



Landslide risk zoning in Aliabad Katul County

Sayyad Asghari saraskanroud¹, Elnaz Piroozi²

1. Corresponding author, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: s.asghari@uma.ac.ir
2. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: e.pirouzi@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 11 January

2025;

Received in revised form:

22 June 2025;

Accepted: 14 July 2025;

Available online 07

December 2025

Keywords:

hazard,
mass movement, MCDM,
Aliabad Katul.

ABSTRACT

Objective: Landslides are one of the most important environmental hazards that cause a lot of financial and personal losses, and by identifying areas at risk, this phenomenon can be prevented as much as possible. Aliabad Katul County, due to its specific climatic, physiographic, geological, and human conditions, has always been at risk of landslides. Therefore, the purpose of this study is to identify landslide-prone areas in this county. In this regard.

Method: by reviewing the research background, using field studies, and examining the conditions in the region, first, the factors of altitude, slope, slope direction, geology, distance from the fault, distance from the river, distance from communication routes, land use, and precipitation were identified as variables affecting the occurrence of landslides. Finally, the landslide susceptibility map was extracted using the Marcus multi-criteria decision-making method.

Results: According to the results, respectively; The factors of slope, land use, and precipitation with weight coefficients of 0.153, 0.142, and 0.138 were assigned the most importance in the occurrence of landslides in Aliabad Katul County. According to the zoning map, 151.902 and 253.622 square kilometers of the county area are in the very high and high-risk categories, respectively, and these zones should be given priority in terms of management work and implementation of protection projects. Also, considering the use of the rock curve method, the accuracy of the Marcos method in identifying areas prone to landslide risk in Aliabad Katul County with a sub-curve area of (0.89) is very good.

Conclusion: The landslide hazard zonation map of Aliabad Katul County shows that a significant portion of its area (approximately 414 square kilometers) is in high-risk and very high-risk classes, requiring immediate prioritization for management and protective measures.

1. Introduction

A landslide, as a type of slope movement, refers to the downward movement of a mass of rock, debris, and soil on a slope under the influence of gravity. The formation of landslide risk depends on multiple factors, including slope, geology, tectonic activity, earthquakes, weathering, climatic conditions, hydrological conditions, vegetation cover, land use type, and human factors. Landslides are one of the most important environmental

hazards, the occurrence of which not only causes huge losses to human society and economic development but also poses a serious threat to the environment. Today, considering the destructive effects of landslides, it is necessary to investigate the effective factors and identify areas prone to this hazard using zoning techniques to achieve solutions to control this phenomenon and select the most appropriate and practical management option. Aliabad Katul County, located in Golestan

Cite this article Asghari Saraskanroud, S., Piroozi, E. (2025). Landslide risk zoning in Aliabad Katul County. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 6 (23), 133-152. <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2056101.1073>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.

DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2056101.1073>

Province, has always been at risk of landslides due to its specific climatic, physiographic, geological, and human conditions. Because no study has been conducted to date to zone Aliabad Katul County in terms of landslide risk, and considering that landslides are among the hazards that have multiple options and criteria, and the study of this hazard using multi-criteria decision-making methods has received much attention from researchers today, in the present study, the zoning of Aliabad Katul County against landslide risk has been considered using the new Marcos multi-criteria algorithm.

2. Methodology

The present study, considering the nature of the problem and the subject under study, is of a research-applied type, and its research method is an analysis based on the integration of data analysis, geographic information systems, and the use of multi-criteria analysis techniques. ENVI, Ecognition, ArcGIS, Idrisi, and Excel software were used for image processing and data analysis. Considering that landslides occur under the influence of several factors, identifying the factors effective in the occurrence of landslides is of great importance. First, after reviewing similar scientific research in the field of the subject, conducting field observations, and considering the natural and human conditions of the region, 9 factors of DEM, slope, aspect, geology, distance from the fault, land use, precipitation, distance from communication road, and distance from the river were identified as effective factors in creating landslide risk in Aliabad Katul County. In the next stage, information layers related to each factor were prepared in the geographic information system environment. The weighting of the factors studied was done according to the CRITIC method, and the final analysis was done using the MARCOS multi-criteria method. After preparing the landslide susceptibility map, the accuracy of the models was examined using the ROC curve.

3. Results

According to the landslide hazard zoning map, 170.612 square kilometers of the county have a very low potential, 262.922 square kilometers have a low potential, and 277.032 square kilometers have a medium potential. The high-risk and very high-risk classes cover 253.622 square kilometers and 151.902 square kilometers of the county area, respectively. Matching the distribution of landslide points and areas at risk based on the zoning map obtained from the study indicates that the largest number and percentage of landslide surfaces are located in the two very high-risk (30.43 percent of landslide points) and high-risk (63.89 percent of

landslide points) classes. In addition, the medium-risk class also includes 19.57 percent of the landslide areas of the county, and in the two low-risk and very low-risk classes, the distribution of landslide points is not observed. In addition, the results of this study showed that slope, land use, and precipitation factors with weight coefficients of 0.153, 0.142, and 0.138 are the most important factors affecting the occurrence of instability in Aliabad-Katul County. Also, considering the use of the Rock Curve method, the accuracy of the Marcus method in identifying areas prone to landslide risk in Aliabad-Katul County with an area under the curve (0.89) is very good.

4. Discussion

The results of this study indicate the high potential of this county in terms of the possibility of landslides. In general, in high-risk and very high-risk areas, the spatial distribution of factors is such that it provides suitable conditions for landslides to occur, which include the dominance of slopes with medium to steep slopes (15 to 80), altitudes of 1000 to 3000 meters, abundant rainfall, diverse land uses (forest cover, pastures, agricultural and residential), trenching and destruction of the slopes following road construction and development activities, susceptible geological formations (alternation of limestone, marl, shale and sandstone layers), undercutting of the slope support by flowing water, fault structures and slope direction (especially; north, west, east, southeast and northwest directions).

5. Conclusion

Finally, it should be noted that given the large area of landslide-prone areas in Aliabad Katul County, expert protection, watershed management, and management measures should be taken. It can also be acknowledged that the results of this research have a practical aspect and can be used as a more powerful tool for risk management and reducing losses and casualties from the environmental hazard of landslides by stakeholders and organizations such as the Crisis Management Organization, the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management, the General Directorate of Roads and Urban Development, the Regional Water Organization, and other organizations related to environmental hazard issues.

