



Investigation of State Of Landslide in Tarom Watershed Using Risk-Vulnerability Superimposed Model

Mojgan entezari^{1✉} | Shokuh Esteki Barde² | Hamideh Gholamhaydari³

1 Corresponding author. Associate Professor in Department of Physical Geography, university of Isfahan, IRAN. E-mail: entezary54@yahoo.com (Email Times New Roman 9 Blue)

2., Master science student of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, IRAN. E-mail: shokoh.esteki@gmail.com

3., PHD of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, IRAN. E-mail: h.heidari.5961@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 24 December 2022

Received in revised form 8

May 2023

Accepted 24 December 2022

Published online 20 November

2024

Keywords:

Landslide, Risk-Vulnerability
Superimposed Model, Tarom
Watershed

ABSTRACT

A major cause of landslide and relevant losses and fatalities is inappropriate land management, especially in mountainous areas and valleys. In this study, risk-vulnerability superimposed model was used to investigate the probability of occurrence of fatal landslides in Tarom Watershed. The risk-vulnerability superimposed model has been formulated to evaluate the landslide risk and vulnerability. These factors include topography, geology, number of streams, rainfall, frequency of faults, land use, density of roads, population density, and construction density, which were considered and analyzed in the present model. According to the model output (i.e., risk-vulnerability map), it was figured out that the eastern and northeastern parts of Tarom Watershed are exposed to highest levels of risk and vulnerability. That is, occurrence of a fatal landslide with financial losses is more probable in these areas, as compared to other parts of the watershed. Results of the present research showed that 17%, 35%, 23%, 16%, and 9% of the entire watershed area were classified as being exposed to very low, low, moderate, high, and very high risk-vulnerability levels, respectively. Advantage and superiority of this model over other models and methodologies for landslide study is simultaneous consideration of landslide occurrence risk and vulnerability of the study area to the landslide, making it capable of determining the areas of higher probability of fatal landslides with financial losses.

Cite this article: entezari, M., Esteki Barde, Sh., & Gholamhaydari, H. (2024). Investigation Of State Of Landslide In Tarom Watershed Using Risk-Vulnerability Superimposed Model. *Journal of Geography and Planning*, 28 (89), 35-53. <http://doi.org/10.22034/GP.2023.54607.3073>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/GP.2023.54607.3073>

Publisher: University of Tabriz.

Extended Abstract

Introduction

Landslide refers to gravitational movement of a mass of rock material, rock fragments, and/or soil, which may result in catastrophic disasters. In many cases, landslide occurs on a slope. Numerous factors contribute to the occurrence and activation of landslide. These can be categorized under three general classes, namely external factors, internal factors, and mixed factors. External factors increase average shear stress along potential failure planes or weak surfaces in the rock and soil. According to the Emergency Events Database (EM-DAT) of the Université catholique de Louvain (Belgium), the landslide has been listed as an emergency disaster, necessitating its identification and preparedness for responding to it properly. Since prediction of a landslide event is still impossible, identification of the areas where the risk of landslide is higher and ranking of these areas can protect us against landslide hazards or at least reduce the relevant losses (Ranjbar and Roghani, 2009).

Methodology

Model introduction

The risk-vulnerability superimposed model has been used to evaluate the landslide risk and vulnerability. Designed by the authors of the present research, this model was first used in this research to analyze landslides in Tarom Watershed, Iran.

Different stages of landslide risk and vulnerability assessment by the proposed model are as follows:

- Preparing the required maps and information layers
- Determining weighting factors for different classes of each factor and index (internal weight)
- Calculating mutual weight (external weight) for factors and indices in MS Excel using embedded formulae like pairwise comparison
- Calculating final weight of the factors by multiplying the weights by the weight of the corresponding class (internal weight $\times$ external weight)
- Introducing the final weights of each layer on the maps to come up with a new map with quantitative values of all factors and indices
- Superimposing the layers of all factors contributing to landslide occurrence to prepare a landslide risk map
- Superimposing the layers of all indices contributing to landslide vulnerability to prepare a landslide vulnerability map
- Preparing a layer out of landslide-affected zones (regional landslide map)
- Compositing and superimposing the risk map, the vulnerability map, and the regional landslide map to produce the final map (i.e., risk – vulnerability map)
- Given the qualitative nature of the risk-vulnerability superimposed map, inputs to the model include the maps that have been extracted, compiled, and analyzed out of Tarom Watershed to finally demonstrate sensitivity of different points across the watershed to landslide. Results of different stages of the risk-vulnerability superimposed model are as follows.

The following factors were considered as effective for landslide occurrence in this research:

- Topography (slope and height)
- Geology
- Precipitation
- Density of streams

- Land use
- Density of faults

Indices affecting the vulnerability:

- Population density
- Construction density
- Road density

Discussion

Analysis of the factors affecting the occurrence of landslide in the watershed and preparing the landslide risk map showed that, in general, the eastern part of Tarom Watershed exhibits a higher risk of landslide. Investigation of the factors contributing to the occurrence of landslide (*e.g.*, high slope, height, heavy precipitation, dense fault system, and petrological characteristics) showed that the landslide risk is maximum in the northeast of the study area. Focusing on the vulnerability, the northern and eastern parts of the watershed were found to be more vulnerable due to the higher density of constructions, roads, and population, where more fatalities and higher financial losses were expected should a landslide occurs.

Conclusion

According to the model output (*i.e.*, risk-vulnerability map), it was figured out that the eastern and northeastern parts of Tarom Watershed are exposed to higher levels of risk and vulnerability. That is, occurrence of a fatal landslide with financial losses is more probable in these areas, as compared to other parts of the watershed. Higher sensitivity of these areas to landslide was found to be linked to the higher slope, petrological characteristics, inappropriate land use, and hydrographic network. Results of the present research showed that 17%, 35%, 23%, 16%, and 9% of the entire watershed area was exposed to very low, low, moderate, high, and very high levels of landslide risk and vulnerability, respectively.

References

- Balendra Mouli Marrapu and Ravi Sankar Jakka, Landslide Hazard Zonation Methods: A Critical Review, International Journal of Civil Engineering Research. Volume 5, Number 3 (2014), pp. 215-220
- Chaoying Zhao and Zhong Lu, 2018, Remote Sensing of Landslides—A Review, Remote Sens., 10, 279.
- Deepak Kumar, Manoj Thakur, Chandra S. Dubey, Dericks P. Shukla, Landslide susceptibility mapping & prediction using Support Vector Machine for Mandakini River Basin, Garhwal Himalaya, India, Geomorphology 295 (2017) 115–125
- Ghosh d, 2015, landslide susceptibility analysis from morphometric parameter analysis of riyong khola basin, west sikkim, india: a geospatial approach, international journal of geology, earth & environmental sciences, vol. 5 (1) january-april, pp. 54-65.
- Le Lin, Qigen Lin, and Ying Wang, Landslide susceptibility mapping on a global scale using the method of logistic regression, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 17, 1411–1424, 2017
- Liesbet Jacobs, Olivier Dewitte, Jean Poesen, Jan Maes, Kewan Mertens, John Sekajugo, Matthieu Kervyn, Landslide characteristics and spatial distribution in the Rwenzori Mountains, Uganda, Journal of African Earth Sciences 134 (2017) 917-930
- Lombardo, L., Tanyas, H., Huser, R., Guzzetti, F., & Castro-Camilo, D. (2021). Landslide size matters: A new data-driven, spatial prototype. *Engineering geology*, 293, 106288.
- M.J. Crozier, A proposed cell model for multiple-occurrence regional landslide events: Implications for landslide susceptibility mapping, Geomorphology 295 (2017) 480–488

- M.L. Dwiyoga, M.F. Mawaridi and M.A.J. Anandi, 2017, Morphometric Analysis for Landslide Susceptibility in Sukasari and Surrounding Area, Tanjungsari, West Java, Indonesia, 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics
- Maurizio Barbarella , Alessandro Di Benedetto , Margherita Fiani , Domenico Guida, and Andrea Lugli, 2018, Use of DEMs Derived from TLS and HRSI Data for Landslide Feature Recognition, International Journal of Geo-Information, 7, 160.
- Mauro Caccavale, Fabio Matano, Marco Sacchi, An integrated approach to earthquake-induced landslide hazard zoning based on probabilistic seismic scenario for Phlegrean Islands (Ischia, Procida and Vivara), Italy, *Geomorphology* 295 (2017) 235–259
- ii ee yyy y hhee ,,, aa ee Kasprzak, 2015, Identification and morphometric properties of landslides in the Bystrzyckie Mountains (Sudetes, SW Poland) based on data derived from airborne LiDAR, *Geomorphometry for Geosciences*
- Poonam, Naresh Rana, Parshant Kumar Champati ray, Pinkey Bisht, Dharendra Singh Bagri, Robert James Wasson, Yashpal Sundriyal, Identification of landslide-prone zones in the geomorphically and climatically sensitive Mandakini valley, (central Himalaya), for disaster governance using the Weights of Evidence method, *Geomorphology* 284 (2017) 41–52
- Tarun Kumar Raghuvanshi, Jemal Ibrahim, Dereje Ayalew, Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme – An approach for landslide hazard zonation, *Journal of African Earth Sciences* 99 (2014) 595–612
- Zhang, Y., Tang, J., Cheng, Y., Huang, L., Guo, F., Yin, X., & Li, N. (2022). Prediction of landslide displacement with dynamic features using intelligent approaches. *International Journal of Mining Science and Technology*.
- Hejazi, A., Javadi, M., & Musavi Kojabad, N. (2022). Landslide Hazard Evaluation and Zoning with Fuzzy Logic(Case Study: Saraju River Basin). *Geography (Regional Planning)*, 12(4), 178-191. doi: 10.22034/jgeoq.2022.184199.1913.
- Emami, R., Rezapour, M., & Faraji, M. (2022). Study of landslide potential in Chaybagh region with 2D electrical resistivity tomography method. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(3), 223-237. doi: 10.30499/ijg.2022.329130.1396.



