاس‌بندی جدیدی شامل ۴ رده A(مستعد)، B(نسبتاً مستعد) ، C (نسبتاً غیر مستعد) و D (غیر مستعد) برای پتانسیل خطر زمین لغزش ایجاد گردید. برای صحت سنجی نقشه تهیه شده، در ابتدا به وسیله گوگل ارث لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. در مرحله بعد بازدید صحرایی انجام شد، تا صحت لغزش‌های موجود در منطقه، مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت محدوده لغزش‌های موجود با نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد لغزش مقایسه شد تا مشخص شود که محدوده‌های لغزیده گذشته در کدام یک از کلاس‌های پتانسیل لغزش قرار دارد. طبیعتاً هر چه این لغزش در کلاس خطر بالاتر یا استعداد لغزش بالاتر قرار داشته باشد دقت نقشه تهیه شده بیشتر خواهد بود.

وزن دهی با استفاده از روش سلسله مراتبی AHP

ابتدا برای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی طبقه‌بندی شده، جهت مقایسات زوجی از یک ماتریس $k \times k$ استفاده می شود. برای پر کردن ماتریس مقایسات زوجی از مقیاس ۱-۹ ساعتی استفاده شده تا اهمیت نسبی هر شاخص نسبت به شاخص دیگر در رابطه با خصوصیت مورد نظر مشخص گردد. هرچه ارزش یک شاخص نسبت به شاخص دیگر بالاتر باشد، امتیاز بیشتری به آن شاخص تعلق می‌گیرد. ماتریس مقایسه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

زوجی پارامترهای مؤثر در ارزیابی خطر رخداد لغزش در جاده منطقه مورد مطالعه نسبت به یکدیگر در جدول (۳) ارائه شده است. همین روش مقایسه زوجی و وزن دهی برای هر یک از زیر پارامترهای هر کدام از معیارها نیز اعمال گردید. لازم به ذکر است که مبنای انتخاب ارزش‌های عددی در این ماتریس‌ها بر مبنای قضاوت مهندسی و همچنین بررسی نتایج کار سایر محققین بوده است. در نهایت، برای استفاده از این پارامترها در پهنه‌بندی، مطابق با رابطه (۱)، وزن بدست آمده برای هر پارامتر در وزن بدست آمده برای زیر معیارهای آن ضرب شده تا نهایتاً برای هر پارامتر یک نقشه وزن‌دهی شده به دست می‌آید. جهت تفکیک بهتر اعداد در هر گروه، وزن نهایی در ۱۰۰۰۰ ضرب گردید. در واقع با توجه به اینکه وزن پارامتر و زیر پارامتر همواره عددی کوچک‌تر از یک هستند، حاصل‌ضرب آن‌ها، بخصوص برای پارامتر و زیر پارامتر دارای ارزش کمتر، عددی در حد یک هزار یا یک ده هزارم خواهد بود. با اعمال این ضریب مقایسه ارزش هر زون راحت‌تر خواهد بود.

$$QL = W_j \times w_{ij} \times 10000 \quad (۱)$$

در این رابطه QL: وزن لایه کمی شده، Wj: وزن پارامتر و Wij: وزن زیر پارامتر می‌باشند.

نتایج و بحث

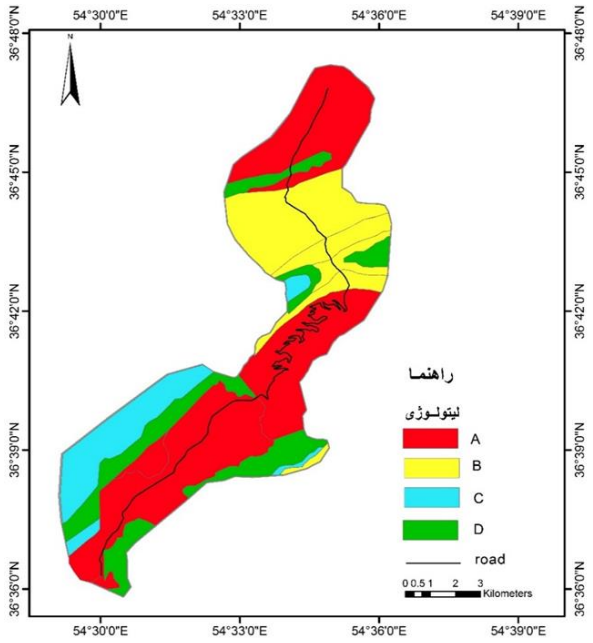
لایه‌های اطلاعاتی معیارهای منتخب

با توجه به اینکه مصالح مختلف پتانسیل متفاوتی برای لغزش دارند، لایه لیتولوژی یکی از مهم‌ترین لایه‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی پتانسیل لغزش می‌باشد. در این تحقیق با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، خاک‌ها و سنگ‌های ضعیف که در برابر لغزش پایداری کم‌تری دارند مانند کربونیفر، پادگانه-های آبرفتی جوان، تناوب شیل و ماسه سنگ، مجموعه‌ای از مارن و شیل با میان لایه‌هایی از آهک دولومیتی(سازند قزل قلعه)، مارن و توف (سازند خوش ییلاق) و تناوبی از مارن و مارن ماسه‌ای قرمز تا کرم رنگ در رده A قرار گرفتند. این سنگ‌ها پتانسیل بالایی به لحاظ لغزش دارند، چرا که مقاومت کمتری دارند. عمدتاً در ترکیب آن‌ها رس وجود دارد و حساسیت در برابر لغزش برای آن‌ها بیشتر است. آهک دولومیتی با میان لایه مارن و توف (سازند خوش ییلاق) و شیل آهکی و مارن(سازند مبارک) در رده B قرار گرفتند که نسبتاً نامناسب در برابر لغزش محسوب شدند. آهک متوسط تا ضخیم لایه آهک مارنی با میان لایه‌هایی از مارن(سازند درود) و ماسه سنگ با شیل سیلتی (سازند روته) در رده C قرار گرفتند که مقاومت بیشتر و پتانسیل کمتری در برابر لغزش دارند. آهک و آهک ماسه‌ای و گرانیت-سینیت (آذرین و سخت) در رده D قرار گرفتند چراکه این سنگ‌ها بسیار سخت و مقاوم در برابر لغزش هستند و حساسیت و پتانسیل خیلی پایین‌تری در برابر لغزش دارند پس در رده مناسب قرار گرفتند. همانطور که در نقشه پراکندگی رده‌های A تا D منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود، بخش‌های پست که عمدتاً سازندهای نرم هستند، در بخش گودتر قرار گرفتند و حساسیت بالاتری در برابر لغزش دارند در قسمت نوار میانی، در دو طرف جاده ویک بخش هم در انتهای محدوده مورد مطالعه می‌باشد در رده A قرار گرفتند. در قسمت شمالی محدوده مورد مطالعه بعد از پیچ توسکستان تا ۵ کیلومتر دو طرف جاده در رده B قرار گرفتند. رده C بخش اصلی آن در غرب محدوده مورد مطالعه و بخش‌های جنوبی این محدوده قرار گرفتند. رده D هم ارتفاعات منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود (شکل ۳).