Author Contributions

In the preparation and writing of this article, all author has contributed equally and jointly. All stages of the research, from study design and data collection to analysis of results and final writing of

the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgments

This article is an extract from a research project funded by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Mohagheh Ardabili. Therefore, we express our gratitude and appreciation.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.





دانشگاه لرستان

مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

<http://www.gsma.lu.ac.ir>

شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۵-۲۷۱۷



پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در شهرستان علی‌آباد کتول

صیاد اصغری سراسکانرود^۱، الناز پیروزی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir

۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: e.pirouzi@uma.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۳/۱۲/۲۶

تاریخ تجدیدنظر:

۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پذیرش نهایی:

۱۴۰۴/۰۴/۲۳

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۹/۱۶

واژگان کلیدی:

مخاطره، حرکت دامنه‌ای،

تحلیل چندمعیاره،

علی‌آباد کتول.

هدف: زمین‌لغزش از مهم‌ترین مخاطرات محیطی می‌باشد که وقوع آن خسارات انسانی و اقتصادی فراوانی را در پی دارد و با شناسایی مناطق در معرض این خطر، می‌توان در حد ممکن از وقوع این پدیده جلوگیری کرد. شهرستان علی‌آباد کتول با توجه به شرایط خاص آب‌وهوایی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و انسانی، همواره در معرض خطر زمین‌لغزش بوده است. لذا، هدف از این پژوهش شناسایی پهنه‌های مستعد وقوع زمین‌لغزش در سطح این شهرستان می‌باشد.

روش: با مرور پیشینه پژوهشی، استفاده از مطالعات میدانی و بررسی شرایط موجود در منطقه، ابتدا عوامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از راه‌های ارتباطی، کاربری اراضی و بارش به عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش شناسایی شد. در نهایت نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مارکوس استخراج گردید.

نتایج: با توجه به نتایج حاصله، به ترتیب؛ عوامل شیب، کاربری اراضی و بارش با ضرایب وزنی ۰/۱۵۳، ۰/۱۴۲ و ۰/۱۳۸ بیشترین اهمیت را در وقوع زمین‌لغزش شهرستان علی‌آباد کتول، به خود اختصاص دادند. با نظر به نقشه پهنه‌بندی به ترتیب؛ ۱۵۱/۹۰۲ و ۲۵۳/۶۲۲ کیلومتر مربع از مساحت شهرستان، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد که بایستی این پهنه‌ها از لحاظ کارهای مدیریتی و اجرای پروژه‌های حفاظتی در اولویت توجه قرار گیرند. همچنین با توجه به بهره‌گیری از روش منحنی راک، دقت روش مارکوس در شناسایی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش در شهرستان علی‌آباد کتول با سطح زیرمنحنی (۰/۸۹)، بسیار خوب می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان علی‌آباد کتول نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از مساحت آن (حدود ۴۱۴ کیلومتر مربع) در طبقات پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد که نیازمند اولویت‌بندی فوری برای اقدامات مدیریتی و حفاظتی است.

۱. مقدمه

ناپایداری دامنه‌ای فرمی از مخاطرات ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی می‌باشد که در تغییر شکل سطح زمین نقش بسیار

مؤثری دارد (Asghari Saraskanroud et al., 2022: 134).

(Ahmadpour et al., 2024: 43). زمین‌لغزش به عنوان یک نوع

از حرکات دامنه‌ای، به حرکت یک توده سنگ، آوار و خاک در

استناد: اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پیروزی، الناز (۱۴۰۴). پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در شهرستان علی‌آباد کتول. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۶ (۲۳)، ۱۵۲-۱۳۳. <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2056101.1073>



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2056101.1073>



نویسندگان ©

ناشر: دانشگاه لرستان.

در چند دهه اخیر، در میان طیف وسیعی از مدل‌های ارزیابی مخاطرات که در دسترس هستند، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌طور گسترده در یکپارچه‌سازی، شناسایی یا رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار و به‌ویژه در تجزیه و تحلیل مخاطرات طبیعی به کار گرفته شده‌اند (Mahmoody-Vanolya et al., 2021: 397). در این راستا، به‌منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش برای مناطق مختلف نیز طی دو دهه اخیر پژوهش‌های زیادی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت پذیرفته است. به عنوان مثال؛ *Vojtekova & Vojtek* (2020) با استفاده از روش فرآیند سلسله‌مراتبی، به ارزیابی پتانسیل لغزش زمین، در شهر هاندلوا اسلواکی پرداختند. با توجه به نتایج مطالعه، پهنه با حساسیت بالا و بسیار بالا، ۵۱/۹ درصد از کل محدوده را تشکیل می‌دهد و شیب به عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شده است. *Madadi et al* (2021) با استفاده از روش‌های چندمعیاره ماباک و کوداس، به شناسایی مناطق دارای احتمال وقوع خطر زمین‌لغزش در شهرستان کوثر پرداختند. براساس نتایج حاصل از روش ماباک به ترتیب؛ ۱۷/۸۹ و ۲۵/۲۲ درصد و طبق نتایج به‌دست آمده از روش کوداس به ترتیب؛ ۹/۰۷ و ۲۲/۱۸ درصد از مساحت محدوده در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر واقع شدند. *Sharifi et al* (2022) خطر زمین‌لغزش در شهرستان نور را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش حاکی از قرارگیری حدود ۱۴/۴۹ درصد از منطقه در کلاس زمین‌لغزش با احتمال زیاد می‌باشد که این پهنه‌های پرخطر به‌طور عمده، در بخش‌های شمال، شمال‌غرب و شمال‌شرق شهرستان قرار دارند.

