

Determining Areas Prone to the Occurrence of Landslides in the Nir-Sarab Communication Route

Mousa Abedini^{1✉}, Elnaz Piroozi

1. Professor of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

✉E-mail: Abedini@uma.ac.ir

2. Ph.D of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

E-mail: e.pirouzi@uma.ac.ir



How to Cite: Abedini, M; Piroozi, E. (2024). Determining Areas Prone to the Occurrence of Landslides in the Nir-Sarab Communication Route. *Geography and Development*, 22 (74), 82-110.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.8147>

Received:

21 August 2023

Received in revised form:

21 October 2023

Accepted:

28 October 2023

Published online:

20 January 2024

Keywords:

Mass movement,
Hazard,
GIS,
ROC,
Nair-Sarab road,
Potential occurrence.

ABSTRACT

Nir-Sarab communication Route; Due to special geological, climatic, geomorphological features and human activities, it has been affected by landslides for a long time. Therefore, according to the importance of the subject, the current research aims to evaluate the risk of landslides in this communication route by producing risk zoning maps and comparing two multi-criteria decision-making models, MARCOS and CODAS. For this purpose, first by examining research sources related to the subject, some of the most important factors affecting the occurrence of this phenomenon include; Height, slope, direction, lithology, land use, distance from the fault, distance from the road, distance from the river and precipitation were prepared as independent variables. Valuation and standardization of the layers were done by using the fuzzy membership function and weighting of the criteria, using the CRITIC method. Finally, modeling was done using MARCOS and CODAS multi-criteria decision-making methods. The results of the study showed, respectively; The factors of the slope, land use, and lithology have the greatest influence on the occurrence of landslides in the region with weight coefficients of 0.176, 0.152, and 0.124, respectively. According to the output of the CODAS method, respectively; 121.25 and 187.96 square kilometers of the range area, and according to the results of applying the MARCOS method, 85.32 and 201.76 square kilometers of the range area are in high-risk and very high-risk categories. Validation of the used multi-criteria decision-making methods, using the ROC curve method, very good accuracy of the CODAS method, with an area under the curve of 0.76, and excellent accuracy of the MARCOS method, with an area under the curve of 0.87, is an expression.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction

Landslide can be defined as the downward movement of rock and sedimentary units under the influence of gravity, which occurs as a result of the change in the shear strength of slope materials (Miccadei et al, 2022:1). This natural phenomenon causes disruption of the water and soil system in nature, destruction of roads, highways, residential areas, energy transmission lines, engineering structures, destruction of vegetation and agricultural

lands, rapid sedimentation and Widespread in the field of nature, the acceleration of erosion and the transfer of sediments behind the dams and the change and evolution of the landscape of the earth (Materazzi et al, 2021:1; Sadeghi et al, 2022: 124). Therefore, the threatening and damaging consequences of the landslide phenomenon for the environment prompt us to think about dealing with and mitigating the damage caused by this hazard. (Porfarazeshzadeh and Asghari Saraskanroud,

2022:42). The communication path of Nir-Sarab, in terms of the specific situation, such as topography, the presence of loose and non-resistant surface materials on resistant formations and climatic conditions (especially due to spring rains and snow melting in spring) from the potential It is prone to landslides and is one of the most accident-prone communication axes of Ardabil province in terms of landslides.

2. Methods and Material

The current research is of an applied type and its research method is an analysis based on the integration of data analysis, geographic information system, and the use of multi-criteria analysis techniques. ENVI, Ecognition, Arc GIS, Idrisi, and Excel software were used for image processing and data analysis. To assess the risk of landslides, first, the effective factors (including Slope, slope direction, height, lithology, land use, rainfall, distance from communication road, distance from the river, and distance from fault), according to natural and human conditions The area was identified. In the next step, information layers related to each of the factors were prepared in the geographic information system environment. The weighting of the investigated factors was done according to the CRITIC method and the final analysis, using CODAS and MARCOS multi-criteria methods. After preparing the landslide sensitivity map, the accuracy of the models has been checked using the ROC curve.

3. Results and Discussion

The results of this research showed that the factors of the slope, land use, lithology, and height are the most influential in the occurrence of instability in the study area. Examining the output of both investigated methods shows that in terms of slope criteria, areas with high and very high-risk probability, mainly; are between 10 and 40% slope. The comparison between the existing slip points with the slope map also shows that no slip point is observed in the slope classes lower than 10% and higher than 40%. In terms of the criteria of land use, agricultural uses, pastures (especially medium and poor pastures), and orchards have the largest amount of the land area, the possibility of a very

high risk is allocated to them, and therefore, not observing crop rotation, cultivation in lands Slopes, excessive grazing of livestock in pastures and destruction of vegetation accelerate the occurrence of landslides in agricultural uses, pastures, and gardens. The comparison between the existing slip points with the land use standard map shows that 50% of the slip points are in agricultural use and respectively; 30 and 20% are seen in pastures and gardens. About the lithology map, it can be said that there are very high-risk and high-risk classes, mainly; They are located in formations with very low, low, and moderate resistance, as well as in volcanic andesite and crushed basaltic rocks. A comparative study of the distribution of landslides with lithology criteria also shows that 40% of the landslides occurred in formations with very low resistance; It occurred in the form of alluvial deposits of the fourth period. 20 percent of the sliding points are also on steep slopes consisting of formations with medium lithology (alternation of gray and chalky marls with gray sandstones and within micro-conglomerate layers, sandstone, marl, clay, and tuff). rhyolite shear, igneous rocks (mainly pumice, pumice tuff), and other landslides in the range occurred in volcanic andesite and crushed basaltic rocks. In terms of altitude criteria, very dangerous and high-risk areas are located at altitude levels of 1650 to 2150 meters. Examining the sliding points of the range also shows that there is no sliding point at altitudes below 1600 meters and above 2150 meters. Therefore, landslides are more likely to occur at middle altitude levels.

According to the landslide risk zoning map obtained by the CODAS method, 15.71 square kilometers of the area is in the very high-risk class and 24.22 square kilometers is in the high-risk class. According to the output of the MARCOS method, respectively; 11.05 and 26.13 square kilometers of the area are very dangerous and high-risk classes. Comparing the slippery surfaces and areas facing danger shows that in the output of the investigated algorithms, the areas that are in the high-risk category have the highest number and percentage of slippery surfaces. In addition, no-slip points are observed in the low-risk and very low-risk classes introduced by the multi-criteria algorithms.

4. Conclusion

The results of the present research have shown that the presence of steep slopes, rocks sensitive to erosion (including marl, clay sheared tuff, igneous rocks, mainly pumice, pumice tuff), and water penetration in this mass, lead to It leads to the reduction of shear resistance and the occurrence of landslides. In addition, the output of both MARCOS and CODAS methods indicate the high potential of the studied area in terms of the occurrence of landslide risk. Because landslides can cause irreparable financial and human losses, the relevant organizations must carry out appropriate and expert watershed protection measures in the area.

Finally, it should be mentioned that each of the methods of studying environmental hazards,

including landslides, has advantages and disadvantages. How effective a method is in a region depends on the natural (physiographical, tectonic, and hydroclimatic) and human conditions (type of land use and environmental changes by humans) of the study area. The comparison of the models showed that the accuracy of the CODAS method with the area under the curve of 0.72 is very good and the accuracy of the MARCOS method with the area under the curve of 0.81 is excellent. Therefore, the validation results of MCDM models in the present study show the good performance of multi-criteria analysis models for producing landslide risk.

Keywords: Mass movement, Hazard, GIS, ROC, Nair-Sarab road, Potential occurrence.

5. References

- Abedini, M., Esmaeili, L., Pasban, A., Piroozi, E (2023). Investigation and landslide risk zoning in Nirchai basin using ANP model. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(1), 5987-6002. (in Persian)
https://www.jess.ir/article_160795.html
- Abedini, M., Ghasemyan, B., Rezaei Mogaddam M. H (2017). Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models, *Environmental Earth Science*, 76 (308), 1-14.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6502-3>
- Abedini, M., Tulabi, S (2018). Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran, *Environmental Earth Science*, 77(405), 1-13.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7524-1>
- Agrawal, N., Dixit, J (2022). Assessment of landslide susceptibility for Meghalaya (India) using bivariate (frequency ratio and Shannon entropy) and multi-criteria decision analysis (AHP and fuzzy-AHP) models, *All Earth*, 34 (1), 179-201.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/27669645.2022.2101256>
- Alinezhad, A., Khalili J (2019). *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*, International Series in Operations Research & Management Science, vol 277, Springer, Cham.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-15009-9>
- Asghari Sarasekanrood, S., Mohamadzadeh shishegaran, M., ZaliKordemahini, A (2021). Evaluating the Slope Instability of Ardabil-Sarein-Sarab Roads using Radar Interference, *Geography and Environmental Sustainability*, 11(2), 91-104 (in Persian)
https://ges.razi.ac.ir/article_1879.html
- Asghari Saraskanrood, 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), *Geography and Planning*, 24(73), 1-22. (in Persian)
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_10792.html

- Asghari Saraskanrood, S., Piroozi, E (2022). Comparative evaluation of WLC, OWA, VIKOR, and MABAC multi-criteria decision-making methods in landslide risk zoning Case study: Givi-chay watershed of Ardabil province, *Physical Geography Research Quarterly*, 54(1), 65-94. (in Persian)
https://jphgr.ut.ac.ir/article_85905.html
- Baharvand, S., Amiri Amraei, V., soori, S (2022). Use of Entropy Theory in Analysis of Landslide Controlling Factors and Zoning of its Occurrence Hazard in Ahmadabad Basin, Lorestan Province, *Environmental Erosion Research Journal*, 12 (4), 124-140. (in Persian)
<http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-701-fa.html>
- Baumgartel, A., Lukić, S., Belanović Simić, S., Kadović, R (2019). Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion- A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia), *Appl Sci*, 19(23), 1-12.
<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/23/5106>
- Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., Alamri, AM (2020). Spatial Landslide Risk Assessment at Phuentsholing, Bhutan. *Geosciences*, 10(4):1-17.
<https://www.mdpi.com/2076-3263/10/4/131>
- El Jazouli, A., Barakat, A., Khellouk, R (2019). GIS-multi-criteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco), *Geoenviron Disasters*, 6 (3), 1-12.
<https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677-019-0119-7>
- Feyzolahpour M, Manafi M, Khoshraftar R (2021). Landslide hazard zonation using of model Shannon entropy (case study: Taleghan watershed), *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 21 (62), 95-114.
<https://jgs.khu.ac.ir/article-1-3143-fa.html&sw>
- Gigovic, L., Drobnjak, S., Pamucar, D (2019). The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best-Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping. *ISPRS Int. J. Geo Inf*, 8 (79), 1-29.
<https://www.mdpi.com/2220-9964/8/2/79>
- Golipour, S., Hosseinzadeh, S. R., pourali, M (2022). Identifying landslide prone slopes and classification of its types using logistic regression model and fuzzy logic (Case study: Ghahremanlou Catchment, North Khorasan Province), *Quantitative Geomorphological Research*, 11(1), 209-228. (in Persian)
https://www.geomorphologyjournal.ir/article_150164.html
- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Foltz, R.B., Elliot, W.J (2006). Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and ROC analysis. *Transactions in GIS*, 10, 395-415.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2006.01004.x>
- Hanifinia, A., Abghari, H (2022). Investigation of affecting factors landslide occurrence in shannon entropy model with two WOE and LNRF approaches in order to zoning sensitivity landslide in Ziveh watershed of Urmia, *Quantitative Geomorphological Research*, 11(2), 108-127. (in Persian)
https://www.geomorphologyjournal.ir/article_150839.html
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Shaffiee Haghsheenas, S., Memarpour Ghiaci, A. Guido, G., Vitale, A (2023). Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment, *Neural Comput & Applic*, 35, 4549-4567.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-022-07929-4>
- Jamalabadi, J., Safari, F., Borabadi, A., Al-Mohammad, M (2021). Identification and zoning of susceptible area of landslide in the Javroud rural district, *Emergency Management*, 10(2), 47-55. (in Persian)
https://www.joem.ir/article_246948.html