طبیعتاً مناطقی که به گسل نزدیک‌تر باشد پتانسیل لغزش بیش‌تر خواهد داشت. در این تحقیق مناطقی با فاصله کمتر از ۲۰۰ متر از گسل که زون تأثیری گسل هستند در رده نامناسب(A) قرار گرفتند. همچنین مناطقی با فواصل ۲۰۰ تا ۵۰۰، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ و بیش از ۱۰۰۰ متر به ترتیب در رده‌ها نسبتاً نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب قرار گرفتند.

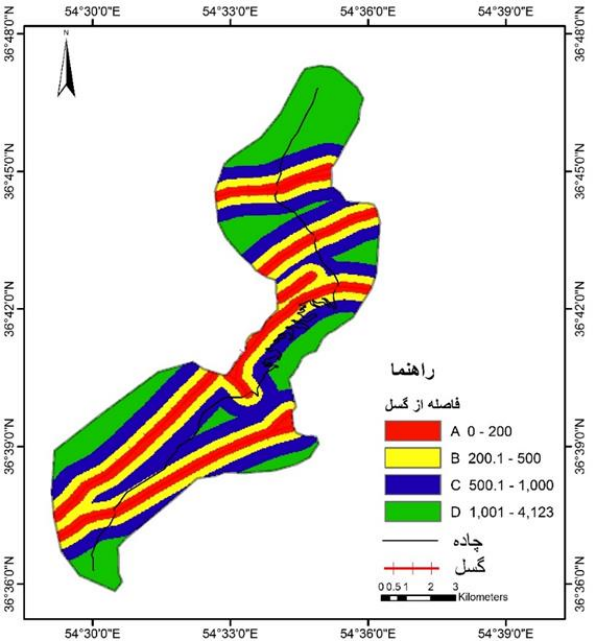
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

همان‌طور که در شکل ۴ مشخص می‌باشد گسل‌ها عمدتاً روند شمال شرق-جنوب غربی داشتند. ۴گسل اصلی در منطقه مورد مطالعه وجود داشت که مرزبندی روی آن لحاظ شد. چون جاده، گسل‌های محدوده مورد مطالعه را قطع کرده بخش‌های محدودی از کناره‌های جاده در رده A قرار گرفتند. حواشی جاده بیشتر در رده C قرار گرفت.



شکل ۳. نقشه لیتولوژی کلاس‌بندی شده از نظر حساسیت به لغزش

Fig. 3. Classified map of lithology in terms of landslide susceptibility



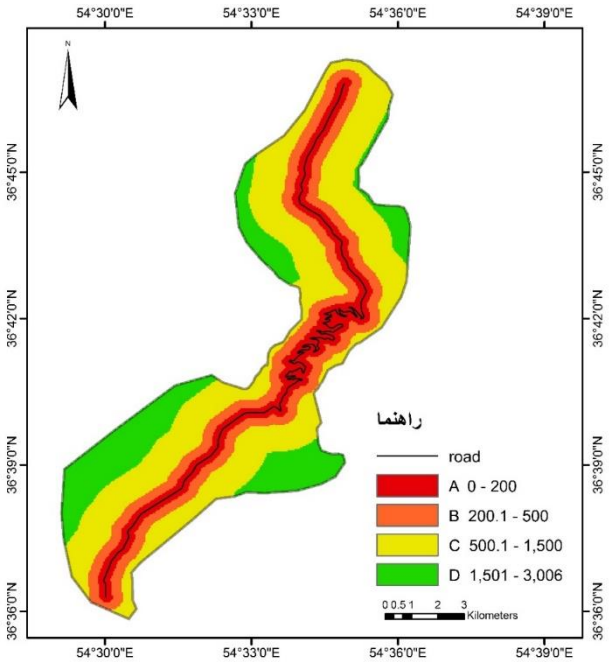
شکل ۴. نقشه کلاس‌بندی شده فاصله از گسل از نظر حساسیت به لغزش

Fig. 4. Classified map of distance from the fault in terms of landslide susceptibility

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.1044487]

منطقه مورد مطالعه از نظر فاصله از جاده به ۴ رده تقسیم شده است. منطقه با فاصله کم‌تر از ۲۰۰ متر به علت نزدیکی به جاده به عنوان یک پارامتر مؤثر در لغزش که حاصل دخالت انسان است، به‌عنوان منطقه نامناسب در نظر گرفته شده است. در واقع این زون ۲۰۰ متری منطقه تحت تأثیر مستقیم جاده‌سازی در نظر گرفته شده است. با افزایش فاصله از جاده اثر فعالیت‌های جاده‌سازی بر محیط کم‌تر شده به‌طوری که در این پژوهش، فواصل بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر به عنوان نسبتاً نامناسب، ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ نسبتاً مناسب و مناطقی با فاصله بیش از ۱۵۰۰ متر از جاده از نظر این پارامتر مناطق مناسب و با پتانسیل لغزش پایین می‌باشند. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، به علت قرارگیری جاده در منطقه پست‌تر و مرکز محدوده مورد مطالعه، محدوده‌هایی قرمز رنگ و پرخطر نیز در امتداد جاده و مرکز محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این در حالی است که مناطق با خطر پایین(رنگ سبز، رده‌ی D) در ارتفاعات منطقه مورد مطالعه و دور از جاده قرار دارند.