Kumar et al (2022) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به پیش‌بینی فضایی خطر زمین‌لغزش در منطقه کولو هیمالچال پرادش هند، پرداختند. نتایج مطالعه نشان داده است که ۶۸ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی دارای پتانسیل بالای لغزش می‌باشد. *Asghari Saraskanroud & Piroozi* (2022)، با بهره‌گیری از روش‌های چندمعیاره ویکور، ماباک، ترکیب خطی وزنی و میانگین وزن‌دار ترتیبی، خطر زمین‌لغزش در حوضه گیوی چای را مورد مطالعه قرار دادند و طبق یافته‌های پژوهش، شیب، لیتولوژی و کاربری‌اراضی به عنوان مهمترین عوامل دخیل در وقوع زمین‌لغزش حوضه، معرفی شده‌اند و براساس خروجی‌های حاصل از به‌کارگیری مدل‌های مورد بررسی، مساحت زیادی از سطح حوضه در طبقات با احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

روی دامنه به سمت پایین، تحت تأثیر نیروی جاذبه اطلاق می‌گردد (Singh et al., 2024:1). شکل‌گیری خطر زمین‌لغزش به عوامل متعددی همچون؛ شیب، زمین‌شناسی، فعالیت زمین‌ساختی، زلزله، هوازدگی، شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی، نوع کاربری‌زمین و عوامل انسانی بستگی دارد (Caleca et al., 2024:2; Esfandyari Darabad et al., 2024: 105). وقوع این پدیده به تخریب راه‌های ارتباطی، مناطق مسکونی، خطوط انتقال انرژی، سازه‌های مهندسی، پوشش گیاهی و زمین‌های زراعی منجر شده و با برهم‌زدن سیستم آب و خاک، تسریع فرسایش و رسوب‌گذاری سریع و گسترده در پشت سدها را به دنبال دارد (Materazzi et al., 2021:2; Nanekaran et al., 2023:2; Abedini et al., 2022:58). براساس گزارشات پایگاه بین‌المللی بلایای طبیعی، رانش زمین در بین بزرگ‌ترین بلایای و سوانح طبیعی، رده هفتم را از نظر تلفات جانی به خود اختصاص داده است و بالغ بر ۱۷ درصد از تلفات جانی حاصل از بلایای طبیعی را در سراسر جهان شامل می‌شود (Sim et al., 2024: 1).

کشور ایران با توپوگرافی کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش‌ها دارا است (Keshavarz et al., 2022: 273; Entezari et al., 2024: 36). شهرستان علی‌آباد کنترل واقع در استان گلستان نیز با توجه به شرایط خاص آب‌وهوایی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و انسانی، همواره در معرض خطر زمین‌لغزش بوده است. به طوریکه همه ساله تعدادی زمین‌لغزش در سطح این شهرستان به وقوع می‌پیوندد. در شکل (۱)، تصاویری از نمونه زمین‌لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان نمایش داده شده است. لذا به دلیل اهمیت موضوع و با توجه به این مهم که علی‌رغم پتانسیل بسیار بالای این شهرستان، تاکنون مطالعه‌ای به‌منظور پهنه‌بندی این شهرستان از لحاظ خطر زمین‌لغزش انجام نشده است. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سطح این شهرستان مورد بررسی قرار داده شده است. تا با بررسی تأثیر هریک از معیارها و با شناسایی مناطق دارای احتمال وقوع از نظر خطر زمین‌لغزش، برآورد مناسبی از خطرپذیری این شهرستان در برابر این مخاطره، به‌منظور عملیات اجرایی و اصلاحی، انجام اقدامات لازم برای کنترل اثرات منفی ناشی از لغزش زمین و برنامه‌ریزی استفاده بهینه از منابع، انجام گیرد.

منطقه بوده است و براساس اعتبارسنجی نقشه پهنه‌بندی بیش از ۸۰ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده با پهنه‌های با خطر بالا، مطابقت دارند. **Asghari Saraskanroud & Piroozi (2024)** خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز قرنقوچای را با بهره‌گیری از روش چند معیاره آراس مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داده است که به ترتیب؛ ۱۲/۸۶ و ۲۵/۴۲ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد. در نهایت می‌توان بیان داشت، با توجه به بررسی پیشینه پژوهشی و با نظر به اینکه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، امروزه بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در پژوهش حاضر نیز پهنه‌بندی شهرستان علی‌آباد کنترل در برابر خطر زمین لغزش، با استفاده از الگوریتم جدید چندمعیاره مارکوس مدنظر قرار گرفته است.

Saha et al (2023) با بهره‌گیری از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، خطر زمین لغزش در بخشی از ناحیه دارجلینگ در شمال شرقی هند را مورد ارزیابی قرار دادند و براساس نتایج به دست آمده، ۳۷/۸۶ درصد از منطقه در پهنه‌های پرخطر قرار دارد و انجام اقدامات مدیریتی، در منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

Madadi & Piroozi (2023) با استفاده از روش‌های چندمعیاره مارکوس و کوداس به بررسی خطر زمین لغزش در حوضه بالادست سد یامچی، پرداختند. طبق نتایج به دست آمده، عامل شیب، کاربری اراضی و لیتولوژی، در وقوع زمین لغزش حوضه بیشترین اهمیت را دارند و خروجی حاصل از روش‌های مورد استفاده، نشان‌دهنده پتانسیل بالای حوضه از لحاظ وقوع خطر زمین لغزش می‌باشد. به علاوه، یافته‌های این پژوهش بیانگر دقت عالی روش مارکوس با مساحت زیر منحنی ۰/۸۱، می‌باشد. **Tesfa & Sewn (2024)**، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه شرقی گوجام، اتیوپی مرکزی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، پرداختند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که عوامل فاصله از رودخانه، بارندگی و فعالیت‌های انسانی عوامل محرک اصلی برای ایجاد زمین لغزش در



شکل ۱. تصاویری از نمونه زمین لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان علی‌آباد کنترل، منبع: سایت‌های داخلی

پژوهش حاضر با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد مطالعه، از نوع پژوهشی- کاربردی است و روش تحقیق آن تحلیلی

۲. روش تحقیق

وزن نهایی در نرم افزار اکسل اقدام گردید. گام پنجم از روش به صورت محاسبه مطلوبیت هر گزینه است. در این مرحله، بر اساس روابط (۱) و (۲)، درجه مطلوبیت ایده آل $K+$ و ضد ایده آل $K-$ گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$K_{i+} = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (1)$$

$$K_{i-} = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (2)$$

در روابط فوق، $S_i = (i=1,2,3,..m)$ ، جمع مقایر هر سطر در ماتریس وزن دار می‌باشد که از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j:1}^n v_{ij} \quad (3)$$

مرحله ششم- تعیین عملکرد نهایی و رتبه بندی گزینه‌ها می‌باشد که با استفاده از رابطه (۴)، عملکرد مطلوب هر گزینه محاسبه می‌شود.

$$f(k_i) = \frac{k_i^+ + k_i^-}{1 + \frac{1-f(k_i^+)}{f(k_i^+)} + \frac{1-f(k_i^-)}{f(k_i^-)}} \quad (4)$$

