



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 3, No.95, Autumn 2024, pp. 65- 94
Received: 14/03/2024 Accepted: 25/05/2024

Identification and Zoning of Areas Prone to the Occurrence of Landslides Using the Aras Multi-Criteria Analysis Method (Study Area: Qaranqoochay Watershed in the Southeast of East Azarbaijan Province)

Sayyad Asghari Saraskanroud ¹ *, Elnaz Pirouzi ²

1- professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
s.asghari@uma.ac.ir

2- Ph.D. in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
e.pirouzi@uma.ac.ir

Abstract

Landslides are a type of mass movement that often result in significant financial and human losses. Effectively mitigating these losses requires identifying high-risk areas. The Qaranqoochay Basin has long been susceptible to landslides due to its geological, physiographic, lithological, climatic, and anthropogenic conditions. This study aimed to assess and zone the landslide risk within this basin. First, a distribution map was created depicting landslides and relevant variables, including slope, aspect, Digital Elevation Model (DEM), lithology, land use, rainfall, and distance from roads, rivers, and faults. The degree of membership for each parameter was then determined using fuzzy membership functions, and the criteria weights were calculated using the CRITIC method. Finally, a landslide susceptibility map was generated using the ARAS multi-criteria decision analysis approach. The results indicated that slope, lithology, and land use were the most influential factors with weights of 0.162, 0.152, and 0.147, respectively. Approximately 12.86 and 25.42% of the basin area were classified as high-risk and very high-risk, respectively. These high-risk zones were primarily located in the northern, southern, and central parts of the basin, warranting prioritized management and protection efforts. The use of the rock curve method and sub-curve level (0.89) demonstrated the excellent accuracy of the ARAS method in identifying and zoning landslide-prone areas within the Qaranqoochay Basin.

Keywords: Hazard, Mass Movement, Qaranqoochay Watershed, MCDM.

*Corresponding Author

Asghari Saraskanroud, S., & Piroozi, E. (2024). Identification and zoning of areas prone to the occurrence of landslides using the Aras multi-criteria analysis method (Study area: Qaranqoochay watershed in the southeast of East Azarbaijan province). *Geography and Environmental Planning*, 35 (3), 65 - 94 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/GEP.2024.140985.1639

Introduction

Landslides are among the most dangerous natural disasters, resulting in significant loss of life, financial resources, and natural capital worldwide (Nazariani & Fallah, 2023; Silakhouri et al., 2023). The severe implications of landslides for the environment underscore the need to mitigate the damages caused by this hazard (Porfarazeshzadeh & Asghari Saraskanroud, 2022). The Qaranqoochay Basin is highly susceptible to landslides due to its unique geographic characteristics, including mountainous terrain, steep slopes, the presence of loose surface materials overlying resistant bedrock, and climatic conditions (e.g., spring rainfall and snowmelt). Despite the basin's vulnerability and the damages caused by past landslide events, such as destruction of transportation infrastructure and erosion of valuable soil resources, the landslide potential in this area has not been thoroughly investigated using multi-criteria analysis techniques. This research aimed to address this gap by employing the novel ARAS multi-criteria decision-making method to assess and zone the landslide risk within the Qaranqoochay Basin. The findings of this study will help inform effective risk management and mitigation strategies to protect the basin's communities, infrastructure, and natural resources.

Materials & Methods

This applied research employed an integrated data analysis, Geographic Information System (GIS), and multi-criteria analysis approach. Several software packages, including ENVI, Ecognition, ArcGIS, Idrisi, and Excel, were utilized for image processing and data analysis. To assess the landslide risk, the researchers first identified the key influencing factors, including slope, aspect, Digital Elevation Model (DEM), lithology, land use, rainfall, and distance from roads, rivers, and faults. These factors were selected based on the natural and anthropogenic conditions of the study area. Next, information layers corresponding to each of these factors were prepared within the GIS environment. The relative importance of the investigated factors was determined using the CRITIC weighting method and the final landslide risk assessment was conducted using the ARAS multi-criteria decision-making approach. After generating the landslide susceptibility map, the accuracies of the models were evaluated using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve.

Research Findings

The analysis revealed a strong correlation between the identified high-risk and very high-risk areas and the locations of observed landslides. Specifically, 30.76% of the landslides that occurred within the basin fell into the high-risk category, while 55.77% were situated within the very high-risk zones. The spatial distribution of cities and villages across the risk classes further highlighted the basin's vulnerability. The cities of Turkmanchay and Qarah Aghaj, along with 120 villages (16.13% of the total villages), were located within the very high-risk areas. The high-risk class encompassed the city of Nazarkehrizi and 223 villages (29.97% of the total). Additionally, the cities of Hashtroud, Mianeh, Aqkand, and Tikmehdash, as well as 178 villages (23.92%), fell within the medium-risk category. The remaining villages were distributed across the low-risk (158 villages, 21.24%) and very low-risk (65 villages, 8.74%) classes. These findings underscored the widespread landslide risk faced by the communities within the Qaranqoochay Basin with a significant proportion of the population and infrastructure located in the high-risk and very high-risk areas. Targeted risk mitigation and adaptation strategies will be crucial to enhance the resilience of the basin's settlements and protect its natural resources.

Discussion of Results & Conclusion

The landslide risk zoning analysis revealed that the most influential factors for landslide occurrence in the study area were slope (weight: 0.162), lithology (weight: 0.152), and land use (weight: 0.147). Specifically, slopes between 10-55%, areas with discontinuous Quaternary fine and coarse-grained surface materials, marl, sandstone, conglomerate, sandy pyroclastic rocks, silt, clay, and volcanic ash, as well as agricultural and poor-to-medium pasture lands, exhibited severe disturbance and high landslide potential. The results further indicated that 12.86 and 25.42% of the basin area fell into the high-risk and very high-risk categories, respectively. These high-risk zones should be prioritized for targeted management interventions and protection projects. Application of the ROC curve analysis with an area under the curve of 0.89 demonstrated the excellent accuracy of the ARAS multi-criteria decision-making method in identifying and delineating landslide-prone areas within the Qaranqoochay Basin. This robust analytical approach is expected to be of significant interest to researchers seeking appropriate landslide risk assessment and zoning methodologies, particularly in regions with natural and anthropogenic characteristics similar to the study area. These findings provide a valuable foundation for developing comprehensive landslide risk management strategies within the Qaranqoochay Basin. By targeting the high-risk and very high-risk zones, local authorities and stakeholders can implement effective mitigation measures to enhance community resilience and safeguard critical infrastructure and natural resources.

مقاله پژوهشی

شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره آراس (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قرنقوچای در جنوب شرق استان آذربایجان شرقی)

صیاد اصغری سراسکانرود^{*} ، استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
s.asghari@uma.ac.ir
الناز پیروزی، دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
e.pirouzi@uma.ac.ir

چکیده

پدیده زمین‌لغزش از انواع حرکت‌های دامنه‌ای است که همواره خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در پی دارد. در این میان، برای کاهش خسارت‌های ناشی از چنین حرکتی، شناخت دقیق مکان‌های در معرض خطر بسیار مؤثر است. حوضه آبخیز قرنقوچای باتوجه به شرایط زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، لیتولوژی، اقلیمی و انسانی از دیرباز تحت تأثیر وقوع خطر زمین‌لغزش بوده است. بر این اساس، محققان در پژوهش حاضر به دنبال ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سطح این حوضه هستند. در این راستا، ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و متغیرهای تأثیرگذار (شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل) فراهم و در مرحله بعدی با استفاده از تابع عضویت فازی، درجه عضویت پارامترها و با استفاده از روش کریتیک، مقدارهای وزنی معیارها تعیین و در نهایت، نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS استخراج شد. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی به‌ترتیب با مقدارهای ۰/۱۶۲، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۴۷ بیشترین وزن را از بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش داشتند. همچنین، نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که به‌ترتیب ۱۲/۸۶ و ۲۵/۴۲ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد. به‌طور عمده، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در قسمت‌های کوهستانی شمالی، جنوبی و بخش مرکزی حوضه واقع شده است که این پهنه‌ها از لحاظ کارهای مدیریتی و اجرای پروژه‌های حفاظتی باید در اولویت قرار گیرند. همچنین، با نظر به بهره‌گیری از روش منحنی راک و با سطح زیرمنحنی (۰/۸۹) دقت روش ARAS در شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش حوضه قرنقوچای در سطح عالی است.

واژه‌های کلیدی: مخاطره، حرکت دامنه‌ای، حوضه قرنقوچای، MCDM.

*نویسنده مسئول

اصغری سراسکانرود، صیاد، پیروزی، الناز. (۱۴۰۳). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره آراس (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قرنقوچای در جنوب شرق استان آذربایجان شرقی). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵ (۳)، ۹۴-۶۵.



مقدمه

زمین‌لغزش به حرکت لایه‌های رسوبی غیرمتراکم و متراکم بر روی سطح شیب‌دار ناپایدار گفته می‌شود (صدیقی و قاسمی، ۱۴۰۲، ص. ۴۴). وقوع زمین‌لغزش به عوامل مختلفی چون شیب، زمین‌شناسی، اقلیمی، هیدرولوژیکی، زلزله، پوشش گیاهی، کاربری زمین و عوامل انسانی بستگی دارد (ایمانی، ۱۴۰۰، ص. ۲۱۰۷؛ Caleca Zhou et al., 2020, P. 2؛ et al., 2024, P. 2). این پدیده طبیعی موجب برهم‌زدن گستره سیستم آب و خاک در طبیعت، تخریب جاده‌ها، بزرگراه‌ها، مناطق مسکونی، خطوط انتقال انرژی، سازه‌های مهندسی، تخریب پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی، رسوب‌زائی سریع و وسیع در عرصه طبیعت، تسریع فرسایش و انتقال گستره رسوبات به پشت سدها و تغییر و تکامل چشم‌انداز زمین می‌شود (ذاکری‌نژاد و کهرانی، ۱۴۰۲، ص. ۱۸؛ Materazzi et al., 2021, P. 2). زمین‌لغزش به‌عنوان لندفرمی ژئومورفولوژیک از جمله خطرناک‌ترین بلایای طبیعی در سراسر جهان است که سالانه خسارت‌های فراوان جانی، مالی و منابع طبیعی در پی دارد (نظریانی و فلاح، ۱۴۰۲، ص. ۱۲۳؛ سیلاخوری و همکاران، ۱۴۰۲، ص. ۱۲۲). به‌طوری که این مخاطره در بین بزرگ‌ترین بلایا و سوانح طبیعی رده هفتم را از نظر تلفات جانی به خود اختصاص داده است و بالغ بر ۱۷ درصد تلفات جانی حاصل از بلایای طبیعی را شامل می‌شود (Alimohammadlou et al., 2013, P. 220) و در کشورهای در حال توسعه هر ساله بیش از ۰/۵۰٪ تولید ناخالص ملی در اثر زمین‌لغزش از بین می‌رود (Chen et al., 2015, P. 123). بنابراین پیامدهای تهدیدساز و زیانبار پدیده زمین‌لغزش در قبال محیط زیست ما را بر آن می‌دارد تا به فکر مقابله و تخفیف خسارت و آسیب‌های ناشی از این مخاطره برایم (پورفرازش‌زاده و اصغری‌سراسکانرود، ۱۴۰۱، ص. ۴۲). در این راستا، شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش با استفاده از تکنیک‌های پهنه‌بندی برای مدیریت این خطر ضرورت می‌یابد (انتظاری و کردوانی، ۱۴۰۱، ص. ۱۷۸؛ نصیری و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۱۰۶؛ Rabby et al., 2022, P. 1). واضح است که در صورت در اختیار داشتن نقشه دقیق‌تر حساسیت به زمین‌لغزش می‌توان برای مدیریت و کاهش پیامدهای زمین‌لغزش برنامه‌ریزی بهتری انجام داد (اطیابی و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۱۰۰).