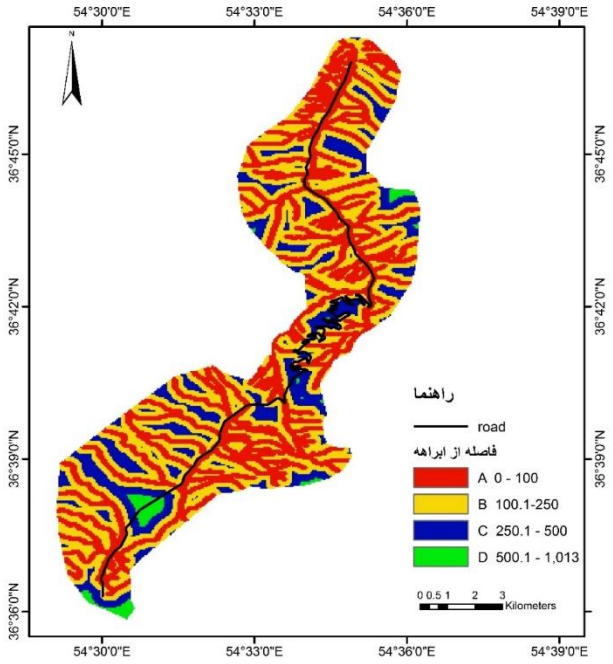
منطقه مورد مطالعه، از نظر پارامتر فاصله از آبراهه به ۴ رده تقسیم شده است. مناطق کمتر از ۱۰۰ متر به عنوان مناطقی که تحت تأثیر مستقیم آب‌های جاری بوده و پتانسیل اشباع شدن و یا زیر شویی و در نتیجه فعال شدن لغزش هستند، بعنوان مناطق با خطر زمین لغزش بالا و شرایط نامناسب در نظر گرفته شده است. همچنین مناطق با فاصله ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر، ۲۵۰ تا ۵۰۰ و بیش از ۵۰۰ متر به ترتیب به عنوان مناطق نسبتاً نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب در نظر گرفته شده است.



شکل ۵. نقشه کلاس‌بندی شده فاصله جاده از نظر حساسیت به لغزش

Fig. 5. Classified map of distance from the road in terms of landslide susceptibility

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.1044487]



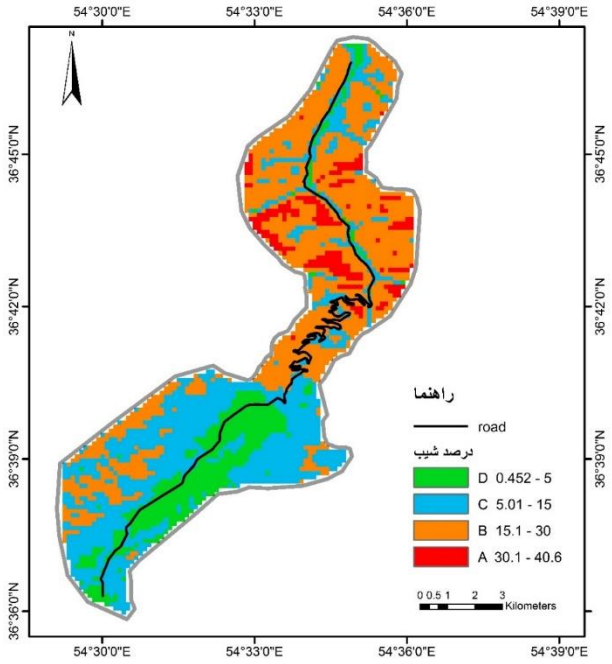
شکل ۶. نقشه کلاس‌بندی شده فاصله آبراهه از نظر حساسیت به لغزش

Fig. 6. Classified map of distance from drainage network in terms of landslide susceptibility

با توجه به اینکه شبکه زهکشی محدوده مورد مطالعه قوی بوده و آبراهه‌های زیادی در منطقه وجود داشت، بخش قابل قرار گرفت. به خصوص بعد Aملاحظه‌ای از محدوده در رده از پیچ توسکستان، به علت اینکه جاده موازی با آبراهه بوده قرار گرفتند Aعملاً تمامی جاده و کناره‌های آن در رده (بین پیچ توسکستان تا میانه‌های جنوبی محدوده مورد مطالعه). مناطقی هم که فاصله آبراهه زیاد است، مانند رده مربوط به لیتولوژی‌های سخت بوده که عمدتاً در این D و C مناطق تراکم آبراهه کم می‌باشد. بخش قابل ملاحظه‌ای از قرار گرفت (شکل ۶). B و Aمحدوده در رده

با توجه به تغییرات شیب در منطقه مورد مطالعه و ارزیابی تحقیقات دیگر پژوهشگران، مرزهای شیبی ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد به عنوان مرزهای جد کننده ۴ کلاس نامناسب تا مناسب انتخاب گردیدند. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود در بخش ابتدایی محدوده که شامل دشت و زمین‌های کشاورزی می‌باشد، شیب کمتر از ۵ درصد است. عملاً این بخش فاقد پتانسیل لغزش است و در رده D قرار گرفت. بخش قابل توجه‌ای از پیچ توسکستان تا بالای محدوده مورد مطالعه در رده B قرار گرفت. حاشیه جاده در ابتدای منطقه و بعد از پیچ توسکستان در رده C قرار گرفت. در رده A بخش‌های محدودی عمدتاً بعد از پیچ توسکستان و بخش‌های پر شیب ارتفاعات را شامل گردید.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]