بررسی وضعیت زمین لغزش حوضه آبریز طارم با استفاده از مدل همپوشانی ریسک-آسیب پذیری

مژگان انتظاری^۱ | شکوه استکی^۲ | حمیده غلام حیدری^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشیار- دانشگاه اصفهان. رایانامه: entezary54@yahoo.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد- دانشگاه اصفهان رایانامه: shokoh.esteki@gmail.com

۳. دکترای ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان. رایانامه: h.heidari.5961@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	از دلایل عمده وقوع زمین لغزش و تلفات و خسارات ناشی از آن، مدیریت نادرست زمین به ویژه در مناطق کوهستانی و دره‌ها می‌باشد. بنابراین لازم است تا با مدیریت صحیح این نواحی، از میزان خسارات ناشی از این پدیده کاست. هدف این مطالعه، استفاده از مدل همپوشانی ریسک-آسیب پذیری جهت بررسی احتمال وقوع زمین لغزش-های دارای خسارت زیاد در حوضه آبریز طارم است. عواملی که در این پژوهش استفاده شده اند شامل لایه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، تراکم آبراهه، بارش، تراکم گسل، کاربری اراضی، تراکم جاده، تراکم جمعیت و تراکم ساختمان می‌باشد. در این مدل ابتدا تمامی لایه‌های عوامل مذکور برای تهیه نقشه ریسک زمین لغزش، همپوشانی شده و سپس لایه‌های مربوط به شاخص‌های موثر در آسیب پذیری حوضه تلفیق شده و نقشه آسیب پذیری زمین لغزش تهیه گردیده است. در نهایت با ترکیب و همپوشانی نقشه ریسک، نقشه آسیب پذیری و نقشه زمین لغزش‌های منطقه، نقشه نهایی (نقشه ریسک-آسیب پذیری) به دست آمده است. نتایجی که بر اساس خروجی مدل یا همان نقشه ریسک-آسیب پذیری، حاصل شد گویای این مطلب است که قسمت‌های شرقی و شمال شرقی حوضه آبریز طارم دارای بیشترین میزان ریسک-آسیب پذیری هستند. همچنین از کل سطح حوضه، ۱۷٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری خیلی کم، ۳۵٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری کم، ۲۳٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری متوسط، ۱۶٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری زیاد و ۹٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری بسیار زیاد را به خود اختصاص داده اند. چیزی که در این پژوهش داری اهمیت است این مطلب است که این مدل نسبت به سایر مدل ها و روش‌های مطالعه زمین لغزش، بررسی ترکیبی احتمال وقوع زمین لغزش و آسیب پذیری منطقه در برابر زمین لغزش بوده و تعیین می‌کند که احتمال وقوع زمین لغزش‌های دارای خسارات جانی و مالی در چه نقاطی از منطقه بیشتر است.

استناد: انتظاری، مژگان؛ استکی، شکوه؛ و غلام حیدری، حمیده (۱۴۰۳). بررسی وضعیت زمین لغزش حوضه آبریز طارم با استفاده از مدل همپوشانی ریسک-آسیب

پذیری. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۸ (۸۹)، ۵۳-۳۵.

<http://doi.org/GP.2023.54607.3073/۱۰.۲۲۰۳۴>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

هدف تحقیق در ژئومورفولوژی روشهای درست اندیشیدن و به طور کلی کشف حقایق و حل مشکلات مربوط به محیط طبیعی و پدیده‌های ناشی از آن و دستیابی به معیارهایی در زمینه افزایش ایمنی محیط و گسترش دامنه اطلاعات در ژئومورفولوژی است (مقیمی و همکار، ۱۳۸۳: ۱۳). دانش ژئومورفولوژی مساله تحلیل فضایی مخاطرات زمینی مانند زمین لرزه، سیل و زمین لغزش است را مورد توجه قرار داده و به تبیین و ارزیابی پتانسیل مخاطره و درجه و میزان خطرپذیری انسان ساکن در این پهنه ها می‌پردازد. (شریفی کیا و همکار، ۱۳۸۹: ۲). زمین لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه ها می‌باشد (محمودی، ۱۳۸۲: ۴۳). بنا به تعریف انجمن زمین شناسی مهندسی، زمین لغزش عبارتست از جابجایی به سمت پایین توده‌های از مواد بر روی یک شیب (نصیری، ۱۳۸۳: ۳). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین شناسی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از لغزشها دارا است. بنابراین به همان نسبت که از موهبت کوهستانی بودن و تنوع آب و هوایی بهرمنند است در معرض خطرات ناشی از آن نیز قرار دارد. پدیده زمین لغزش به حرکت ثقلی توده ای از مواد سنگی، خرده سنگی یا خاکی گفته می‌شود که نتایج آن ممکن است حوادث فاجعه باری باشد. فرآیند لغزش عمدتاً بر روی زمین‌های شیب دار رخ می‌دهد. عوامل متعددی در ایجاد و فعال شدن این پدیده مؤثر هستند به طوری که می‌توان به سه دسته عوامل بیرونی، درونی و ترکیب آن دو تقسیم بندی نمود: عوامل بیرونی عبارتند از آن عواملی که باعث افزایش متوسط تنش برشی در طول سطوح گسیختگی بالقوه یا سطوح ضعف موجود در سنگ و خاک می‌گردند. عوامل درونی عواملی هستند که باعث کاهش متوسط مقاومت برشی می‌شوند. همچنین فعالیت‌های انسانی مانند خاکبرداری و احداث راه ها، بارگذاری ناشی از ساخت و ساز روی زمین‌های شیب دار و مستعد می‌توانند باعث فعال شدن و تسریع این پدیده شوند. به طور کلی دامنه‌های ناپایدار دارای مناظر متمایز معینی از جمله موارد ذیل هستند: پر شیب اند، غالباً مرتفع می‌باشند، تمرکز فشار آب در آنها دیده می‌شود، پوشش خاک عمدتاً هوازده است، پای دامنه غالباً کنده شده است، مواد سست زیر مواد سخت تر قرار دارند، در معرض رگبارهای شدید می‌باشند و فعالیت زلزله در زمین و بستر آنها زیاد است (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳).

براساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق لغزشها بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیرقابل بازگشت به حساب آورده نشوند (نصیری، ۱۳۸۳: ۱). بر اساس گزارش پایگاه اطلاعاتی شناخت مصیبت‌های فراگیر (EM-DAT) دانشگاه لووان بلژیک، خطر زمین لغزش در فهرست مصیبت‌های فراگیر قرار دارد که شناخت، آمادگی و واکنش در برابر آن ضروری است. از آنجا که پیش بینی زمان یک زمین لغزش هنوز امکان پذیر نبوده و ابزاری برای آن، جهت این مهم تا کنون عرضه نگردیده است بنابراین شناسایی مناطق مختلفی که وقوع زمین لغزش در آنها بیشتر است و نیز رتبه بندی آن می‌تواند ما را از خطرات ناشی از آنها مصون داشته یا حداقل آسیب ها را کاهش دهد، اهمیت زیادی دارد (رنجبر و روغنی، ۱۳۸۸). نقشه وقوع خطر زمین لغزش، ابزاری است برای مدیریت بحران در نواحی کوهستانی (کومار دهال، ۲۰۰۸: ۴۹۶). تصویب و اجرای هر طرح و برنامه ای در چنین مناطقی بدون شناخت و بررسی این مناطق زیان‌های جانی و مالی در پی خواهد داشت.

عابدینی و ستایشی نسا (۱۳۹۰) به پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در حوضه آبخیز گلجه پرداخته اند. عابدینی و همکاران (۱۳۹۳)، خطر وقوع زمین لغزش در شهرستان بیجار استان کردستان را با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک مدل سازی نموده اند. فتحی و همکاران (۱۳۹۴) حساسیت وقوع زمین لغزش را با مدل‌های آماری دو متغیره و منطق فازی پهنه بندی کرده اند. شیرانی و عرب عامری (۱۳۹۴) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه دز علیا با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداخته اند. شیرزادی و همکاران (۱۳۹۴) روش‌های رگرسیون لجستیک، فراوانی نسبت و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی را در تهیه نقشه‌ی حساسیت ریزش سنگ منطقه گدازه صلوات آباد