در رابطه فوق الذکر $f(k-)$ عملکرد مطلوبیت ضد ایده آل و $f(k+)$ عملکرد مطلوب ایده آل برای هر گزینه می‌باشد که از روابط (۵) و (۶)، محاسبه می‌گردد. سپس بر اساس اعداد به دست آمده از $f(k)$ ، هر گزینه رتبه بندی انجام می‌شود و هر کدام از گزینه‌ها که مقدار $f(k)$ بزرگتری داشت، رتبه بهتری دارد (Abdullae et al., 2023: 6; Jafarzadeh & Ghouschi et al., 2023:4555).

$$f(k_i^-) = \frac{k_i^+}{k_i^+ + k_i^-} \quad (5)$$

$$f(k_i^+) = \frac{k_i^-}{k_i^+ + k_i^-} \quad (6)$$

بعد از تهیه خروجی نهایی حاصل از روش مورد استفاده در پژوهش حاضر، با توجه به این امر که، منحنی تشخیص عملکرد نسبی (راک^۱)، از کارآمدترین روش‌ها در پیش‌بینی و تعیین دقت مدل‌سازی است، صحت خروجی نهایی مطالعه، با توجه به نقاط پراکنش لغزش، با استفاده از این روش انجام شده است. در این راستا، با استفاده از دستور ROC در نرم افزار ادیسی، لایه نقشه نهایی پهنه بندی به عنوان ورودی، نقشه پراکنش نقاط لغزشی به عنوان نقشه مرجع یا رفرنس و لایه مرز

مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از فنون تحلیل چندمعیاره می‌باشد. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم افزارهای Arc GIS، Idrisi و Excel، بهره گیری شده است.

۱.۲. مراحل تهیه نقشه پهنه بندی با استفاده از روش مارکوس^۱

اولین گام در این روش تعیین عوامل و گزینه‌های مورد بررسی است. در گام دوم، ایده آل و ضد ایده آل تعیین می‌گردد. نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی، گام سوم از روش مارکوس، می‌باشد. در این پژوهش؛ مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی (تابع بزرگ فازی در معیارهای شیب، جهت شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی)، (تابع خطی افزایشی در معیارهای طبقات ارتفاعی و بارش) و (تابع خطی کاهش در معیارهای فاصله از راه ارتباطی، فاصله از گسل و فاصله از رودخانه)، انجام شده است. در مجموعه‌های فازی، هر یک از اعضا با میزانی مشخص بین ۰ تا ۱ به آن مجموعه تعلق دارند که در این رابطه یک بیانگر حداکثر عضویت و صفر نشان دهنده حداقل عضویت می‌باشد (Bhattacharyya & Mukherjee, 2021: 412; Badola et al., 2023: 3).

در گام چهارم، نسبت به تعیین مقادیر ضریب وزنی معیارها، اقدام شده است. در این پژوهش، به منظور وزن دهی عوامل از روش کرتیک^۲ استفاده شده است. در این روش، نظر کارشناسان دخالتی ندارد و وزن دهی معیارها بر اساس همبستگی و انحراف معیار بین داده‌های ماتریس تصمیم محاسبه می‌گردد (Arshad et al., 2023: 78; Asghari & Saraskanroud & Piroozi, 2024: 76). در راستای اجرای عملیاتی مراحل وزن دهی کرتیک، ابتدا در محیط نرم افزار ادیسی و با استفاده از دستور REGRESS، انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌های مورد بررسی، به دست آمد. در مرحله بعد نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و

^۱CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation)

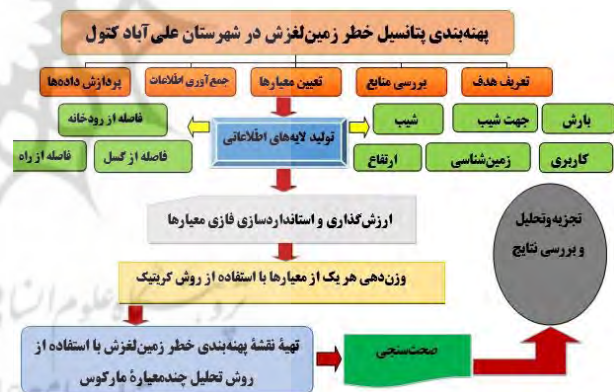
^۲ROC (Receiver operating characteristic)

^۱MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution)

شیب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی و فاصله از رودخانه، به‌عنوان عوامل مؤثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش شهرستان علی‌آباد کتول، تشخیص داده شدند.

معیارهای ارتفاع، شیب و جهت شیب: نقشه معیار طبقات ارتفاعی شهرستان با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی اخذ شده از سایت دانشگاه آلاسکا (با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متری، مربوط به سنجنده PALSAR و ماهواره ALOS)، استخراج گردید. با توجه به نقشه طبقات ارتفاعی شهرستان (شکل ۳ الف)، حداقل و حداکثر مقادیر ارتفاعی محدوده، ۱۷ و ۳۷۰۰ متر می‌باشد. شهرستان علی‌آباد کتول همانند اغلب شهرستان‌های واقع در استان گلستان، از جنوب به رشته کوه‌های البرز شرقی و از شمال به اراضی جلگه‌ای منتهی می‌شود و از مهم‌ترین مناطق کوهستانی شهرستان می‌توان به ارتفاعات کوه جنگو با ارتفاع ۳۰۹۰ متر، کوه چل‌چلی با ارتفاع ۳۱۱۱ متر، کوه گندی با ارتفاع ۲۶۳۰ متر، کوه نیله ته با ارتفاع ۲۸۳۰ متر و کوه گل‌علی‌آباد با ارتفاع ۳۰۱۰ متر، اشاره داشت. به‌طور کلی؛ ۴۵۲/۴۰ کیلومترمربع از مساحت شهرستان در طبقات ارتفاعی ۱۷-۵۰۰ متر قرار دارد. سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۰۰۰ و ۵۰۰-۲۰۰۰ متری نیز به ترتیب؛ ۱۳۱/۵۰ و ۳۲۸/۷۱ کیلومتر از سطح شهرستان را پوشش می‌دهند و به ترتیب، ۱۸۲/۱۹ و ۲۱/۲۹ کیلومترمربع از مساحت محدوده نیز دارای مقادیر ارتفاعی ۲۰۰۰-۳۰۰۰ و ۳۰۰۰-۳۷۰۰ متری می‌باشند. با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاعی، لایه‌های اطلاعاتی شیب و جهت شیب در Arc map به ترتیب با استفاده از دستورهای slope و aspect تهیه شد. از لحاظ معیار شیب به ترتیب؛ ۳۹۴/۱۰، ۲۸/۳۶ و ۶۹/۹۵ کیلومترمربع از مساحت شهرستان در محدوده شیبی ۰-۵، ۵-۱۰ و ۱۰-۲۰ درصد، واقع شده است. طبقات شیب ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ درصد نیز به ترتیب؛ ۳۴۱/۰۶ و ۲۳۹/۴۱ کیلومترمربع از مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده است. به‌علاوه، ۳۹/۴۳ و ۳/۷۴ کیلومترمربع از محدوده شهرستان به ترتیب در سطوحی با شیب ۸۰-۶۰ و ۹۹/۲۲-۸۰ درصد قرار دارند (شکل ۳ ب). با نظر به نقشه