با رشد و توسعه فناوری‌های نوین روش‌های موجود، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطره‌ها و محیط ارائه نمایش این نقشه‌ها نیازمند استفاده از ابزارهای کارآمدتری است. در این راستا، باید اذعان داشت که از یکسو سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (Geographic information system) ابزاری مؤثر برای سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری تعاملی از جهت عملیات مدیریت انواع مخاطره‌هاست (اصغری‌سراسکانرود و پیروزی، ۱۴۰۱، ص. ۷۱). از سوی دیگر، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) (Multi-criteria decision making) امکان تعیین مقدار اهمیت کلیه معیارها و ادغام آنها را در یک شاخص ترکیبی فراهم می‌کند تا تصمیم‌گیرندگان قادر به شناسایی بهترین گزینه باشند (Zhu & Liu, 2021, P. 3). در چند دهه اخیر روش‌های تحلیل چندمعیاره به‌طور گسترده در یکپارچه‌سازی، شناسایی یا رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار و به‌ویژه در تجزیه و تحلیل مخاطره‌های طبیعی به کار گرفته شده است (محمودی و انعلیا و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۳۹۷). به‌منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش برای مناطق مختلف نیز طی دو دهه اخیر پژوهش‌های زیادی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت پذیرفته است که همه محققان بر عملکرد

مطلوب این روش‌ها در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تأکید داشتند؛ برای مثال، **مددی و همکاران (۱۳۹۹)** با استفاده الگوریتم‌های چندمعیاره MABAC و CODAS خطر زمین‌لغزش را در شهرستان کوثر بررسی کردند. **شریفی و همکاران (۱۴۰۰)** خطر زمین‌لغزش را در شهرستان نور با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه مطالعه کردند. **اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۱)** با بهره‌گیری از روش‌های چندمعیاره WLC, OWA, VIKOR و MABAC زمین‌لغزش حوضه گیوی‌چای را ارزیابی کردند. **مددی و پیروزی (۱۴۰۲)** خطر زمین‌لغزش را در حوضه بالادست سد یامچی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MARCOS و CODAS پهنه‌بندی کردند. و جتک‌ووا و جتک با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار پتانسیل لغزش زمین را در شهر هاندلوا اسلوآکی مطالعه کردند (**Vojtekova & Vojtek, 2020**). صالح‌پور جم با هدف ارزیابی عملکرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS, LIM و VIKOR حساسیت زمین‌لغزش را در حوزه آبخیز الموت ایران مطالعه کرد (**Salehpour Jam, 2021**). به پیش‌بینی فضایی خطر زمین‌لغزش در منطقه کولو هیم‌چال پرادش هند با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (روش WLC) پرداختند (**Kumar et al., 2022**). ساها و همکاران با بهره‌گیری از روش AHP خطر زمین‌لغزش را در بخشی از ناحیه دارجلینگ در شمال شرقی هند ارزیابی کردند (**Saha et al., 2023**).

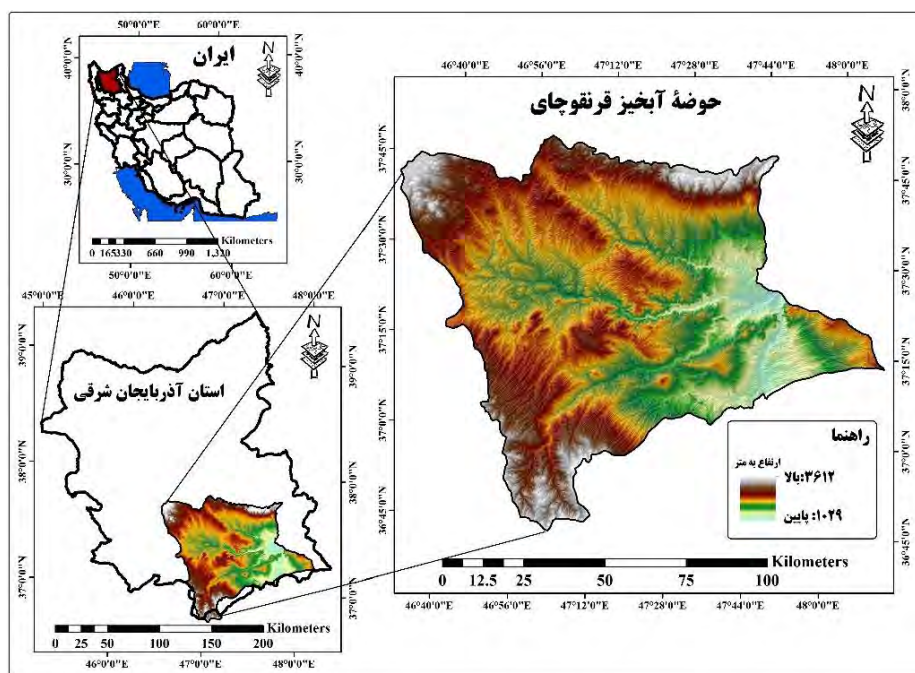
حوضه قرائق‌چای به لحاظ وضعیت خاص منطقه مانند توپوگرافی (کوهستانی و شیب زیاد)، وجود مواد سطحی سست سطحی بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی (به ویژه به علت بارش‌های بهاری و نیز ذوب برف‌ها در فصل بهار) پتانسیل بسیار زیادی برای وقوع زمین‌لغزش دارد؛ به‌طوری که باتوجه به اهمیت موضوع و سوابق وقوع لغزش در این حوضه **بیاتی خطیبی (۱۳۸۶)** با استفاده از روش تعیین عامل ویژه و **بیاتی خطیبی (۱۳۸۹)** با بهره‌گیری از روش دو متغیره آماری حساسیت وقوع زمین‌لغزش‌ها را در این حوضه بررسی کردند. در این پژوهش‌ها نیز با نظر به کوهستانی و پرشیب بودن حوضه، وجود سازندهای حساس (مارن، خاکسترهای آتشفشانی و آبرفت‌های قدیمی) و نوع کاربری زمین (به‌ویژه کشت آبی) به مستعدبودن زیاد این حوضه از نظر رخداد زمین‌لغزش تأکید شده است؛ بنابراین باتوجه به اهمیت موضوع (به دلیل وجود آسیب‌ها و خسارت‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه از جمله: تخریب راه‌های ارتباطی و فرسایش و هدررفتن منابع با ارزش خاک در حوضه) و با نظر به این موضوع که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در چند دهه اخیر در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بسیار مورد استقبال قرار گرفته است و تاکنون با استفاده از فنون تحلیل چندمعیاره پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در این حوضه بررسی نشده است، در پژوهش حاضر پهنه‌بندی حوضه قرائق‌چای در برابر این مخاطره با استفاده از روش نوین تحلیل چندمعیاره ARAS مدنظر قرار گرفته است. انتظار می‌رود با شناسایی و تعیین مناطق حساس و مستعد لغزش ضمن جلوگیری از بروز آسیب‌ها زمینه برای اجرای طرح‌های پایدارسازی دامنه‌ها فراهم شود. از سوی دیگر، پژوهش حاضر باتوجه به استفاده از روش تحلیل چندمعیاره ARAS در امر انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطقی با شرایط محیطی مشابه با محدوده حوضه قرائق‌چای می‌تواند بسیار مفید باشد و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای مطالعه خطر زمین‌لغزش قرار گیرد.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مطالعه شده

حوضه قرانقوچای با وسعت ۹۲۴۲/۴۹ کیلومتر مربع به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های قزل‌اوزن در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۷۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). حوضه آبخیز قرنقو با یک رودخانه اصلی به نام قرنقوچای در راستای شرقی-غربی و چهار رودخانه فرعی منتهی به آن با نام‌های کلکان‌چای، سراسکند، شورچای و شورجه‌چای زهکش می‌شود. کوه بزداغ با ارتفاع ۳۶۱۲ متر مرتفع‌ترین بخش حوضه و محل اتصال آن به قزل‌اوزن در ۱۰۲۹ متر پست‌ترین نقطه حوضه است. مقدار شیب حوضه قرنقوچای بین ۰ تا ۱۲۳ درصد است و ۱۷۳۹/۷۵ کیلومتر مربع از مساحت حوضه شیب بیش از ۲۰ درصد را دارد.

پوشش گیاهی موجود در سطح حوضه به‌صورت باغ‌ها (سیب، گردو، هلو و زردآلو)، مراتع (خوب، متوسط و فقیر) و اراضی زراعی دیمی و آبی (گندم، جو و حبوبات) است. اقلیم این محدوده متأثر از موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی محلی است که به‌ترتیب طبق روش تقسیم‌بندی دومارتن و اقلیم‌نمای آمبرژه اقلیم نیمه‌خشک و نیمه‌خشک سرد دارد. سیمای ساختاری حوضه بیشتر متأثر از فازهای کوهزایی آلپی است که از زمان ائوسن با شروع رخدادهای آتشفشانی آغاز شده و با توسعه ارتفاعات و ناهمواری‌های ولکانیکی، آذرآواری و بعضاً قاره‌ای-دریایی در دوره‌های الیگوسن، میوسن و پلیوسن ادامه یافته و در اواخر پلیوسن و اوایل کواترنر تحت‌تأثیر آخرین فازهای چین‌خوردگی چهره امروزی به خود گرفته است. عناصر ساختاری حوضه شامل انواع ساختمان‌های چین‌خورده، گسل‌ها، سیستم‌های شکستگی، درز و شکاف‌هاست.



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده مطالعه شده (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 1: Location map of the study area

منابع داده‌ها و ابزارها

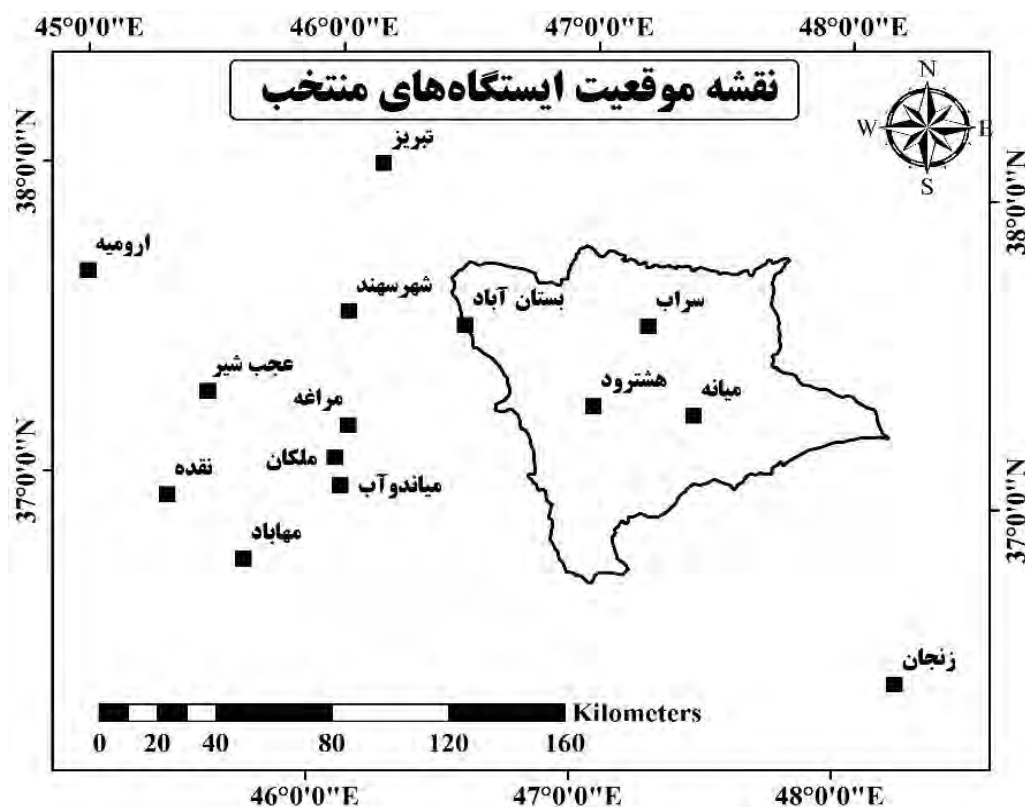
پژوهش حاضر باتوجه به ماهیت مسئله و موضوع آن از نوع تحقیقی-کاربردی است. باتوجه به اینکه رخداد پدیده زمین‌لغزش تحت تأثیر عوامل بسیار متعددی و شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر در رخداد لغزش‌ها یکی از مراحل بسیار مهم است، پس از بررسی منابع و یافته‌های علمی مرتبط با موضوع از نظرهای کارشناسان و از مشاهده‌های میدانی استفاده شد. همچنین، در این پژوهش باتوجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه ۹ معیار شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل به‌عنوان عوامل مؤثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش حوضه مطالعه‌شده شناسایی و سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هریک از عوامل در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 تهیه شد. نقشه مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر، ماهواره Alos و سنجنده Palsar از سایت <https://search.asf.alaska.edu> دریافت و محدوده مطالعه‌شده استخراج و سپس لایه‌های شیب و جهت شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در Arc map تهیه شد. نقشه بارش نیز با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب (جدول ۱) و با بهره‌گیری از معادله گرایان بارش ($P = 0/0057 H + 281.84$) با ضریب تعیین $0/80$ ($R^2 = 0/80$)، ترسیم شد. شکل ۲ نشان‌دهنده موقعیت ایستگاه‌های منتخب است. نحوه استخراج نقشه بارش بدین صورت بوده است که در نرم‌افزار Arc map با استفاده از دستور Raster Calculator نقشه طبقات ارتفاعی جایگزین مؤلفه H شد و سپس نقشه بارش به دست آمد.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب باران‌سنجی