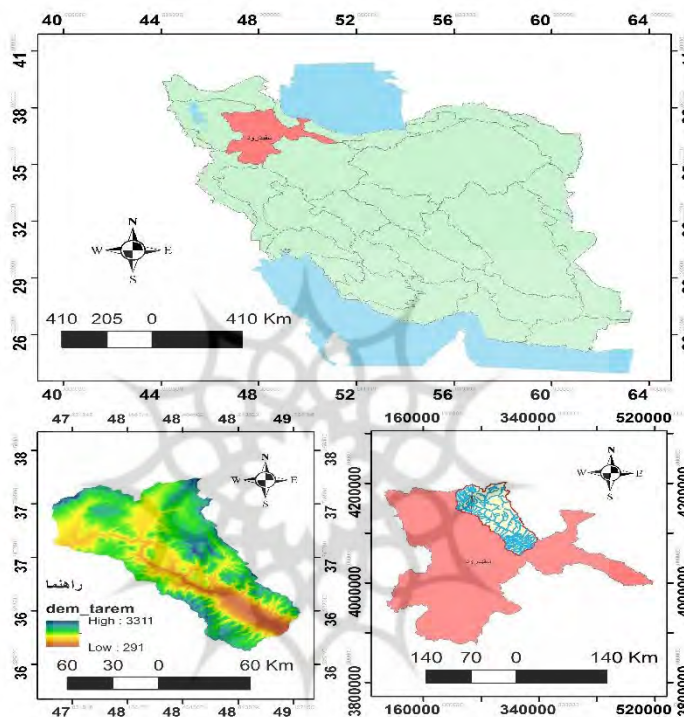
استان کردستان مورد مقایسه قرار داده اند، عرب عامری و همکاران (۱۳۹۵) توانایی پیش‌بینی مدل‌های آماری و لجستیک را برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش حوضه ونک مورد ارزیابی قرار داده اند. دلجویی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی روش‌های مختلف خطر زمین لغزش در جنگل‌های اکوسیستمی همت گماشته اند. روستایی و همکاران (۱۳۹۹) به پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون پرداخته اند، حجازی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز رودخانه سراجو با استفاده از منطق فازی پرداخته و دریافته اند که انطباق نقشه‌های گامای فازی مناطق دارای خطر زمین لغزش خیلی پر خطر، مساحتی به اندازه ۲۴۶۱ هکتار دارا می‌باشد که نیازمند مطالعات آبخیزداری و حافظت از خاک می‌باشند. امامی و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه پتانسیل زمین لغزش در منطقه چایباغ با استفاده از روش توموگرافی الکتریکی (ERT) دوبعدی پرداخته اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد پتانسیل لغزشی در سطح وسیع در منطقه با سطح لغزشی در عمق ۳۰ الی ۳۵ متری از سطح جاده در آینده وجود دارد به طوری که تجمع آب زیرزمینی می‌تواند محرک اصلی زمین لغزش احتمالی باشد. بر این اساس تمهیدات لازم از جمله طراحی زهکش برای ساخت دوباره این قسمت از جاده به منظور افزایش ایمنی پیشنهاد شده است. تارون کومار و همکاران (۲۰۱۴) طرح ارزیابی حساسیت پایداری شیب ((SSEP) ماراپو و جاکا (۲۰۱۴) روش‌های شناخت خطر لغزش زمین، روزیکا و همکاران (۲۰۱۵) به معرفی زمین لغزش‌ها و مشخصات مورفومتریک آن‌ها در کوه‌های بیستچزکیا در جنوب غربی سودتز لهستان پرداخته اند. قوش (۲۰۱۵) به آنالیز حساسیت زمین لغزش‌ها از طریق بررسی پارامترهای مورفومتریک در حوضه ریونگ خولا در غرب سیکیم هند پرداخته است. لی لین و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از منطق رگرسیون، مائورو کاجواله و همکاران (۲۰۱۷)، دپاک کومار و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از ماشین پشتیبانی برای حوضه رودخانه ماندانکی نقشه حساسیت به زمین لغزش را تهیه کردند. هارمولا هارمیلای، پونام و همکاران (۲۰۱۷) به شناسایی مناطق حساس به لغزش در دره مانده‌کینی (هیمالیائی مرکزی) با استفاده از روش وزن گیری شواهد پرداختند. کروزی (۲۰۱۷) یک مدل پیشنهادی برای وقوع رخدادهای زمستانی زمین لغزش منطقه ای چندگانه ارائه داد (Procida، Ischia و Vivara). لایسبت یاکووب و همکاران (۲۰۱۷) ویژگی‌ها و توزیع فضایی زمین لغزش در کوهستان روانزوری، اوگاندا را بررسی کردند. دیوگا و همکاران (۲۰۱۷) جهت بررسی حساسیت زمین لغزش-های ساکاری در غرب جاوا در اندونزی به آنالیز مورفومتري آن‌ها پرداخته اند. ژائو و لو (۲۰۱۸) زمین لغزش‌ها را از طریق سنجش از دور مورد مطالعه قرار داده اند. باربارلا و همکاران (۲۰۱۸) برای شناسایی ویژگی‌های زمین لغزش‌ها در جنوب ایتالیا از نقشه‌های DEM حاصل از داده‌های TLS و HRSI استفاده کرده اند. لمباردو و همکاران (۲۰۲۱) یک پارادایم پیش‌بینی فضایی جدید برای پیش‌بینی مناطق نقشه‌سنجی زمین لغزش معرفی کرده و پیش‌بینی کرده اند که این پارادایم پیش‌بینی فضایی جدید می‌تواند پیش‌رفتی در این علم باشد و با گذشت زمان، حتی می‌تواند بخشی از پروتکل‌های رسمی ارزیابی خطر زمین لغزش شود. ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) به پیش‌بینی جابجایی زمین لغزش با ویژگی‌های دینامیکی با استفاده از روش‌های هوشمند پرداخته اند. مطالعه آن‌ها نشان داد که پیش‌بینی‌کننده‌های به‌دست‌آمده توسط SVM نادرست هستند، زیرا جابه‌جایی زمین لغزش به‌صورتی گام‌به‌گام است. در مقابل، دقت را می‌توان به طور قابل توجهی با استفاده از روش پیش‌بینی پویا بهبود بخشید. این مقاله اهمیت ثبت ویژگی‌های دینامیکی ورودی‌ها را در فرآیند مطالعه، زمانی که مدل‌های یادگیری ماشینی برای پیش‌بینی جابجایی زمین لغزش اتخاذ می‌شوند، نشان می‌دهد. تخریب و ناپایداری دامنه به همراه ایجاد فرسایش و رسوب از مسائل مرتبط با رخداد زمین لغزش در حوضه آبریز طارم است که در این مطالعه به این موضوع پرداخته شده است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه طارم در محدوده غرب استان گیلان، شمال استان زنجان، شرق استان آذربایجان شرقی و جنوب استان اردبیل، قرار دارد. مساحت این حوضه حدود ۵۲۲۲ کیلومتر مربع است که در محدوده ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۱ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده است (شکل ۱). بیشترین میزان بارندگی حوضه در فصل زمستان می‌باشد. با افزایش ارتفاع حوضه در

شمال و شمال شرق حوضه، مقدار بارش افزایش می‌یابد. میانگین حداقل‌های دما $۱۱/۶$ و میانگین حداکثرهای دما $۳۲/۲$ و میانگین سالانه دما $۱۷/۵$ و حداکثر مطلق دما ۴۸ و حداقل مطلق دما $-۹/۵$ درجه سانتیگراد در آمار ایستگاه هواشناسی گزارش شده‌است. این حوضه دارای دو منطقه کوهستانی و کوهپایه‌ای بوده و از نظر اقلیمی دارای دو اقلیم متفاوت معتدل و سردسیر می‌باشد.

حوضه طارم از نظر زمین‌شناسی بخشی از ایران مرکزی و بر اساس تقسیم‌بندی ژئومورفولوژی بخشی از واحد شمال شرقی به حساب می‌آید. کوه‌های طارم ترکیبی از سازندهای آتشفشانی مانند سازند سبز کرج و توده‌های نفوذی گرانیتی است که با ریخت‌شناسی همگون و منظم به طول تقریبی ۲۰۰ کیلومتر با امتداد شمال شرق - شمال غرب در شمال زنجان قرار دارد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز طارم

داده‌ها و روش تحقیق

معرفی مدل:

مدل همپوشانی ریسک-آسیب‌پذیری، مدلی برای ارزیابی میزان ریسک و آسیب‌پذیری خطر زمین‌لغزش است که توسط نویسندگان این مقاله طراحی شده و برای اولین بار در این مقاله برای تحلیل و بررسی موضوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز طارم به کار برده شده است. این مدل برای تجزیه و تحلیل کمی شاخص‌های آسیب‌پذیری و عواملی که در وقوع زمین‌لغزش‌های دارای تلفات و خسارات مشارکت دارند، به کار می‌رود.

- مراحل ارزیابی ریسک و آسیب‌پذیری خطر زمین‌لغزش در این مدل:

- تهیه نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

توپوگرافی (شیب و ارتفاع): از جمله عوامل ایجاد زمین‌لغزش‌ها وضعیت توپوگرافی زمین است. هر چه بر میزان اختلاف ارتفاع افزوده می‌شود، احتمال وقوع لغزش‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. لغزش زمین معمولاً در شیب‌های تند به وقوع می‌پیوندد، ولی با توجه به دیگر عوامل ممکن است مقدار شیب بحرانی از ناحیه‌ای به ناحیه‌ای دیگر تفاوت پیدا کند. برای مثال، در منطقه‌ای لغزش زمین می‌تواند در شیب‌های بیشتر از ۲۰ درجه اتفاق بیفتد.

و این مقدار شیب، بحرانی تلقی شود؛ ولی در منطقه ی دیگر وقوع زمین لغزش در شیب های کمتر از این مقدار نیز متداول باشد. چنین موضوعی مشارکت سایر عوامل را در بروز ناپایداری زمین مشخص می کند.

زمین شناسی: دامنه هایی که حجم زیادی از رسوبات فرسایش یافته و ناپیوسته و سازندهای منفصل، سطح دامنه را پوشانده باشد برای زمین لغزش مستعدتر می باشند. وضعیت چینه شناسی لایه های سنگی با توجه به ویژگی های سنگ شناسی (لایه بندی و جنس سنگ) آنها موجب می شود تا بنا بر شرایط لایه بندی و جنس سنگ، ناپایداری در شیب های سنگی اتفاق بیفتد. برای مثال، هرچند ماسه سنگ های افقی موقع حفاری ترانشه ها در جهت عمود بر امتداد لایه بندی، پایدار می باشند؛ ولی در تناوب ماسه سنگ و شیل افقی به علت قابلیت تغییر حجم شیل در دراز مدت، لغزش بلوکهای ماسه سنگی دارای ناپیوستگی صورت می گیرد. پدیده ی لغزش سنگ در دامنه های متشکل از تناوب مارن، کنگلومرا و ماسه سنگ در جهت شیب لایه ها نیز می تواند اتفاق بیفتد.

بارش: نفوذ آب باران؛ نه تنها وزن دامنه را افزایش می دهد بلکه موجب کاهش اصطکاک بین توده لغزشی و زیر بنا خواهد شد که در چنین شرایطی باعث وقوع زمین لغزش در این دامنه ها می شود. بیشتر زمین لغزش ها پس از بارندگی های سنگین اتفاق می افتند. بارندگی به صورت باران یا برف ضمن نفوذ در داخل توده های سنگ و خاک، موجب افزایش وزن توده ای می شود که استعداد لغزش دارد. جذب آب توسط سنگ هایی مانند شیل و مارن به افزایش حجم این سنگ ها منجر می گردد. چنین سنگ هایی با جذب آب حالت صابونی پیدا می کنند و سنگ های درزه دار واقع شده بر روی آنها در جهت شیب لایه ها دچار لغزش می شوند.

تراکم آبراهه: تشکیل آبراهه های عمیق و تغییر آرایش جریان آب ها در طول آن ها، از عوامل تحریک کننده اصلی مواد دیواره دره ها و وقوع لغزش به شمار می آیند. در طول آبراهه های عمیق، لغزش های متعددی به وقوع می پیوندد و میزان گسیختگی ها و لغزش های دره ای، تابع میزان تراکم زهکشی است.

کاربری اراضی: عدم توجه به نحوه استفاده و کاربری صحیح اراضی دامنه ای و بهره برداری بی رویه از اراضی به ویژه اراضی نامتعادل منجر به وارد آمدن فشار بیش از ظرفیت آن ها و به هم زدن تعادل محیطی دامنه ها می گردد و زمین لغزش یکی از پدیده هایی است که به دنبال به هم خوردن این تعادل به وقوع می پیوندد.

تراکم گسل: ساختارهای زمین شناختی و تکتونیکی مانند شکستگی ها و گسل ها در ایجاد زمین لغزش نقش عمده ای بازی می کنند. وجود چنین ساختارهایی علاوه بر کاهش مقاومت زمین (خاک و سنگ) به تجمع آب در توده های سنگی و آبرفتی منجر می گردد. تجمع آب سبب افزایش فشار آب منفذی درون حفرات و افزایش وزن توده ی زمین شده و در نتیجه زمینه ی بروز رانش زمین را فراهم می کند.

تراکم جمعیت: به میزان جمعیت در واحد سطح اشاره دارد. آسیب پذیری با تراکم جمعیت همبستگی نزدیکی دارد. به این معنی که هرچه تراکم جمعیت و تعداد افراد ساکن در یک منطقه بیشتر باشد، در صورت وقوع زمین لغزش تلفات جانی بیشتری در پی خواهد داشت.