محدوده به عنوان نقشه ماسک یا برش معرفی شد. تعداد آستانه^۱ (تعداد نقاط) نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شد. در نهایت، نتیجه حاصل از محاسبه که به‌صورت جدول اطلاعاتی می‌باشد در اکسل فراخوانی شده و سپس با توجه به مقادیر دوستون True positive (مثبت درست) و False positive (مثبت غلط)، نسبت به ترسیم منحنی اقدام گردید. در این منحنی، مقادیر مختلف سطح زیرمنحنی بین ۰/۵ و ۱ است. اگر مساحت زیر منحنی برابر با ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده تصادفی بودن مدل است. اگر این مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین وجه می‌تواند بین حضور و عدم حضور تمایز قائل شود. اگر سطح زیرمنحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ باشد، مدل تحت عنوان مدل خوب در نظر گرفته می‌شود. اگر بین ۰/۸ تا ۰/۹ باشد مدل بسیار خوب است و اگر سطح زیر منحنی بیشتر از ۰/۹ باشد، مدل با قدرت تفکیک بسیار عالی در نظر گرفته می‌شود (Rostamizad & Dastranj, 2024: 305). روند پژوهش در شکل ۲، قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲. فلوجارت مربوط به فرآیند تحقیق، منبع: نگارندگان،

۱۴۰۳

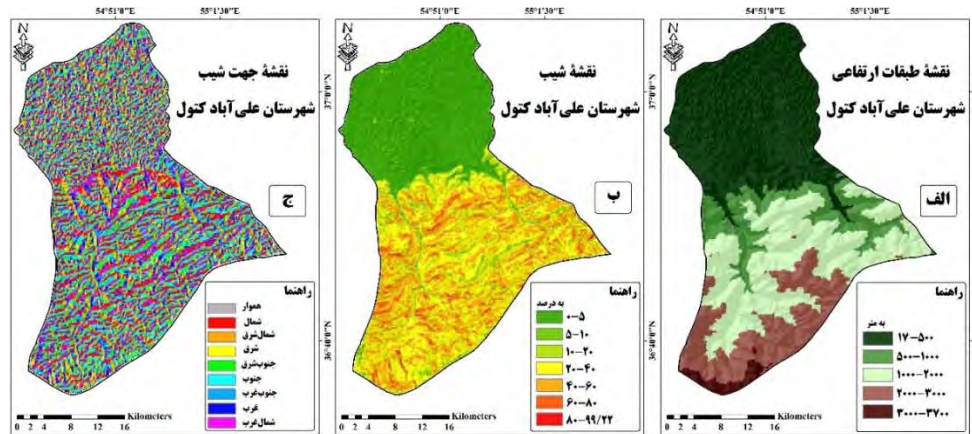
۲.۲. معیارهای مورد بررسی

با توجه به اینکه زمین‌لغزش تحت تأثیر عوامل متعددی رخ می‌دهد و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش از اهمیت بالایی برخوردار است. پس از بررسی تحقیقات علمی مشابه در زمینه موضوع، انجام مشاهدات میدانی و با در نظر گرفتن شرایط طبیعی و انسانی منطقه، ۹ عامل ارتفاع، شیب، جهت

^۱ Number of thresholds

شهرستان نیز دارای جهات شیب جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب هستند. جهات غرب، شرق و سطوح هموار نیز به ترتیب؛ ۱۰۳/۷۸، ۱۰۲/۶۹ و ۱۶/۶۰ کیلومترمربع از سطح شهرستان را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۳ ج).

جهت شیب شهرستان علی‌آباد کتول؛ جهات شمال، شمال شرق و شمال غرب به ترتیب؛ ۱۹۶/۷۱، ۱۱۷/۴۰ و ۱۴۵/۳۰ کیلومترمربع از سطح شهرستان را پوشش می‌دهند. به ترتیب؛ ۱۷۳/۵۶، ۱۳۶/۴۴ و ۱۱۵/۵۹ کیلومترمربع از مساحت



شکل ۳. نقشه معیارهای ارتفاع، شیب و جهت شیب شهرستان علی‌آباد کتول، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

هم هستند در ارتفاعات شهرستان‌های گسترش دارند. رسوبات مزوزوئیک که عمدتاً از نوع سازندهای آهکی، ماسه‌سنگ، شیل شمشک تشکیل شده‌اند، به صورت نوار پیوسته‌ای در منطقه دیده می‌شوند. رسوبات کواترنری نیز به صورت مخروطه‌افکنه، پادگانه‌های آبرفتی و نهشته‌های دریایی پوشیده شده‌اند. اطلاعات زمین‌شناسی شهرستان به صورت مختصر در جدول ۱، بیان شده است.