- Kadavi, P., Lee, C.W., Lee, S (2018). Application of ensemble-based machine learning models to landslide susceptibility mapping, *Remote Sensing*, 10 (8), 1-18.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/10/8/1252>
- Khalil, U., Imtiaz, I., Aslam, B., Ullah, I., Tariq, A., Qin, S (2022). Comparative analysis of machine learning and multi-criteria decision making techniques for landslide susceptibility mapping of Muzaffarabad district. *Front. Environ. Sci*, 10, 1-19.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.1028373/full>
- Khodadadi, F., Entezari, M., Sasanpour, F (2019). Analysis of Geomorphologic Hazards of Landslide and Flood using VIKOR-AHP and Fr Models in the Alborz Province, *Physical Geography Research Quarterly*, 51(1), 183-199. (in Persian)
https://jphgr.ut.ac.ir/article_72180.html
- Madadi, A (2010). A Study on GgA Study on Ggeomorphologic Instability in Saien Defile (between, Nir and Sarab,Azarbyjan area)by Using of Anbalagan Method.*Geography and Environmental Planning*,21(1),77-94.
https://gep.ui.ac.ir/article_18457.html
- Madadi, A., piroozi, E (2023). Landslide risk zoning in the upstream basin of Yamchi Dam in Ardabil province, using multi-criteria decision making methods MARCOS and CODAS. *Quantitative Geomorphological Research*, 12(1), 73-94. (in Persian)
https://www.geomorphologyjournal.ir/article_164602.html
- Madadi, A., Piroozi, E., Faal Naziri, M (2021). A Comparative Evaluation of MABAC and CODAS Multi-Criteria Decision Algorithms in Landslide Risk Zoning (Case Study: Kowsar County), *Geography and Environmental Planning*, 31(4), 1-24. (in Persian)
https://gep.ui.ac.ir/article_25270.html
- Materazzi, M., Bufalini, M., Gentilucci, M., Pambianchi, G., Aringoli, D., Farabollini, P (2021). Landslide hazard assessment in a monoclinal setting (Central Italy): Numericalvs. geomorphological approach. *Land*, 10 (6), 624, 1-22.
<https://www.mdpi.com/2073-445X/10/6/624>
- Mathew, M., Sahu, S (2018). Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection, *Management Science Letters*, 8, 139–150.
https://www.growing-science.com/msl/Vol8/msl_2018_4.pdf
- Miccadei, E., Carabella, C., Paglia, G (2022). Landslide Hazard and Environment Risk Assessment, *Land*, 11 (428), 1-5.
<https://www.mdpi.com/books/book/5310-landslide-hazard-and-environment-risk-assessment>
- Mohammadnia, M., Fallah, G (2018). Landslides susceptibility mapping using fuzzy logic and AHP, *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 18 (48), 115-130. (in Persian)
<https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2646-fa.html>
- Naderi, F., Naseri, B., Bastami, N (2021). Efficiency of Victor model in landslide risk zoning in the watershed of Galal Dam in Ilam Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(1), 21-39. (in Persian)
https://jm.um.ac.ir/article_39617.html
- Pour farrash zadeh, F., Asghari Saeskanrudb, S (2022). Assessment and Zoning the Landslide Susceptibility Using Statistical Method in the Blaikhly Catchment (Yamchy Station), *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 41-59. (in Persian)
https://geoeh.um.ac.ir/article_40910.html

- Rabby, Y.W., Li, Y., Abedin, J., Sabrina, S (2022). Impact of Land Use/Land Cover Change on Landslide Susceptibility in Rangamati Municipality of Rangamati District, Bangladesh. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11 (89), 1-16.
<https://www.mdpi.com/2220-9964/11/2/89>
- Rezaei Moghaddam, M. H., mokhtari, D., samandar, N (2021). Mass movements Modeling and Motion Sensitive Zone Management Using Statistical Algorithms in Ojan Chay Basin, *Geography and Development*, 19(63), 147-174. (in Persian)
https://gdij.usb.ac.ir/article_6190.html
- Roostaei, S., Hosseinzadeh Domriq, H (2022). Investigation of landslide potential in the domain of Maragheh's Alavian dam's reservoir, *Quantitative Geomorphological Research*, 11(1), 1-18. (in Persian)
https://www.geomorphologyjournal.ir/article_141039.html
- Sadeghi, A., Sharifi Hashjin, S., Rahimpour Sheikhaninejad, M. A., & Mahmoodi Chenari, H (2022). Landslide detection and monitoring using InSAR, Case study: Ardal and Koohrang Counties, Iran, *Quantitative Geomorphological Research*, 11(1), 133-153. (in Persian)
https://www.geomorphologyjournal.ir/article_145929.html
- Salehpour, Jam., Mosaffaie, A., Sarfaraz, F (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid MCDM models. *Nat Hazards*, 108, 1025-1046.
https://ideas.repec.org/a/spr/nathaz/v108y2021i1d10.1007_s11069-021-04718-5.html
- Shahidi, F., Shoaie, G., Mohammadi Vavsari, M (2015). Investigation on the mechanism of Saein Strait Landslide (Nir-Sarab Road) in regard to the hydrological and geomorphological conditions, *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 8(Number 1 & 2), 13-33.
https://www.jiraeg.ir/article_68356.html
- Shahzeidi, S., Hayati Zadeh, R (2019). A Survey of Landslides Poshtkuh Region in Fereydonshahr by using Entropy Mode, *Geography and Development*, 17(54), 37-50. (in Persian)
https://gdij.usb.ac.ir/article_4337.html
- Taghizadeh, D (2022). Landslide risk zoning using the ANP model (case study: Sa'in pass in the Nir-Sarab connection axis), M.A. thesis of Mohaghegh Ardabili University, supervisor: Aghil Madadi, advisor: Sayyad Asghari Saraskanood, *Geomorphology and environmental studies*, Faculty of Social Sciences, 135 pages.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/d01dc69637c28bed4857a51a696007ff>
- Wathiq, Y (2011). Landslide survey of Ardabil-Sarab road, *Journal of Geological Education*, 17(1), 19-23. (in Persian)
https://www.roshdmag.ir/Roshdmag_content/media/article/3502.pdf
- Zhou, S., Zhou, S., Tan, X., (2020). Nationwide susceptibility mapping of landslides in Kenya using the fuzzy analytic hierarchy process model. *Land*, 9(12), 535, 1-22.
<https://www.mdpi.com/2073-445X/9/12/535>

تعیین مناطق مستعد وقوع خطر زمین لغزش در مسیر ارتباطی نیر - سراب

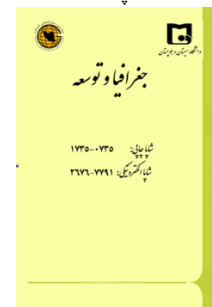
دکتر موسی عابدینی^{۱*}، دکتر الناز پیروزی^۲

مقاله پژوهشی

چکیده

زمین لغزش‌ها از جمله متداول‌ترین مخاطرات طبیعی تغییر شکل‌دهنده سطح زمین هستند که هر ساله خسارات فراوانی به انسان‌ها و محیط وارد می‌کنند. مرور خسارات ناشی از زمین لغزش، لزوم بررسی عوامل تأثیرگذار بر وقوع این پدیده و پیش‌بینی رخداد آن را به اثبات می‌رساند. محور ارتباطی نیر - سراب به دلیل ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی، اقلیمی، ژئومورفولوژیکی و فعالیت‌های انسانی، از دیرباز تحت تأثیر رانش زمین بوده است؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف تحقیق حاضر ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش در این مسیر ارتباطی، با تولید نقشه‌های پهنه‌بندی خطر و مقایسه دو مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره CODAS و MARCOS است. بدین منظور ابتدا با بررسی منابع پژوهشی مرتبط با موضوع، برخی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع این پدیده شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و بارش، به عنوان متغیرهای مستقل تهیه شد. ارزش‌گذاری و استانداردسازی لایه‌ها، با استفاده از تابع عضویت فازی و وزن‌دهی معیارها، با بهره‌گیری از روش CRITIC انجام شد. در نهایت، مدل‌سازی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره CODAS و MARCOS صورت گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که به ترتیب عوامل شیب، کاربری اراضی و لیتولوژی با ضریب وزنی ۰/۱۷۶، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۲۴، بیشترین تأثیرگذاری را در رخداد لغزش‌های منطقه دارند. با توجه به خروجی روش CODAS، به ترتیب ۱۲۱/۲۵ و ۱۸۷/۹۶ کیلومتر مربع از مساحت محدوده و مطابق با نتایج به کارگیری روش MARCOS، ۸۵/۲۲ و ۲۰۱/۷۶ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقه پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد. با توجه به اعتبارسنجی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده، با بهره‌گیری از روش منحنی ROC بیانگر دقت خیلی خوب روش CODAS، با مساحت زیر منحنی ۰/۷۶ و دقت عالی روش MARCOS، با مساحت زیر منحنی ۰/۸۷ است. به نظر می‌رسد که نتایج این مطالعه، در انتخاب روش مناسب در راستای پتانسیل‌سنجی خطر زمین لغزش در مناطق مشابه با محدوده محور ارتباطی نیر - سراب، می‌تواند بسیار مفید باشد و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۷۴، بهار ۱۴۰۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶
صفحات: ۸۲-۱۱۰



واژه‌های کلیدی:

حرکت دامنه‌ای، مخاطره، GIS، ROC، جاده نیر - سراب، پتانسیل وقوع.

مقدمه

طبیعی باعث برهم‌زدن گستره سیستم آب و خاک در طبیعت، تخریب جاده‌ها، بزرگراه‌ها، مناطق مسکونی، خطوط انتقال انرژی، سازه‌های مهندسی، تخریب پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی، رسوب‌زایی سریع و وسیع در عرصه طبیعت، تسریع فرسایش و انتقال گستره رسوبات به پشت سدها و تغییر و تکامل چشم‌انداز زمین می‌شود (Materazzi et al, 2021: 2)؛ صادقی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۳۴). انتخاب روش مناسب با هدف پهنه‌بندی باعث صرفه‌جویی در زمان و کاهش هزینه‌ها می‌شود؛ به همین دلیل در دهه‌های اخیر از مدل‌های متفاوت و نوین متعددی برای پهنه‌بندی و ارزیابی زمین لغزش استفاده شده است. با توجه به اینکه

مخاطرات طبیعی به عنوان یک عامل زیان‌بار در محیط فیزیکی برای انسان محسوب می‌شود که زمین لغزش یکی از این مخاطرات است و در بسیاری از نقاط به وقوع می‌پیوندد (شاه‌زیدی و حیاتی‌زاده، ۱۳۹۸: ۳۸۱). مطالعات درمورد زمین لغزش بیانگر این است که زمین لغزش از مخاطرات پرتکراری است که در همه قاره‌ها رخ می‌دهد و برای انسان‌ها، زیرساخت‌ها و محیط‌زیست تهدیدی جهانی است. در این خصوص تولید نقشه‌های دقیق منطقه‌بندی حساسیت به زمین لغزش، از موضوعات مهم مطالعات مدیریت خطر است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲: ۵۹۱۷). این پدیده

زمین لغزش، از جمله مخاطراتی است که گزینه‌ها و معیارهای چندگانه دارد، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، از جمله روش‌هایی است که امروزه مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی می‌تواند به برنامه‌ریزی سریع و مدیریت خطرات احتمالی منجر شود.

مسیر ارتباطی نیر-سراب، به لحاظ وضعیت خاص، مانند توپوگرافی، وجود مواد سطحی سست و نامقاوم بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی (به‌ویژه به علت بارش‌های بهاری و ذوب برف‌ها در فصل بهار) از پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش برخوردار است و

از حادثه‌خیزترین محورهای ارتباطی استان اردبیل از نظر زمین لغزش است؛ برای مثال، در مسیر جاده نیر-سراب در ۱۶ خرداد ۱۳۸۵ زمین لغزشی رخ داد و در نتیجه این زمین لغزش، ۶۰۰ متر از جاده اصلی و ترانزیتی این منطقه همراه توده، لغزش یافت و به‌طور کامل تخریب شد و سبب کشته شدن یک نفر و بروز خسارات مالی هنگفت شد (وثیق، ۱۳۹۰: ۲۱). نمایی از زمین لغزش رخ داده در جاده نیر-سراب، در شکل (۱) نمایش داده شده است؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف پژوهش حاضر، شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در مسیر ارتباطی نیر-سراب و پهنه‌بندی این محور مواصلاتی از نظر پتانسیل وقوع خطر زمین لغزش است.



شکل ۱: نمایی از زمین لغزش رخ داده در جاده نیر-سراب (گردنه صائین) که در آن تند شیب مشرف بر جاده و سنگ‌های خرد شده بالادست لغزش، نمایان است (مأخذ: سایت‌های داخلی).

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

زمین لغزش را می‌توان به عنوان حرکت روبه پایین واحدهای سنگی و رسوبی تحت تأثیر نیروی گرانشی تعریف کرد که در نتیجه تغییر مقاومت برشی مواد دامنه‌ای رخ می‌دهد (Miccadei et al, 2020: 1). زمین لغزش پدیده‌ای است که به عوامل مختلفی مانند: شیب، زمین‌شناسی، عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی، کاربری زمین، پوشش گیاهی، عوامل انسانی و زلزله بستگی دارد (Zhou et al, 2020: 2). فیض‌اله‌پور و همکاران، (۱۴۰۰: ۹۶). زمین لغزش‌ها به‌طور کلی پدیده‌های

ژئومورفولوژیکی پیچیده‌ای هستند که مردم سالانه در سراسر جهان، به سبب وقوع این پدیده خسارات‌های جانی و مالی زیادی را متحمل می‌شوند (حنیفی‌نیا و عبقری، ۱۴۰۱: ۱۲۸). در این راستا، شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و تولید نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش، به منظور مدیریت این خطر ضرورت می‌یابد (Rabby et al, 2020: 10). در مورد بررسی خطر لغزش‌ها، تاکنون در ایران و سایر نقاط جهان توسط محققان مختلف با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مطالعات متعددی صورت گرفته است که

فازی-AHP)؛ خلیل و همکاران^۷ (۲۰۲۲)، «تحلیل مقایسه‌ای تکنیک‌های یادگیری ماشین‌بردار و تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش منطقه مظفرآباد هند» اشاره کرد.

با توجه به اهمیت موضوع، مطالعاتی نیز در راستای بررسی مسئله خطر زمین‌لغزش در محدوده محور ارتباطی نیر-سراب انجام شده است؛ به‌عنوان مثال، مددی (۱۳۸۹)، به بررسی میزان ناپایداری در جاده ارتباطی گردنه صائین، با استفاده از مدل آنبالاگان پرداخته است و نتایج نشان داده است که مساحتی با خطر بسیار بالا ۲۳ درصد، مناطق با خطر زیاد ۲۴/۶ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و میان شیب، ارتفاع و نوع سازندهای زمین‌شناسی با زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی، رابطه مستقیمی وجود دارد.