تراکم ساختمان: ساختمان ها نیز در برابر خطرات زمین لغزش آسیب پذیرند. مساحت پوشش ساختمانی مورد استفاده می تواند از داده های ماهواره ای یا گوگل ارث استخراج گردد.

تراکم جاده ها: تراکم جاده، شاخصی است که درجه پراکندگی جاده ها را نشان می دهد و با تقسیم بر کل مساحت منطقه بدست می آید. هر چه این شاخص بزرگتر باشد؛ حساسیت به خطرات زمین لغزش بالاتر است. مسیر سازه های خطی مانند جاده ها و خطوط راه آهن از طریق زیربری و زیربری دامنه ها باعث افزایش تنش برشی و کاهش پایداری دامنه ها گشته و یکی از مناطق با فراوانی لغزش بالاست. به گونه ای که ممکن است باعث تخریب و مسدود گشتن مسیر جاده ها و رودخانه ها شود و در بعضی مواقع که حجم مواد جابجا شده عظیم باشد، سدهای زمین لغزشی ایجاد می کند.

لایه پراکندگی و تراکم زمین لغزش‌های حوضه: برای محاسبه دامنه نفوذ زمین لغزش‌ها در حوضه‌های

آبریز، لایه زمین لغزش‌های منطقه و تراکم آن‌ها از بررسی‌های میدانی و تصاویر سنجش از دور به دست می‌آید.

- تعیین وزن طبقات هر یک از عوامل و شاخص‌ها (وزن درونی)
- محاسبه وزن متقابل (وزن بیرونی) عوامل و شاخص‌ها در محیط اکسل با استفاده از فرمول‌های محاسباتی مانند روش مقایسه زوجی: جهت تعیین میزان اهمیت و برتری هر عامل نسبت به سایر عوامل در مسئله زمین لغزش حوضه، عوامل و شاخص‌ها به صورت زوجی با هم مقایسه شده و وزن متقابل یا همان وزن بیرونی عوامل به دست می‌آید. تجزیه و تحلیل مقایسه زوجی برای وزن کردن اهمیت نسبی گزینه‌های مختلف مفید است. این روش مخصوصاً در جایی که اولویت‌ها واضح نیستند، جایی که گزینه‌ها کاملاً متفاوت هستند، جایی که معیارهای ارزیابی ذهنی هستند یا جایی که گزینه‌ها از نظر اهمیت با هم رقابت دارند بسیار کاربردی است. این ابزار چارچوبی را برای مقایسه هر گزینه در برابر دیگر گزینه‌ها فراهم می‌کند و تفاوت اهمیت بین گزینه‌ها را نشان می‌دهد.
- تعیین وزن‌ها از ماتریس مقایسات زوجی یک موضوع مهم می‌باشد. روش‌های بسیار متنوعی برای تعیین وزن ماتریس مقایسات زوجی مانند: روش بردار ویژه، روش کمترین مربعات و... مطرح شده‌اند. در این مقاله از روش بردار ویژه استفاده شده است.
- محاسبه وزن نهایی عوامل از طریق ضرب وزن هر یک از عوامل و شاخص‌ها (وزن بیرونی یا متقابل) در وزن طبقات (وزن زیرلایه‌ها) آن‌ها (وزن بیرونی $\times$ وزن درونی)
- اضافه کردن وزن نهایی هر یک از لایه‌ها بر روی نقشه‌ها در محیط نرم افزار GIS، برای تهیه نقشه‌های جدید با مقادیر کمی (لایه‌های وزن دار) از تمام عوامل و شاخص‌ها
- همپوشانی تمام لایه‌های عوامل موثر در وقوع زمین لغزش برای تهیه نقشه ریسک زمین لغزش: جهت شناسایی پهنه‌هایی که استعداد و حساسیت بیشتر برای وقوع زمین لغزش دارند، تمامی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عوامل موثر در وقوع زمین لغزش شامل شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، آبراهه، کاربری اراضی، بارش و گسل در محیط نرم افزار GIS همپوشانی و تلفیق گشته و خروجی کار به صورت نقشه ریسک وقوع زمین لغزش درمی‌آید.
- همپوشانی تمام لایه‌های شاخص‌های موثر در آسیب‌پذیری برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین لغزش: به منظور تهیه لایه آسیب‌پذیری حوضه، فاکتورهای موثر در این زمینه شامل لایه تراکم ساختمان‌ها، لایه تراکم جمعیت و لایه تراکم جاده‌ها با هم ترکیب شده و ماحصل آن نقشه آسیب‌پذیری در مقابل زمین لغزش است.
- تهیه لایه مناطق متأثر از وقوع زمین لغزش (نقشه زمین لغزش‌های منطقه)
- ترکیب و همپوشانی نقشه ریسک، نقشه آسیب‌پذیری و نقشه زمین لغزش‌های منطقه برای تولید نقشه نهایی (نقشه ریسک-آسیب‌پذیری): با توجه به این که روش کار در مدل مورد استفاده و هدف این مطالعه، تحلیل و بررسی وضعیت ریسک و آسیب‌پذیری حوضه به صورت ترکیبی است، بنابراین تمامی نقشه‌های تهیه شده در این مدل شامل نقشه ریسک وقوع زمین لغزش، نقشه آسیب‌پذیری در برابر زمین لغزش و نقشه زمین لغزش‌های منطقه با هم ترکیب، تلفیق و همپوشانی شده و نقشه ریسک-آسیب‌پذیری حوضه تهیه می‌گردد و در نهایت مناطق مختلف حوضه را از نظر میزان ریسک-آسیب‌پذیری، در پنج سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌کند.

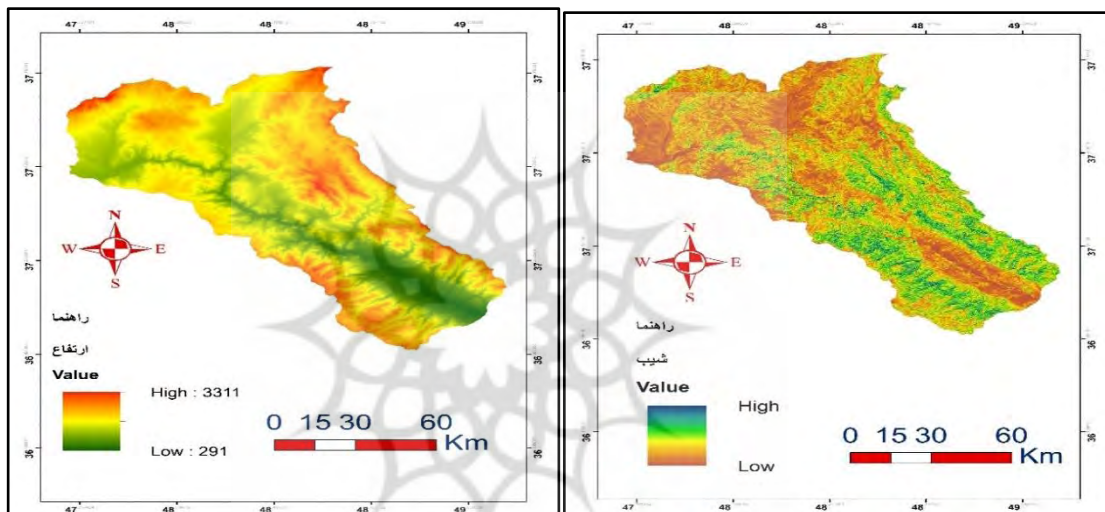
بحث و نتایج

فاکتورهای مورد ارزیابی در مدل همپوشانی ریسک- آسیب پذیری

با توجه به کیفی بودن مدل همپوشانی ریسک- آسیب پذیری، ورودی های مدل شامل نقشه هایی است که از حوضه آبریز طارم استخراج، تلفیق، تحلیل و در نهایت حساسیت نقاط مختلف حوضه را نسبت به وقوع زمین لغزش نشان می دهند. نتایج مربوط به مراحل مختلف مدل همپوشانی ریسک- آسیب پذیری به شرح زیر است.

عوامل موثر در وقوع زمین لغزش:

توپوگرافی (شیب و ارتفاع): در حوضه آبریز طارم، زمین های مرتفع و کوهستانی بیشتر در قسمت های شمالی و جنوب شرقی دیده می شوند. حداقل ارتفاع حوضه از سطح دریا، ۲۹۱ متر و حداکثر ارتفاع، ۳۳۱۱ متر است. اراضی پر شیب بیشتر در نیمه شرقی بخصوص شمال شرق و جنوب شرق حوضه دیده می شوند و قسمت های غربی منطقه دارای شیب کمتری هستند. شیب عمومی حوضه به سمت غرب است (شکل ۲).



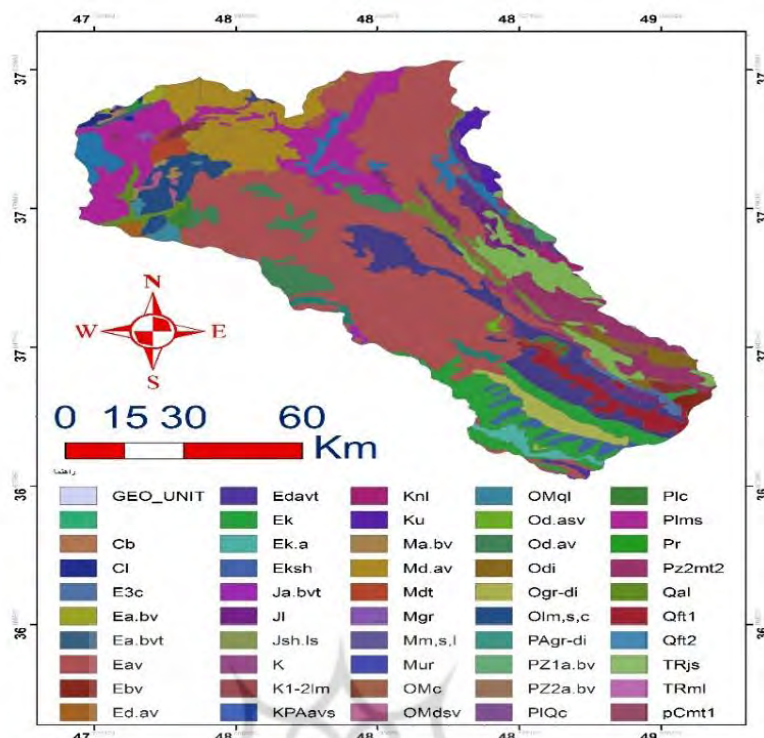
شکل ۲: نقشه شیب (الف) و نقشه ارتفاعات (ب) حوضه آبریز طارم

زمین شناسی: حوضه آبریز طارم از نظر واحدهای سنگ شناسی و سازندهای زمین شناسی دارای تنوع قابل توجهی است (جدول ۱ و شکل ۳).