Table 1: Geographical characteristics of selected rain gauge stations

نام ایستگاه	ارتفاع به متر	عرض شمالی	طول شرقی	نام ایستگاه	ارتفاع به متر	عرض شمالی	طول شرقی
تبریز	۱۳۶۴	۳۸ درجه و ۵ دقیقه	۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه	عجب‌شیر	۱۲۹۰	۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه	۴۵ درجه و ۵۴ دقیقه
سراب	۱۶۸۲	۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه	۴۷ درجه و ۲۳ دقیقه	هشترود	۱۷۵۰	۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه	۴۷ درجه و ۳ دقیقه
شهر سهند	۱۶۴۱	۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه	۴۶ درجه و ۷ دقیقه	زنجان	۱۶۶۳	۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه	۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه
میانه	۱۱۱۰	۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه	۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه	میاندوآب	۱۲۷۰	۳۷ درجه و ۰ دقیقه	۴۶ درجه و ۸ دقیقه
مراغه	۱۳۴۴	۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه	۴۶ درجه و ۹ دقیقه	مهاباد	۱۳۵۲	۳۶ درجه و ۷۵ دقیقه	۴۵ درجه و ۷۱ دقیقه
ملکان	۱۳۰۸	۳۷ درجه و ۹ دقیقه	۴۶ درجه و ۵ دقیقه	نقده	۱۳۰۷	۳۶ درجه و ۹۴ دقیقه	۴۵ درجه و ۱ دقیقه
بستان‌آباد	۱۷۰۰	۳۷ درجه و ۵۱ دقیقه	۴۶ درجه و ۴۹ دقیقه	ارومیه	۱۳۳۵	۳۷ درجه و ۶۵ دقیقه	۴۵ درجه و ۵ دقیقه

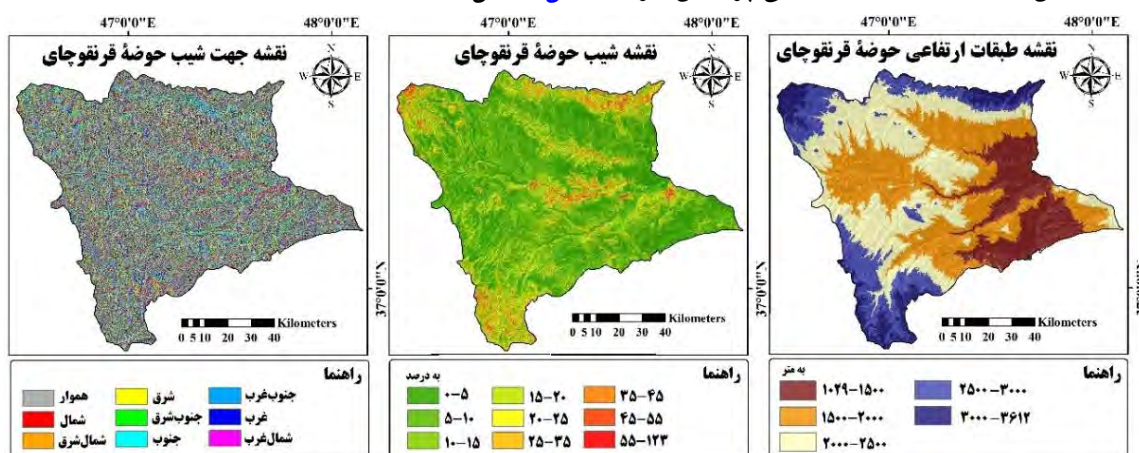
منبع: سازمان هواشناسی کشور

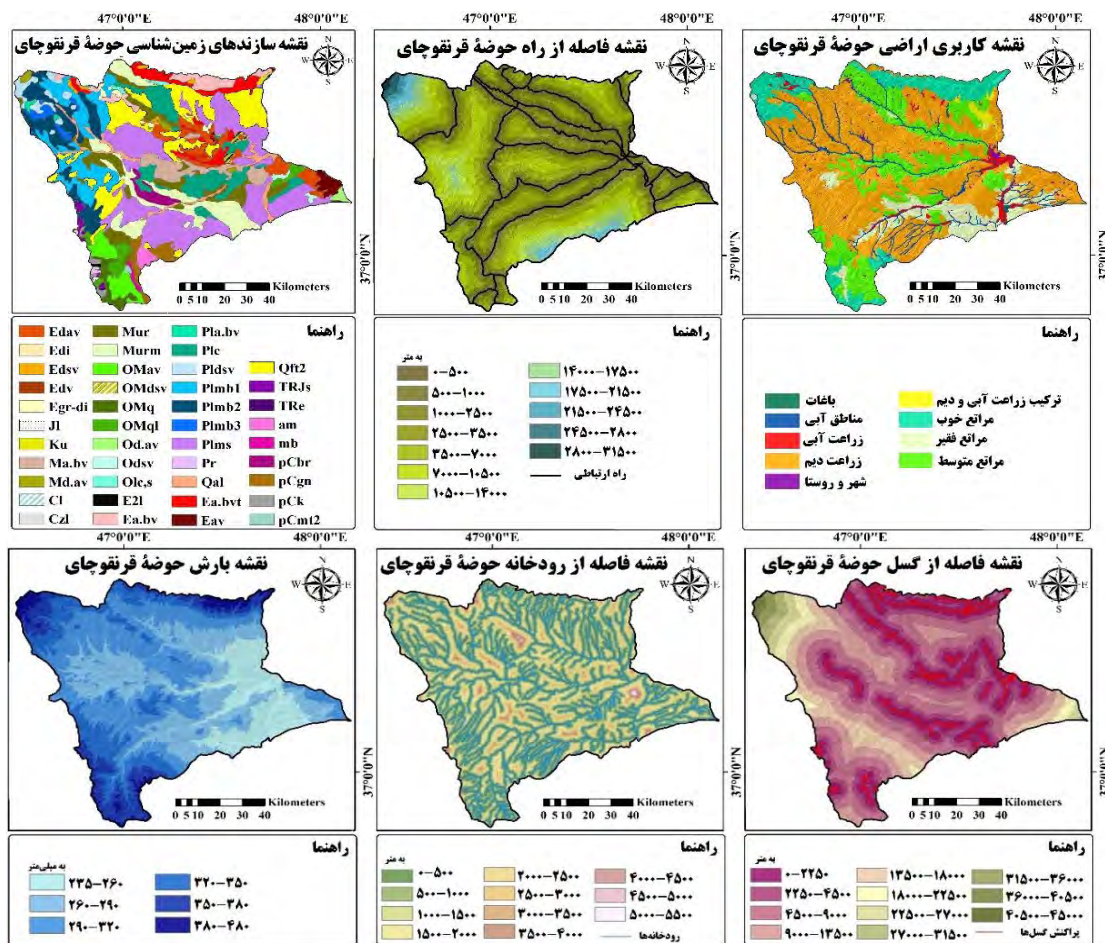


شکل ۲: نقشه موقعیت ایستگاه‌های منتخب باران‌سنجی (سازمان هواشناسی کشور)

Figure 2: Location map of selected rain gauge stations

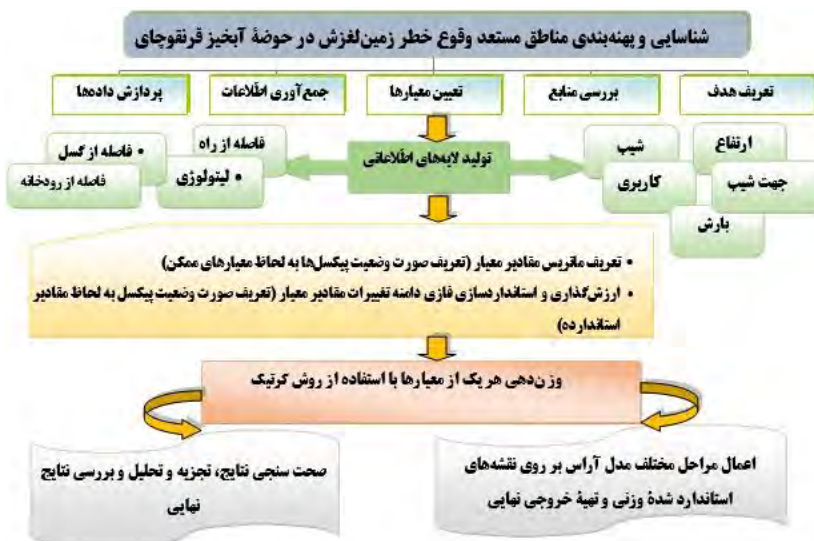
لایه‌های اطلاعاتی راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل‌ها با توجه به نقشه زمین‌شناسی استان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه و سپس نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعه شده با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۹ (تاریخ: 2022/8/5) و طبقه‌بندی شیء‌گرا استخراج شد. در شکل ۳ نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه قرنقوچای نمایش داده شده است. روند کلی پژوهش نیز در شکل ۴ قابل مشاهده است.





شکل ۳: نقشه معیارهای بررسی شده در پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش حوضه قرنقوچای (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 3: The map of the criteria examined in the zoning of the landslide risk potential of the Qaranqoochay basin



شکل ۴: فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 4: Flowchart related to the research process

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش ARAS (ارزیابی نسبت جمعی) (ARAS (Additive Ratio) (Assessment)

روش ARAS مبتنی بر این استدلال است که با استفاده از مقایسه‌های ساده نسبی می‌توان پدیده‌های دنیای پیچیده را درک کرد (علیزاده و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۱۲۶). این تکنیک روشی قدرتمند در ارائه میزان عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسبت به وضع بهینه است و سهولت کاربرد نسبی نیز دارد (آنامراندزاد و همکاران، ۱۳۹۷، ص. ۲۴). پیاده‌سازی الگوریتم ARAS مشتمل بر ۵ مرحله است.

اولین گام در این روش تعیین عوامل، گزینه‌های پژوهش و تشکیل ماتریس تصمیم است که ستون‌های آن را معیارهای مسئله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهد و هر سلول نیز درواقع، امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی گام دوم از این روش است. در فرآیند ارزیابی ممکن است معیارها در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی سنجیده شوند (درصد در اندازه‌گیری شیب و متر در اندازه‌گیری فاصله از رودخانه)؛ بنابراین نمی‌توان عملیات ریاضی همچون جمع و تفریق را بر روی آنها انجام داد. حال اگر بخواهیم سرجمع امتیازی را که یک پیکسل به لحاظ معیارها کسب کرده است، محاسبه کنیم این کار بدون استانداردسازی میسر نخواهد بود (مددی و همکاران، ۱۳۹۴، ص. ۱۲۸). در پژوهش حاضر مرحله استانداردسازی باتوجه به تابع عضویت فازی (تابع بزرگ فازی در متغیرهای شیب، جهت شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی)، 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. در مجموعه‌های فازی به حداکثر عضویت، مقدار یک و به حداقل عضویت، مقدار عددی صفر تعلق می‌گیرد (Zhang et al., 2023, P. 17).

در گام سوم به وزن دار کردن ماتریس نرمال اقدام شده است. در این پژوهش برای وزن‌دهی عوامل از روش کرتیک (CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)) استفاده شده است. در این روش داده‌ها براساس میزان همبستگی و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها تجزیه و تحلیل می‌شود و باتوجه به مقدرهای همبستگی تضاد و انحراف معیار هر عامل بررسی و سپس میزان اطلاعات محاسبه می‌شود. سپس وزن نهایی هر معیار از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان کل اطلاعات تمامی معیارها به دست می‌آید (Alinezhad & Khalil, 2019, P. 199). برای پیاده‌سازی این مرحله وزن‌دهی باید در اکسل یک ماتریس مقارنی باتوجه به تعداد معیارهای بررسی شده با عنوان ماتریس همبستگی (ماتریس ۹ در ۹) ایجاد شود. در مرحله بعد مقدار همبستگی معیارها نسبت به یکدیگر در محیط نرم‌افزار ادریسی به دست آمد و سپس در جدول مربوط در اکسل یادداشت شد. بعد از تکمیل ماتریس همبستگی در مرحله بعد ماتریس تضاد معیارها با تفریق همبستگی هریک از معیارها در عدد یک محاسبه می‌شود. بعد از محاسبه ماتریس تضاد در مرحله بعد مجموع تضادهای هر معیار با معیارهای دیگر به دست می‌آید. بدین منظور از هر ستون از ماتریس تضاد مجموع گرفته و در مرحله بعدی میزان اطلاعات هر معیار محاسبه می‌شود. برای اجرای این مرحله اول باید مقدار انحراف هر معیار مشخص شده باشد که این مقدار نیز با استفاده از تابع REGRESS و با مقایسه دوه‌دو معیارها در محیط نرم‌افزار ادریسی به دست می‌آید. سپس برای محاسبه میزان

اطلاعات هر معیار انحراف معیار هریک از معیارها در مجموع تضاد آن ضرب می‌شود. در نهایت، از کل میزان اطلاعات نیز یک مجموع به دست می‌آید. در مرحله آخر برای محاسبه وزن نهایی هر معیار میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع کل میزان اطلاعات تقسیم می‌شود. در چهارمین گام از روش ARAS مطلوبیت کل هر گزینه باتوجه به رابطه (۱) تعیین می‌شود. برای به دست آوردن تابع S_i اعداد نرمال‌شده وزین (x_{ij}) را به صورت سطری باهم جمع می‌کنیم. بزرگ‌ترین مقدار S_i بهترین و کمترین مقدار آن بدترین است.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = \overline{0.m.} \quad \text{رابطه ۱}$$