شکل ۷. نقشه کلاس‌بندی شده شیب از نظر حساسیت به لغزش

Fig. 7. Classified map of slope in terms of landslide susceptibility

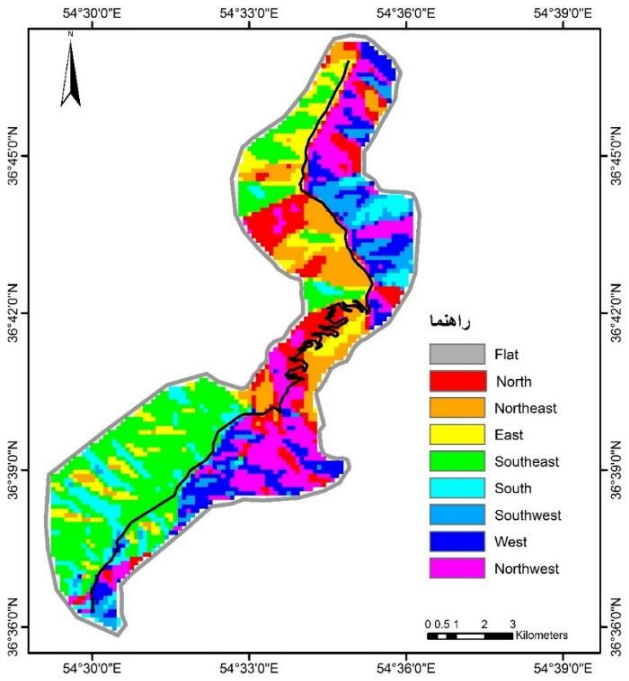
محدوده مورد مطالعه از نظر جغرافیایی به ۸ رده تقسیم شد (جدول ۲). از نظر شرایط لغزش به ترتیب از حالت خیلی مساعد یا عالی تا خیلی نامساعد رده‌بندی شدند. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود بخش قابل توجه‌ای از ابتدای منطقه مورد مطالعه که به رنگ سبز نمایش داده شده در جهت جنوب شرقی و در رده E می‌باشد. بخش‌هایی در شمال منطقه و پیچ‌های توسکستان که به رنگ قرمز نمایش داده شده، در رده A قرار دارد، یعنی جهت شیب به سمت شمال می‌باشد. بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه که به رنگ بنفش نمایش داده شده در رده C قرار گرفت یعنی جهت شیب آن به سمت شمال غربی می‌باشد.

جدول ۲. رده‌بندی جهت شیب از نظر پایداری در برابر زمین لغزش

Table 2. Classification of slope direction in terms of stability against landslides

Azimuth	Geographical direction	Class	Description
0-22.5	N	A	very unsuitable
22.5-67.5	NE	B	unsuitable
292.5-337.5	NW	C	Relatively unsuitable
67.5-112.5	E	D	intermediate
112.5-157.5	SE	E	Relatively suitable
247.5-292.5	W	F	suitable
202.5-247.5	SW	G	very suitable
157.5-202.5	S	H	Excellent

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

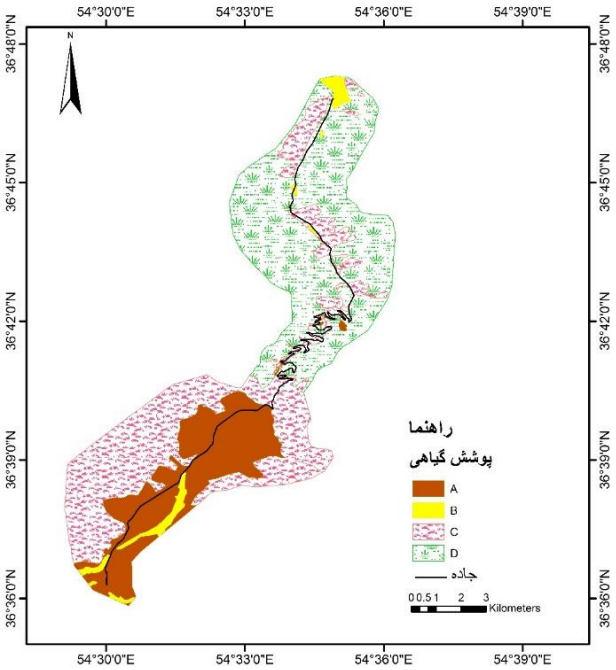


شکل ۸ نقشه کلاس‌بندی شده جهت شیب از نظر حساسیت به لغزش

Fig. 8. Classified map of slope direction in terms of landslide susceptibility

همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، نیمه شمالی منطقه از بخش پیچ‌های توسکستان به سمت بالا دارای پوشش گیاهی جنگلی بوده و در رده D که شرایط مناسب و پتانسیل لغزش پایین است، قرار گرفت بخش قابل توجه‌ای از جنوب منطقه که اکثراً ارتفاعات هستند و همچنین از پیچ‌ها توسکستان به سمت بالا در حاشیه کنار جاده دارای پوشش گیاهی از نوع بوته‌زار و درختچه زار، علف‌زار و چمن‌زار بوده و در رده‌ی C قرار گرفتند. رده B که زمین‌های کشاورزی هستند بیشتر در ابتدای منطقه مورد مطالعه و بخشی هم در شمال منطقه قرار گرفت. بخش‌هایی که در خط القعر یعنی در بخش جنوبی منطقه و قسمتی از پیچ‌ها توسکستان هستند، بدون پوشش گیاهی بوده و در رده A قرار گرفتند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]