جدول ۱: واحدهای زمین شناسی حوضه آبریز طارم

واحد	شرح	وزن	واحد	شرح	وزن
TRjs	ماسه سنگ، سیلتستون و گلسنگ و تناوب لایه هایی از زغالسنگ رگه ای	0.948	Cb	تناوبی از دولومیت، سنگ آهک و شیل (سازند باروت)	1.185
OMc	کنگومرای قاعده ای و ماسه سنگ	0.474	Cl	ماسه سنگ آرکوز تا نیمه آرکوزی قرمز تیره متوسط دانه و سیلتستون میکا دار (سازند لالون)	0.474
Plc	کنگومرای پلی متال و ماسه سنگ	0.474	Pr	سنگ آهک توده ای تا متوسط لایه (سنگ آهک روته)	0.711

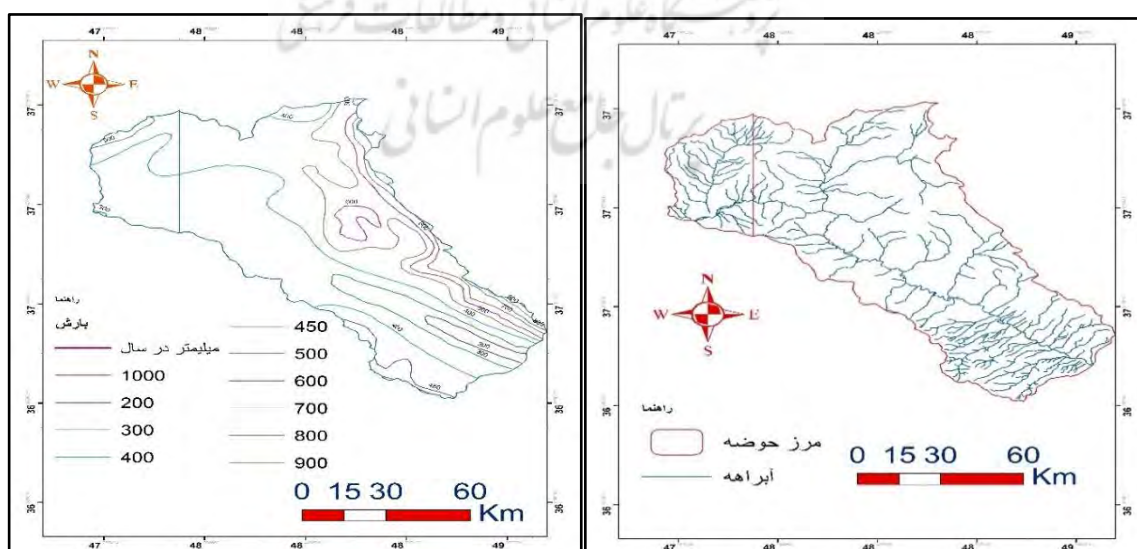
Qft1	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای قدیمی مرتفع	0.237	Ku	سنگهای تفکیک نشده کرتاسه بالایی	0.237
Ek	شیل تیره توف دار با میان لایه هایی از توف (عضو زیرین توف)	1.185	Plms	گلستگ، ژپس و ماسه سنگ	0.711
E3c	کنگلومرا و ماسه سنگ	0.474	Mur	مارن، مارن ژپس دار، ماسه سنگ و کنگلومرا (سازند قرمز بالایی)	0.948
PlQc	کنگلومرای پلی ژنیک سست	0.711	pCmt1	سنگهای با درجه کم تا متوسط دگرگونی (آمفیبولیت شیست)	0.474
K1-2lm	مارن و سنگ آهک آرژیلی	1.185	Olm,s,c	شیل سیلتی، مارن ژپس دار، ماسه سنگ و ژپس (سازند قرمز تحتانی)	0.948
Ebv	عمدتا بازالیت و آندزیت با بافت حفره ای	0.237	Qal	کانال جریان، نهشته های سیلابی	0.237
Eksh	شیل توفی با میان لایه هایی از توف (عضو شیل زیرین)	1.185	OMql	سنگ آهک ریفی توده ای تا ضخیم لایه	0.474
Ek.a	شیل آهکی و توف (شیل آسارا)	1.185	Ed.av	گدازه های داسیتی تا آندزیتی	0.237
Ek	شیل تیره توف دار با میان لایه هایی از توف (عضو زیرین توف)	1.185	K	سنگهای غیر متداول کرتاسه	0.237
TRml	آهک دگرگونی، کوارتز دگرگونی، فیلیت و سنگهای آتشفشانی دگرگونی	0.474	Qft2	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع	0.237
Ea.bv	گدازه های آندزی بازالتی	0.237	Knl	سنگ آهک توده ای تیره	0.711
Md.av	سنگهای آتشفشانی داسیتی تا آندزیتی	0.237	Jl	سنگ آهک توده ای - نازک لایه خاکستری روشن (سازند لار)	0.711



شکل ۳: نقشه واحدهای زمین شناسی و سنگ شناسی حوضه آبریز طارم

بارش: در حوضه آبریز طارم میانگین بارش در بخش‌های شرقی و شمال شرقی حوضه بیشتر است (شکل ۴). بیشترین میزان پراکنش بارندگی حوضه در فصل زمستان می‌باشد. با افزایش ارتفاع حوضه در شمال و شمال شرق حوضه، مقدار بارش افزایش می‌یابد.

تراکم آبراهه: تراکم آبراهه‌ها و سیستم زهکشی جریانات سطحی در حوضه مورد مطالعه با توجه به تراکم ارتفاعات، شیب زیاد و شرایط زمین شناسی و ویژگی‌های سنگ شناسی، بیشتر در جنوب شرقی و شمال غربی حوضه دیده می‌شود (شکل ۴)



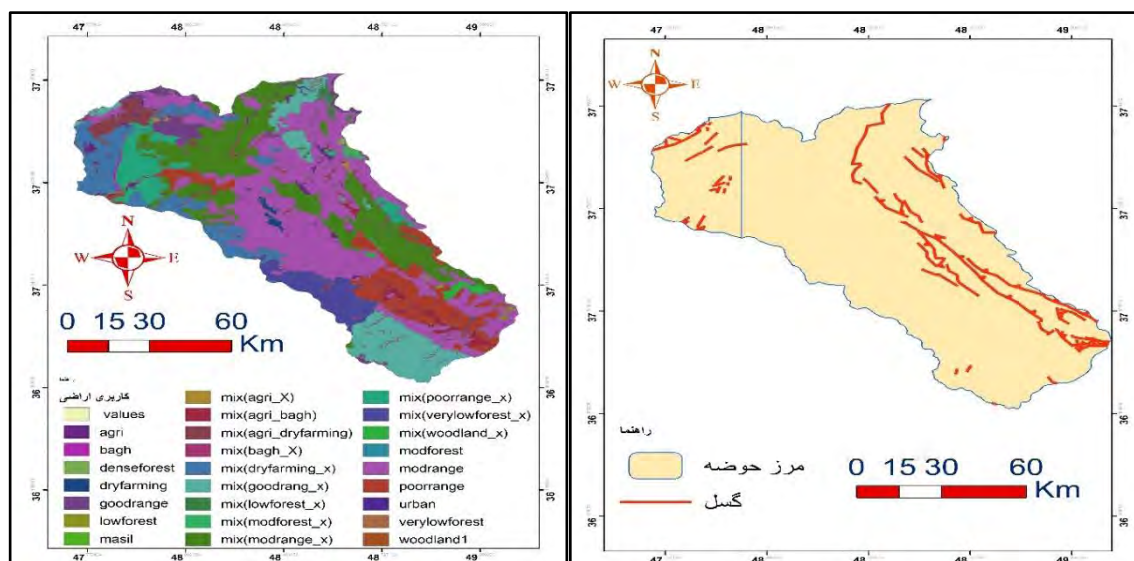
شکل ۴: نقشه آبراهه‌ها (الف) و خطوط هم بارش (ب) حوضه آبریز طارم

کاربری اراضی: در حوضه آبریز طارم نیز اراضی دارای تنوع کاربری زیادی هستند که عدم تعادل و تناسب آن‌ها با شرایط محیطی می‌تواند حساسیت منطقه را در برابر زمین لغزش افزایش دهد (جدول ۲ و شکل ۵). با توجه به نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز طارم، در نقاطی از حوضه که دامنه‌ها پوشیده از مراتع ضعیف بوده و تراکم جنگل‌ها کمتر است و یا دامنه‌هایی که برای کاربری کشاورزی مورد تصرف و بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، هم ریسک وقوع زمین لغزش بالاتر است و هم میزان آسیب و خسارات بیشتر خواهد بود.

جدول ۲: انواع کاربری اراضی در حوضه آبریز طارم

وزن نهایی	وزن داخلی	نوع کاربری
0.092	2	باغ
0.23	5	مراتع ضعیف
0.184	4	مراتع متوسط
0.138	3	مراتع خوب
0.138	3	ترکیب باغ و کشاورزی
0.184	4	ترکیب مراتع متوسط و جنگل
0.23	5	کشاورزی
0.138	3	جنگل پراکنده
0.138	3	ترکیب مراتع خوب و جنگل
0.092	2	جنگل
0.092	2	ترکیب جنگل پراکنده و مرتع
0.138	3	ترکیب جنگل و مرتع
0.138	3	ترکیب باغ و مرتع
0.138	3	جنگل خیلی پراکنده
0.23	5	کشاورزی دیم
0.23	5	ترکیب مرتع فقیر و جنگل
0.092	2	جنگل نیمه متراکم
0.184	4	شهر
0.184	4	مسیل
0.23	5	ترکیب کشاورزی و مرتع
0.23	5	ترکیب کشت دیم و مرتع
0.138	3	ترکیب جنگل نیمه متراکم و مرتع
0.046	1	جنگل متراکم
0.23	5	ترکیب کشت آبی و کشت دیم
0.138	3	جنگل خیلی پراکنده