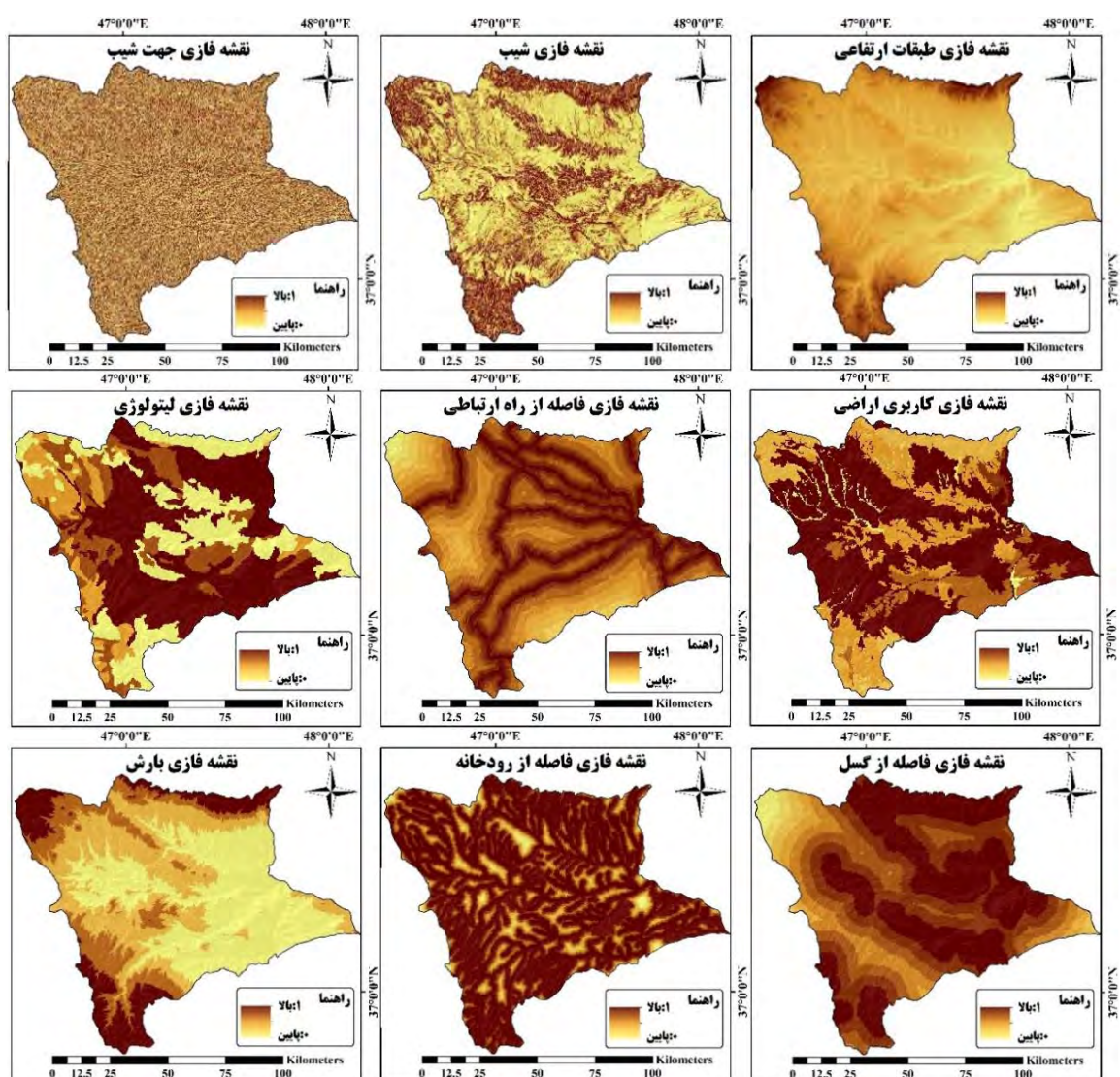
در مرحله آخر مطلوبیت نسبی هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود. درجه مطلوبیت هر گزینه با مقایسه متغیری که تجزیه و تحلیل شده است، با حالت ایده آل، یعنی S_0 مشخص می‌شود. معادله استفاده‌شده برای محاسبه درجه مطلوبیت K_i از یک گزینه a_i به صورت رابطه (۲) است (دیانی و همکاران، ۱۳۹۷، ص. ۲۷۱؛ Zavadskas & Turskis, 2010, p 161).

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = \overline{0.m.} \quad \text{رابطه ۲}$$

در تهیه نقشه‌های حساسیت به زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین موارد اعتبارسنجی، نقشه و ارزیابی دقت آن و از کارآمدترین و متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی میزان دقت مدل‌ها به صورت کمی استفاده از شاخص سطح زیرمنحنی مشخصه عملکرد سیستم ROC است (اطیابی و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۱۰۶؛ سیلاخوری و همکاران، ۱۴۰۲، ص. ۱۲۸). بنابراین، در این پژوهش نیز صحت خروجی نهایی مطالعه باتوجه به نقاط پراکنش لغزش (۵۲ نقطه لغزشی رخ داده در سطح حوضه) و با استفاده از این روش انجام شده است.

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

پس از تعیین معیارهای مؤثر در پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های استاندارد شده (شکل ۵) برای تعیین شاخص‌های مؤثر در تعیین پهنه‌های مختلف خطر میزان اهمیت هریک از معیارها (جدول ۲، جدول ۳ و جدول ۴) به دست آمد. با اعمال کردن وزن‌های مربوط در لایه‌های فازی شده نقشه‌های حاصل شده وارد تکنیک بررسی شده شد و سپس با اجرای دیگر مراحل به صورت عملیات ریاضی، نقشه خروجی نهایی در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم‌خطر به دست آمد (شکل ۶).



شکل ۵: نقشه استاندارد شده فازی معیارهای بررسی شده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه قرنقوچای

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 5: Fuzzy standardized map of the criteria examined in landslide risk zoning of the Qaranqoochay basin

جدول ۲: ماتریس همبستگی معیارها

Table 2: Correlation matrix of criteria

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
شیب	۱	۰/۰۴۳	۰/۴۰۲	-۰/۰۷۶	-۰/۱۸۷	-۰/۴۱۲	۰/۱۵۳	-۰/۰۲۱	۰/۳۰۴
جهت شیب	۰/۰۴۳	۱	-۰/۰۷۵	۰/۰۴۴	۰/۰۳۴	۰/۰۶۵	۰/۰۶۶	۰/۰۷۹	-۰/۶۱۲
ارتفاع	۰/۴۰۲	-۰/۰۷۵	۱	۰/۰۲۳	-۰/۶۵۴	-۰/۰۸۱	-۰/۷۶۰	-۰/۰۶۹	۰/۸۱۳
کاربری	-۰/۰۷۶	۰/۰۴۴	۰/۰۲۳	۱	۰/۰۵۳	۰/۳۱۲	۰/۰۷۸	-۰/۰۵۳	۰/۰۲۱
راه	-۰/۱۸۷	۰/۰۳۴	-۰/۶۵۴	۰/۰۵۳	۱	۰/۴۱۲	۰/۰۴۳	۰/۴۱۴	-۰/۳۴۲
لیتولوژی	-۰/۴۱۲	۰/۰۶۵	-۰/۰۸۱	۰/۳۱۲	۰/۴۱۲	۱	۰/۳۱۴	۰/۰۷۶	-۰/۶۴۵
گسل	۰/۱۵۳	۰/۰۶۶	-۰/۷۶۰	۰/۰۷۸	۰/۰۴۳	۰/۳۱۴	۱	-۰/۲۰۱	۰/۰۵۴
رودخانه	-۰/۰۲۱	۰/۰۷۹	-۰/۰۶۹	-۰/۰۵۳	۰/۴۱۴	۰/۰۷۶	-۰/۲۰۱	۱	-۰/۳۱۲
بارش	۰/۳۰۴	-۰/۶۱۲	۰/۸۱۳	۰/۰۲۱	-۰/۳۴۲	-۰/۶۴۵	۰/۰۵۴	-۰/۳۱۲	۱

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

جدول ۳: ماتریس تضاد معیارها

Table 3: Contrast matrix of criteria

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
شیب	۰	۰/۹۵۶	۰/۵۹۸	۱/۰۷۶	۱/۱۸۷	۱/۴۱۲	۰/۸۴۷	۱/۰۲۱	۰/۶۹۶
جهت شیب	۰/۹۵۶	۰	۱/۰۷۵	۰/۹۵۶	۰/۹۶۶	۰/۹۳۴	۰/۹۳۳	۰/۹۲۰	۱/۶۱۲
ارتفاع	۰/۵۹۸	۱/۰۷۵	۰	۰/۹۷۷	۱/۶۵۴	۱/۰۸۱	۰/۹۲۴	۱/۰۶۹	۰/۱۸۷
کاربری	۱/۰۷۶	۰/۹۵۶	۰/۹۷۷	۰	۰/۹۴۷	۰/۶۸۸	۰/۹۲۲	۱/۰۵۳	۰/۹۷۹
راه	۱/۱۸۷	۰/۹۶۶	۱/۶۵۴	۰/۹۴۷	۰	۰/۵۸۸	۰/۹۵۷	۰/۵۸۶	۱/۳۴۲
لیتولوژی	۱/۴۱۲	۰/۹۳۴	۱/۰۸۱	۰/۶۸۸	۰/۵۸۸	۰	۰/۶۸۶	۰/۹۲۴	۱/۶۴۵
گسل	۰/۸۴۷	۰/۹۳۳	۰/۹۲۴	۰/۹۲۲	۰/۹۵۷	۰/۶۸۶	۰	۱/۲۰۱	۰/۹۴۶
رودخانه	۱/۰۲۱	۰/۹۲۰	۱/۰۶۹	۱/۰۵۳	۰/۵۸۶	۰/۹۲۴	۱/۲۰۱	۰	۱/۳۱۲
بارش	۰/۶۹۶	۱/۶۱۲	۰/۱۸۷	۰/۹۷۹	۱/۳۴۲	۱/۶۴۵	۰/۹۴۶	۱/۳۱۲	۰
مجموع تضاد	۷/۷۹۴	۸/۳۵۴	۷/۵۶۵	۷/۵۹۸	۸/۲۲۷	۷/۹۵۸	۷/۴۱۶	۸/۰۸۶	۸/۷۱۹

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

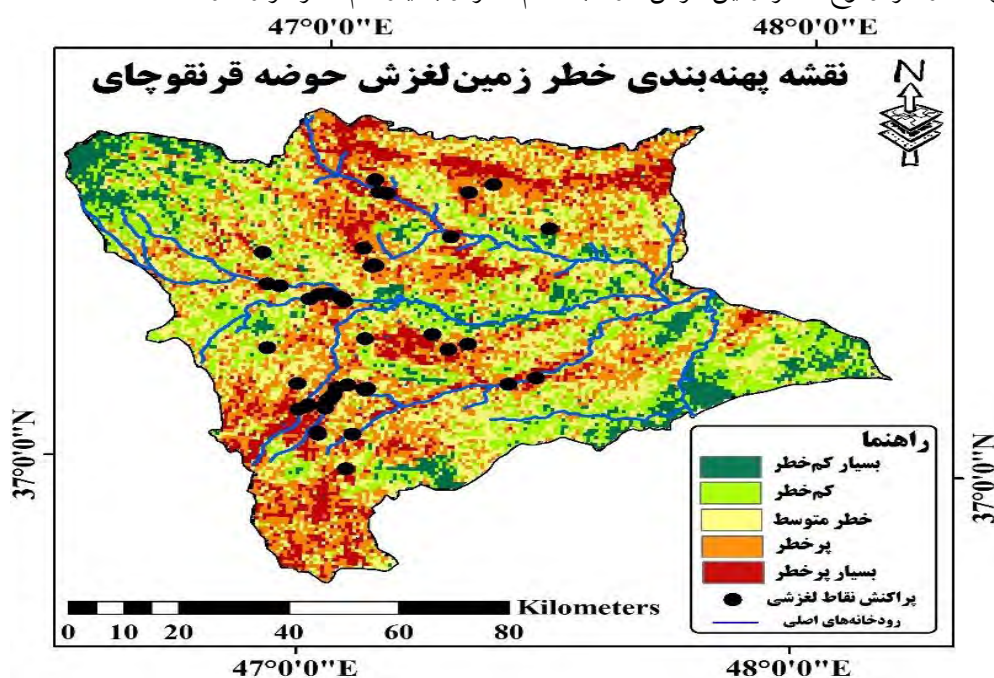
جدول ۴: انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارها با استفاده از روش کرتیک

Table 4: Standard deviation, amount of information and final weight of the criteria using the CRITIC method

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
انحراف معیار	۰/۴۱۱	۰/۱۲۳	۰/۲۳۱	۰/۳۸۱	۰/۲۵۲	۰/۳۷۸	۰/۳۱۳	۰/۱۹۸	۰/۲۰۸
میزان اطلاعات	۳/۲۰۳	۱/۰۲۷	۱/۷۴۷	۲/۸۹۵	۲/۰۷۳	۳/۰۰۸	۲/۳۲۱	۱/۶۰۱	۱/۸۱۳
وزن نهایی	۰/۱۶۲	۰/۰۵۲	۰/۰۸۸	۰/۱۴۷	۰/۱۰۵	۰/۱۵۲	۰/۱۱۷	۰/۰۸۱	۰/۰۹۲