معیارهای زمین‌شناسی، فاصله از گسل و فاصله از راه‌های ارتباطی: لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مؤلفه‌های زمین‌شناسی و فاصله از گسل‌ها، با استفاده از نقشه رومی شده استان گلستان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج شد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی شهرستان (شکل ۴ الف)، می‌توان بیان داشت که قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه از نوع سنگ‌های شیستی دوران پرکامبرین هستند که به شیست‌های گرگان معروف‌اند. رسوبات دوران پالئوزوئیک که بیشتر از نوع آهکی و جدا از

جدول ۱. واحدهای زمین‌شناسی سطح شهرستان علی‌آباد کتول

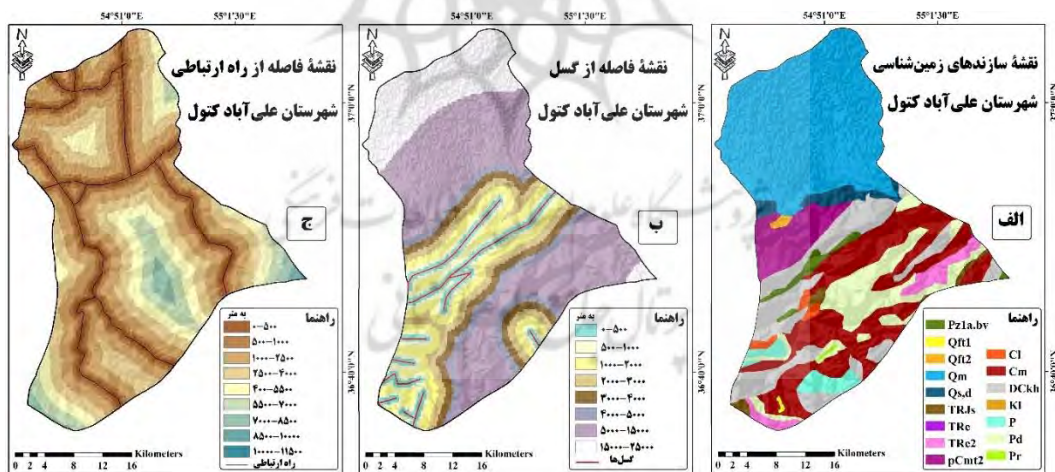
علامت اختصاری	شرح نوع سازند	مساحت به KM^2	دوره زمین‌شناسی
Pcm2	سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین (رخساره شیست سبز)	۶۸/۷۳	پرکامبرین
Pz1a.bv	بازالت آندزیت آتشفشانی	۱۷/۷۵	کامبرین
CI	شیل‌های قرمز تیره و ماسه‌سنگ‌های کوارتزی قرمز رنگی (سازند لالون)	۱۰/۷۶	
DCkh	سنگ آهک آرژیل‌دار نازک تا ضخیم لایه مایل به رنگ زرد، سنگ آهک خاکستری تیره، مارن و شیل مایل به سبز، گچ محلی	۱۶۰/۱۶	دوونین
Cm	سنگ آهک فسیلی خاکستری تیره تا سیاه همراه با شیل سیاه (سازند مبارک)	۲۳۳/۹۵	کربونیفر
P	سنگ‌های پرمین تمایز نیافته	۲۸/۵۸	
Pd	ماسه‌سنگ قرمز و شیل با سنگ آهک شنی تابع (سازند درود)	۱۱۶/۷۳	پرمین
Pr	سنگ آهک خاکستری تیره با بستر متوسط تا عظیم (سازند روته)	۱/۳۸	
TRe	سنگ آهک اولیتی خاکستری ضخیم، سنگ آهک شیلی نازک لایه زرد تا صورتی رنگ با میان رده‌های و دولومیت و سنگ آهک دولومیتی با بستر خوب تا ضخیم (سازند الیکا)	۰/۱۱	تریاس
TRe ²	دولومیت ضخیم لایه	۳۰/۳۸	
TRjs	شیل خاکستری تیره و ماسه‌سنگ (سازند شمشک)	۱۱/۱۶	
KI	سنگ‌های تمایز نیافته (نامتجانس) کرتاسه زیرین	۰/۲۳	کرتاسه

کوآترنر	۱/۲۲	نهشته‌های مخروط افکنه‌ای و تراس دره‌ای سطح بالا	Qft1
	۳/۳۸	نهشته‌های مخروط افکنه‌ای و تراس دره‌ای سطح پایین	Qft2
	۴۰۵/۰۶	نهشته‌های دریایی	Qm
	۲۷/۰۸	رسوبات شن و ماسه ناپیوسته از جمله تپه‌های شنی	Qsd

منبع: نقشه زمین‌شناسی استان گلستان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

قطع گردیده و زهکش سازندهای آبدار بلوک جنوبی از طریق چشمه‌های کنتاکتی و دره‌هایی مانند جعفرآباد، محمدآباد و زرین‌گل که خود احتمالاً شکستگی‌هایی عمود بر گسل هستند، صورت می‌گیرد. گسل میان‌رستاق نیز از شش آب در دره رامیان تا افراخته دره زرین‌گل با روند شمال‌شرقی - جنوب‌غربی و طول ۲۰ کیلومتر امتداد داشته و سازوکار معکوس آن باعث بالا آمدن بلوک جنوبی شده که طی آن سازند خوش ییلاق در یال شمالی تاقدیس میان رستاق بریده شده و بر روی سازند مبارک رانده شده است (Zivari, 2015: 47-48). لایه اطلاعاتی راه‌های ارتباطی شهرستان نیز با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی استان گلستان (اخذ شده از استاندارد استان گلستان)، با استفاده از دستور Euclidean Distance تهیه گردید. فاصله از راه‌های ارتباطی در سطح شهرستان بین صفر تا ۱۱۵۰۰ متری می‌باشد (شکل ۴ ج).

فاصله از گسل در محدوده مطالعاتی بین صفر تا ۲۵۰۰۰ متر، می‌باشد (شکل ۴ ب). از مهمترین خطوط گسلی شهرستان می‌توان به گسل علی‌آباد و گسل رستاق اشاره کرد. گسل علی‌آباد به صورت گسل معکوس در ارتفاعات جنوب علی‌آباد با روند شمال‌شرقی - جنوب‌غربی می‌باشد که از غرب تا جنوب گرگان و از شرق تا جنوب خان‌بین به طول بیش از ۶۰ کیلومتر امتداد دارد. این گسل با ساز و کار خود باعث راندگی سازندهای پالئوزویک زیرین بر روی سندهای پالئوزویک بالایی شده است. به گونه‌ای که در حوالی گرگان شیست‌های گرگان در برابر سازندهای خوش ییلاق و در جنوب محمدآباد و علی‌آباد ولکانیک‌های سلطان میدان در مقابل خوش ییلاق و دورود قرار گرفته است. در اثر عملکرد این گسل ارتباط هیدرولیکی بین بلوک‌های جنوبی و شمالی