شهیدی و همکاران (۱۳۹۴)، با نگرشی بر هیدرولوژی و شرایط ریخت‌شناسی منطقه، سازوکار وقوع زمین‌لغزش گردنه صائین (جاده نیر-سراب) را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داده است که عوامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و ساختار زمین‌شناسی)، ضخامت خاک و سنگ‌های سست، شیب دامنه و آب‌های زیرزمینی از عوامل اصلی دخیل در وقوع رانش منطقه هستند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، به پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی در جاده سراب-نیر پرداختند. نتایج نشان داد که میزان بارش و ارتفاع نسبت به سایر عوامل تأثیر بیشتری در ایجاد نواحی پرخطر ایفا می‌کنند که بعد از این دو عامل، مناطق با پوشش گیاهی کم و مناطق دارای سنگ‌های سست و نواحی نزدیک به گسل به ترتیب بالاترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه داشتند.

همگی بر عملکرد مطلوب این روش‌ها در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تأکید داشتند؛ ازجمله این تحقیقات، می‌توان به انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، «بررسی زمین‌لغزش در استان البرز با بهره‌گیری از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل ویکور»؛ مددی و همکاران (۱۳۹۹)، «ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC و CODAS، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان کوثر (استان اردبیل)»؛ نادری و همکاران (۱۴۰۰)، «بررسی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد گلال استان ایلام با استفاده از مدل VIKOR»؛ مددی و پیروزی (۱۴۰۲)، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه بالادست سد یامچی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره MARCOS و CODAS»؛ عابدینی و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، «پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در شهرستان بیجار کردستان با استفاده از رگرسیون لجستیک و مدل AHP»؛ عابدینی و طولابی^۲ (۲۰۱۸)، «پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نوژیان استان لرستان با استفاده از سه مدل LNRFR، FR و AHP»؛ جیگووایس و همکاران^۳ (۲۰۱۹)، «پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های WLC و OWA، در قسمت غربی جمهوری صربستان»؛ دیکشیت و همکاران^۴ (۲۰۲۰)، «ارزیابی خطر زمین‌لغزش در Phuentsholing، بوتان با بهره‌گیری از روش WLC»؛ صالح‌پور و همکاران^۵ (۲۰۲۱)، «ارزیابی عملکرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، LIM و VIKOR در حساسیت زمین‌لغزش در حوزه آبخیز الموت ایران»؛ اگرال و دیکسیت^۶ (۲۰۲۲)، «ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش برای مگالایا (هند)، با استفاده از مدل‌های دومتغیره (نسبت فرکانس و آنتروپی شانون) و تحلیل تصمیم چندمعیاره AHP و

1. Abedini et al
2. Abedini and Tulabi
3. Gigovic et al
4. Dikshit et al
5. Salehpour et al
6. Agrawal and Dixit

اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰)، ناپایداری دامنه‌های جاده‌های اردبیل-سرعین-سراب را در بازه زمانی ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰، با استفاده از تداخل‌سنجی راداری ارزیابی کرده‌اند و نتایج پژوهش نشان داده که در بازه زمانی مورد مطالعه بیشترین میزان حرکات مواد دامنه‌ای ۲۱ سانتی‌متر است که نشان‌دهنده فعال‌بودن منطقه از لحاظ حرکات دامنه‌ای است و رخداد بیشینه عرصه زمین‌لغزش در کاربری دارای پوشش گیاهی باغات و مراتع و کشاورزی دیم دیده می‌شود. تقی‌زاده (۱۴۰۱)، با استفاده از روش ANP و روش ترکیب وزنی، به ارزیابی مکانی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در گردنه صائین (محور ارتباطی نیر-سراب) پرداخته است. با توجه به نتایج، فاکتورهای شیب و ارتفاع (از خوشه فیزیوگرافی)، لیتولوژی و فاصله از گسل (از خوشه عوامل زمین‌ساختاری)، به ترتیب بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. نتایج پژوهش نشان داد، ۱۰۳/۳۱ کیلومتر مربع از مساحت محدوده مطالعاتی در طبقه بسیار پرخطر و ۲۰۴/۸۸ کیلومتر مربع در طبقه پرخطر قرار دارند.

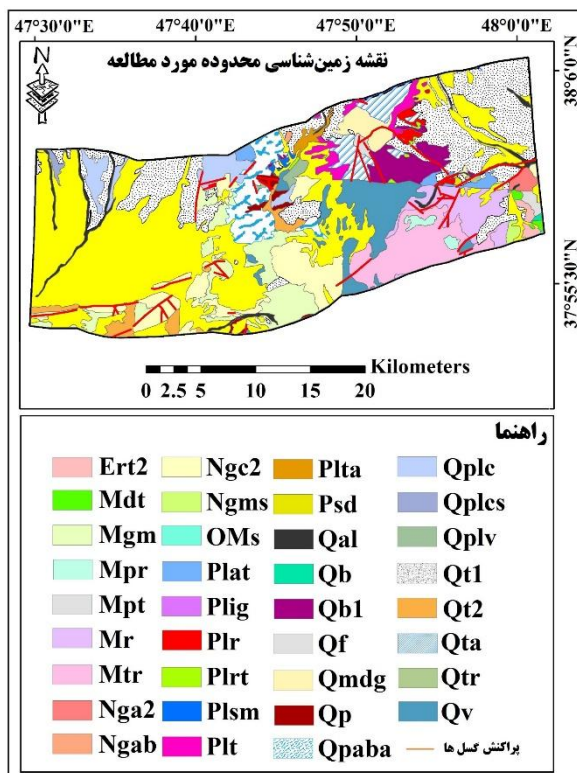
همان‌طور که بررسی پیشینه پژوهشی نشان می‌دهد، تاکنون مطالعه‌ای به‌منظور پهنه‌بندی محورهای ارتباطی نیر-سراب از لحاظ پتانسیل رخداد لغزش با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MARCOS و CODAS، انجام نشده است؛ بنابراین در مطالعه حاضر، پتانسیل زمین‌لغزش مسیر ارتباطی نیر-سراب، با استفاده از این الگوریتم‌ها مدنظر قرار گرفته است تا با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر زمین‌لغزش، اقدامات لازم در جهت کنترل زمین‌لغزش، برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه از منابع و استراتژی‌های مدیریت پایدار زمین به عمل آید. از سوی دیگر، با توجه به استفاده از روش‌های نوین مارکوس و کوداس

در مطالعه حاضر، به‌نظر می‌رسد که نتایج در امر انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطقی با شرایط طبیعی و انسانی مشابه با محدوده محور ارتباطی نیر-سراب، می‌تواند بسیار مفید باشد و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پتانسیل‌سنجی خطر زمین‌لغزش قرار گیرد.

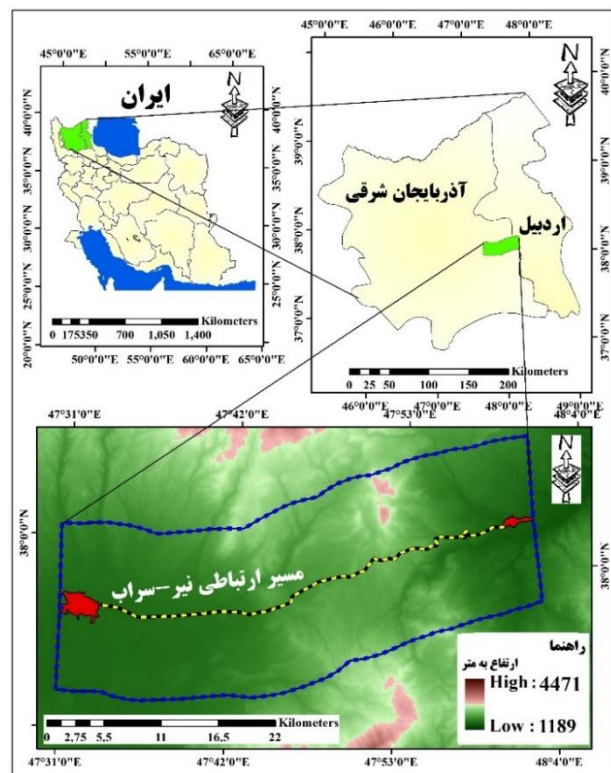
معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، با مساحت ۷۷۲ کیلومتر مربع، در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و از جنوب‌غربی شهر نیر (در غرب استان اردبیل) تا شهر سراب (استان آذربایجان شرقی) قرار دارد (شکل ۲). این منطقه را سرشاخه‌های بالخلی‌چای که خود از زیرحوضه‌های قره‌سو، دره‌رود و ارس به شمار می‌آید، زهکشی می‌کند. کوه سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر به همراه کوه‌های اقماری آن، از شمال تا شمال‌غربی منطقه را احاطه کرده و کوه‌قصر (قصرداغی) در غرب نیر و کوه‌های بزقوش در غرب و جنوب‌غربی آن واقع شده است. منطقه مطالعاتی عمدتاً از سنگ‌های آذرآواری دوران سوم و نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم تشکیل شده است (شکل ۳). عموماً منطقه از لحاظ توپوگرافی در بخش شرقی دارای ارتفاعات زیاد و در قسمت غربی دارای ارتفاعات نسبتاً کمتر است.

منطقه مورد مطالعه از نظر آب و هوایی، دارای هوای سرد در زمستان و هوای نسبتاً معتدل در تابستان است. نوع اقلیم منطقه مطابق با فرمول دومارتن، نیمه‌خشک و با توجه به روش آمبرژه، نیمه‌خشک بسیار سرد است (تقی‌زاده، ۱۴۰۱: ۵۴).



شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

مطالعه استخراج شد و لایه‌های شیب و جهت شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به‌ترتیب با استفاده از دستورهای Slope و Aspect در Arc map تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل‌ها، با رقومی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی مشکین‌شهر، سراب، اردبیل و گیوی، با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر لندست هشت (سنجنده OLI)، تاریخ ۲۰۲۲/۰۸/۰۵ استخراج شد. در این راستا، ابتدا تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash، در نرم‌افزار Envi انجام شد؛ سپس طبقه‌بندی با روش شیء‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار Ecognition Developer صورت گرفت. نقشه بارش نیز با توجه به داده‌های ۲۱ ساله (۱۴۰۱-۱۳۸۰)، ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی (نیر، لای،

مواد و روش‌ها

منابع داده‌ها و ابزارها

در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش محدوده مورد مطالعه (شامل: شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل)، با مطالعه منابع از کانال‌هایی چون مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و پیمایش‌های میدانی و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه شناسایی شد. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان اردبیل تهیه شد. نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک (۱۲/۵×۱۲/۵ متر) از سایت دانشگاه آلاسکا دریافت و محدوده مورد

کورتائیم، سرعین، سراب و هریس) و با بهره‌گیری از معادله گرادیان بارش ($P=0.223 \text{ H}-82.43$)، با ضریب تعیین 0.89 ($R^2=0.89$)، ترسیم شد؛ بدین‌صورت که در نرم‌افزار Arc map، با استفاده از دستور Calculator Raster، نقشه طبقات ارتفاعی جایگزین مؤلفه H شد و سپس نقشه بارش به دست آمد.

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش کوداس (CODAS):

- ۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش: اولین گام در این روش، تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش است.
- ۲- دومین گام در این روش، تشکیل ماتریس تصمیم است. در ماتریس تصمیم روش کوداس معیارهای آن ستون‌ها و سطرهاى آن گزینه‌های پژوهش هستند.
- ۳- سومین گام، استانداردسازی ماتریس تصمیم است که در این مطالعه، استانداردسازی و ارزش‌گذاری به‌صورت توأم با استفاده از روش فازی انجام شده است.
- ۴- تشکیل ماتریس نرمال وزن‌دار: باید وزن معیارها را در ماتریس نرمال ضرب کرد. در این پژوهش برای وزن‌دار کردن ماتریس نرمال، از روش CRITIC استفاده شده است.
- ۵- محاسبه فواصل اقلیدسی^۲ و تاکسی^۳ از ایده‌آل منفی: این فواصل از روابط ۱ و ۲، به‌دست می‌آیند. در این روابط ns ایده‌آل منفی معیارهاست.

رابطه ۱:

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2}$$

رابطه ۲:

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j|$$

۶- ایجاد ماتریس ارزیابی نسبی: در این گام باید ماتریس ارزیابی نسبی با استفاده از رابطه ۳ ایجاد شود که در این رابطه، Ψ نشان‌دهنده یک تابع آستانه برای تشخیص برابری فاصله اقلیدسی دو گزینه است.

رابطه ۳:

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k))$$

۷- در این گام با جمع مقادیر h_{ik} گزینه‌ها، می‌توان آن‌ها را رتبه‌بندی کرد. هر چه مقدار H_i بزرگتر باشد، گزینه رتبه بهتری دارد (Mathew and Sahu, 2018: 140-140).

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش مارکوس (MARCOS):^۴

- ۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش: اولین گام در این روش تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش است.
- ۲- تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش نیز به‌صورت معیار-گزینه است؛ یعنی یک ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مسئله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است.
- ۳- تعیین ایده‌آل و ضدایده‌آل: در این بخش براساس روابط ۴ و ۵، مقادیر ایده‌آل (AI) و ضدایده‌آل (AAI) مشخص می‌شود. در روابط زیر، عبارت B به معنی معیارهایی که جنبه سود و عبارت C به معنی معیارهای که جنبه هزینه دارند (با توجه به هدف پژوهش حاضر، جنبه سود و هزینه در رابطه با نقش معیارها، در وقوع خطر زمین‌لغزش است).