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

باتوجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل از پژوهش به‌ترتیب ۱۱۸۸/۱۶ و ۲۳۴۹/۲۶ کیلومتر مربع از مساحت حوضه از لحاظ پتانسیل رخداد زمین‌لغزش در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد (جدول ۵). تطبیق سطح‌های لغزش‌یافته و پهنه‌های مواجهه با خطر نشان می‌دهد که در خروجی حاصل از روش بررسی‌شده مناطقی که در پهنه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند، بیشترین تعداد و درصد از سطح‌های لغزشی را دارند؛ به‌طوری که ۳۰/۷۶ درصد از لغزش‌های رخ داده در سطح حوضه در طبقه بسیار پرخطر و ۵۵/۷۷ درصد از لغزش‌ها نیز در پهنه پرخطر قرار گرفته است. بررسی پراکنش شهرها و روستاهای واقع در هریک از طبقات خطر نیز نشان می‌دهد، شهرهای ترکمانچای و قره‌آغاج به‌همراه ۱۲۰ روستا (برابر با ۱۶/۱۳ درصد از مجموع روستاهای حوضه) در طبقه بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند. طبقه پرخطر نیز پوشش‌دهنده شهر نظرکهریزی و ۲۲۳ روستا (معادل ۲۹/۹۷ درصد از مجموع روستاهای حوضه) است و شهر هشت‌رود، میانه، آق‌کند و تیکمه‌داش به‌همراه ۱۷۸ روستا (برابر با ۲۳/۹۲ درصد از روستاها) پتانسیل خطر متوسط را دارند. به‌علاوه، به‌ترتیب ۱۵۸ و ۶۵ روستا برابر با ۲۱/۲۴ و ۸/۷۴ درصد از مجموع روستاهای حوضه از نظر وقوع خطر زمین‌لغزش در طبقه کم‌خطر و بسیار کم‌خطر قرار دارند.



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه قرق‌قوچای با استفاده از روش آراس (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 6: Landslide risk zoning map of the Qaranqoochay basin using Aras method

جدول ۵: اطلاعات طبقات خطر زمین‌لغزش حاصل از به‌کارگیری الگوریتم‌های چندمعیاره‌آراس

Table 5: Information on landslide risk classes resulting from the application of Aras multi-criteria algorithms

طبقات خطر	طبقه خطر	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
مساحت طبقات خطر	مساحت (KM2)	۱۱۸۸/۱۶	۲۳۴۹/۲۶	۲۶۲۸/۳۷	۲۰۲۲/۶۱	۱۰۵۴/۰۸
زمین‌لغزش	درصد	۱۲/۸۶	۲۵/۴۲	۲۸/۴۴	۲۱/۸۸	۱۱/۴۰
تعداد و درصد نقاط	تعداد	۱۶	۲۹	۵	۲	-
پراکنش لغزشی	درصد	۳۰/۷۶	۵۵/۷۷	۹/۶۲	۳/۸۵	-

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

همان‌طور که **مددی و پیروزی (۱۴۰۲)** بیان داشته‌اند، ارتفاع بر عناصر آب‌وهوایی، پوشش گیاهی و فرایندهای هوازدگی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین بررسی ارتفاع در وقوع زمین‌لغزش بسیار مهم است. حوضه قرانقوچای در ارتفاع ۱۰۲۹ تا ۳۶۱۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است و بررسی معیار ارتفاع نشان می‌دهد که ۱۶۵۷/۷۱ کیلومتر مربع از مساحت حوضه در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۰۲۹ متر قرار دارد. طبقات ارتفاعی ۲۵۰۰-۱۵۰۰، ۲۵۰۰-۲۰۰۰ و ۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر به ترتیب ۵۴۱۹/۹۹، ۱۷۱۱/۴۹ و ۴۲۱/۰۴ کیلومتر مربع از مساحت محدوده مطالعه شده را پوشش می‌دهند و ۳۲/۲۶ کیلومتر مربع از مساحت حوضه نیز ارتفاع ۳۶۱۲-۳۰۰۰ متر را دارد. مقایسه نقشه پهنه‌بندی با نقشه ارتفاع حوضه نشان می‌دهد که سطح‌های ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری احتمال وقوع بالای زمین‌لغزش را دارند؛ به‌طوری که ۹۸۸/۲۴ کیلومتر مربع از کل مساحت طبقه بسیار پرخطر و ۲۱۴۳/۵۳ کیلومتر مربع از پهنه پرخطر ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر را دارند. با نظر به این موضوع که در سطح‌های ارتفاعی بالاتر از ۳۰۰۰ متر مورفولوژی پرشیب و پرتگاهی در حوضه غلبه داشته و شرایط اقلیمی و هوازدگی مکانیکی زمینه‌ساز حرکات ریزشی و واژگونی‌هاست و پهنه‌های ارتفاعی پایین‌تر از ۱۵۰۰ متر نیز بارش کمتر و تراکم نسبی پوشش گیاهی (به‌طور عمده باغ‌ها و پوشش زراعت آبی گسترده شده در نواحی کم‌شیب و کم‌ارتفاع) را دارند از احتمال وقوع زمین‌لغزش در این ارتفاعات کاسته می‌شود. همچنین، مقایسه نقشه پراکنش لغزش‌های موجود و عامل ارتفاع نشان‌دهنده این امر است که در مجموع تمامی نقاط لغزش‌یافته حوضه در طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر رخ داده است. **بیاتی‌خطیبی (۱۳۸۹)** نیز در ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه قرانقوچای به این نتیجه دست یافته است که محدوده‌های حساس به وقوع لغزش بیشتر در ارتفاع ۲۰۰۰ متری و در بخش‌های میانی حوضه قرار گرفته است.

با افزایش شیب تنش برشی افزایش می‌یابد و افزایش تنش برشی موجب ناپایداری دامنه‌ها می‌شود (**روستایی و حسین‌زاده، ۱۴۰۱، ص. ۶**). با تمرکز بر این موضوع که مقدار شیب مناطق بر حرکت کردن لایه‌های سطحی زمین تأثیرگذار است، باید بیان کرد که در محدوده مورد پژوهش مقدار شیب بین ۰ تا ۱۲۳ درصد است. ۲۰۶۹/۸۷ کیلومتر مربع از مساحت محدوده شیب ۵-۰ درصد را دارد و طبقات شیب ۱۰-۵، ۱۵-۱۰، ۲۰-۱۵ و ۲۵-۲۰ به ترتیب ۲۸۷۰/۶۹، ۱۶۴۳/۱۲، ۹۱۹/۶۲ و ۵۷۲/۳۱ کیلومتر مربع از سطح محدوده را شامل می‌شود. همچنین، به ترتیب ۶۲۷/۸۴، ۲۸۷/۰۵، ۱۴۵/۷۹ و ۱۰۶/۷۶ کیلومتر مربع از سطح محدوده در طبقات شیب ۳۵-۲۵، ۴۵-۳۵ و ۵۵-۴۵ و بیشتر از

۵۵ درصد قرار گرفته است. از نظر معیار شیب، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر بیشتر بین شیب ۱۰ تا ۵۵ درصد قرار دارند؛ به طوری که به ترتیب ۹۰۸/۹۲ کیلومتر مربع از طبقه بسیار پرخطر و ۲۰۱۲/۳۸ کیلومتر مربع از مساحت طبقه پرخطر این مقدارهای شیبی را دارند. به علاوه، مقایسه بین نقاط لغزشی موجود با نقشه شیب نیز نشان می‌دهد تمامی نقاط لغزشی حوضه در شیب ۱۰ تا ۵۵ درصد قرار دارند. در این ارتباط می‌توان بیان کرد که در شیب‌های بیش از ۵۵ درصد به علت کاهش ضخامت خاک و در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد باتوجه به کاهش شدت ناهمواری‌ها از پتانسیل رخداد زمین لغزش در سطح حوضه کاسته می‌شود. **بیاتی خطیسی (۱۳۸۹)** و **بیاتی خطیسی (۱۳۸۶)** نیز نواحی تندشیب را به عنوان مناطق مستعد به وقوع رانش زمین معرفی کرده‌اند.

جهت شیب در میزان انرژی خورشیدی و درجه حرارت، وجود پوشش گیاهی، بارندگی، نگهداشت رطوبت و در نهایت، ایجاد شرایط هوازدگی مکانیکی و تخریب سنگ‌ها نقش خود را ایفا می‌کند (**گلی‌پور و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۲۱۳**). در حوضه قرنقوچای ۱۳۳۷/۴۸ کیلومتر مربع از مساحت محدوده در جهت شیب جنوب، ۱۱۶۶/۰۸ کیلومتر مربع در جهت جنوب شرقی و ۱۰۲۳/۰۱ کیلومتر مربع در جهت جنوب غربی قرار گرفته است. همچنین، به ترتیب ۱۳۹۶/۴۸، ۹۸۲/۲۹۷ و ۱۰۱۶/۲۵ کیلومتر مربع از مساحت محدوده را جهت‌های شمال، شمال غرب و شمال شرق پوشش می‌دهد. به علاوه، ۹۹۴/۰۶ و ۹۹۲/۲۰ کیلومتر مربع از مساحت محدوده به ترتیب جهت شیب شرقی و غربی را دارند و اراضی صاف و هموار ۳۳۳/۹۵ کیلومتر مربع از مساحت را تشکیل می‌دهد. باتوجه به اینکه حوضه مطالعاتی از نظر موقعیت جغرافیایی در نیمکره شمالی واقع شده است و در آن نیمکره دامنه‌های پشت به آفتاب (جهت شمالی و غربی در نیمکره شمالی)، تجمع برف و رطوبت بیشتر بوده و پتانسیل رانش زمین افزایش یافته است، پس باید براساس فرضیه‌های اولیه جهت‌های شمالی و غربی پهنه‌های پرخطر باشند و نقطه‌های لغزشی بیشتری در این جهت‌ها رخ داده باشد. بعد از بررسی عامل جهت شیب مشاهده شد که به ترتیب ۱۰۴/۸۶ و ۲۴۰/۲۳ کیلومتر مربع از پهنه بسیار پرخطر و ۹۶۶/۶۱ و ۲۰۲۵/۶۶ کیلومتر مربع از پهنه پرخطر جهت‌های شمالی و غربی دارند. همچنین، براساس مقایسه بین جهت شیب و نقاط لغزشی به ترتیب ۲۲/۸۸ و ۱۸/۹۵ درصد از نقاط لغزشی در جهت‌های شمالی و غربی رخ داده است و سپس دامنه‌های شمال غربی، شمال شرق و شرقی بیشترین درصد از مساحت طبقات خطر و نقاط لغزشی را پوشش می‌دهند.

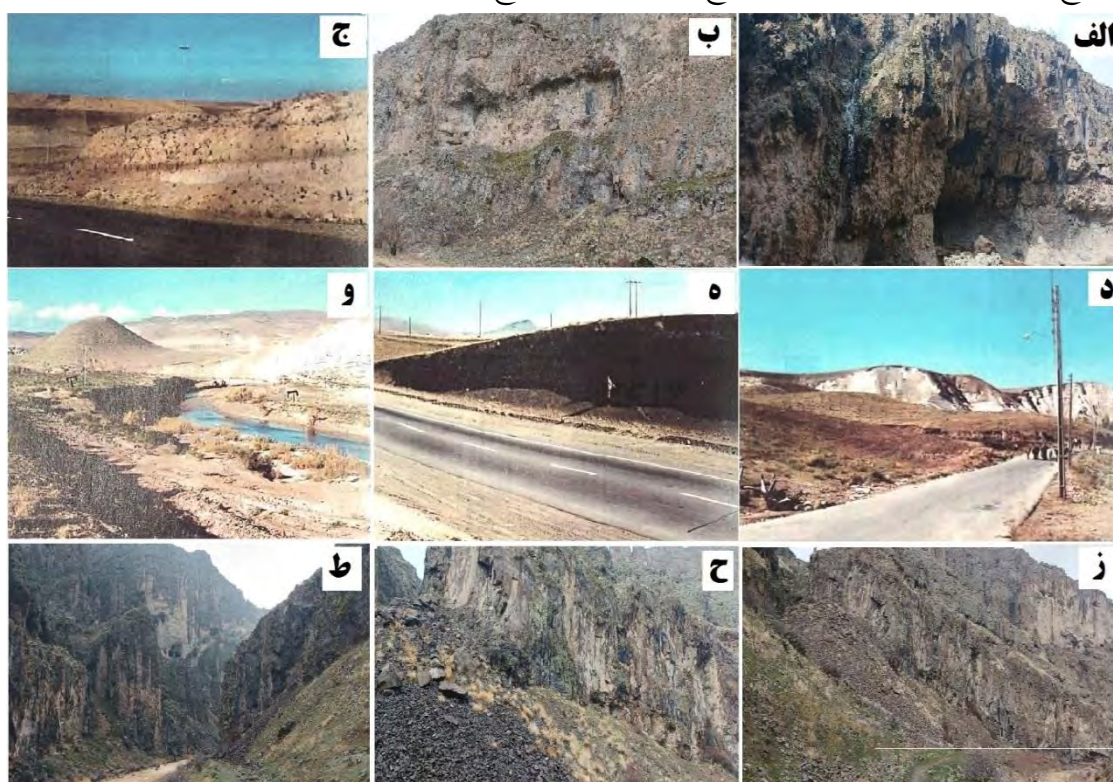
کاربری زمین از شاخص‌های اصلی در مطالعه پایداری دامنه‌ها و پهنه‌بندی خطر آنها در یک ناحیه است (**El - Jazouli et al., 2019, P. 4**). کاربری زمین ویژگی‌های سطحی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به تغییر رفتار آن در مقابل فرایندهای زمین‌شناسی حاکم بر منطقه از جمله هوازدگی و فرسایش می‌شود. انواع کاربری‌ها در سطح حوضه قرنقوچای به صورت زراعت دیم و آبی (به ترتیب با ۴۹۰۳/۱۵ و ۳۳۷/۴۵ کیلومتر مربع از مساحت محدوده)، باغ‌ها (با ۲۲۹/۹۷ کیلومتر مربع)، ترکیب زراعت آبی و دیم (با ۱۳۵/۸۶ کیلومتر مربع)، مناطق مسکونی شهری و روستایی (۳۲/۰۶ کیلومتر مربع)، مراتع فقیر، متوسط، خوب (به ترتیب با ۸۵۵/۹۵، ۱۷۲۴/۹۲ و ۱۰۱۱/۵۵)، اراضی پوشیده از آب (با مساحت ۹/۵۸ کیلومتر مربع) است. باتوجه به نتیجه حاصل از پهنه‌بندی ازلحاظ معیار کاربری اراضی به ترتیب اراضی زراعی (زراعت دیم و آبی)، مراتع متوسط و ضعیف و باغ‌ها به عنوان مناطق بسیار پرخطر و