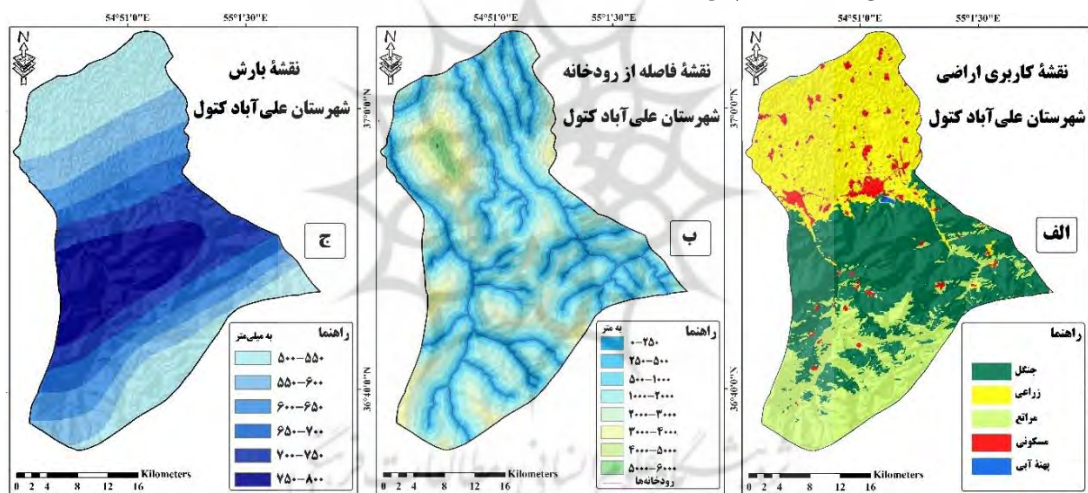
شکل ۴. نقشه معیارهای زمین‌شناسی، فاصله از گسل و فاصله از راه‌های ارتباطی شهرستان علی‌آباد کتول، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

استفاده از روش Flaash، در نرم‌افزار Envi، انجام شد. سپس طبقه‌بندی با روش شیء گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار Ecognition، صورت گرفت و نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها در مطالعه حاضر، چه از نظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا، از صحت

معیارهای کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و بارش: نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر لندست ۹ (سنجنده OLI)، به تاریخ: ۲۰۲۴/۰۸/۲۲، اخذ شده از سایت (earthexplorer.usgs.gov)، استخراج شد. در این راستا، ابتدا تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با

از رودخانه با استفاده از دستور Euclidean Distance استخراج گردید (شکل ۵ ب). فاصله از رودخانه در سطح شهرستان علی آباد کتول بین صفر تا ۶۰۰۰ متر می‌باشد و رودهای مهم شهرستان عبارتند از: رودخانه‌های قره‌سو، زرین‌گل، محمدآباد، گرجوان و چاه‌علی است که به‌طرف شمال جاری بوده و در پایین‌دست به رودخانه گرجانرود می‌پیوندند. لایه بارش شهرستان نیز با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی (علی‌آباد کتول، رامیان، آق قلا، گرگان، آزادشهر و گنبد کاووس) و با بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ به‌دست آمد و با نظر به نقشه بارش، مقادیر بارشی در سطح شهرستان علی‌آباد کتول بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۵ ج).

قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد. براساس لایه کاربری اراضی (شکل ۵ الف)، می‌توان بیان داشت که مناطقی با پوشش جنگلی، اراضی زراعی و مراتع به‌ترتیب؛ ۴۴۰/۵۴، ۳۷۱/۵۴ و ۲۶۰/۴۸ کیلومترمربع از سطح شهرستان را پوشش می‌دهند. همچنین، به ترتیب؛ ۴۲/۱۰ و ۱/۴۳ کیلومترمربع از مساحت شهرستان به‌صورت نوع کاربری نواحی مسکونی و پوشش آبی می‌باشد. به‌طور کلی؛ پوشش گیاهی منطقه در ارتفاعات بالا به صورت چمنزار و استپ کوهی است که به‌عنوان مرتع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ارتفاعات پایین‌تر از آن هم پوشش گیاهی به‌صورت جنگل‌های انبوه است. در بخش جلگه‌ای نیز محصولات کشاورزی منطقه را در بر گرفته است. لایه شبکه رودخانه‌ای شهرستان از روی نقشه پراکنش رودخانه‌های استان گلستان برش داده شد و سپس نقشه فاصله



شکل ۵. نقشه معیارهای کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و بارش شهرستان علی‌آباد کتول، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

به شهرستان رامیان و از جنوب نیز به ارتفاعات البرز و شهرستان شاهرود محدود می‌شود. این شهرستان دارای دو بخش (مرکزی و کمالان)، ۴ دهستان (کتول، زیرین‌گل، استرآباد و شیرنگ) و دو شهر (علی‌آباد کتول و فاضل‌آباد)، می‌باشد. جمعیت شهرستان براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، برابر با ۱۴۰۷۰۹ نفر برآورد شده است. محدوده شهرستان از لحاظ تکنیکی، در زون البرز قرار دارد. اقلیم شهرستان نیز به‌صورت معتدل و مرطوب می‌باشد.

۳.۲. معرفی محدوده مورد مطالعه

شهرستان علی‌آباد کتول در محدوده ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه و ۷ ثانیه تا ۵۵ درجه ۹ دقیقه و ۸ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۳۷ درجه ۲ دقیقه و ۵ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۶). این شهرستان در استان گلستان واقع شده است و مساحت آن بالغ بر ۱۱۱۶/۰۹ کیلومترمربع می‌باشد. شهرستان علی‌آباد کتول از شمال به شهرستان‌های گنبد کاووس و آق‌قلا، از غرب به شهرستان گرگان، از شرق