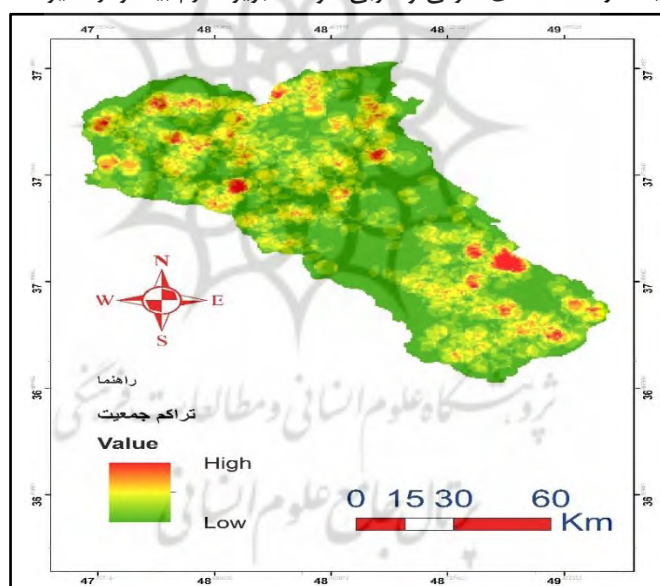
تراکم گسل: در حوضه آبریز طارم تعداد و تراکم گسل‌ها بیشتر در نواحی شرقی و شمال شرقی و تا حدودی در غرب حوضه دیده می‌شود که شرایط را برای کاهش مقاومت برشی دامنه‌ها و ناپایداری و وقوع زمین لغزش در این نقاط فراهم کرده است (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه گسل ها (منبع: نقشه زمین شناسی شیت ۱/۱۰۰۰۰۰ طارم) (الف) و نقشه کاربری اراضی (منبع: اداره کل منابع طبیعی استان زنجان)

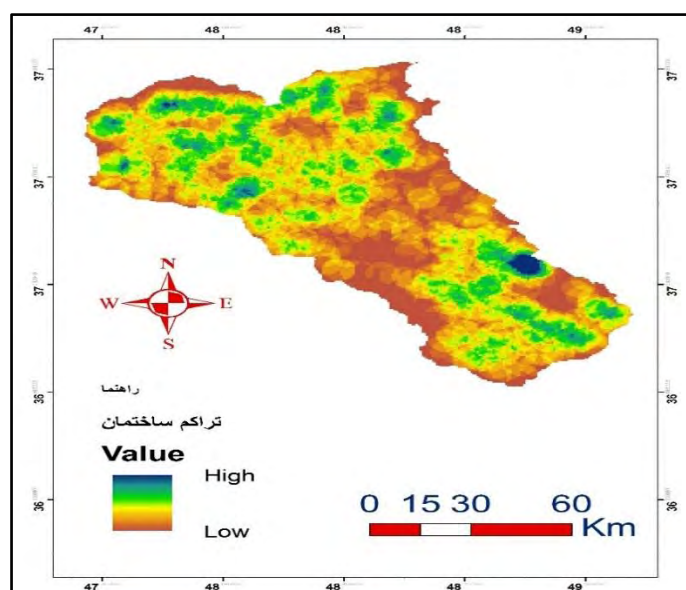
شاخص‌های موثر در میزان آسیب پذیری:

تراکم جمعیت: تراکم جمعیت در قسمت‌های شرقی و غربی حوضه آبریز طارم بیشتر از سایر نقاط است (شکل ۶).



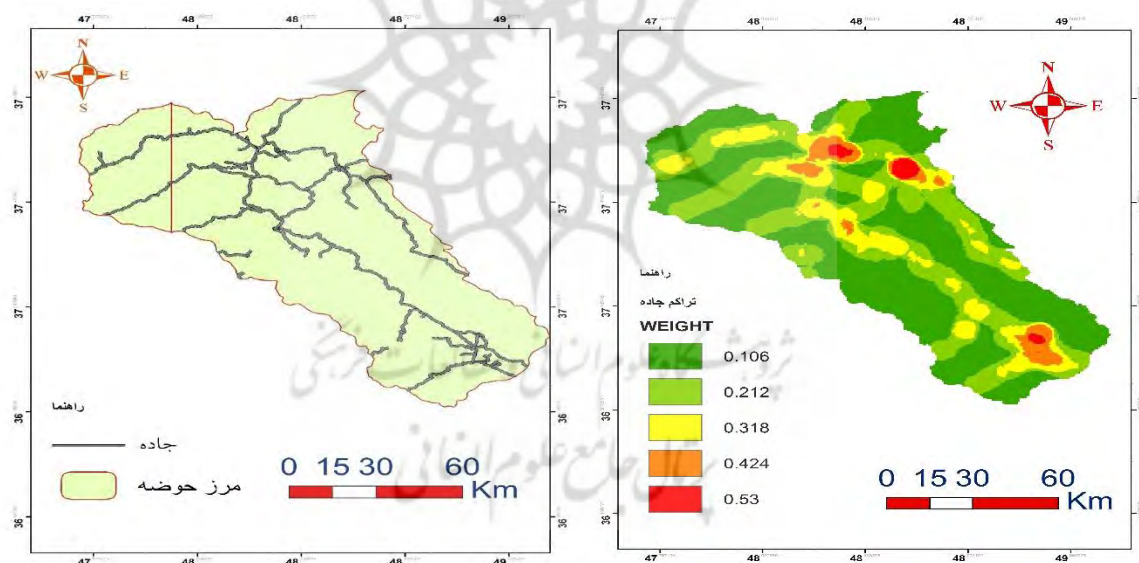
شکل ۶: نقشه تراکم جمعیت حوضه آبریز طارم (طرح آمایش سرزمین و تدوین سند راهبردی توسعه استان زنجان، ۱۳۹۰)

تراکم ساختمان: نواحی مرکزی حوضه آبریز طارم دارای تراکم ساختمان کمتری بوده و از این نظر آسیب پذیری کمتری دارد درحالی که بخش‌های غربی و شرقی منطقه به دلیل تراکم بیشتر ساختمان ها که عمدتاً منازل روستایی را تشکیل می- دهند، در مقابل زمین لغزش آسیب پذیرتر بوده و در صورت وقوع زمین لغزش آسیب و خسارت بیشتری خواهند دید (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه تراکم ساختمان حوضه آبریز طارم ((طرح آمایش سرزمین و تدوین سند راهبردی توسعه استان زنجان، ۱۳۹۰).

تراکم جاده‌ها: در حوضه آبریز طارم تراکم جاده‌ها در قسمت‌های مرکزی و شمالی بیشتر است. همانند مساحت پوشش ساختمانی، طول و تراکم جاده در حوضه آبریز طارم نیز از داده‌های ماهواره ای می‌تواند استخراج گردد (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه جاده‌ها (الف) و تراکم جاده (ب) حوضه آبریز طارم (منبع: اداره کل راه و ترابری استان زنجان)

محاسبه وزن متقابل (وزن بیرونی) عوامل و شاخص‌ها در محیط اکسل با استفاده از روش مقایسه زوجی: جهت تعیین میزان اهمیت و برتری هر عامل نسبت به سایر عوامل در مسئله زمین لغزش حوضه، عوامل و شاخص‌ها به صورت زوجی و با استفاده از نظرات کارشناسان، در محیط نرم افزار EXPERT CHOICE با هم مقایسه شده و وزن متقابل یا همان وزن بیرونی عوامل به دست می‌آید (جدول ۳ تا ۶).

بالا بودن شیب سبب ناپایداری دامنه شده و وجود لایه‌های سست به ویژه قرار گیری این لایه‌ها بر روی بستر لایه‌های ستبری مانند آهک، زمینه ساز اصلی و اساسی بروز زمین لغزش هستند. بارش سبب کاهش اصطکاک و ناپایداری بیشتر لایه‌ها شده و سنگینی لایه به سبب پر شدن منافذ بین دانه‌های لایه‌های منفصل به شدت در بروز زمین لغزه موثر هستند. با افزایش ارتفاع، شیب و میزان بارش افزایش می‌یابد بنابراین افزایش ارتفاع نیز می‌تواند عاملی موثر در بروز زمین لغزه باشد.

تراکم گسل و فعالیت‌های تکتونیکی هم می‌تواند ناپایداری دامنه‌ها را در پی وقوع زمین لرزه به دنبال داشته باشد، بنابراین پارامتر تراکم گسل‌ها نیز عاملی تقویت کننده محسوب می‌شود. کاربری اراضی نیز نظم طبیعی لایه‌ها را بر هم زده و فعالیت‌هایی مانند ساخت جاده‌ها سبب کاهش پایداری دامنه شده و زمینه وقوع زمین لغزه را به وجود می‌آورد. وجود آبراهه‌ها و تراکم بالای آنها باعث زیرشویی لایه‌های سست شده و ناپایداری دامنه را به دنبال دارد. بنابراین هرچه تراکم آبراهه‌ها بیشتر باشد، وقوع زمین لغزه نیز تسهیل می‌یابد. بنابراین، بر اساس مطالعاتی که در این زمینه انجام شد، پارامترهای موثر در وقوع زمین لغزه به ترتیب اهمیت شامل شیب، سنگ شناسی، بارش، ارتفاع، تراکم گسل، کاربری اراضی و تراکم آبراهه است که جدول مذکور ارائه شده است.

در نهایت وزن نهایی عوامل از طریق ضرب وزن هر یک از عوامل و شاخص‌ها (وزن بیرونی یا متقابل) در وزن درونی طبقات (زیرلایه‌ها) آن‌ها محاسبه گردید (وزن بیرونی $\times$ وزن درونی).