پرخاطر شناسایی شده است. مقایسه بین نقاط لغزشی موجود با نقشه معیار کاربری نیز نشان می‌دهد که ۲۱/۱۵ و ۳۰/۷۶ درصد از نقاط لغزشی در کاربری‌های زراعت دیم و آبی، ۱۹/۲۳ و ۱۱/۵۴ درصد در مراتع متوسط و فقیر و ۱۷/۳۱ درصد در باغ‌ها رخ داده است؛ بنابراین عواملی مانند رعایت نکردن تناوب زارعی و کشت در اراضی شیب‌دار، چرای بیش از حد دام‌ها در مراتع و نابودی پوشش گیاهی به رخداد زمین‌لغزش در سطح حوضه سرعت می‌بخشد. **بیانی خطیبی (۱۳۸۶)** به این نتیجه دست یافت که در حوضه قرنقوچای از نظر کاربری، کشت آبی بستر مناسبی را برای وقوع لغزش‌ها فراهم می‌کند. جاده‌های احداث شده در مناطق مختلف به علت تغییرات شیب زمین‌ها و به نوعی افزایش ناپایداری مناطق می‌توانند عاملی تأثیرگذار بر روی زمین‌لغزش‌ها باشند (**صدیقی و قاسمی، ۱۴۰۲، ص. ۴۸**). درواقع، هنگام ساخت جاده با حذف پنجه خاکبرداری و افزایش سربار، دامنه خاکریز نوعی اختلال در طبیعت ایجاد می‌کند که باعث کاهش پایداری شیب بالادست و پایین دست جاده و در نتیجه، وقوع حرکات توده‌ای می‌شود (**خطکه و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۲۷۴**). در محدوده مطالعاتی فاصله از جاده در حد فاصل صفر تا ۳۱۵۰۰ متر است. مناطق بسیار پرخاطر و پرخاطر براساس خروجی حاصل از پژوهش از لحاظ معیار فاصله از راه ارتباطی به طور عمده از فاصله صفر تا ۲۵۰۰ متری از راه ارتباطی قرار دارند. مقایسه نقاط لغزشی و نقشه موضوعی راه ارتباطی نیز نشان می‌دهد که ۸۰/۷۷ درصد از نقاط لغزشی در فاصله صفر تا ۲۵۰۰ متری از راه‌های ارتباطی قرار دارند.

بررسی نقشه زمین‌شناسی و واحدهای لیتولوژی از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی است که در بیشتر روش‌های خطر زمین‌لغزش به کار می‌رود. لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری شیب و به طور کلی بیانگر ساخت، بافت، مقاومت و دوام نسبی یک توده سنگ است (**بهاروند و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۱۲۶**). سطح‌های چینه‌ای پراکنده در این حوضه شامل انواع رخساره‌های سنگی و رسوبی پرکامبرین، پالئوزوئیک تا کواترن می‌شود. این تنوع در ویژگی‌های سطحی و در نوع حرکات توده‌ای نیز نمود یافته است. براساس مطالعات چینه‌شناسی در این حوضه انواع رخساره‌های رسوبی، آذرین و آذرآواری متعلق به دوره‌های مختلف زمین‌شناسی (پرکامبرین فوقانی تا کواترن) بر ساختمان‌های چین‌خورده و در راستای عمومی شمال غرب-جنوب شرق توسعه و پراکندگی دارد. سازندهای زمین‌شناسی حوضه قراقو به صورت سازندهای دوره میوسن ۷۲ درصد، دوره پلیوسن ۲ درصد، رسوبات کواترنری ۱۳ درصد و بقیه سنگ‌های نفوذی آذرین هستند.

سازندهای حوضه از لحاظ مقاومت به ۵ طبقه از مقاومت بسیار کم تا مقاومت بسیار زیاد تقسیم شده است. به ترتیب ۲۴۸/۶۵ و ۳۰۵۱/۲۰ کیلومتر مربع از مساحت محدوده مقاومت بسیار کم و کم را دارند. ۲۴۶۵/۱۲ کیلومتر مربع از سطح محدوده را سازندهای با مقاومت متوسط (نیمه مقاوم) پوشانده است و به ترتیب سازندهایی با لیتولوژی مقاوم و بسیار مقاوم ۲۲۴۶/۸۸ و ۲۳۰/۶۵ کیلومتر مربع از مساحت محدوده را تشکیل داده است. در ارتباط با نقشه لیتولوژی می‌توان گفت طبقات بسیار پرخاطر و پرخاطر به طور عمده در سازندهایی با مقاومت بسیار کم، کم، متوسط و در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خردشده بازالتی قرار دارند. بررسی مقایسه‌ای پراکنش لغزش‌ها با معیار لیتولوژی نیز نشان می‌دهد که ۷۳/۰۸ درصد از لغزش‌های رخ داده در سازندهایی با مقاومت بسیار کم و کم به صورت نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم (نهشته‌های دشت سیلابی و پادگانه‌های آبرفتی که در جناحین و طرفین رودخانه‌ها گسترش دارند که به علت جوان بودن و عدم وقوع فرآیندهای دیاژنز استحکام کمتری دارند)، مارن، شیل، ماسه سنگ‌های قرمز و

کنگلومرای رخ داده است. ۱۷/۳۰ درصد نقاط لغزشی نیز بر دامنه‌های شیب‌دار متشکل از سازندهایی با لیتولوژی متوسط (مارن، مارن گچی با ماسه‌سنگ، سنگ‌های آهکی ماسه‌ای و سیلتی) پ قرار دارند و دیگر لغزش‌های محدوده (۹/۶۳ درصد از لغزش‌ها) در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خردشده بازالتی (سنگ‌های آذرآواری) و خاکسترهای آتشفشانی رخ داده است. سایش این واحدها در دره‌ها و سرازیری آنها به داخل دره‌ها و ورود آنها به آب‌های جاری در بخش‌هایی علاوه بر اینکه به صورت توده‌ای به داخل دره‌ها فرو ریخته شده به افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها نیز منجر شده است. **بیاتی خطیبی (۱۳۸۶)** و **بیاتی خطیبی (۱۳۸۹)** نیز به این نتیجه دست یافتند که خاکسترهای آتشفشانی و مارن‌ها در گستره حوضه مساعدترین بستر را برای وقوع لغزش‌ها فراهم کرده‌اند. در **شکل ۷** نمایی از انواع سازندها و دامنه‌های مستعد وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه قرنقوچای نمایش داده شده است.



شکل ۷: نمایی از انواع سازندها و دامنه‌های مستعد وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه قرنقوچای؛ الف، ب- سازندهای کنگلومرایی در اطراف هشترو؛ ج- رخنمون پادگانه‌های آبرفتی متشکل از ذرات و قطعات متوسط تا ریزدانه آذرین در خمیره سیلتی-رسی قهوه‌ای رنگ در اطراف روستای گلی‌بلاغ؛ د- واحد متشکل از پومیس، خاکسترهای آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری ماسه‌ای-سیلتی و رسی در حواشی روستای ذوالبین؛ ه- تناوب لایه‌های ریز و درشت دانه ناپیوسته کواترنری بر روی سنگ‌های آذرآواری و خاکسترهای آتشفشانی در فاصله ۵ کیلومتر مانده به هشترو؛ و- تناوب واحدهای آگلومرایی و کنگلومرایی در حوالی ایستگاه راه‌آهن هشترو؛ ز، ح، ط- تناوبی از تشکیلات آذرین نفوذی و رخنمون پادگانه‌های آبرفتی در حاشیه بستر رودخانه قرنقوچای (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

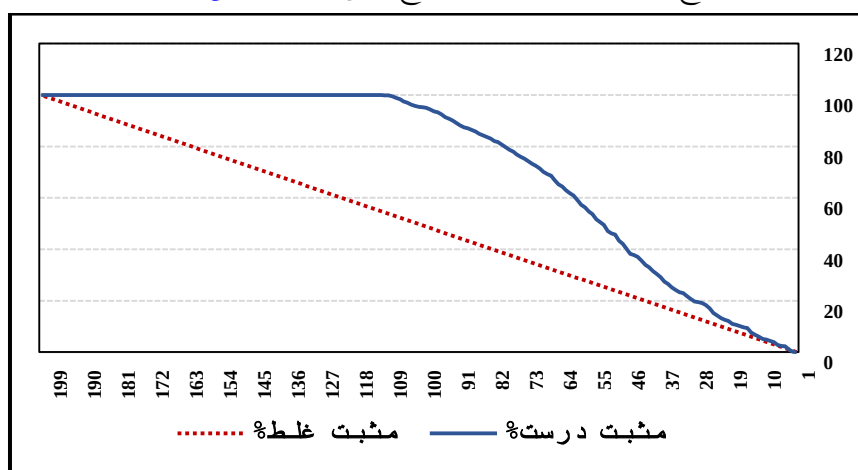
Figure 7: A view of the types of formations and slopes prone to landslides in the Qaranqoochay basin; A, B- conglomerate formations around Hashtroud; C- The outcrop of alluvial defenses consisting of medium to fine-grained igneous particles and pieces in the brown silty-clay paste around Golibalag village; D- Unit composed of pumice, volcanic ash and pyroclastic sand-silt and clay rocks in the outskirts of Zolbin village; E- The alternation of fine and coarse-grained discontinuous Quaternary layers on pyroclastic rocks and volcanic ash in the distance of 5 km from Hashtroud; f- alternation of agglomerate and conglomerate units around Hashtroud railway station; G, H, I- Periodicity of intrusive igneous formations and outcrops of alluvial defenses in the margin of the Qaranqoochay river bed

شکستگی‌ها و گسیختگی‌های سطح زمین در رسوخ آب به داخل زمین، خردشدن سنگ‌ها و سست‌شدن اتصال بین مواد سنگی تأثیر زیادی دارند؛ زیرا شرایط بروز حرکات توده‌ای را فراهم می‌کنند (پورفرازش‌زاده و اصغری سراسکانرود، ۱۴۰۱، ص. ۵۲). از مهم‌ترین گسل‌های منطقه می‌توان به گسل کسجین، بزنی بوزداغ، گسل تراستی مکتو، گسل تراستی احمدآباد، گسل تراستی خادم، گسل‌های قشلاق، دشمن‌لو، مجیدآباد، ملاقیاسی، چوگان، گل‌تپه، قزل‌قیه و داش‌بلاغی اشاره کرد. برپایه شواهد و آثار لغزشی در حریم گسل‌ها و با نظر به سوابق لرزه‌خیزی منطقه می‌توان بیان کرد که لرزه‌خیزی منطقه و جنبش‌های ناشی از فعالیت گسل‌ها در ناپایداری دامنه‌ای و ایجاد پوشش‌های تخریبی لغزش و واریزه‌ای بر روی آنها اهمیت فراوانی دارد؛ برای مثال، گسل مجیدآباد به طول ۹ کیلومتر از محل روستای مجیدآباد عبور می‌کند. این گسل بر روی سنگ‌های آگلومرایی و کنگلومرایی الیگوسن گسترش دارد. گسترش و پراکندگی زمین‌لغزه‌ها در دو طرف این گسل به‌ویژه در بخش شمالی آن که موجب لغزش توده‌های وسیع کنگلومرایی شده است، معرف عملکرد تخریبی و جوان این گسل است. فاصله از گسل در محدوده مطالعاتی بین صفر تا ۴۵۰۰۰ متر است. طبق نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نقاط بسیار پرخطر و پرخطر بیشتر در فاصله‌های صفر تا ۴۵۰۰ متری از گسل واقع شده‌اند. مقایسه نقشه فاصله از گسل با نقشه پراکنش نقاط لغزشی نشان می‌دهد که ۶۴/۵۴ درصد از زمین‌لغزش‌ها تا فاصله ۴۵۰۰۰ متری از گسل ایجاد شده و مابقی نقاط لغزشی در فاصله‌های بیشتر از گسل رخ داده است.