شکل ۹. نقشه کلاس‌بندی شده پوشش گیاهی از نظر حساسیت به لغزش

Fig. 9. Classified map of vegetation in terms of susceptibility to landslides

جدول ۳. ماتریس مقایسه زوجی معیارها با نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۰۵

Table 3. Pairwise comparison and weight of the main criteria with CR=0.05

parameters	A	B	C	D	E	F	G	weight
A	1	2	2	3	4	5	8	0.296
B		1	3	3	2	6	8	0.279
C			1	3	3	5	8	0.178
D				1	1	4	7	0.098
E					1	4	7	0.090
F						1	3	0.038
G							1	0.021

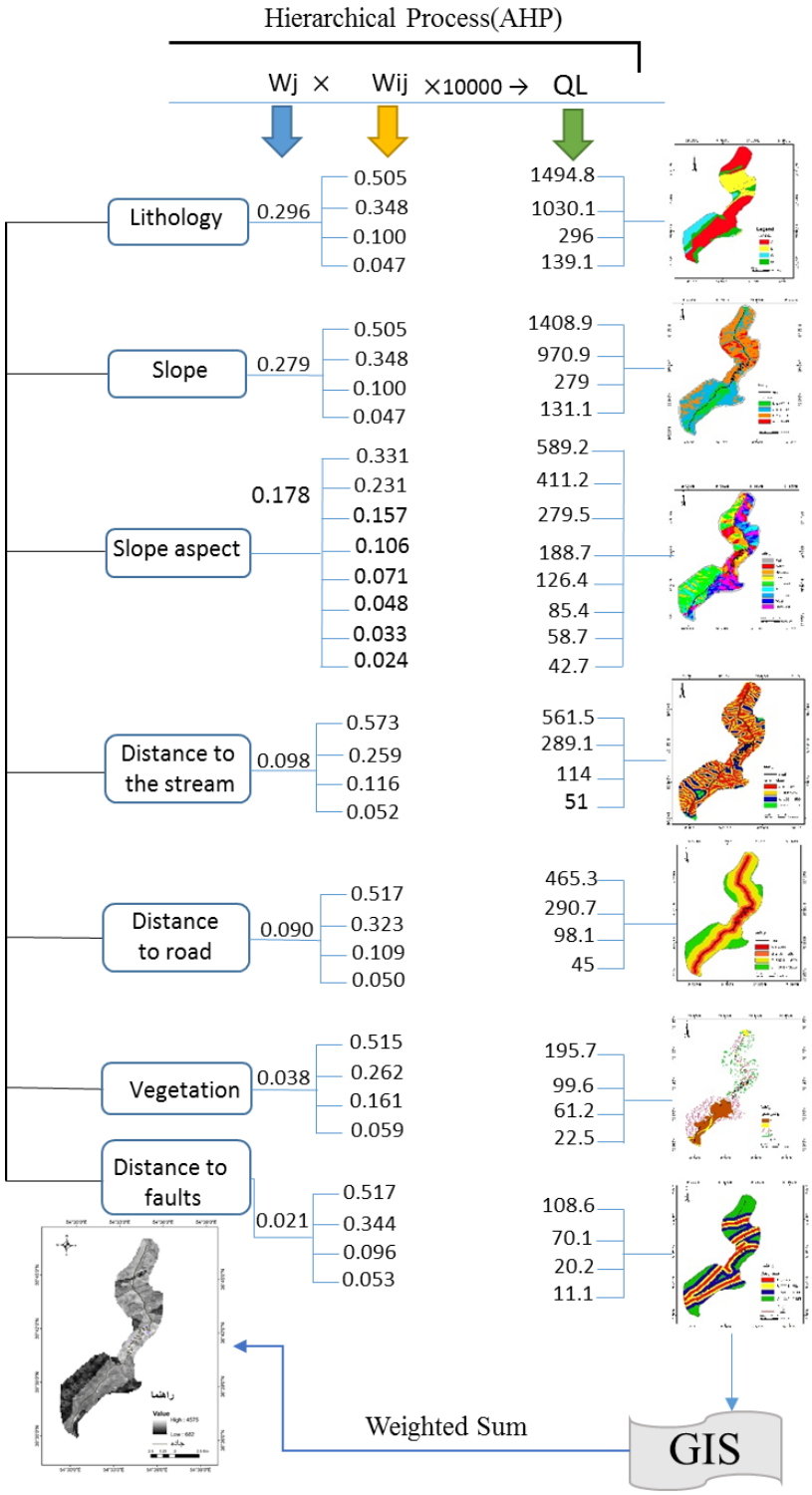
A: lithology, B: slope, C: slope direction, D: distance from the stream, E: distance from the road, F: vegetation and G: distance from the fault

هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله پس از مشخص شدن امتیاز نهایی نقشه هر پارامتر، ۷ لایه اطلاعاتی مورد نظر در محیط GIS روی یکدیگر قرار گرفتند و نقشه‌ها با یکدیگر تلفیق و به یک نقشه واحد تبدیل شدند (شکل ۱۰). امتیاز بدست آمده برای نقشه نهایی که حاصل روی هم‌گذاری امتیازهای نهایی نقشه‌های هر معیار است، بین ۴۵۷۵ تا ۶۸۲ متغیر بوده است. (شکل ۱۱)