رابطه ۴:

$$AI = \max x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min x_{ij} \text{ if } j \in C$$

رابطه ۵:

$$f(k_i^-) = \frac{k_i^+}{k_i^+ + k_i^-} \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

$$f(k_i^-) = \frac{k_i^-}{k_i^+ + k_i^-} \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

وزن دهی CRITIC (اهمیت معیارها، از طریق همبستگی بین معیارها): در این روش، داده‌ها براساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این روش پس از محاسبه انحراف معیار معیارهای مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد $m \times m$ ایجاد می‌شود که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد موجود بین معیار j با معیارهای دیگر از روی رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

که در آن C_{jk} معرف مجموع تضاد معیار j با معیارهای k است که از $k = 1$ شروع شده و تا $k = m$ ادامه دارد و r_{jk} همبستگی بین دو معیار k و j را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل j را می‌توان با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه کرد.

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۱۳:}$$

که در آن C_j معرف میزان اطلاعات معیار j و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار j را نشان می‌دهد. با توجه به روابط یادشده، معیارهایی که دارای C_j بیشتری باشند، وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند j از رابطه ۱۴ تعیین می‌شود.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{رابطه ۱۴:}$$

$$AAI = \min x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max x_{ij} \text{ if } j \in C$$

۴- نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی: در پژوهش حاضر، برای دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر زمین‌لغزش، مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی صورت پذیرفت.

۵- وزن دار کردن ماتریس نرمال: در این پژوهش، برای وزن دهی عوامل از روش CRITIC استفاده شده است.

۶- محاسبه مطلوبیت هر گزینه: در این مرحله، براساس روابط ۶ و ۷، درجه مطلوبیت ایده‌آل K^+ و ضدایده‌آل K^- گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$K_{i+} = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$K_{i-} = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad \text{رابطه ۷:}$$

در روابط بالا، $S_i = (i=1,2,3,...,m)$ جمع مقایر هر سطر در ماتریس وزن دار است که از رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad \text{رابطه ۸:}$$

۷- تعیین عملکرد نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این بخش با استفاده از رابطه ۹، عملکرد مطلوب هر گزینه محاسبه می‌شود.

رابطه ۹:

$$f(k_i) = \frac{k_i^+ + k_i^-}{1 + \frac{1-f(k_i^+)}{f(k_i^+)} + \frac{1-f(k_i^-)}{f(k_i^-)}}$$

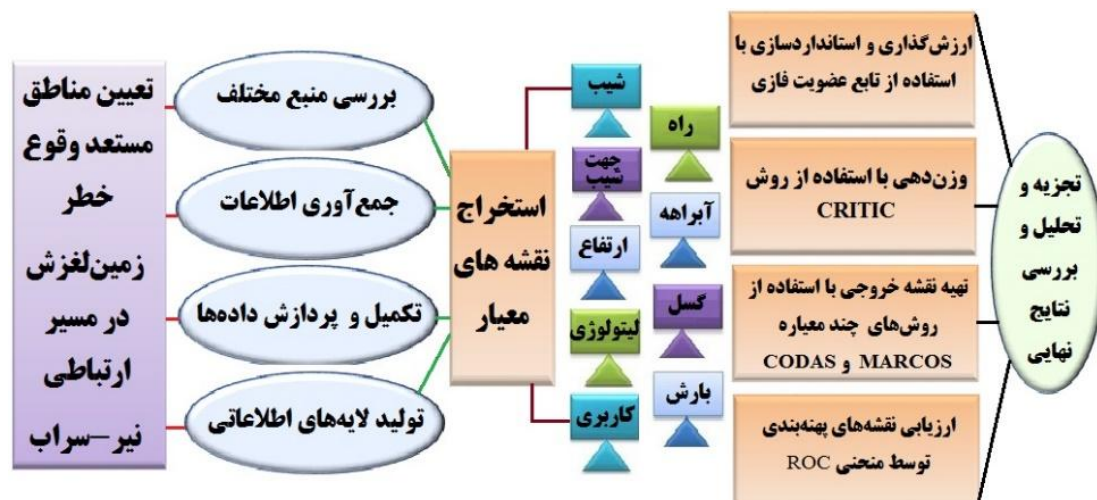
در رابطه بالا $f(k^-)$ ، عملکرد مطلوبیت ضدایده‌آل و $f(k^+)$ عملکرد مطلوب ایده‌آل برای هر گزینه است که از روابط ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌شود. سپس براساس اعداد به دست آمده از $f(k)$ ، هر گزینه رتبه‌بندی انجام می‌شود. هر کدام از گزینه‌ها مقدار $f(k)$ بزرگتری داشت، رتبه بهتری دارد

(Jafarzadeh Ghoushchi et al, 2023:4555).

که در آن W_j معرف وزن معیار z و C_k نشانگر میزان اطلاعات مجموع معیارهای k است که از $k=1$ شروع شده و تا $k=m$ ادامه دارد؛ بنابراین وزن نهایی هر معیار، از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان کل اطلاعات تمامی معیارها به دست می‌آید (Alinezhad and Khalili, 2019:199-201). در راستای انجام مراحل وزن‌دهی کرتیک ابتدا در محیط ادریسی انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، با استفاده از تابع REGRESS به دست آمد و در مرحله بعد، با توجه به روابط مربوط نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی در اکسل اقدام شد.

استانداردسازی فازی: در پیاده‌سازی الگوریتم‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر و برای دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر زمین‌لغزش، مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی (تابع بزرگ فازی در متغیرهای شیب، جهت شیب، لیتولوژی و کاربری‌اراضی)، (تابع خطی افزایشی در متغیرهای طبقات ارتفاعی و بارش) و (تابع خطی کاهش‌ی در متغیرهای فاصله از راه ارتباطی، فاصله از گسل و فاصله از رودخانه) انجام شده است. استاندارد کردن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (Baumgertel et al., 2019:5).

صحت‌سنجی نتایج: پس از تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش، لازم است تا صحت مدل حساسیت به زمین‌لغزش مورد استفاده، مورد بررسی قرار گیرد. از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در پیش‌بینی و تعیین دقت مدل‌سازی، منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)^۱، است (محمّدنیا و فلاح، ۱۳۹۷: ۱۱۹). در منحنی ROC، در محور افقی، پیکسل‌هایی که وقوع یا عدم‌وقوع زمین‌لغزش به وسیله مدل را به درستی پیش‌بینی کرده (مثبت درست)^۲ و در محور عمودی، نسبت پیکسل‌هایی که نادرست پیش‌بینی شده‌اند (مثبت غلط)^۳، ترسیم می‌شود (Gorsevski et al., 2006:398). دامنه عددی منحنی بین صفر تا یک متغیر بوده، به طوری که عدد یک نشان‌دهنده برازش کامل و عدد ۰/۵ نشان‌دهنده برازش تصادفی است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۶۰). مرحله صحت‌سنجی با توجه به نقشه پهنه‌های لغزشی و خروجی‌های حاصل از به کارگیری روش‌های مورد استفاده و با استفاده از دستور ROC در نرم‌افزار ادریسی و ترسیم نهایی منحنی در اکسل انجام شده است. فلوچارت مربوط به فرایند پژوهش، در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴: فلوچارت مربوط به فرایند تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

یافته‌های تحقیق

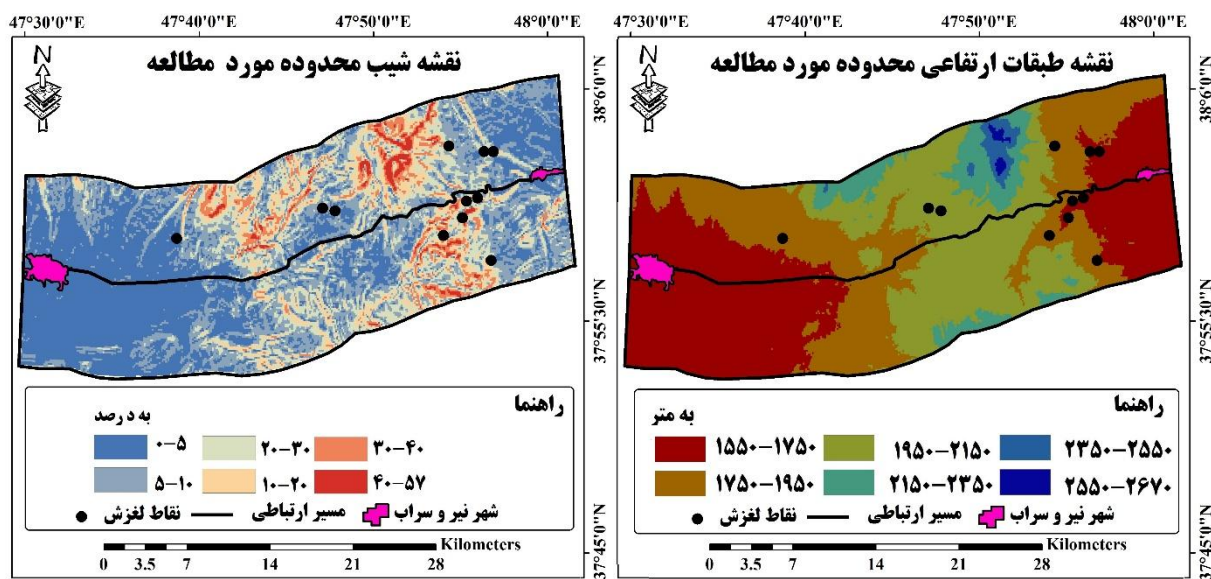
با توجه به ویژگی‌های طبیعی و انسانی مسیر ارتباطی نیر-سراب، از ۹ فاکتور مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، استفاده شده است؛ بنابراین در ادامه عوامل مؤثر و دخیل در شکل‌گیری زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ارتفاع: متغیر ارتفاع بر بسیاری از ویژگی‌های محیطی از جمله، کنترل ارتفاع بر عناصر آب‌وهوایی، پوشش گیاهی و فرایندهای هوازدگی تأثیر می‌گذارد که در وقوع زمین‌لغزش بسیار مهم هستند (Kadavi et al, 2018:5). متوسط ارتفاع محدوده ۲۱۰۰ متر از سطح آزاد دریاهاست. حداقل ارتفاع منطقه در محل تقریبی شهر نیر (ارتفاع ۱۶۱۰ متر) و شهر سراب (ارتفاع ۱۶۷۰ متر) قرار گرفته است. اختلاف ارتفاع در سطح محدوده، بالغ بر ۱۱۲۰ متر است و این مقدار اختلاف ارتفاع به تنوع محیطی و نیز انرژی دینامیکی بالا در سطح محدوده مطالعاتی منجر شده است. با توجه به نقشه طبقات ارتفاعی محدوده (شکل ۵)، ۳۷/۹۳ درصد از مساحت محدوده در طبقه ارتفاعی ۱۵۷-۱۵۵۰ متر قرار دارد. طبقات ارتفاعی ۱۹۵۰-۱۷۵۰،

۲۱۵۰-۱۹۵۰ و ۲۳۵۰-۲۱۵ متر، به ترتیب ۲۸/۲۱، ۲۵/۵۴ و ۶/۶۶ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهند و به ترتیب ارتفاع ۱/۳۰ و ۳۶/۰۳ درصد، از مساحت محدوده ۲۳۵۰-۲۵۵۰ و ۲۶۷۰-۲۵۵۰ متر است.

شیب: در بررسی شیب یک منطقه، توزیع شیب نسبت به سطح آن، در مطالعات توپوگرافی منطقه اهمیت دارد. با افزایش شیب، تنش برشی افزایش می‌یابد و افزایش تنش برشی سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌شود (روستایی و حسین‌زاده، ۱۴۰۱: ۴).

در محدوده مورد پژوهش، مقدار شیب بین ۰ تا ۵۷ درصد است. به طور کلی، ۴۸/۷۶ درصد از مساحت محدوده دارای شیب ۵-۰ درصد است و طبقات شیب ۱۰-۵ و ۱۰-۲۰، به ترتیب ۲۵/۲۵ و ۱۷/۹۳ درصد از سطح محدوده را شامل می‌شوند. همچنین به ترتیب ۵/۲۰، ۱/۸۴ و ۱/۰۲ درصد از سطح محدوده، در طبقات شیب ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰ و ۴۰-۵۷ قرار گرفته است و محدوده مورد مطالعه، با داشتن متوسط شیب ۲۸ درصد، مستعد وقوع لغزش است (شکل ۶).