وجود آبراهه‌ها در مناطق به دلیل نفوذ آب آنها در زمین و ایجاد سستی امکان دارد موجب تقویت احتمال زمین‌لغزش شوند (صدیقی و قاسمی، ۱۴۰۲، ص. ۴۹). به‌طور کلی، حوضه آبخیز قرنقو با یک رودخانه اصلی به نام قرنقو که امتداد شرقی-غربی دارد و نیز با چهار رودخانه فرعی با نام‌های کلکان‌چای، سراسکندچای در شمال و شورچای و شورجه‌چای در جنوب حوضه زهکشی می‌شود. در جنوب شهر سراسکند (هشترود) رودخانه سراسکند و سپس در روستای خواجه غور رودخانه شور به آن ملحق می‌شود. بعد از عبور از این محدوده رودخانه در امتداد راه آهن تبریز-میانه جریان می‌یابد که بستر آن در مسیر دره‌ای پریپچ‌وخم کوهستانی قرار دارد. رودخانه قرنقو در نزدیکی میانه در غرب این شهر از دره مزبور خارج شده و در جنوب با رودخانه آیدوغموش و شهرچای تلاقی کرده است و پس از طی شش کیلومتر به قزل‌اوزن می‌ریزد. فاصله از آبراهه در سطح حوضه بین صفر تا ۵۵۰۰ متر است. از لحاظ معیار فاصله از رودخانه می‌توان نتیجه گرفت که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر تا فاصله ۱۰۰۰ متری از رودخانه قرار دارند. نسبت پراکنش لغزش‌ها با این معیار بررسی شده نشان می‌دهد که ۶۷/۳۰ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصله صفر تا ۵۰۰ متری از رودخانه‌ها اتفاق افتاده است و مابقی نیز در فاصله ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری از رودخانه‌ها قرار دارند. بیات‌خطیبی (۱۳۸۶) و بیات‌خطیبی (۱۳۸۹) نیز فاصله‌های نزدیک به آبراهه‌ها را از عوامل تحریک‌کنندگان اصلی وقوع زمین‌لغزش دانسته‌اند؛ بنابراین می‌توان گفت که بیشتر زمین‌لغزش‌های محدوده در فاصله‌های نزدیک از رودخانه رخ داده است و این موضوع تأییدکننده نقش برداشت پای شیب دامنه‌ها با یک عامل طبیعی است که با از میان برداشتن تکیه‌گاه دامنه و کاهش مقاومت برشی آن زمینه ایجاد زمین‌لغزش مهیا می‌شود.

بارش باران به دلیل تأمین آب خاک با افزایش فشار استاتیکی آب بر درز، شکاف‌های دامنه و احتمال ایجاد سستی در خاک می‌تواند عاملی مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌ها باشد (صدیقی و قاسمی، ۱۴۰۲، ص. ۴۹). حداقل بارش محدوده ۲۳۵ میلی‌متر و حداکثر آن ۴۸۰ میلی‌متر است. چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال در سطح منطقه هستند و بیشترین مقدار بارش مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت است و در حالت کلی، ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت به دلیل برخورداری از بارش زیاد اهمیت بسیار زیادی در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه دارند. درواقع، بارش مستمر در طول این ماه‌ها (همراه با ذوب برف و یخ) شرایط لازم را برای وقوع زمین‌لغزش که همان حضور آب است، فراهم می‌کند. مقدارهای بارشی در مناطق با پتانسیل خطر مابین ۴۸۰-۲۹۰ میلی‌متر قرار گرفته است. بررسی نسبت نقاط لغزشی و مقدارهای بارش نیز نشان می‌دهد که به ترتیب ۴۲/۳۱ و ۴۰/۳۸ از نقاط لغزشی در سطح‌هایی با مقدارهای بارشی ۲۹۰-۲۶۰ و ۳۲۰-۲۹۰ میلی‌متر قرار دارند و پهنه‌های بارشی ۳۲۰-۳۵۰ و ۳۵۰-۳۸۰ میلی‌متر نیز به ترتیب ۱۳/۴۶ و ۳/۸۵ درصد از زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه را پوشش می‌دهند.

مقدار سطح زیرمنحنی (AUC) دامنه‌ای بین ۰/۵ تا ۱ را دارد که نشان از دقت ضعیف تا عالی مدل برای پیش‌بینی است؛ به‌طوری که طبقه‌بندی ارائه‌شده برای سطح زیرمنحنی (AUC) به صورت ۰/۹-۱: عالی، ۰/۸-۰/۹: خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸: خوب، ۰/۶-۰/۷: متوسط، ۰/۵-۰/۶: ضعیف است (Chen et al., 2018, P. 1010). اعتبارسنجی نتایج حاصل از پژوهش حاضر با منحنی ROC مقدار سطح زیرمنحنی (۰/۸۹) را نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به طبقه‌بندی ارائه‌شده می‌توان به این نتیجه دست یافت که دقت روش تحلیل چندمعیاره ARAS در شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش در سطح حوضه قرنقوچای در سطح عالی است (شکل ۸).



شکل ۸: منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 8: Relative performance detection curve and area under the curve

نتیجه‌گیری

اقدام به پهنه‌بندی با کاربست مدل‌های مختلف از رویکردهایی است که با آن می‌توان پهنه‌های حساس و مستعد را برای لغزش‌های آینده شناسایی و سپس با ارائه راه‌حل مناسب تا حدی از وقوع خطرهای ناشی از زمین‌لغزش‌ها

جلوگیری کرد. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS خطر زمین‌لغزش در حوضه قرنقوچای واقع در استان آذربایجان شرقی ارزیابی و پهنه‌بندی شده است. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه مطالعه‌شده مشخص شد که عوامل شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی به‌ترتیب با مقدارهای وزنی ۰/۱۶۲، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۴۷ بیشترین میزان تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است؛ به‌گونه‌ای که شیب‌های ۱۰ تا ۵۵ درصد مناطقی با لیتولوژی مواد سطحی ریز و درشت دانه ناپیوسته کواترنری، مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا، سنگ‌های آذرآواری ماسه‌ای، سیلتی، رسی و خاکسترهای آشفشانی و بخش‌هایی با کاربری‌های زراعی و مراتع فقیر و متوسط با آشفتگی شدید دامنه‌ها و پتانسیل زیاد رخداد رانش زمین مواجه هستند.

همچنین، براساس یافته‌های پژوهش قرارگیری ۱۲/۸۶ و ۲۵/۴۲ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر به‌همراه جانمایی شهرهای ترکمانچای، قره‌آغاج و نظرکهریزی و ۴۶/۱۰ درصد از کل روستاهای حوضه در دو طبقه پرخطر و بسیار پرخطر نشان‌دهنده پتانسیل زیاد حوضه از لحاظ وقوع زمین‌لغزش و در معرض خطر بودن و امکان آسیب‌پذیری زیاد شهرها و روستاهای واقع در حوضه است؛ بنابراین سازمان‌های متولی ازجمله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، اداره کل راه و شهرسازی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای باید با انجام دادن اقدام‌های مسئولانه و هم‌افزایی لازم و اقدام‌های حفاظتی، آبخیزداری مناسب و کارشناسی شده را در این پهنه‌های با احتمال خطر انجام دهند. ازجمله این اقدام‌ها می‌توان به 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 جاده‌ها، پایدارسازی ترانشه‌ها، پلکانی کردن شیب‌ها، استفاده از دیوارهای حائل، زهکشی و هدایت صحیح آب در بالادست و پایین مناطق مستعد رانش و از همه مهم‌تر آموزش همگانی (به‌ویژه ساکنان اطراف مناطق حساس به زمین‌لغزش) برای داشتن اطلاعات پایه‌ای درباره پدیده زمین‌لغزش، توجه بیشتر به صدمات ناشی از آن و کاهش سرمایه‌گذاری در آینده اشاره کرد.

همان‌گونه که می‌دانیم هریک از روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها به سهم خود مزایا و معایبی دارند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد کارایی دارد به شرایط بسیاری ازجمله اقلیم، توپوگرافی زمین‌شناسی و دیگر عوامل بستگی دارد. باتوجه به نتایج حاصل از صحت‌سنجی نتایج مطالعه حاضر دقت روش ARAS با مساحت زیرمنحنی ۰/۸۹ در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سطح حوضه قرنقوچای در سطح عالی است؛ بنابراین نتایج ارزیابی عملکرد مدل MCDM در مطالعه حاضر همانند نتایج حاصل از مطالعات مددی و همکاران (۱۳۹۹)، شریفی و همکاران (۱۴۰۰)، اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۱)، مددی و پیروزی (۱۴۰۲)، Vojtekova & Vojtek (2020)، Salehpour- Jam (2021)، Kumar et al. (2022) نشان‌دهنده عملکرد خوب رویکرد GIS- MCDM به‌عنوان ابزار راهنمای قدرتمند و عملی برای مطالعه مخاطره زمین‌لغزش و مرجعی برای مدیریت کارآمدتر این مخاطره در آینده است. همچنین، باید اذعان کرد که استفاده از روش کرتیک در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند گامی در راستای حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به‌هنگام مقایسه زوجی در چارچوب روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات عینیت می‌یابد؛ زیرا در این روش

کارشناس دخالتی ندارد و وجود همبستگی زیاد یک معیار با معیارهای دیگر می‌تواند در کاهش وزن آن معیار اثرگذار باشد. در نهایت، انتظار می‌رود که نتایج حاصل از پژوهش حاضر با توجه به استفاده از روش تحلیل چندمعیاره ARAS در امر انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌ویژه در مناطقی مشابه با شرایط طبیعی و انسانی حوضه قرنقوچای مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد، و پیروزی، الناز (۱۴۰۱). ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره WLC، OWA، VIKOR و MABAC در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه گیوی‌چای استان اردبیل). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۴(۱)، ۶۵-۹۴.
- <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.333658.1007656>
- اطیابی، سیدمحمد رضا، نیازمردی، سعید، و علی عباسپور، رحیم (۱۴۰۰). روشی جدید بر مبنای ترکیب روش‌های آماری برای افزایش دقت نقشه‌های حساسیت به مخاطرات زمین‌لغزش (مطالعه موردی: استان مازندران). مدیریت مخاطرات محیطی، ۸(۲)، ۹۹-۱۱۷. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2021.319366.629>
- آنامرادنژاد، رحیم بردی، نیک‌پور، عامر، و حسنی، زهره (۱۳۹۷). تحلیل کالبدی-فضایی نواحی شهری براساس شاخص‌های رشد هوشمند شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۹(۳۴)، ۱۹-۳۰.
- https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3126.html?lang=en
- انتظاری، مژگان، و کردوانی، موسی (۱۴۰۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS و داده‌های راداری (مطالعه موردی: فریدون‌شهر). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۳)، ۱۷۷-۱۹۶.
- <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38660.1810>
- ایمانی، بهرام (۱۴۰۰). تدوین الگویی برای مدیریت مخاطرات طبیعی و پایداری نواحی شهری و روستایی (نمونه موردی: زمین‌لغزش در منطقه رودبار). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۲(۳)، ۱۰۵-۱۲۸.
- <https://doi.org/10.22108/gep.2021.126669.1387>
- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۶). تعیین حساسیت بالقوه سطوح شیب‌دار در حوضه‌های کوهستانی نسبت به وقوع زمین‌لغزش‌ها با استفاده از روش تعیین عامل ویژه (مطالعه موردی: حوضه قرنقوچای واقع در دامنه شرقی کوهستان سهند (آذربایجان شرقی)). برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۱(۵۳)، ۲۹-۵۶.
- <http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-11766-fa.html>
- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۹). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه قرنقوچای به روش دو متغیره آماری. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۵(۳۲)، ۱-۲۷. <https://www.sid.ir/paper/203778/fa>
- بهاروند، سیامک، امیری، وهاب، و سوری، سلمان (۱۴۰۱). استفاده از تئوری انتروپی در ارزیابی عوامل کنترل‌کننده زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر وقوع آن در حوضه احمدآباد، استان لرستان. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱۲(۴)، ۱۴۰-۱۲۴. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-701-fa.html>

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

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

خطکه، امیرحسین، حسینی، سید عطاله، عبدی، احسان، احمدآلی، خالد، و کوهی، شاهین (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تراکم سطح و تحلیل سلسله‌مراتبی جهت ارزیابی مسیر جاده طراحی‌شده سری چلیز جنگل خیرود. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۲۳ (۱۲)، ۲۷۳-۲۸۴.