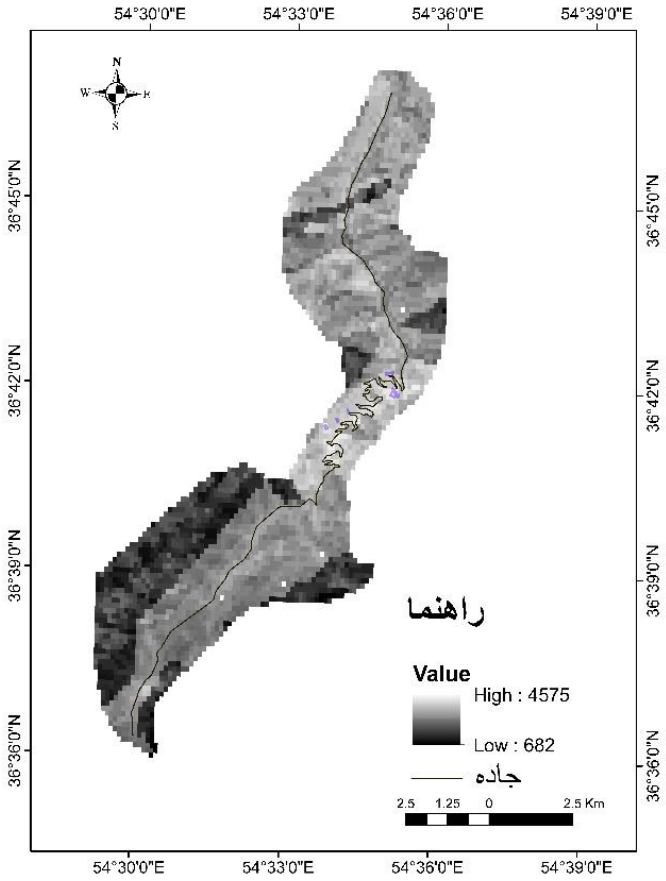
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]



شکل ۱۰. فلوچارت روش وزن دهی و پهنه‌بندی استفاده شده

Fig.10. Flow chart of the used method for weighting and zonation

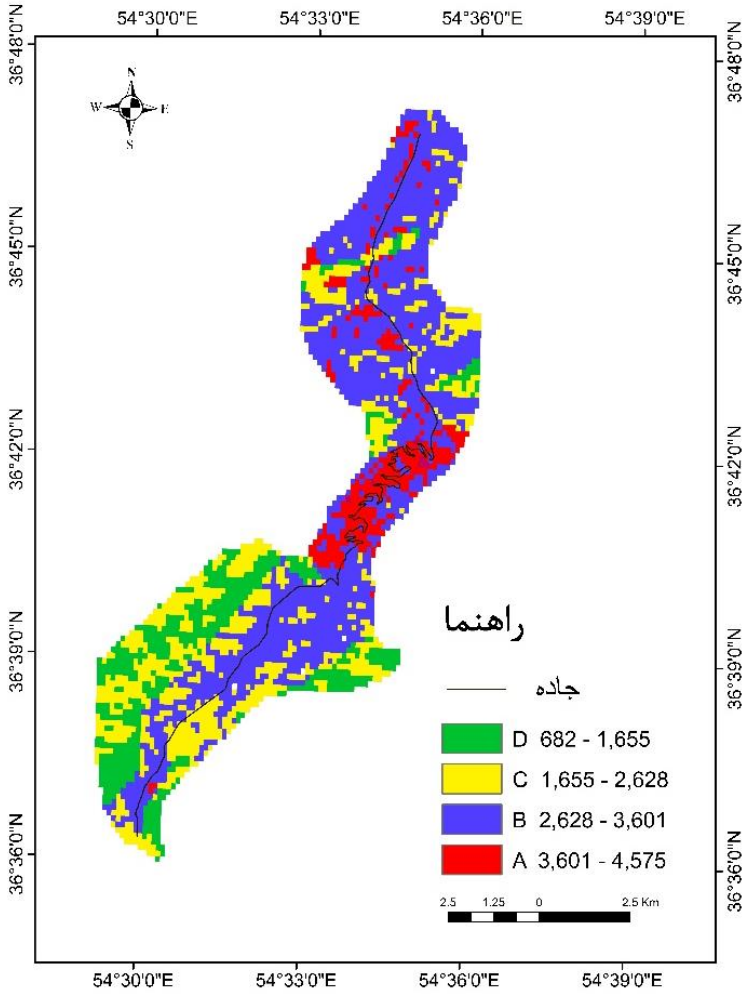


شکل۱۱. نقشه حاصل از هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی

Fig.11. Map resulting from overlapping information layers

با توجه به امتیازهای بدست آمده برای رده‌بندی این نقشه بدین صورت عمل شد که بیش‌ترین امتیاز از کم‌ترین امتیاز کسر شده تا دامنه تغییرات امتیاز در نقشه بدست بیاید. در مرحله بعد برای مشخص شدن امتیازهای حدی، درصدهای حدی در نظر گرفته شده برای دامنه امتیازات بدست آمده (۷۵، ۵۰، ۲۵) اعمال شد. در ادامه امتیاز بدست آمده برای این درصدها به عنوان امتیاز حدی برای رده‌بندی منطقه از نظر پتانسیل رخداد لغزش، به چهار رده مناسب، نسبتاً مناسب، نسبتاً نامناسب و نامناسب به کار برده شده و نقشه بدست آمده بر مبنای این امتیاز دوباره رده‌بندی گردید (شکل ۱۲). همانطور که در این شکل دیده می‌شود بخش اصلی مناطق دارای پتانسیل بالای زمین لغزش (کلاسA) در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه در بخشی که جاده پر پیچ و خم است قرار دارد. ارزیابی آماری این کلاس نشان می‌دهد که ۹/۳ درصد از محدوده مورد مطالعه به مساحت ۳۵۵ هکتار در رده با پتانسیل بالای رخداد لغزش قرار دارد. بررسی لغزش‌های موجود در این زون نشان می‌دهد که از بین مناطقی که در کلاس A قرار می‌گیرند آن بخش‌هایی که جهت شیب آن‌ها دارای مؤلفه شیب شمالی (شمال، شمال غرب و شمال شرق) هستند به دلیل برخورداری از بارش بیش‌تر و دریافت آفتاب کم‌تر (ماندگاری بیشتر بارش) نسبت به بقیه مناطق پتانسیل بیش‌تری برای رخداد لغزش دارند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