شکل ۶: نقشه شیب محدوده مورد مطالعه

شکل ۵: نقشه طبقات ارتفاعی محدوده مورد مطالعه

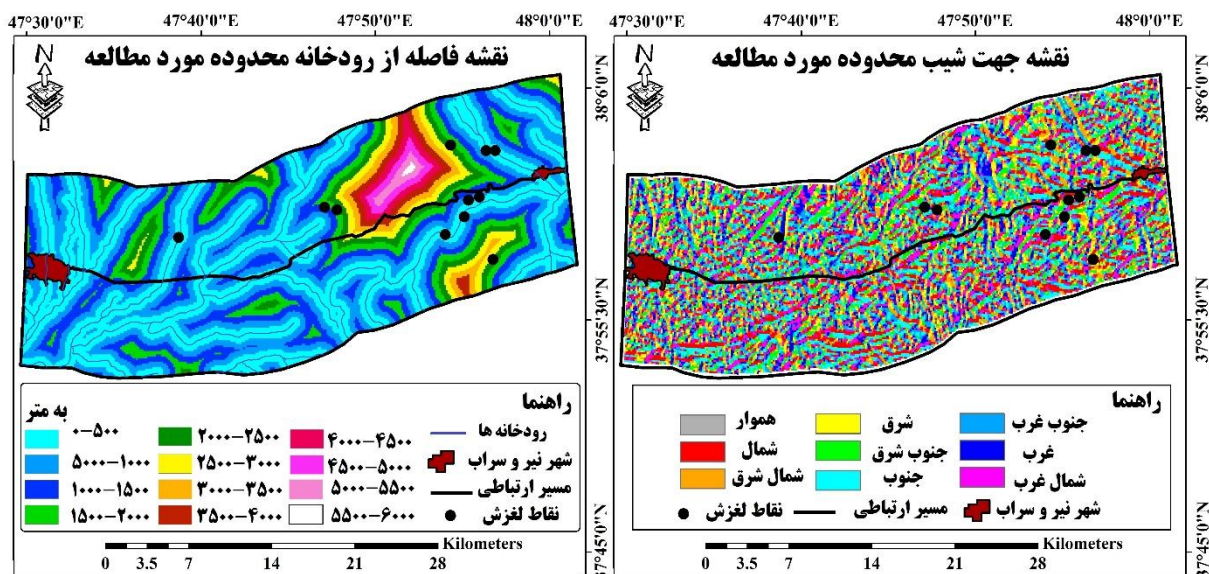
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

جهت شیب

جهت شیب در میزان انرژی خورشیدی و درجه حرارت، وجود پوشش گیاهی، بارندگی، نگهداشت رطوبت باد و در نهایت ایجاد شرایط هوازدگی مکانیکی و تخریب سنگها نقش خود را ایفا می کند (گلی پور و همکاران، ۱۴۰۱: ۲۱۳). با توجه به نقشه جهت شیب محدوده (شکل ۷)، ۱۵/۳۴ درصد از مساحت محدوده در جهت شیب جنوب، ۱۴/۷۷ کیلومترمربع در جهت جنوب شرقی و ۱۷/۲۷ درصد در جهت جنوب غربی قرار گرفته است. همچنین به ترتیب ۱۴/۳۲، ۱۱/۸۴ و ۱۰/۹۴ درصد از مساحت محدوده را جهات شمال، شمال غرب و شمال شرق پوشش می دهد. به علاوه، ۱۰/۰۷ درصد از مساحت محدوده دارای جهت شیب شرقی است و جهت غربی، ۵/۴۵ کیلومترمربع از مساحت را تشکیل می دهد.

فاصله از شبکه آبراهه

تأثیر فعالیت و عملکرد آبراهه ها به صورت مجموعه ای از عملکردهای دینامیکی بیرونی و فعالیت های مکانیکی نظیر اشباع مواد، افزایش جرم حجمی، کاهش مقاومت مکانیکی توده های خاکی و سنگی، افزایش سطح آب های زیرزمینی و افزایش بارهای استاتیکی و دینامیکی سنگی زیرشویی دامنه ها و از بین بردن تکیه گاه دامنه ها مشاهده می شود (بهاروند و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۲۶). محدوده مطالعاتی، متشکل از رودخانه های اصلی به نام های آق لاقان چای، کمال آباد چای، امام چای، آجی چای و پیسلر چای است و فاصله از آبراهه در حوضه مطالعاتی بین صفر تا ۶۰۰۰ متر است (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه فاصله از رودخانه محدوده مورد مطالعه

شکل ۷: نقشه جهت شیب محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

کشاورزی دارد. در واقع نداشتن اختلاف ارتفاع، نداشتن شیب زیاد (دشت سراب دارای زمین‌های نسبتاً هموار کم‌شیبی است که شیب آن به کمتر از ۵ درصد می‌رسد) و وجود رسوبات آبرفتی مناسب در کنار عوامل اقتصادی منطقه، سبب شده است تا فعالیت‌های کشاورزی این منطقه با گسترش زیادی همراه باشد.

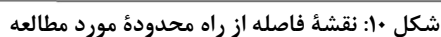
فاصله از جاده

فاصله تا جاده‌ها یکی از عوامل اصلی انسانی است که بر وقوع زمین‌لغزش تأثیر می‌گذارد (جمال‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۰: ۵۲). در هنگام کار عمرانی به علت زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه‌ها لغزش‌هایی ایجاد می‌شود (El Jazouli et al, 2019:4). در محدوده مطالعاتی، فاصله از جاده در حد فاصل صفر تا ۹۰۰۰ متر است و به‌طور مکرر، در این محورهای ارتباطی شاهد وقوع لغزش‌های کوچک و بزرگ هستیم (شکل ۱۰).

کاربری اراضی

کاربری زمین عامل اصلی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش است (El Jazouli et al, 2019:4). انواع کاربری‌ها، در مسیر ارتباطی مورد مطالعه به‌صورت زراعت دیم و آبی (به‌ترتیب با پوشش ۲۵/۶۹ و ۲۵ درصد از مساحت محدوده)، باغات (با ۱۱/۶۸ درصد از مساحت)، اراضی بایر (با ۱/۵۳ درصد)، مناطق مسکونی (۱/۳۲ درصد از مساحت)، مراتع فقیر، متوسط و خوب (به‌ترتیب با ۷/۲۸، ۱۴/۳۵ و ۱۰/۲۱ درصد)، اراضی پوشیده از آب (با مساحت ۰/۰۸ درصد) و بیشه‌زار و بوته‌زار (با ۰/۸۶ درصد از مساحت) است (شکل ۹).

در دشت نیر که از آبرفت‌های جوان و تراس‌های قدیم و جدید در اثر ته‌نشست آبرفت‌های رودخانه‌ای با شیب کم تشکیل شده است، اغلب اراضی کشاورزی و نیز باغات دیده می‌شوند. دشت سراب نیز که شهر سراب را احاطه کرده، کشت‌زارهای وسیعی دارد و به‌طور کلی این دشت به‌دلیل وضعیت ژئومورفولوژیکی مناسب، محدودیت کمی برای توسعه فعالیت‌های



شکل ۹: نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

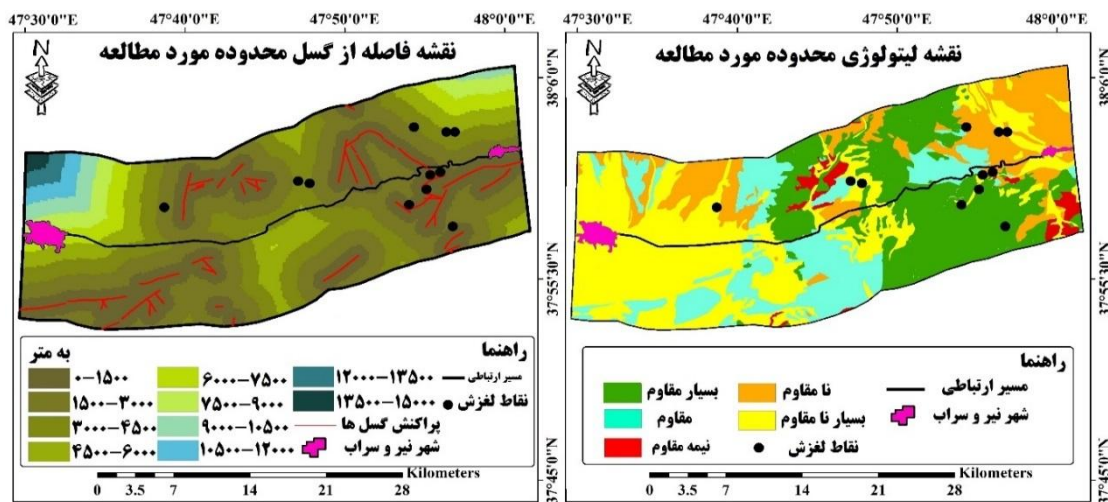
لیتولوژی

از گسل در محدوده مطالعاتی بین صفر تا ۱۵۰۰۰ متر، است (شکل ۱۲). رودخانه بالخلی در جنوب شهر نیر که به سمت جنوب غربی امتداد دارد، بر روی گسل احتمالی جریان دارد. این گسل از شمال آبگرم برجلو عبور می‌کند و دره‌ای که جاده جدید اردبیل - تبریز از آن می‌گذرد، تقریباً مسیر این گسل را دنبال می‌کند. روند این گسل جنوب غربی - شمال شرقی است. همچنین در شرق روستای دکلانو گسل‌هایی با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و شمال - جنوبی وجود دارد که به سمت جاده قدیم کشیده شده‌اند. در دامنه روبه‌روی جاده، گسل‌های زیادی با طول‌های مختلف، دامنه را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد ترک و شکاف شده است؛ به‌طوری‌که فراوانی چشمه‌ها در این قسمت مؤید ادعای بالاست؛ زیرا در مناطق و جاهایی با چشمه‌های فراوان، احتمالاً گسل‌های زیادی وجود دارد و دلیلی بر زمین‌ساخت فعال در منطقه است. از مهم‌ترین گسل‌های این دامنه، می‌توان به گسلی اشاره کرد که دامنه جنوبی دره ایلانجوق - ساری‌قیه را به‌صورت طاق شکسته و طولی، شیب تندی در این رشته ایجاد کرده است (مددی، ۱۳۸۹: ۱۶).

یکی از لایه‌های اطلاعاتی که در بیشتر روش‌های خطر زمین‌لغزش به کار می‌رود، مطالعات مربوط به زمین‌شناسی و واحدهای لیتولوژی است. لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری شیب و به‌طور کلی بیانگر ساخت، بافت، مقاومت و دوام نسبی یک توده سنگ است (بهاروند و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۲۶). از لحاظ مقاومت، سازندهای محدوده به ۵ طبقه، از مقاومت بسیار کم تا مقاومت بسیار زیاد تقسیم شده است. به‌ترتیب $۳۶/۷۲$ و $۱۷/۱۳$ درصد از مساحت محدوده دارای مقاومت بسیار کم و کم هستند. $۱/۷۵$ درصد از سطح محدوده را سازندهای با مقاومت متوسط (نیمه‌مقاوم) پوشانده است و به‌ترتیب سازندهایی با لیتولوژی مقاوم و بسیارمقاوم، $۱۷/۹۰$ و $۲۶/۵۰$ درصد از مساحت محدوده را تشکیل داده است (شکل ۱۱).

فاصله از گسل

شکستگی‌ها و گسیختگی‌های سطح زمین تأثیر زیادی در رسوخ آب به داخل زمین و خرد شدن سنگ‌ها و سست شدن اتصال بین مواد سنگی دارند که در نهایت، شرایط بروز حرکات توده‌ای را فراهم می‌سازند (یورفرازش/زاده و اصغری سراسکانرود، ۱۴۰۱: ۵۲).



شکل ۱۱: نقشه لیتولوژی محدوده مورد مطالعه

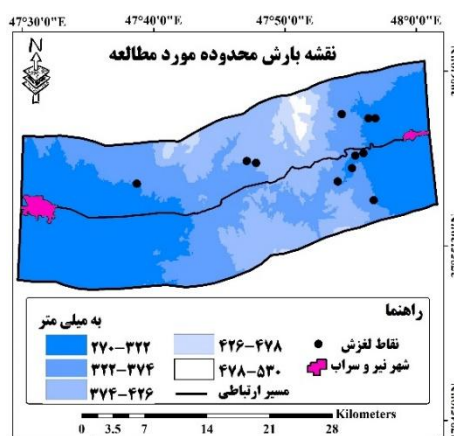
شکل ۱۲: نقشه فاصله از گسل محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

بارندگی

با افزایش حجم آب موجود در بافت خاک به علت وقوع بارندگی، ناپایداری خاک در دامنه افزایش می‌یابد و با افزایش فشار استاتیکی آب بر درز و شکاف‌های دامنه، موجب ریزش دامنه‌های ناپایدار شده، منجر به وقوع زمین‌لغزش می‌شود؛ بنابراین از پارامترهای مهم در بررسی پهنه‌های زمین لغزش محسوب می‌شود (روستایی و همکاران، ۱۴۰۱: ۲۱۴). حداقل بارش محدوده، ۲۷۰ میلی‌متر و حداکثر آن ۵۳۰ میلی‌متر است (شکل ۱۳). چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور، کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال در سطح منطقه هستند و

بیشترین مقدار بارش حوضه، مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت است. به علاوه، مناطق با بارش زیاد عمدتاً در نواحی کوهستانی و مرتفع گسترده شده‌اند و مناطق با بارش کم، در واحد دشت و کم‌ارتفاع قرار دارند. در حالت کلی ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت به دلیل برخورداری از بارش زیاد، اهمیت بسیار زیادی در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه دارد. در واقع، بارش مستمر در طول این ماه‌ها (همراه با ذوب برف و یخ)، شرایط لازم برای وقوع زمین‌لغزش را که همان حضور آب است، فراهم می‌کند.