<https://doi.org/10.52547/jwmr.12.23.273>

دیانی، لیلا، پورطاهری، مهدی، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا، و احمدی، حسن (۱۳۹۷). رتبه‌بندی سازه‌های اصلی ساماندهی بافت‌های فرسوده روستاهای پیرامون کلانشهرها با استفاده از روش ارزیابی نسبت تجمعی (ARAS). (مطالعه موردی: پیرامون کلانشهر تهران). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۲ (۳)، ۱۴۵-۱۸۱.

<http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-31431-fa.html>

ذاکری‌نژاد، رضا، و کهرانی، عباس (۱۴۰۲). ارزیابی و مقایسه مدل‌های CART و TreeNet جهت تهیه نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش با استفاده نرم‌افزار SPM و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS): مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲ (۳۷)، ۳۸-۱۷.

<https://doi.org/10.22111/jneh.2023.42304.1904>

روستایی، شهرام، و حسین‌زاده‌دمریق، هاجر (۱۴۰۱). بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده مخزن سد علویان مراغه. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۱ (۱)، ۱-۱۸.

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

سیلاخوری، زهرا، وهاب‌زاده کبریا، قربان، و پورقاسمی، حمیدرضا (۱۴۰۲). تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل بیزین (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز تالار، استان مازندران). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۳ (۲)، ۱۴۰-۱۲۲.

<http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-683-fa.html>

شریفی، حسین، رمضانی‌پور، مهرداد، ابراهیمی، لیلا، و حق‌زاد، آمنه (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان نور با استفاده از مدل تحلیل شبکه. *پژوهش‌های جغرافیای اقتصادی*، ۱ (۶)، ۵-۴۰.

https://jurs.znu.ac.ir/article_251004.html

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

<https://doi.org/10.48308/esrj.2023.104053>

گلی‌پور، شیوا، حسین‌زاده، سیدرضا، و پورعلی، ملیحه (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*، ۱۱ (۱)، ۲۰۹-۲۲۸.

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

علیزاده، رضا، ایزدی، حسن، و آراسته، مجتبی (۱۴۰۰). رتبه‌بندی ظرفیت گردشگری طبیعت‌محور در مناطق کوهستانی (نمونه موردی: منطقه شرقی استان لرستان). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۵ (۱)، ۱۱۷-۱۴۲.

<http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-46361-fa.html>

محمودی وانعلیا، نرجس، ارگانی، میثم، و جلوخانی نیارکی، محمدرضا (۱۴۰۰). تهیه نقشه چندخطره استان مازندران با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی. مدیریت مخاطرات محیطی، ۸(۴)، ۳۹۵-۴۱۱.

<https://doi.org/10.22059/jhsci.2022.332933.686>

مددی، عقیل، و پیروزی، الناز (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه بالادست سد یامچی استان اردبیل با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MARCOS و CODAS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲(۱)، ۷۳-۹۴.

<https://doi.org/10.22034/gmpj.2023.370812.1390>

مددی، عقیل، غفاری گیلانده، عطا، و پیروزی، الناز (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۴)، ۱۲۱-۱۴۱.

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_77975.html?lang=fa

مددی، عقیل، پیروزی، الناز، و فعال نذیری، مهدی (۱۳۹۹). ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC و CODAS در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (نمونه پژوهش: شهرستان کوثر). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۱(۴)، ۲۴-۱.

<https://doi.org/10.22108/gep.2020.124723.1348>

نصیری، مهران، محمدزاده، مجتبی، لطفعلیان، مجید، و پارساخو، آیدین (۱۴۰۱). پهنه‌بندی و مطالعه میدانی لغزش و رانش‌ها در اطراف جاده‌های جنگلی دارابکلا- ساری. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳(۲۶)، ۱۰۵-۱۱۴.

<https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.105>

نظریانی، نسترن، و فلاح، اصغر (۱۴۰۲). مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از داده‌کاوی در جنگل‌های هیرکانی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۴(۲۷)، ۱۲۳-۱۳۴.

<https://doi.org/10.61186/jwmr.14.27.123>

References

- Alimohammadlou, Y., Najafi, A., & Yalcin, A. (2013). Landslide process and impacts: A proposed classification method. *Catena*, 104(1), 219-232. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.013>
- Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). *New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM)*. International series in operations research & management science. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-15009-9>
- Alizadeh, R., Izady, H., & Arasteh, M. (2021). Ranking of nature-based tourism capacity in mountainous regions (Case Study: Eastern region of Lorestan province). *The Journal Of Spatial Planning*, 25(1), 117-142. <http://hsm.spm.modares.ac.ir/article-21-46361-fa.html> [In Persian].
- Anamoranejad, R.B., Nikpour, A., & Hasani, Z. (2018). The physical-spatial analysis of urban areas based on the indicators of the urban smart growth (A case study: Babol). *Journal Of Research And Urban Planning*, 9(34), 19-30. https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3126.html?lang=en [In Persian].
- Asghari Saraskanroud, 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*, 54(1), 65-94. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.333658.1007656> [In Persian].
- Atyabi, S.M., Niazmardi, S., & Ali Abbaspour, R. (2021). A novel method based on combining statistical methods for improving the accuracy of landslide susceptibility maps (Case study: Mazandaran province). *Environmental Management Hazards*, 8(2), 99-117. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2021.319366.629> [In Persian].

- 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. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-701-fa.html> [In Persian].
- Bayati-Khatibi, M. (2007). An evaluation of potential vulnerability of slopes on the landslide occurrence in mountain's catchment by determining special factor method case study: Garangoo, s catchment, northern slope of sahand mountain in east Azerbaijan. *The Journal Of Spatial Planning*, 11(53), 29-56. <http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-11766-fa.html> [In Persian].
- Bayati-Khatibi, M. (2009). Landslide risk assessment and zoning in the Qoranguchai basin by the method of two statistical variables. *Geography And Planning*, 15(32), 1-27. <https://www.sid.ir/paper/203778/fa> [In Persian].
- Caleca, F., Scaini, C., Frodella, W., & Tofani, V. (2024). Regional-scale landslide risk assessment in central Asia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 24(1), 13–27. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-13-2024>
- Chen, H.X., Zhang, L.M., Gao, L., Zhu, H., & Zhang, S. (2015). Presenting regional shallow landslide movement on three-dimensional digital terrain. *Engineering Geology*, 195(1), 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.05.027>
- Chen, W., Zhang, S., Li, R., & Shahabi, H. (2018). Performance evaluation of the GIS-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve bayes tree for landslide susceptibility modeling. *Sci. Total Environ*, 644(1), 1006-1018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.389>
- Dayyani, L., Poor Taheri, M., Rokneddin Eftekhari, A., & Ahmadi, H. (2018). Ranking of basic elements for organizing of rural deteriorated textures on fringes of metropolises using aras method (Case study: Fringes of Tehran metropolis. *The Journal Of Spatial Planning*, 22(3), 145-181. <http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-31431-fa.html> [In Persian].
- 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>
- Entezari, M., & Kordavani, M. (2022). Landslide hazard zoning using GIS-based methods and radar data (Case study: Fereydoon Shahr). *Journal Of Natural Environmental Hazards*, 11(33), 177-196. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38660.1810> [In Persian].
- 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. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.336132.1343> [In Persian].
- Imani, B. (2021). Management pattern of natural hazards with an emphasis on the sustainability of urban and rural settlements (Case study: Landslide in rudbar region). *Geography And Environmental Planning*, 32(3), 105-128. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.126669.1387> [In Persian].
- Khetkeh, A., Hosseini, S.A., Abdie, E., Ahmadauli, K., & Koohi, S. (2021). Landslide hazard zoning by density area model and hierarchical analysis to assess the pathway designed for the chellir district in the Khayrud forest. *Journal Of Watershed Management Research*, 23(12), 273-284. <https://doi.org/10.52547/jwmr.12.23.273> [In Persian].
- Kumar, A., Sharma, R., & Bansal, V. (2022). Spatial prediction of landslide hazard using GIS-multi-criteria decision analysis in kullu district of himachal pradesh, India. *Journal Of Mining And Environment*, 13(4), 943-956. https://jme.shahroodut.ac.ir/article_2535.html

- Madadi, A., Ghafari Gilandeh, A., & Pirooz, E. (2015). Assessment and zonation of landslide risk using the VIKOR model. (Case study: Aghlaghan Chay water shed). *Quantitative Geomorphology Research*, 3(4), 121-141. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_77975.html?lang=fa. [In Persian].
- Madadi, A., & Pirooz, 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. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2023.370812.1390>. [In Persian].
- Madadi, A., Pirooz, 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. <https://doi.org/10.22108/gep.2020.124723.1348>. [In Persian].
- Mahmoodi Vanolya, N., Argany, M., & Jelokhani-Niaraki, M. (2021). Multi-hazard potential mapping of Mazandaran province using multi-criteria spatial decision analysis. *Environmental Management Hazards*, 8(4), 395-411. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2022.332933.686>. [In Persian].
- Materazzi, M., Bufalini, M., Gentilucci, M., Pambianchi, G., Aringoli, D., & Farabollini, P. (2021). Landslide hazard assessment in a monoclinal setting (Central Italy): Numerical vs. Geomorphological Approach. *Land*, 10(6), 624, 1-22. <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/6/624>.
- Nasiri, M., Mohammadzade, M., Lotfalian, M., & Parsakhoo, A. (2022). Zoning and field study of landslides along forest roads of Darabkola-Sari. *Journal Of Watershed Management Research*, 13(26), 105-114. <https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.105> [In Persian].
- Nazariani, N., & Fallah, A. (2023). Landslide risk modeling using data mining in Hyrcanian forests. *Journal Of Watershed Management Research*, 14(27), 123-134. <https://doi.org/10.61186/jwmr.14.27.123> [In Persian].
- Pourfarrashzadeh, F., & Asghari Saeskanrood, S. (2022). Assessment and zoning the landslide susceptibility using statistical method in the Blakhy catchment (Yamchy Station). *Journal Of Geography And Environmental Hazards*, 11(2), 41-59. <https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.72256.1103>. [In Persian].
- 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>.
- Roostaei, S., & Hosseinzadeh Domiri, H. (2022). Investigation of landslide potential in the domain of Maragheh's Alavian Dam's Reservoir. *Quantitative Geomorphological Research*, 11(1), 1-18. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2021.267016.1251> [In Persian].
- Saha, A., Villuri, V. G. K., Bhardwaj, A., & Kumar, S. A. (2023). Multi-Criteria decision analysis (MCDA) approach for landslide susceptibility mapping of a part of Darjeeling district in North-East Himalaya, India. *Applied Sciences*, 13(8), 1-23. <https://doi.org/10.3390/app13085062>
- Salehpour-Jam, A., Mosaffaie, J., & Sarfaraz, F. (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid MCDM models. *Nat Hazards*, 108(3), 1025-1046. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04718-5>
- Silakhori, Z., Vahabzadekebi, G., & Poorghasemi, H. (2023). Landslide susceptibility mapping using Bayesian model: A case study of some regions of Talar watershed, Mazandaran province. *Environmental Erosion Research Journal*, 13(2), 122-140. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-683-fa.html> [In Persian].

- Seddighi, H., & Ghasemi, A.R. (2023). Landslide risk modeling using logistics regression model (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). *Researches In Earth Sciences*, 14(4), 42-60. <https://doi.org/10.48308/esrj.2023.104053> [In Persian].
- Sharifi, H., Ramazanipore, M., Ebrahimi, L., & Haghazad, A. (2022). Landslide hazard zoning of Noor city using network analysis model. *Journal Of Economic Geography Research*, 1(6), 40-55. https://jurs.znu.ac.ir/article_251004.html [In Persian].
- Vojtekova, J., & Vojtek, M. (2020). Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: A case study from Slovakia. *Geomatics, Natural Hazards And Risk*, 11(1), 131-148. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1713233>
- Zakerinejad, R., & Kahrani, A. (2023). Assessment and comparison of CART and treenet models to landslide susceptibility mapping using SPM Software and geographic information system (GIS) (Case study: Kameh watershed, southern of Isfahan province). *Journal Of Natural Environmental Hazards*, 12(37), 17-38. <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.42304.1904> [In Persian].
- Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological And Economic Development Of Economy*, 16(2), 159-172. <https://doi.org/10.3846/TEDE.2010.10>
- Zhang, Y., Zhang, J., & Dong, L. (2023). Fuzzy logic regional landslide susceptibility Multi-Field information map representation analysis method constrained by spatial characteristics of mining factors in mining areas. *Processes*, 11(985), 1-33. <https://doi.org/10.3390/pr11040985>
- 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>
- Zhu, H., & Liu, F. (2021). A group-decision-making framework for evaluating urban flood resilience: A case study in Yangtze river. *Sustain*, 13(2), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102355>