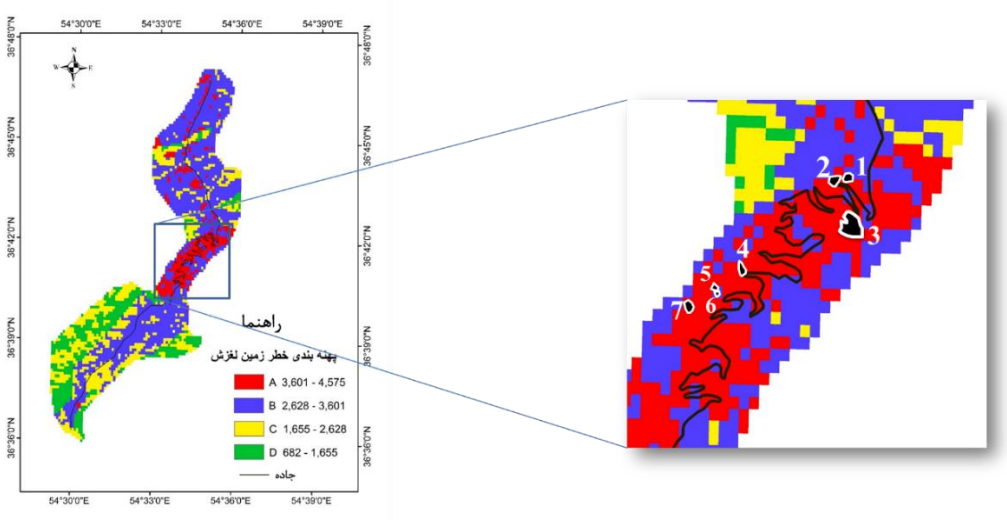


شکل۱۲. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل رخداد زمین لغزش در جاده توسکستان

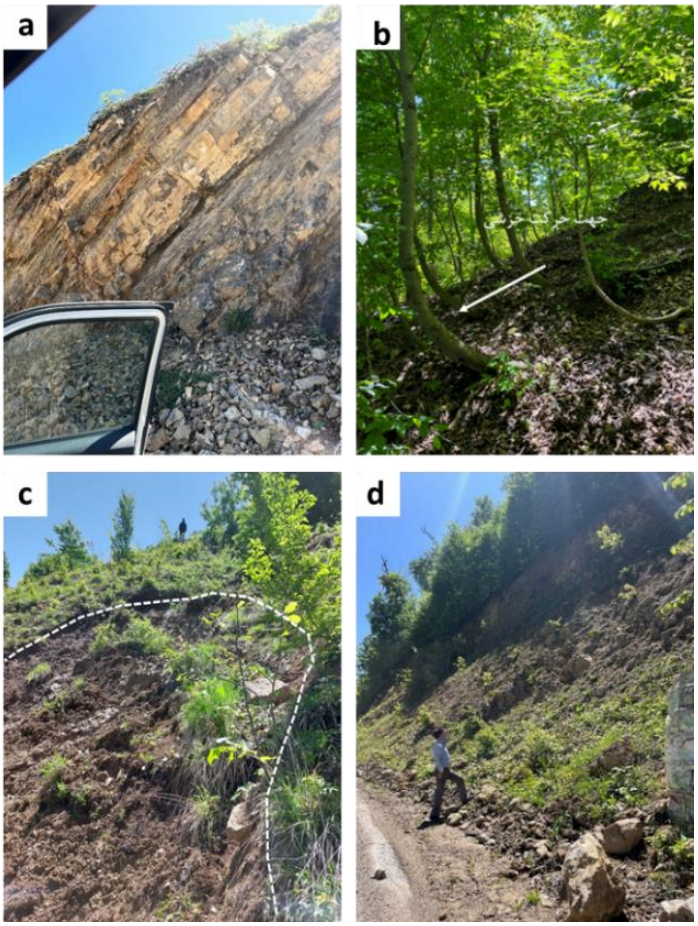
Fig.12. Landslide susceptibility zonation map of Tuskestan road.

برای صحت سنجی دقت نقشه پهنه‌بندی به دست آمده، با استفاده از شواهد رخداد لغزش نظیر تغییر در پوشش گیاهی و مورفولوژی لغزش، لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از گوگل ارث استخراج گردید. سپس از طریق بازدید میدانی اقدام به صحت سنجی این لغزش‌ها شد. در مرحله بعد موقعیت این لغزش‌ها بر روی نقشه پتانسیل لغزش پلات گردید. مشاهده شد که از ۷ زمین لغزش رخ داده، ۶ تا در منطقه پرخطر و یکی در منطقه نسبتاً پرخطر بوده (شکل ۱۳) به این معنی که ۸۵٪ لغزش‌های مورد مطالعه در منطقه پرخطر و ۱۵٪ لغزش‌ها در منطقه نسبتاً پرخطر بودند. این نتیجه‌گیری نشان داد که نقشه بدست آمده کارآمد بوده و می‌تواند در مدیریت ریسک و کاهش خطر زمین لغزش به تصمیم گیران این حوضه کمک کند. بخش پرخطر عمدتاً در منطقه‌ای که جاده به علت شیب زیاد پر پیچ و خم می‌باشد قرار دارد. همچنین ناپایداری‌های موجود به لحاظ نوع گسیختگی تنوع داشته و از لغزش چرخشی، گل روانه، سقوط، لغزش صفحه‌ای تا خزش در منطقه دیده شد. تصاویر برخی از این ناپایداری‌ها در شکل‌های ۱ و ۱۴ نمایش داده شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]



شکل ۱۳. موقعیت لغزش‌ها بر روی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل لغزش
Fig.13. Landslides location on the landslide susceptibility zonation map



شکل ۱۴. تصاویری از ناپایداری‌های رخ داده در مجاورت جاده توسکستان
Fig.14. Photos of slope instability near Tuskestan Road

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و تصمیم-گیری چند معیاره اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین-لغزش در جاده توسکستان در حد فاصل چهارباغ تا توسکستان گردید و نتایج زیر بدست آمد.