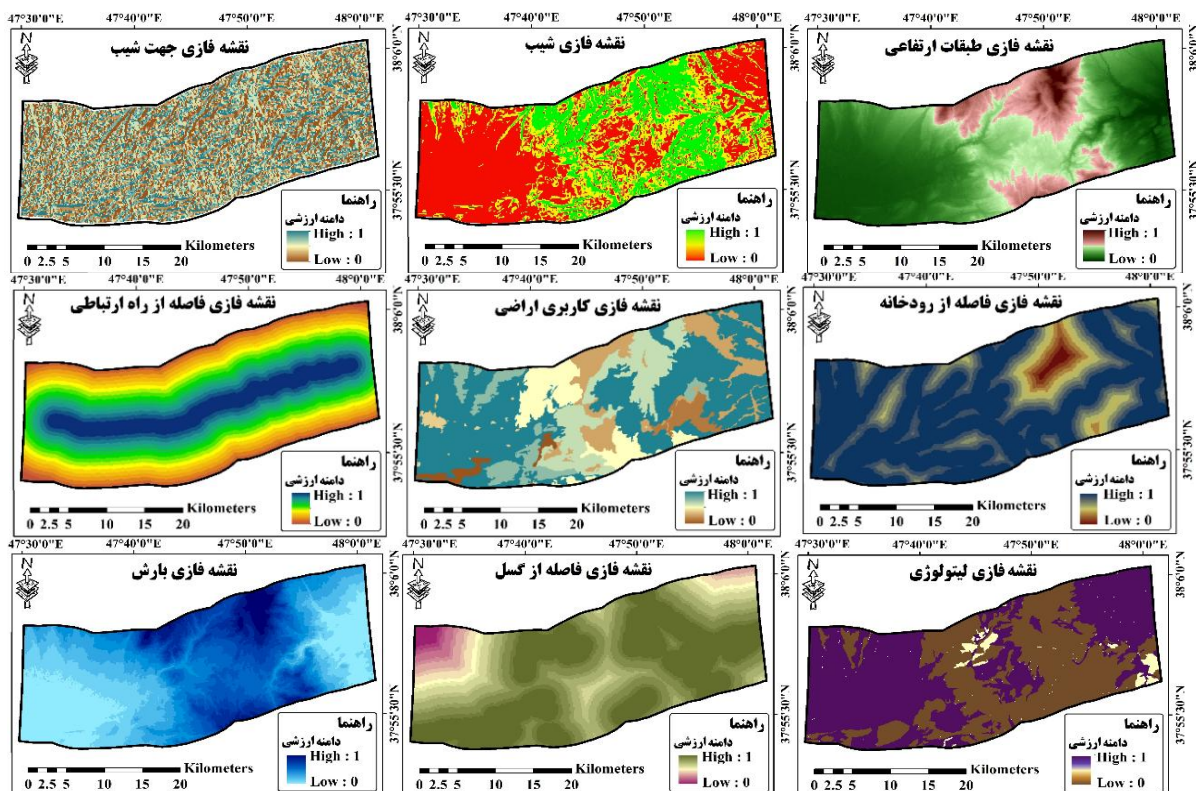


شکل ۱۳: نقشه بارش محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

پس از تهیه نقشه‌های استاندارد شده هر یک از معیارهای مطرح در نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش مسیر ارتباطی نیر-سراب (شکل ۱۴) و اعمال کردن وزن‌های مربوط (جدول ۱)، نقشه‌های به‌دست‌آمده وارد تکنیک‌های مورد بررسی شد و با اعمال مراحل مختلف، نقشه‌های خروجی

نهایی در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم‌خطر به‌دست آمد. نتایج از وزن‌دهی معیارها نشان می‌دهد که به‌ترتیب عوامل شیب، کاربری اراضی و لیتولوژی با ضریب وزنی ۰/۱۷۶، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۲۴، در رخداد لغزش‌های منطقه بیشترین نقش و اهمیت را دارند.



شکل ۱۴: نقشه استاندارد شده معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۱: ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد و محاسبه وزن نهایی معیارها با استفاده از روش کرتیک

ماتریس همبستگی								
معیار	جهت شیب	راه ارتباطی	رودخانه	گسل	لیتولوژی	کاربری	شیب	بارش
جهت شیب	۱	۰/۳۸۷	۰/۳۲۱	۰/۲۴۷	۰/۱۳۵	۰/۲۳۴	-۰/۴۶۵	۰-/۲۲۱
راه ارتباطی	۰/۳۸۷	۱	-۰/۵۳۴	۰/۴۳۵	۰/۶۴۳	۰/۴۸۶	-۰/۴۵۷	-۰/۴۳۲
رودخانه	۰/۳۲۱	-۰/۵۳۴	۱	۰/۳۵۴	-۰/۴۳۶	-۰/۲۴۳	۰/۴۴۲	-۰/۲۴۵
گسل	۰/۲۴۷	۰/۴۳۵	۰/۳۵۴	۱	۰/۶۵۴	۰/۵۴۳	-۰/۴۲۱	-۰/۴۱۳
لیتولوژی	۰/۱۳۵	۰/۶۴۳	-۰/۴۳۶	۰/۶۵۴	۱	۰/۶۵۷	-۰/۵۷۶	-۰/۴۳۵
کاربری	۰/۲۳۴	۰/۴۸۶	-۰/۲۴۳	۰/۵۴۳	۰/۶۵۷	۱	-۰/۵۴۳	-۰/۴۳۲
شیب	-۰/۴۶۵	-۰/۴۵۷	۰/۴۴۲	-۰/۴۲۱	-۰/۵۷۶	-۰/۵۴۳	۱	۰/۶۵۴
بارش	-۰/۲۲۱	-۰/۴۳۲	-۰/۲۴۵	-۰/۴۱۳	-۰/۴۳۵	-۰/۴۳۲	۰/۶۵۴	۱
ارتفاع	۰/۱۸۷	۰/۴۳۲	۰/۴۲۳	۰/۵۳۲	۰/۵۷۴	۰/۴۵۶	-۰/۵۳۵	-۰/۴۶۴

ماتریس تضاد									
معیار	جهت شیب	راه ارتباطی	رودخانه	گسل	لیتولوژی	کاربری	شیب	بارش	ارتفاع
جهت شیب	۰	۰/۶۱۲	۰/۶۷۸	۰/۷۵۲	۰/۸۶۴	۰/۷۶۵	۱/۴۶۵	۱/۲۲۱	۰/۸۱۲
راه ارتباطی	۰/۶۱۲	۰	۱/۵۳۴	۰/۵۶۴	۰/۳۵۶	۰/۵۱۳	۱/۴۵۷	۱/۴۶۵	۰/۵۶۷
رودخانه	۰/۶۷۸	۱/۵۳۴	۰	۰/۶۴۵	۱/۴۳۶	۱/۲۴۳	۰/۵۵۷	۱/۲۴۵	۰/۵۷۶
گسل	۰/۷۵۲	۰/۵۶۴	۰/۶۴۵	۰	۰/۳۴۵	۰/۴۵۶	۱/۴۲۱	۱/۴۱۳	۰/۴۶۷
لیتولوژی	۰/۸۶۴	۰/۳۵۶	۱/۴۳۶	۰/۳۴۵	۰	۰/۳۴۲	۱/۵۷۶	۱/۴۳۵	۰/۴۲۵
کاربری	۰/۷۶۵	۰/۵۱۳	۱/۲۴۳	۰/۴۵۶	۰/۳۴۲	۰	۱/۵۴۳	۱/۴۳۲	۰/۵۴۳
شیب	۱/۴۶۵	۱/۴۵۷	۰/۵۵۷	۱/۴۲۱	۱/۵۷۶	۱/۵۴۳	۰	۰/۳۴۵	۱/۵۳۵
بارش	۱/۲۲۱	۱/۴۶۵	۱/۲۴۵	۱/۴۱۳	۱/۴۳۵	۱/۴۳۲	۰/۳۴۵	۰	۱/۴۶۴
ارتفاع	۰/۸۱۲	۰/۵۶۷	۰/۵۷۶	۰/۴۶۷	۰/۴۲۵	۰/۹۵۶	۱/۵۳۵	۱/۴۶۴	۰
محاسبه وزن نهایی									
معیار	جهت شیب	راه ارتباطی	رودخانه	گسل	لیتولوژی	کاربری	شیب	بارش	ارتفاع
مجموع تضاد	۷/۱۷۱	۷/۰۷۱	۷/۹۱۸	۶/۰۶۸	۶/۷۸۳	۶/۸۳۹	۹/۹۰۳	۱۰/۰۲۳	۶/۳۹۳
انحراف معیار	۰/۱۸۲	۰/۲۶۶	۰/۲۷۵	۰/۲۵۸	۰/۳۶۵	۰/۴۴۴	۰/۳۵۴	۰/۱۵۳	۰/۳۷۷
میزان اطلاعات	۱/۳۰۶	۱/۸۸۳	۲/۱۸۲	۱/۵۶۸	۲/۴۷۸	۳/۰۳۸	۳/۵۰۷	۱/۵۳۵	۲/۴۱۰
وزن نهایی	۰/۰۶۵	۰/۰۹۴	۰/۱۰۹	۰/۰۷۸	۰/۱۲۴	۰/۱۵۲	۰/۱۷۶	۰/۰۷۷	۰/۱۲۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

محدوده نیز بیانگر این موضوع است که در ارتفاعات کمتر از ۱۶۰۰ متر و بالاتر از ۲۱۵۰ متر، نقطه لغزشی دیده نمی‌شود؛ بنابراین وقوع زمین لغزش در سطوح ارتفاعی میانی از احتمال وقوع بیشتری برخوردار است. از نظر معیار شیب، مناطق با احتمال خطر زیاد و بسیار زیاد، عمدتاً بین شیب ۱۰ تا ۴۰ درصد قرار دارند. مقایسه بین نقاط لغزشی موجود با نقشه شیب نیز نشان می‌دهد، در طبقات شیب پایین‌تر از ۱۰ درصد و بالاتر از ۴۰ درصد، نقطه لغزشی مشاهده نمی‌شود. معمولاً در شیب‌های با شیب بیش از ۴۰ درصد ضخامت خاک و خطر زمین لغزش کاهش می‌یابد و در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد که از شدت ناهمواری تا حد زیادی کاسته می‌شود و احتمال ایجاد لغزش نیز کاهش می‌یابد. در رابطه با عامل جهت شیب، نقاط بسیار پرخطر و پر خطر ارائه شده توسط الگوریتم‌های مورد بررسی، به ترتیب در دامنه‌های شمالی، غربی و شمال غربی و سپس دامنه‌هایی با جهات شمال شرقی، شرقی قرار دارند. بررسی نسبت بین نقاط لغزشی و معیار جهت شیب نشان داده است که بخش اعظمی از

مطابق با نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده از روش CODAS (شکل ۱۵)، ۱۵/۷۱ کیلومترمربع از مساحت محدوده در کلاس بسیار پرخطر و ۲۴/۲۲ کیلومترمربع در کلاس پرخطر قرار دارد. با توجه به خروجی روش MARCOS (شکل ۱۶)، به ترتیب ۱۱/۰۵ و ۲۶/۱۳ کیلومترمربع از مساحت محدوده را طبقات بسیار پرخطر و پرخطر تشکیل می‌دهد (جدول ۲). تطبیق سطوح لغزش یافته و پهنه‌های مواجه با خطر نشان می‌دهد که در خروجی حاصل از الگوریتم‌های مورد بررسی، مناطقی که در رده بسیار پرخطر، پرخطر قرار دارند، دارای بیشترین تعداد و درصد از سطوح لغزشی هستند. به علاوه در طبقات کم‌خطر و بسیار کم‌خطر معرفی شده توسط الگوریتم‌های چندمعیاره مورد بررسی، نقاط لغزش مشاهده نمی‌شود.

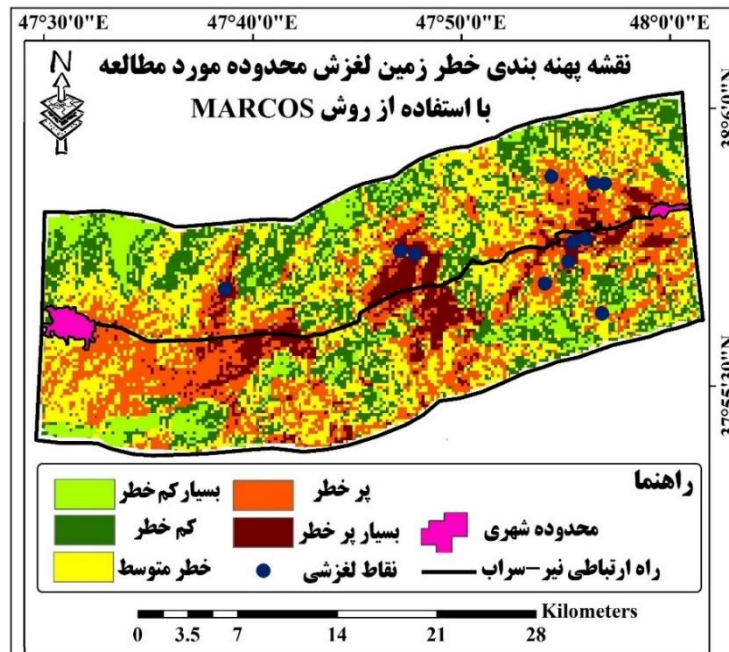
بررسی خروجی هر دو روش مورد بررسی (شکل ۱۵ و ۱۶)، نشان می‌دهد که از لحاظ معیار ارتفاع، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سطوح ارتفاعی ۱۶۵۰ تا ۲۱۵۰ متری قرار دارند. بررسی نقاط لغزشی

لغزش‌های موجود در محدوده به ترتیب در دامنه‌هایی با جهات شمالی (۳۰ درصد از نقاط لغزشی)، غرب (۲۰ درصد از نقاط زمین لغزش) و شمال غرب (۱۰ درصد از نقاط لغزشی) رخ داده است. دامنه‌های شمالی، غربی و شمال غربی به دلیل بارندگی شدید، ماندگاری طولانی مدت برف و رطوبت بیشتر مستعد رانش زمین هستند.