جدول ۳: ماتریس مقایسه زوجی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش حوضه آبریز طارم

تراکم آبراهه	کاربری اراضی	تراکم گسل	ارتفاع	بارش	سنگ شناسی	شیب	
7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	شیب
6.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	سنگ شناسی
5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	بارش
4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	ارتفاع
3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	گسل
2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	کاربری اراضی
1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	آبراهه
28.000	21.500	15.833	11.083	7.283	4.450	2.593	جمع

جدول ۴: محاسبه وزن بیرونی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش حوضه آبریز طارم

بردار ویژه (وزن بیرونی)	آبراهه	کاربری اراضی	گسل	ارتفاع	بارش	سنگ شناسی	شیب	
0.350	0.250	0.279	0.316	0.361	0.412	0.449	0.386	شیب
0.237	0.214	0.233	0.253	0.271	0.275	0.225	0.193	سنگ شناسی
0.159	0.179	0.186	0.189	0.180	0.137	0.112	0.129	بارش
0.106	0.143	0.140	0.126	0.090	0.069	0.075	0.096	ارتفاع
0.070	0.107	0.093	0.063	0.045	0.046	0.056	0.077	گسل
0.046	0.071	0.047	0.032	0.030	0.034	0.045	0.064	کاربری اراضی
0.032	0.036	0.023	0.021	0.023	0.027	0.037	0.055	آبراهه

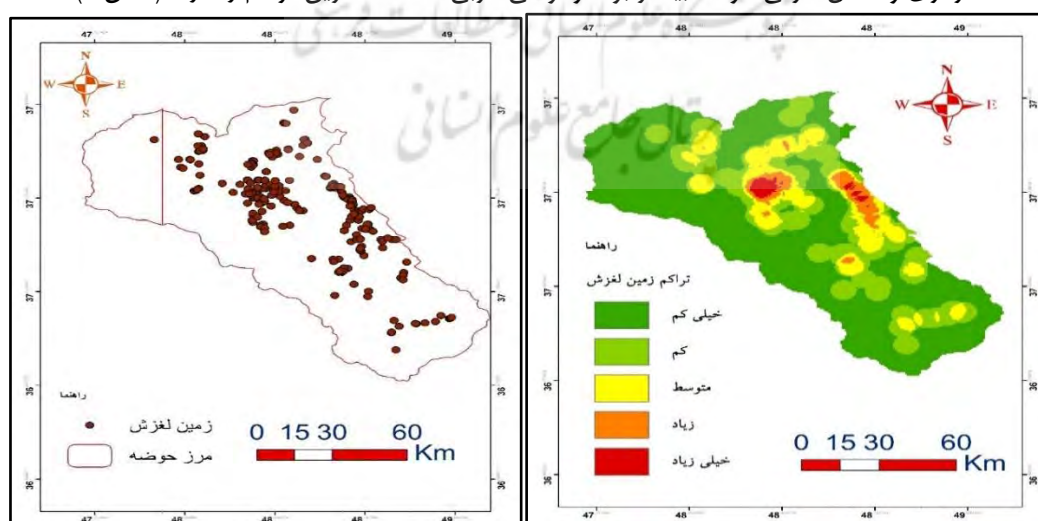
جدول ۵: ماتریس مقایسه زوجی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌آسیب پذیری حوضه آبریز طارم

	تراکم جمعیت	تراکم ساختمان	تراکم جاده
تراکم جمعیت	1.000	3.000	5.000
تراکم ساختمان	0.333	1.000	3.000
تراکم جاده	0.200	0.333	1.000
جمع	1.533	4.333	9.000

جدول ۶: محاسبه وزن بیرونی عوامل موثر در آسیب پذیری حوضه آبریز طارم

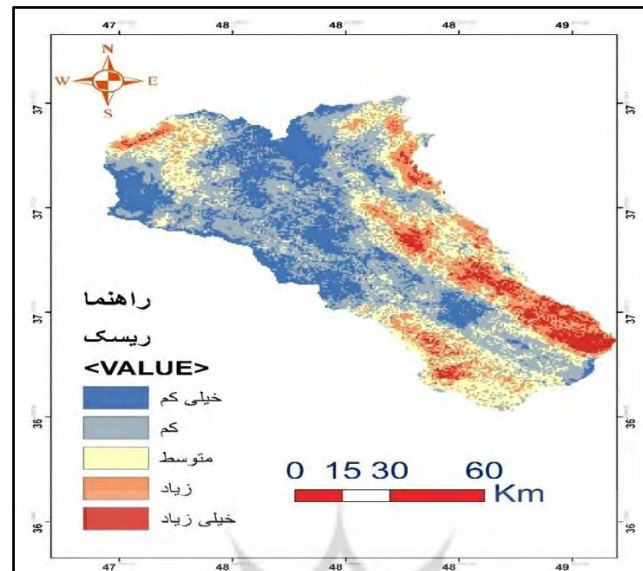
	تراکم جمعیت	تراکم ساختمان	تراکم جاده	بردار ویژه (وزن بیرونی)
تراکم جمعیت	0.652	0.692	0.556	0.633
تراکم ساختمان	0.217	0.231	0.333	0.260
تراکم جاده	0.130	0.077	0.111	0.106

تهیه لایه پراکندگی و تراکم زمین لغزش‌های حوضه: برای محاسبه دامنه نفوذ زمین لغزش‌ها در حوضه آبریز طارم، لایه زمین لغزش‌های منطقه و تراکم آن‌ها از بررسی‌های میدانی و تصاویر سنجش از دور به دست می‌آید. تراکم زمین لغزش‌ها در قسمت مرکزی و شمال شرقی حوضه بیشتر بوده و نواحی غربی منطقه کمترین تراکم را دارند (شکل ۹).



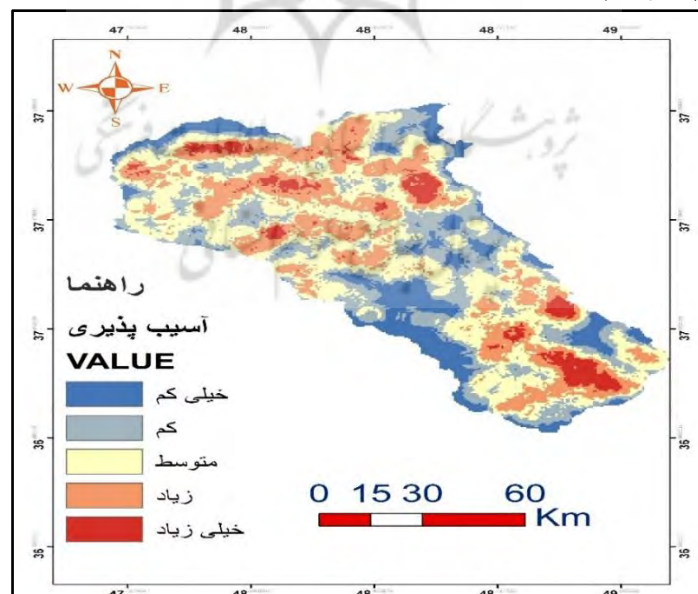
شکل ۹: نقشه پراکندگی (الف) و تراکم (ب) زمین لغزش‌ها در حوضه آبریز طارم (منبع: اداره کل منابع طبیعی استان زنجان)
همپوشانی تمام لایه‌های عوامل موثر در وقوع زمین لغزش برای تهیه نقشه ریسک زمین لغزش: جهت شناسایی پهنه‌هایی که استعداد و حساسیت بیشتر برای وقوع زمین لغزش دارند، تمامی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به

عوامل موثر در وقوع زمین لغزش شامل شیب، ارتفاع، زمین شناسی، آبراهه، کاربری اراضی، بارش و گسل در محیط نرم افزار GIS همپوشانی و تلفیق گشته و خروجی کار به صورت نقشه ریسک وقوع زمین لغزش درآمد (شکل ۱۰).



شکل ۱۱: نقشه ریسک (احتمال) وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز طارم

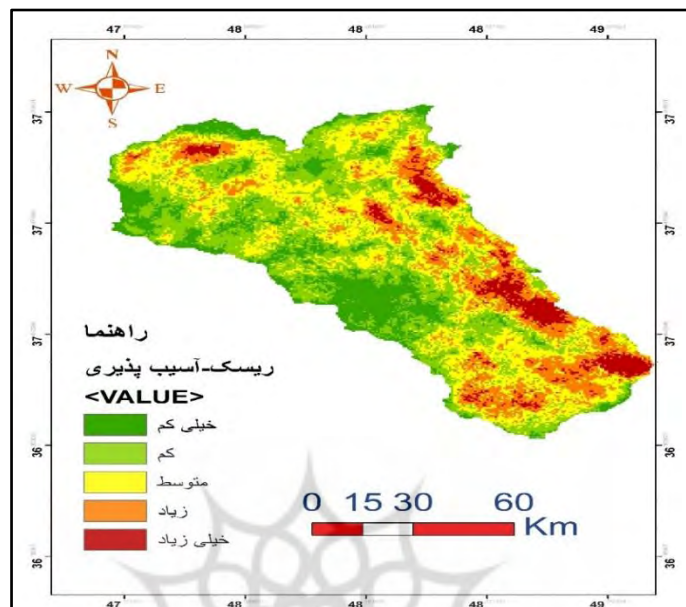
همپوشانی تمام نقشه‌های مربوط به شاخص‌های موثر در میزان آسیب پذیری از زمین لغزش برای تهیه نقشه آسیب پذیری: به منظور تهیه لایه آسیب پذیری حوضه، فاکتورهای موثر در این زمینه شامل لایه تراکم ساختمان ها، لایه تراکم جمعیت و لایه تراکم جاده ها با هم ترکیب شده و ماحصل آن نقشه آسیب پذیری در مقابل زمین لغزش بود. منطقه با آسیب پذیری بالا دارای تراکم جمعیت بالا، دسترسی به شبکه جاده ای و حمل و نقل گسترده و ساختمان‌های با تراکم متمرکز و زیاد است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: نقشه آسیب پذیری در مقابل زمین لغزش در حوضه آبریز طارم

ترکیب و همپوشانی نقشه ریسک، نقشه آسیب پذیری و نقشه زمین لغزش‌های منطقه برای تولید نقشه نهایی (نقشه ریسک - آسیب پذیری): با توجه به این که روش کار در مدل مورد استفاده و هدف این مطالعه، تحلیل و بررسی وضعیت ریسک و آسیب پذیری حوضه به صورت ترکیبی است، بنابراین تمامی نقشه‌های تهیه

شده در این مدل شامل نقشه ریسک وقوع زمین لغزش، نقشه آسیب پذیری در برابر زمین لغزش و نقشه زمین لغزش-های منطقه با هم ترکیب، تلفیق و همپوشانی گردیده و نقشه ریسک-آسیب پذیری حوزه آبریز طارم تهیه گردید. که مناطق مختلف حوزه را از نظر میزان ریسک-آسیب پذیری، در پنج سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی می‌کند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: نقشه ریسک-آسیب پذیری حوزه آبریز طارم

نتیجه گیری:

تحلیل عوامل موثر در وقوع زمین لغزش حوزه و تهیه نقشه ریسک زمین لغزش نشان می‌دهد؛ بطور کلی نیمه شرقی حوزه آبریز طارم دارای ریسک وقوع زمین لغزه بیشتری بوده لذا، احتمال وقوع زمین لغزش در این نواحی بیشتر است. با توجه به نتایج بررسی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش (از جمله شیب زیاد، ارتفاع بالا، بارش فراوان و تراکم زیاد گسل ها و ویژگیهای سنگ شناسی)، بالاترین میزان ریسک در قسمت شمال و شمال شرقی منطقه دیده می‌شود. از نظر آسیب پذیری نیز بخش‌های شمالی و شرقی حوزه به دلیل تراکم بیشتر ساختمان، جاده و جمعیت آسیب پذیرتر از سایر نقاط بوده و در صورت وقوع زمین لغزش تلفات و خسارات مالی و جانی بیشتری به بار خواهد آمد. همچنین قسمت‌های شرقی و شمال شرقی حوزه آبریز طارم بیشترین میزان ریسک-آسیب پذیری را دارند. به این معنی که احتمال وقوع زمین لغزش‌های دارای تلفات و خسارات جانی و مالی در این مناطق بیشتر از دیگر نواحی حوزه است. از جمله عواملی که سبب حساسیت بالای این مناطق از حوزه گشته، شیب زیاد، وضعیت سنگ شناسی، کاربری اراضی نامناسب و شبکه هیدروگرافی را می‌توان نام برد. نتایج این پژوهش نشان داد که از کل سطح حوزه، ۱۷٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری خیلی کم، ۳۵٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری کم، ۲۳٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری متوسط، ۱۶٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری زیاد و ۹٪ کلاس ریسک-آسیب پذیری بسیار زیاد را به خود اختصاص داده اند. تهیه نقشه مناطق حساس و پر خطر بهترین راهبرد برای اجتناب از ساخت و ساز در مناطقی از حوزه آبریز طارم است که مستعد زمین لغزش بوده و آسیب پذیری بالایی دارند. در پژوهشی که منبری و همکاران (۱۴۰۰) در زمینه وقوع زمین لغزه با استفاده از مدل فازی و با به کارگیری لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، زمین شناسی و بارش در این حوزه و حوزه خلخال انجام داده اند، کلاسهای خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲۹، ۱۳، ۲۴، ۲۳، ۱۱ تخمین زده اند که روی هم رفته حدود ۳۴ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد وقوع زمین لغزه بوده است که شامل **قسمت‌های شمالی، شرقی و جنوب غربی** منطقه مورد مطالعه است. این مناطق منطبق

با مناطق با بیشترین میزان بارش و تراکم گسل می‌باشد و به نظر می‌رسد این عوامل بیشترین تاثیر را در پتانسیل وقوع زمین لغزه دارد. در مقایسه نتایج حاصل از پژوهش مذکور با آنچه توسط نویسندگان این پژوهش انجام شده است، به نظر می‌رسد نتایج حاصل از این دو پژوهش بسیار به هم نزدیک است و هر دو پژوهش نواحی نسبتاً یکسانی را به عنوان مناطق پر خطر معرفی کرده اند و از لحاظ مساحت نیز در پژوهش حاضر ۲۵ درصد و در پژوهش منبری و همکاران (۱۴۰۰) ۳۴ درصد از این حوضه دارای ریسک زمین لغزش زیاد و خیلی زیاد است که البته تفاوت هایی که در لایه‌های مورد استفاده و ضمیمه بودن حوضه خلخال به حوضه طارم پژوهش منبری و همکاران (۱۴۰۰) وجود دارد می‌تواند نوجیه کننده این تفاوت در نتیجه باشد. در این مطالعه با استناد به نقشه ۹ که شامل زمین لغزه‌های رخ داده در این حوضه است و همپوشانی این نقشه با نقشه ۱۳ که نقشه نهایی تهیه شده توسط این مدل است این نتیجه نیز حاصل می‌شود که بیش از ۸۰ درصد از زمین لغزه‌های رخ داده در این حوضه در نواحی دارای ریسک و آسیب پذیری متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته اند، بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که این مدل با توجه به اینکه برای نخستین بار توسط پژوهشگران معرفی شده است، می‌تواند مدلی قابل استناد برای پهنه بندی زمین لغزه محسوب شود.

نقشه‌های پهنه بندی ریسک- آسیب پذیری، با توجه به شناسایی نقاط پر خطر و آسیب پذیر در برابر زمین لغزش، می‌تواند برای تعیین حدود کاربری اراضی مانند ساخت جاده، قطع درختان برای الوار، یا حتی خانه سازی مورد استفاده قرار گیرد. در واقع تعیین نوع کاربری زمین‌های منطقه با در نظر گرفتن نقاط و پهنه‌های پر خطری که در نقشه ریسک-آسیب پذیری مشخص گردیده اند، می‌تواند در صورت وقوع زمین لغزش میزان خسارات و تلفات جانی و مالی را کاهش دهد.

مزیت و برتری این مدل نسبت به سایر مدل ها و روش‌های مطالعه زمین لغزش، بررسی ترکیبی احتمال وقوع زمین لغزش و آسیب پذیری (تلفات و خسارات مالی و جانی) منطقه در برابر زمین لغزش بوده و تعیین می‌کند که احتمال وقوع زمین لغزش- های دارای تلفات و خسارات جانی و مالی در چه نقاطی از حوضه بیشتر است.

منابع:

- امامی، رضا، رضاپور، مهدی، فرجی، محمد. (۱۴۰۱). مطالعه پتانسیل زمین لغزش در منطقه چایباغ با استفاده از روش توموگرافی الکتریکی (ERT) دوبعدی. مجله ژئوفیزیک ایران، ۹۶.
- حجازی، سید اسدالله، جوادی، مهدی، موسوی کجباد، ندا. (۱۴۰۱). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه سراجو). (فصلنامه جغرافیا برنامه‌ریزی منطقه‌ای).
- دلجویی، آزاده، حسینی، عطالله، صادقی، محمدمعین، (۱۳۹۵) ارزیابی رو شهای مختلف پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در اکوسیستم‌های جنگلی، نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، سال چهارم، شماره ۱۳، صص ۷-۱۴
- روستایی، شهرام، مختاری کشکی، داود، اشرفی فینی، زهرا. (۱۳۹۹). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۴۴، شماره ۷۱، صص ۱۲۵-۱۵۰.
- رنجبر، محسن، پریسا، روغنی (۱۳۸۸)، پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس، سال اول، شماره ۲، صص ۳۰-۲۱.
- شیرانی، کوروش، عرب عامری، علیرضا (۱۳۹۴) پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره هفتادودوم، صص ۳۲۱-۳۳۴
- شیرزادی، عطالله، سلیمانی، کریم، حبیب نژاد روشن، محمود، کاویان، عطالله، قاسمیان، بهاره. (۱۳۹۴) مقایسه روش‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه‌ی حساسیت ریزش سنگ (مطالعه موردی: استان کردستان، گردنه صلوات آباد)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ششم، شماره ۱۲، صص ۱۹۳-۲۰۴
- عابدینی، موسی، قاسمیان، بهاره، شیرزادی، عطالله، (۱۳۹۳)، مدل‌سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۷، صص ۸۵-۱۰۲
- عابدینی، موسی، ستایشی نسا، حسن. (۱۳۹۰). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلجه، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۹، صص ۱۲۹-۱۶۵.
- عرب عامری، علیرضا، شیرانی، کوروش، حلبیان، امیرحسین، (۱۳۹۵)، ارزیابی توانایی پیش‌بینی مدل‌های آماری و لجستیک برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه ونک). فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال نهم، شماره ۳۲، تابستان ۱۳۹۵، صص ۱۲۳-۱۴۰.
- فتحی، محمدحسین، بهشتی جاوید، ابراهیم، عابدینی، موسی. (۱۳۹۴) پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل‌های آماری دو متغیره و منطق فازی، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۶، شماره ۳، صص ۴۹-۶۰.
- مقیمی، ابراهیم، فرج الله محمودی، (۱۳۸۳). روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، چاپ اول، نشر قومس.
- منبری، فاطمه و رحیم زاده، زهرا و زنگنه تبار، ساسان، (۱۴۰۰)، تعیین پتانسیل زمین لغزش حوضه آبخیز طارم-خلخال، هشتمین همایش ملی ژئومورفولوژی، کارکردها و ضرورتها، تهران.

Chaoying Zhao and Zhong Lu, 2018, Remote Sensing of Landslides—A Review, Remote Sens., 10, 279.

- Deepak Kumar, Manoj Thakur, Chandra S. Dubey, Dericks P. Shukla, Landslide susceptibility mapping & prediction using Support Vector Machine for Mandakini River Basin, Garhwal Himalaya, India, Geomorphology 295 (2017) 115–125

Ghosh d, 2015, landslide susceptibility analysis from morphometric parameter analysis of riyong khola basin, west sikkim, india: a geospatial approach, international journal of geology, earth & environmental sciences, vol. 5 (1) january-april, pp. 54-65.

Le Lin, Qigen Lin, and Ying Wang, Landslide susceptibility mapping on a global scale using the method of logistic regression, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 17, 1411–1424, 2017

Liesbet Jacobs, Olivier Dewitte, Jean Poesen, Jan Maes, Kewan Mertens, John Sekajugo, Matthieu Kervyn, Landslide characteristics and spatial distribution in the Rwenzori Mountains, Uganda, Journal of African Earth Sciences 134 (2017) 917-930

Lombardo, L., Tanyas, H., Huser, R., Guzzetti, F., & Castro-Camilo, D. (2021). Landslide size matters: A new data-driven, spatial prototype. *Engineering geology*, 293, 106288.

M.J. Crozier, A proposed cell model for multiple-occurrence regional landslide events: Implications for landslide susceptibility mapping, Geomorphology 295 (2017) 480–488

M.L. Dwiyooga, M.F. Mawaridi and M.A.J. Anandi, 2017, Morphometric Analysis for Landslide Susceptibility in Sukasari and Surrounding Area, Tanjungsari, West Java, Indonesia, 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics

Maurizio Barbarella , Alessandro Di Benedetto , Margherita Fiani , Domenico Guida, and Andrea Lugli, 2018, Use of DEMs Derived from TLS and HRSI Data for Landslide Feature Recognition, International Journal of Geo-Information, 7, 160.

Mauro Caccavale, Fabio Matano, Marco Sacchi, An integrated approach to earthquake-induced landslide hazard zoning based on probabilistic seismic scenario for Phlegrean Islands (Ischia, Procida and Vivara), Italy, Geomorphology 295 (2017) 235–259

Identification and morphometric properties of landslides in the Bystrzyckie Mountains (Sudetes, SW Poland) based on data derived from airborne LiDAR, Geomorphometry for Geosciences

Poonam, Naresh Rana, Parshant Kumar Champati ray, Pinkey Bisht, Dharendra Singh Bagri, Robert James Wasson, Yashpal Sundriyal, Identification of landslide-prone zones in the geomorphically and climatically sensitive Mandakini valley, (central Himalaya), for disaster governance using the Weights of Evidence method, Geomorphology 284 (2017) 41–52

Tarun Kumar Raghuvanshi, Jemal Ibrahim, Dereje Ayalew, Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme – An approach for landslide hazard zonation, Journal of African Earth Sciences 99 (2014) 595–612

Zhang, Y., Tang, J., Cheng, Y., Huang, L., Guo, F., Yin, X., & Li, N. (2022). Prediction of landslide displacement with dynamic features using intelligent approaches. *International Journal of Mining Science and Technology*.