۱- نتایج تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که از بین ۷ پارامتر مورد استفاده (پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، آبراهه و جاده) لیتولوژی و شیب به ترتیب بیش‌ترین تأثیر و فاصله از گسل کم‌ترین تأثیر را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش داشتند.

۲- نقشه پهنه‌بندی بدست آمده نشان داد که ۹/۳ درصد از این محدوده به مساحت ۳۵۵ هکتار در رده خطر بالای رخداد زمین لغزش قرار دارد. این مناطق عمدتاً در محل پیچ‌های جاده توسکستان قرار دارند.

۳- از بین مناطق با خطر بالا، مناطق روبه شمال بخصوص در بخش‌های فاقد پوشش گیاهی، به دلیل دریافت و ماندگاری بیشتر نزولات بر روی شیب پتانسیل بیشتری برای رخداد لغزش دارند.

۴- ۸۵ درصد از لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه در رده خطر بالا واقع شده‌اند و نشان از دقت مناسب نقشه تهیه شده دارد.

قدردانی

نویسندگان از دانشگاه صنعتی شاهرود بابت همکاری به عمل آمده در فراهم نمودن امکانات جهت بازدید از محدوده مورد مطالعه، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

Arizn Tabar, H., Sharafi, S., & Neghaban, S. (2020). Evaluation of QS Method for Determination of Optimal Gamma in Landslide Risk Mapping (Case Study: Tuskestan forest to Gorgan). Quantitative Geomorphological Research, 9(3), 70-87. (In Persian).

Ahmad, M. S., & Khan, S. (2023). Comparative analysis of analytical hierarchy process (AHP) and frequency ratio (FR) models for landslide susceptibility mapping in Reshun, NW Pakistan. Kuwait Journal of Science, 50(3), 387-398.

Asghari Seraskanrod, S., Palizban, D., Emami, H., Ghaleh, E. (2020). Evaluation of Fuzzy Logic and Network Analysis Models for Mapping Landslide Sensitivity Case Study: (Sarab - Nir Road). Journal of Geography and Planning, 24 (73), 1-22. (In Persian)

Asmare, D. (2023). Application and validation of AHP and FR methods for landslide susceptibility mapping around choke mountain, northwestern Ethiopia, Scientific African, 19, 01470.

Dhungana, G., Ghimire, R., Poudel, R., & Kumal, S. (2023). Landslide susceptibility and risk analysis in Benighat Rural Municipality, Dhading, Nepal. Natural Hazards Research, 3(2), 170-185.

Fezizadeh, B., & Soltani, M. (2020). Evaluation Landslide Hazard Impacts on the 5th Segment of Ardebil-Mianeh Railroad based on Fuzzy-AHP, Fooler Hierarchical Triangle and Fuzzy logic Methods in GIS Environment. Journal of Engineering Geology, 14(2), 329-358. (In Persian)

Firuzi, M., Ghobadi, M., Noorzad, A., & Sepahi, A. A. (2021). The Influence of structural setting and

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]

lithology on landslide type and pattern in Qazvin-Rasht Freeway. Journal of Engineering Geology, 15(1), 95-124. (In Persian)

Hasani, S., Uromiea, A., & Maleki Z. (2017). Hazard zonation of slope instability along Kan-Souleghan route by the use of Fuzzy method. Journal of environmental geology, 38 (11), 35-50. (In Persian).

Luu, C., Ha, H., Bui, Q.D., Luong, N.D., Thanh Khuc, D., Vu, H., & Nguyen, D.Q. (2023). Flash flood and landslide susceptibility analysis for a mountainous roadway in Vietnam using spatial modeling, Quaternary Science Advances, 11, 100083.

Mojarad, Z., Jamalabadi, J., Shafiei, N., Zanganeh Asadi, M ., & Parak, K. (2020). The zoning of the risk of mass movements using information valuation methods and surface density in the ghouchan- Shirvan watershed. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 7 (3), 147-162. (In Persian).

Motasharreie, A., Qomi, J., Eftekhari, A., Pozesh, B., & Shahmari, M. (2012). Landslide hazard zonation on Tehran-Chalus road and the under construction Highway. Journal of Geotechnical Geology, 8(2), 147-158. (In Persian)

Pandey, V.K., Sharma, K.K., Pourghasemi, H.R., & Bandooni, S.K. (2019). Sedimentological characteristics and application of machine learning techniques for landslide susceptibility modelling along the highway corridor Nahan to Rajgarh (Himachal Pradesh), India. Catena, 182, 104150.

Pradhan, S., & Siddique, T. (2020). Stability assessment of landslide-prone road cut rock slopes in Himalayan terrain: A finite element method-based approach. Journal of rock mechanics and geotechnical engineering, 12, 59-73.

Pradhan, S., Toll, D.G., Rosser, N.J., & Brain, M.J. (2022). An investigation of the combined effect of rainfall and road cut on landsliding, Engineering Geology, 307, 10678.

Samadzadrh, R. (2015). Monitoring and zonatione mass movements hazards in the Ardabil - Sarcham. Researches in Earth Sciences, 6 (3), 19-33. (In Persian)

Zangmene, F.L., Ngapna, M.N., Balla Ateba, M.C., Monespérance Mboudou, G.M., Wabo Defo, P.L., Tetang Kouo, R., Kagou Dongmo, A., & Owona, S. (2023). Landslide susceptibility zonation using the analytical hierarchy process (AHP) in the Bafoussam-Dschang region (West Cameroon), Advances in Space Research, 71(12), 5282-5301.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.4.1.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.4.104487]