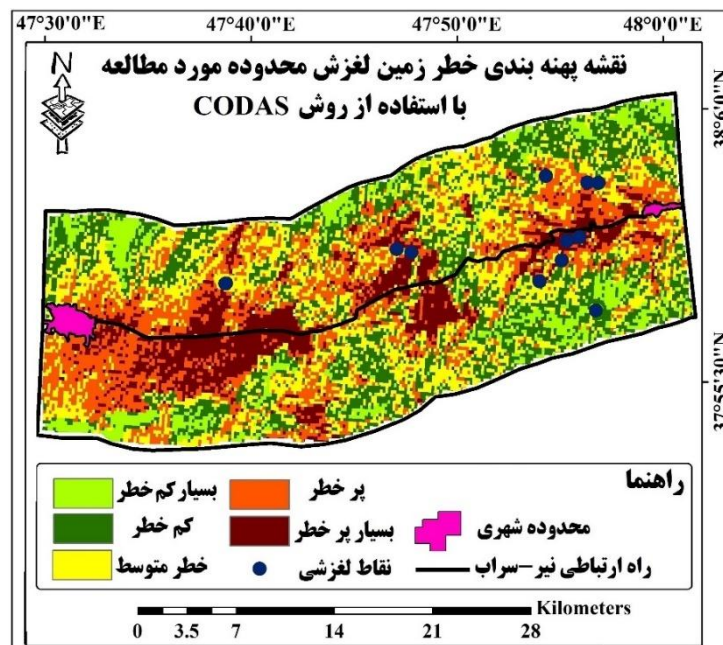
از لحاظ معیار کاربری اراضی، کاربری‌های زراعی، مراتع (به‌ویژه مراتع متوسط و فقیر) و باغات بیشترین مقدار از مساحت مناطق داری احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد را به خود اختصاص داده است. مقایسه بین نقاط لغزشی موجود با نقشه معیار کاربری نشان می‌دهد که ۵۰ درصد از نقاط لغزشی در کاربری زراعی و به ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد، در مراتع و باغات دیده می‌شود. در رابطه با نقشه لیتولوژی می‌توان گفت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر، به طور عمده در سازندهایی با مقاومت بسیار کم، کم، متوسط و همچنین در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خردشده بازالتی قرار دارند. بررسی مقایسه‌ای پراکنش لغزش‌ها با معیار لیتولوژی نیز نشان می‌دهد، ۴۰ درصد از لغزش‌های رخ داده در سازندهایی با مقاومت بسیار کم و کم، به صورت نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم رخ داده است. ۲۰ درصد نقاط لغزشی نیز بر دامنه‌های شیب‌دار متشکل از سازندهایی با لیتولوژی متوسط (تناوب مارن‌ها خاکستری و ژئپس‌دار با ماسه‌سنگ‌های خاکستری و درون لایه‌های میکروکنگلومرایی، ماسه‌سنگ، مارن، رس و توف برشی ریولیتی، سنگ‌های آذرآواری؛ به‌طور عمده پامیس و توف پامیسی)، قرار دارند و دیگر لغزش‌های محدوده، در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خردشده بازالتی رخ داده‌اند. در بیشتر بخش‌هایی که جاده اصلی نیر-سراب از آن عبور می‌کند، قسمت اعظم رخنمون‌ها به صورت سنگ‌های خردشده بازالت الوین دار و پیروکسن آندزیت است که تند شیب مشرف بر جاده که در محل لغزش

۱۳۸۴ نیز وجود دارد، متشکل از این سنگ هاست. مقادیر بارشی در مناطق دارای پتانسیل خطر بین ۳۰۰-۴۵۰ میلی متر قرار گرفته است. بررسی نسبت نقاط لغزشی و مقادیر بارش نیز نشان می‌دهد، بیشترین فراوانی پراکنش نقاط لغزشی موجود، در مقدار بارشی ۳۵۰-۳۰۰ میلی متر (۶۰ درصد از زمین لغزش‌های موجود)، قرار دارند و سطوحی با مقدار بارش ۳۷۰-۳۵۰ میلی متر نیز ۳۰ درصد از نقاط لغزش را شامل می‌شوند. به علاوه ۱۰ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده، در سطوح بارشی ۴۲۰-۳۷۰ میلی متر قرار دارند.

از لحاظ معیار فاصله از راه ارتباطی، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، از فاصله صفر تا ۳۵۰۰ متری از راه ارتباطی قرار دارند. مقایسه نقاط لغزشی و نقشه موضوعی راه ارتباطی حاکی از این امر است که اراضی بسیار پر خطر و پرخطر، به طور نسبی، در فواصل نزدیک از جاده قرار دارند. مطابق با نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نقاط بسیار پرخطر و پرخطر، از فواصل صفر تا ۲۰۰۰ متری از گسل واقع شده‌اند. مقایسه نقشه فاصله از گسل با نقشه پراکنش نقاط لغزشی نشان می‌دهد، ۶۰ درصد از زمین لغزش‌ها، تا فاصله ۵۰۰ متری از گسل ایجاد شده است. ۲۰ درصد از نقاط لغزشی موجود نیز در فواصل ۱۵۰۰-۵۰۰ متری قرار داد و مابقی نقاط لغزشی در فواصل زیاد از گسل رخ داده‌اند. از لحاظ معیار فاصله از رودخانه می‌توان نتیجه گرفت، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، تا فاصله ۳۰۰۰ متری از رودخانه قرار دارند. نسبت پراکنش لغزش‌ها با این معیار مورد بررسی، نشان می‌دهد که به طور کلی ۶۰ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده، در فاصله صفر تا ۵۰۰ متری از رودخانه‌ها اتفاق افتاده است؛ بنابراین می‌توان گفت بیشتر زمین لغزش‌های محدوده در فواصل نزدیک از رودخانه رخ داده است و رودخانه‌ها با شست و شوی دامنه‌ها و تخریب تکیه‌گاه‌ها در وقوع زمین لغزش‌ها اهمیت دارند.



شکل ۱۵: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش مسیر نیر-سراب، با استفاده از روش MARCOS
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل ۱۶: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش مسیر نیر-سراب، با استفاده از روش CODAS
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

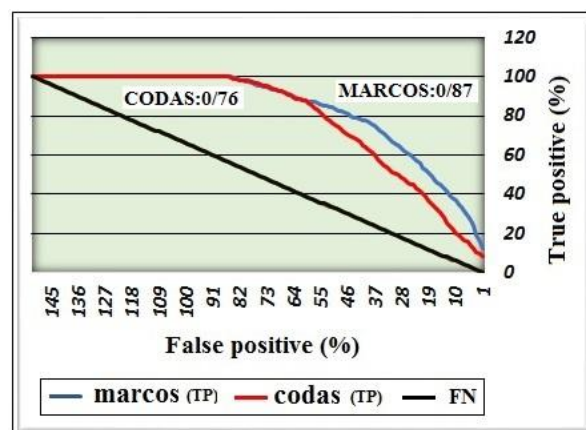
جدول ۲: اطلاعات طبقات خطر زمین لغزش حاصل از به کارگیری الگوریتم‌های چندمعیاره CODAS و MARCOS

مدل CODAS						
مساحت کلاس‌های خطر زمین لغزش	مساحت (KM2)	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
خطر زمین لغزش	درصد%	۱۵/۷۱	۲۴/۲۲	۲۷/۰۱	۱۷۷/۱۴	۷۸/۱۷
تعداد و درصد نقاط	تعداد	۳	۴	۳	۱	-
پراکنش لغزشی	درصد%	۲۷/۲۷	۳۶/۳۶	۲۷/۲۷	۹/۱۰	-
مدل MARCOS						
مساحت کلاس‌های خطر زمین لغزش	مساحت (KM2)	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
خطر زمین لغزش	درصد%	۱۱/۰۵	۲۶/۱۳	۳۱/۲۲	۱۷۳/۴۳	۷۰/۵۲
تعداد و درصد نقاط	تعداد	۵	۵	۱	-	-
پراکنش لغزشی	درصد%	۴۵/۴۵	۴۵/۴۵	۹/۱۰	-	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

عملکرد نسبی بالاتری است. براساس نتیجه به دست آمده، دقت روش CODAS، با مساحت زیر منحنی ۰/۷۶، خیلی خوب است و دقت روش MARCOS، با مساحت زیر منحنی ۰/۸۷، عالی است (شکل ۱۷).

طبقه‌بندی ارائه شده برای سطح زیر منحنی (AUC)، به صورت ۰/۹-۱: عالی، ۰/۸-۰/۹: خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸: خوب، ۰/۶-۰/۷: متوسط و ۰/۵-۰/۶: ضعیف، است و مدلی که بیشترین مقدار AUC را داشته باشد، دارای



شکل ۱۷: منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

نتیجه

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره CODAS و MARCOS به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در مسیر ارتباطی نیر-سراب پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که عوامل شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و ارتفاع با بیشترین وزن، به عنوان بیشترین

عوامل تأثیرگذار در وقوع ناپایداری در منطقه مورد مطالعه هستند و وجود شیب‌های تند، سنگ‌های حساس به فرسایش (شامل مارن، رس و توف برشی، سنگ‌های آذر آواری؛ به طور عمده پامیس، توف پامیسی) و نفوذ آب در این توده، منجر به کاهش مقاومت برشی و وقوع زمین لغزش می‌شود. نتایج مطالعه حاضر با نتایج پژوهش شهیدی و همکاران

باشد که به هنگام مقایسه زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرایند تحلیل شبکه‌ای و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات، عینیت می‌یابد؛ زیرا در این روش، وجود همبستگی بالای یک معیار با معیارهای دیگر، می‌تواند در کاهش وزن آن معیار اثرگذار باشد.

خروجی هر دو روش MARCOS و CODAS، نشان‌دهنده توان بالای منطقه مورد مطالعه از لحاظ رخداد خطر زمین‌لغزش است و با توجه به این امر که زمین‌لغزش می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیر مالی و جانی به دنبال داشته باشد، لازم است سازمان‌های متولی از جمله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، اداره کل راه و شهرسازی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای، با انجام اقدامات مسئولانه و هم‌افزایی لازم، اقدامات حفاظتی، آبخیزداری مناسب و البته کارشناسی‌شده توسط متخصصان، مانند جلوگیری از کاهش کمی و کیفی پوشش گیاهی و پایدارسازی دامنه‌ها با ایجاد و تقویت پوشش گیاهی در نواحی مستعد لغزش، ممانعت از کشت دیم در اراضی شیب‌دار، تعدیل و کاهش شیب دامنه ارتفاعات مشرف بر مسیر احداث جاده، پایدارسازی ترانشه‌ها، پلکانی‌کردن شیب‌ها، زهکشی و هدایت صحیح آب در بالادست و پایین مناطق مستعد رانش، جلوگیری از نفوذ آب به درون توده دارای امکان لغزش با پخش ماسه‌های آغشته به قیر (مالچ) یا با استفاده از بتن‌پاشی روی توده خاک و سنگ، استفاده از دیوارهای حائل را برای جلوگیری از وقوع زمین‌لغزش‌های احتمالی در مسیر ارتباط نیر-سراب در دستور کار خود قرار دهند. همان‌گونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های مطالعه مخاطرات محیطی از جمله زمین‌لغزش، به نوبه خود دارای مزایا و معایبی هستند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است، به شرایط طبیعی و انسانی محدوده بستگی دارد. در هر دو

(۱۳۹۴)، به دلیل توجه به عوامل لیتولوژی و شیب، نتایج مددی (۱۳۸۹) و تقی‌زاده (۱۴۰۱)، با نظر به معرفی معیارهای شیب، ارتفاع و لیتولوژی به عنوان عوامل اصلی دخیل در وقوع زمین‌لغزش منطقه، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، در توجه به عوامل ارتفاع، کاربری اراضی و لیتولوژی، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰)، به دلیل تأکید بر اهمیت کاربری اراضی مطابقت و همخوانی دارد. با مقایسه نتایج پژوهش حاضر با مطالعات پیشین انجام‌شده، شایان ذکر است که در مطالعات شهیدی و همکاران (۱۳۹۴)، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰)، به تمامی معیارهای دخیل در وقوع زمین‌لغزش مسیر نیر و سراب توجه نشده است. شهیدی و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی شرایط هیدرولوژیکی و زمین ریخت‌شناسی در وقوع زمین‌لغزش محدوده پرداخته‌اند و به عامل مهمی چون کاربری اراضی توجه نداشته‌اند. در مقابل اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰)، در بررسی لغزش‌های محدوده صرفاً به نقش نوع کاربری اراضی اشاره کرده‌اند؛ اما در پژوهش حاضر، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است و این روش‌ها امکان تعیین مقدار اهمیت همه معیارها و ادغام آن‌ها در یک شاخص ترکیبی را فراهم کرده‌اند. به علاوه، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹) و تقی‌زاده (۱۴۰۱)، با استفاده از روش ANP، که مبتنی بر نظرات کارشناسی است، به تعیین ضریب وزنی و اولویت‌بندی نقش معیارهای دخیل در وقوع زمین‌لغزش پرداختند و در این روش، ناگزیر نظرات انسانی دخیل است؛ ولی در پژوهش حاضر از روش کریتیک استفاده شده است و در این روش، وزن‌دهی با توجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌شود؛ بنابراین استفاده از روش کریتیک، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر

الگویتیم مورد استفاده در پژوهش حاضر، از تعداد معیار یکسان، از روش استانداردسازی فازی و وزن‌دهی کرتیک استفاده شده است و چند مرحله نهایی دو روش با یکدیگر تفاوت دارد؛ از این‌رو خروجی نهایی دو روش با توجه به معیارها یا عوامل یکسان، در معرفی نقاط خطر کم تا زیاد مسلماً دارای اشتراکات پیکسلی خواهد بود. مقایسه مدل‌ها نسبت به یکدیگر نشان داد، دقت روش CODAS، با مساحت زیر منحنی ۰/۷۲، خیلی خوب است و دقت روش MARCOS، با مساحت زیر منحنی ۰/۸۱، عالی است؛ بنابراین نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های MCDM در مطالعه حاضر، همانند نتایج مطالعات انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، مددی و

همکاران (۱۳۹۹)، نادری و همکاران (۱۴۰۰)، عابدینی و همکاران (۲۰۱۷)، عابدینی و طولابی (۲۰۱۸)، گیگووایس و همکاران (۲۰۱۹)، دیکشیت و همکاران (۲۰۲۰)، صالح‌پور جم و همکاران (۲۰۲۱)، اگروال و دیکسیت (۲۰۲۲) و خلیل و همکاران (۲۰۲۲)، عملکرد خوب مدل‌های تحلیل چندمعیاره را برای تولید خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد. انتظار می‌رود، نتایج پژوهش حاضر، با توجه به استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره MARCOS و CODAS، در امر انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ دلنیا پالیزبان؛ هادی امامی؛ احسان قلعه (۱۳۹۹). تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی: (جاده سراب-نیر)، جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۲۴. شماره ۷۳. صفحات ۱-۲۲.

<https://doi.org/10.22034/GP.2020.10792>

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ مریم محمدزاده شیشه‌گران؛ عادل زالی‌کرده مهینی (۱۴۰۰). ارزیابی ناپایداری دامنه‌های جاده‌های اردبیل - سرعین - سراب با استفاده از تداخل‌سنجی رادار، جغرافیا و پایداری محیط. دوره ۱۱. شماره ۲. صفحات ۱۰۴-۹۱.

<https://doi.org/10.22126/GES.2021.6576.2407>

انتظاری، مژگان؛ فاطمه خدادادی؛ فرزانه ساسان‌پور (۱۳۹۸). تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های AHP-VIKOR و FR، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۵۱. شماره ۱. صفحات ۱۸۳-۱۹۹.

<https://doi.org/10.22059/JPHGR.2019.261347.1007250>

بهاروند، سیامک؛ وهاب امیری؛ سلمان سوری (۱۴۰۱). استفاده از تئوری انتروپی در ارزیابی عوامل کنترل‌کننده زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر وقوع آن در حوضه احمدآباد، استان لرستان، پژوهش‌های فرسایش محیطی. سال ۱۲. شماره ۴. صفحات ۱۲۴-۱۴۰.

<http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-701-fa.html>

پورفرش‌زاده، فهیمه؛ صیاد اصغری سراسکانرود (۱۴۰۱). ارزیابی و پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری در حوضه آبخیز بالیخلی (ایستگاه یامچی)، جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۱۱. شماره ۲. صفحات ۵۹-۴۱.

<https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.72256.1103>

تقی‌زاده، داور (۱۴۰۱). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: گردنه صائین در محور ارتباطی نیر-سراب)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی. استاد راهنما: عقیل مددی. استاد مشاور: صیاد اصغری سراسکانرود. رشته ژئومورفولوژی و آمایش محیط. دانشکده علوم اجتماعی. ۱۳۵ صفحه.

<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/d01dc69637c28bed4857a51a696007ff>

جمال‌آبادی، جواد؛ فرحناز صفری؛ علی برآبادی؛ مریم آل‌محمد (۱۴۰۰). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در دهستان ژاورد بر اساس مدل تلفیقی فازی و فرایند تحلیل شبکه، مدیریت بحران. دوره ۱۰. شماره ۲. صفحات ۴۷-۵۵.

[20.1001.1.23453915.1400.10.2.4.6](https://doi.org/10.22034/GMPJ.2022.340292.1348)

حنیفی‌نیا، عبدالعزیز؛ هیراد عبقری (۱۴۰۱). بررسی ارتباط عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش در مدل آنتروپی شانون با دو ریکرد WOE و LNRF به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زیوه ارومیه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۱۱. شماره ۲. صفحات ۱۲۷-۱۰۸.

<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2022.340292.1348>

رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ داود مختاری؛ نسرين سمندر (۱۴۰۰). مدل‌سازی حرکات توده‌ای و مدیریت مناطق حساس به وقوع این حرکات، با استفاده از الگوریتم‌های آماری و شبکه عصبی (مطالعه موردی: حوضه آبریز اوجان‌چای)، نشریه جغرافیا و توسعه. دوره ۱۹. شماره ۶۳. صفحات ۱۷۴-۱۴۷.

<https://doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6190>

روستایی، شهرام؛ هاجر حسین‌زاده دمریق (۱۴۰۱). بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده مخزن سد علویان مراغه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۱۱. شماره ۱. صفحات ۱۸-۱.

<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2021.267016.1251>

شاه‌زیدی، سمیه؛ رویا حیاتی‌زاده (۱۳۹۸). بررسی زمین‌لغزش‌های منطقه پشتکوه فریدون‌شهر با استفاده از مدل آنتروپی، جغرافیا و توسعه. دوره ۱۷. شماره ۵۴. صفحات ۵۰-۳۵.

<https://doi.org/10.22111/GDIJ.2019.4337>

شهیدی، فرهاد؛ غلامرضا شعاعی؛ مصطفی محمدی واوسری (۱۳۹۴). بررسی سازوکار وقوع زمین‌لغزش گردنه صائین (جاده نیر-سراب) با نگرشی بر هیدرولوژی و شرایط ریخت‌شناسی منطقه، نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران. دوره ۸. شماره ۱ و ۲. صفحات ۳۳-۱۳.

https://www.jiraeg.ir/article_68356.html

صادقی، علی؛ شهرام شریفی‌هشجین؛ محمدعلی رحیمی‌پورشیخانی؛ حبیب محمودی چناری (۱۴۰۱). شناسایی میزان زمین‌لغزش با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری (منطقه مورد مطالعه: شهرستان‌های اردل و کوهرنگ)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۱۱. شماره ۱. صفحات ۱۵۳-۱۳۳.

<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2022.320461.1326>

فیض‌اله‌پور، مهدی؛ مرضیه منافی؛ رضا خوش‌رفتار؛ یونس خسروی (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبریز طالقان)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره ۲۱. شماره ۶۲. صفحات ۹۵-۱۱۴.

<https://doi.org/10.52547/jgs.21.62.95>

گلی‌پور، شیوا؛ سیدرضا حسین‌زاده؛ ملیحه پورعلی (۱۴۰۱). شناسایی دامنه‌های مستعد زمین‌لغزش و طبقه‌بندی انواع آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه قهرمانلو استان خراسان شمالی)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۱۱. شماره ۱. صفحات ۲۲۸-۲۰۹.

<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2022.336132.1343>

- عابدینی، موسی؛ لایلا اسمعیلی نیری؛ امیرحسام پاسبان؛ الناز پیروزی (۱۴۰۲). بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه نیرچای با استفاده از مدل ANP. مطالعات علوم محیط‌زیست. دوره ۸، ماره ۱. صفحات ۶۰۲-۵۹۸۷.
<https://doi.org/10.22034/JESS.2022.342371.1785>
- محمدنیا، ملیحه؛ غلامعباس فلاح قاهره (۱۳۹۷). شبیه‌سازی احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره ۱۸، شماره ۴۸. صفحات ۱۱۷-۱۳۲.
<https://doi.org/10.29252/jgs.18.48.115>
- مددی، عقیل (۱۳۸۹). بررسی ناپایداری ژئومورفولوژیک گردنه صائین (بین شهر نیر و سراب، منطقه آذربایجان) با استفاده از روش آنالگان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۱، شماره ۱. صفحات ۷۷-۹۴.
<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2023.370812.1390>
- مددی، عقیل؛ الناز پیروزی؛ مهدی فعال‌نذیری (۱۳۹۹). ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC و CODAS در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نمونه پژوهش: شهرستان کوثر، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۳۱، شماره ۴. صفحات ۱-۲۴.
<https://doi.org/10.22108/GEP.2020.124723.1348>
- نادری، فتح‌الله؛ بهروز ناصری؛ نعمت‌الله بسطامی (۱۴۰۰). کارایی مدل ویکور در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد گلال استان ایلام، جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۱۰، شماره ۱. صفحات ۲۱-۳۹.
<https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67235.0>
- وثیق، یوسف (۱۳۹۰). بررسی زمین‌لغزش مسیر جاده اردبیل- سراب، نشریه آموزش زمین‌شناسی. دوره ۱۷، شماره ۱. صفحات ۱۹-۲۳.

https://www.roshdmag.ir/Roshdmag_content/media/article/3502.pdf

References

- Abedini, M., Ghasemyan, B., Rezaei Mogaddam M. H (2017). Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models, *Environmental Earth Science*, 76: 308.
<https://doi.org/10.1007/s12665-017-6502-3>
- Abedini, M., Tulabi, S (2018). Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran, *Environmental Earth Science*, 77(405), 1-13.
<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7524-1>
- Agrawal, N., Dixit, J (2022). Assessment of landslide susceptibility for Meghalaya (India) using bivariate (frequency ratio and Shannon entropy) and multi-criteria decision analysis (AHP and fuzzy-AHP) models, *All Earth*, 34 (1), 179-201.
<https://doi.org/10.1080/27669645.2022.2101256>
- Alinezhad, A., Khalili J (2019). New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM), *International Series in Operations Research & Management Science*, vol 277, Springer, Cham.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9>
- Baumgartel, A., Lukić, S., Belanović Simić, S., Kadović, R (2019). Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion- A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia), *Appl Sci*, 19(23), 1-12.
<https://doi.org/10.3390/app9235106>

- Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., Alamri, AM (2020). Spatial Landslide Risk Assessment at Phuent sholing, Bhutan. *Geosciences*, 10(4):1-17.
<https://doi.org/10.3390/geosciences10040131>
- El Jazouli, A., Barakat, A., Khellouk, R (2019). GIS-multi-criteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco), *Geoenviron Disasters*, 6 (3), 1-12.
<https://doi.org/10.1186/s40677-019-0119-7>
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Shaffiee Haghshenas, S., Memarpour Ghiaci, A. Guido, G., Vitale, A (2023). Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment, *Neural Comput & Applic*, 35, 4549-4567.
<https://doi.org/10.1007/s00521-022-07929-4>
- Gigovic, L., Drobnjak, S., Pamucar, D (2019). The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best-Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping. *ISPRS Int. J. Geo Inf*, 8 (79), 1-29.
<https://doi.org/10.3390/ijgi8020079>
- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Foltz, R.B., Elliot, W.J (2006). Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and ROC analysis. *Transactions in GIS*, 10, 395-415.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2006.01004.x>
- Kadavi, P., Lee, C.W., Lee, S (2018). Application of ensemble-based machine learning models to landslide susceptibility mapping, *Remote Sensing*, 10 (8), 1-18.
<https://doi.org/10.3390/rs10081252>
- Khalil, U., Imtiaz, I., Aslam, B., Ullah, I., Tariq, A., Qin, S (2022). Comparative analysis of machine learning and multi-criteria decision making techniques for landslide susceptibility mapping of Muzaffarabad district. *Front. Environ. Sci*, 10, 1-19.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1028373>
- Materazzi, M., Bufalini, M., Gentilucci, M., Pambianchi, G., Aringoli, D., Farabollini, P (2021). Landslide hazard assessment in a monoclin setting (Central Italy): Numericalvs. geomorphological approach. *Land*, 10 (6), 624, 1-22.
<https://doi.org/10.3390/land10060624>
- Mathew, M., Sahu, S (2018). Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection, *Management Science Letters*, 8, 139-150.
<https://doi.org/10.5267/j.msl.2018.1.004>
- Miccadei, E., Carabella, C., Paglia, G (2022). Landslide Hazard and Environment Risk Assessment, *Land*, 11 (428), 1-5.
<https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-3694-1>
- Rabby, Y.W., Li, Y., Abedin, J., Sabrina, S (2022). Impact of Land Use/Land Cover Change on Landslide Susceptibility in Rangamati Municipality of Rangamati District, Bangladesh. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11 (89), 1-16.
<https://doi.org/10.3390/ijgi11020089>
- Salehpour, Jam., Mosaffaie, A., Sarfaraz, F (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid MCDM models. *Nat Hazards*, 108, 1025-1046.
<https://doi.org/10.1007/s11069-021-04718-5>
- Zhou, S., Zhou, S., Tan, X (2020). Nationwide susceptibility mapping of landslides in Kenya using the fuzzy analytic hierarchy process model. *Land*, 9(12), 535, 1-22.
<https://doi.org/10.3390/land9120535>