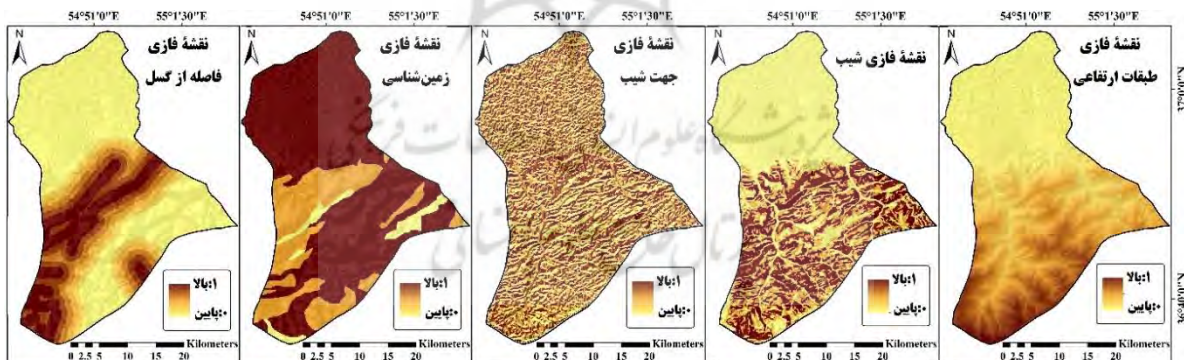


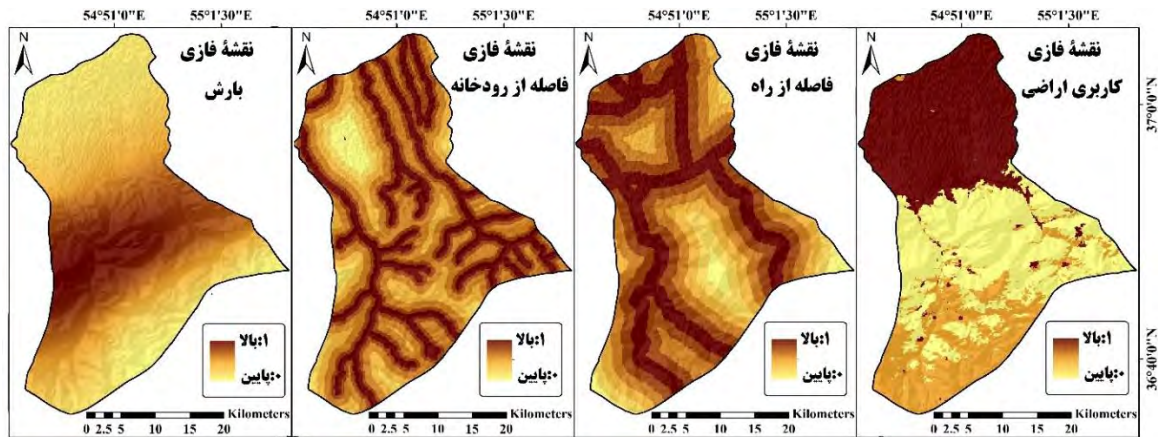
شکل ۶. نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

۳. یافته‌های پژوهش

(جدول ۲ تا ۴)، نیز حاصل شد و با اعمال وزن‌های مربوطه بر روی لایه‌های فازی، با اجرای عملیاتی دیگر مراحل مارکوس در قالب عملیات ریاضی بر روی لایه‌های استانداردشده فازی، نقشه خروجی نهایی در ۵ کلاس بسیار پرخطر تا بسیار کم‌خطر، به دست آمد (شکل ۸).

جهت تحلیل‌های مکانی یکپارچه در محیط GIS، لازم است که تمامی لایه‌ها به صورت ساختاری ارزش گذاری و استانداردسازی شوند. بدین منظور در این تحقیق ابتدا همه لایه‌ها با بهره‌گیری از توابع عضویت فازی استاندارد شدند (شکل ۷). به منظور تعیین شاخص‌های مؤثر در تعیین پهنه‌های مختلف خطر، مقدار ضریب اهمیتی هر یک از معیارها





شکل ۷. نقشه‌های استاندارد شده فازی معیارهای مورد بررسی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان علی‌آباد کتول، منبع:

نگارندگان، ۱۴۰۳

جدول ۲. ماتریس همبستگی معیارها

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
شیب	۱	۰/۰۵۴	۰/۴۱۳	-۰/۱۲۱	-۰/۲۳۱	-۰/۴۲۵	۰/۲۵۳	-۰/۰۹۸	۰/۴۲۵
جهت شیب	۰/۰۵۴	۱	-۰/۰۹۵	۰/۱۵۳	۰/۱۵۲	۰/۰۸۹	۰/۰۹۶	۰/۰۷۷	-۰/۳۱۷
ارتفاع	۰/۴۱۳	-۰/۰۹۵	۱	۰/۱۷۵	-۰/۳۱۴	-۰/۳۲۷	۰/۰۹۸	-۰/۱۰۸	۰/۳۱۶
کاربری	-۰/۱۲۱	۰/۱۵۳	۰/۱۷۵	۱	۰/۰۵۳	۰/۲۱۷	۰/۰۲۶	-۰/۰۵۴	۰/۰۱۳
راه	-۰/۲۳۱	۰/۱۵۲	-۰/۳۱۴	۰/۰۵۳	۱	۰/۳۳۱	۰/۰۲۵	۰/۲۰۵	-۰/۳۷۵
لیتولوژی	-۰/۴۲۵	۰/۰۸۹	-۰/۳۲۷	۰/۲۱۷	۰/۳۳۱	۱	۰/۱۶۹	۰/۱۲۵	-۰/۴۱۳
گسل	۰/۲۵۳	۰/۰۹۶	۰/۰۹۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۱۶۹	۱	-۰/۰۹۶	۰/۰۷۵
رودخانه	-۰/۰۹۸	۰/۰۷۷	-۰/۱۰۸	-۰/۰۵۴	۰/۲۰۵	۰/۱۲۵	-۰/۰۹۶	۱	-۰/۲۱۲
بارش	۰/۴۲۵	-۰/۳۱۷	۰/۳۱۶	۰/۰۱۳	-۰/۳۷۵	-۰/۴۱۳	۰/۰۷۵	-۰/۲۱۲	۱

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

جدول ۳. ماتریس تضاد معیارها

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
شیب	۰	۰/۹۴۵	۰/۵۸۶	۱/۱۲۱	۱/۲۳۱	۱/۴۲۵	۰/۷۴۶	۱/۰۹۸	۰/۵۷۴
جهت شیب	۰/۹۴۵	۰	۱/۰۹۵	۰/۸۴۶	۰/۸۴۷	۰/۹۱۰	۰/۹۰۳	۰/۹۲۲	۱/۳۱۷
ارتفاع	۰/۵۸۶	۱/۰۹۵	۰	۰/۸۲۴	۱/۳۱۴	۱/۳۲۷	۰/۹۰۱	۱/۱۰۸	۰/۶۸۳
کاربری	۱/۱۲۱	۰/۸۴۶	۰/۸۲۴	۰	۰/۹۴۶	۰/۷۸۲	۰/۹۷۳	۱/۰۵۴	۰/۹۸۶
راه	۱/۲۳۱	۰/۸۴۷	۱/۳۱۴	۰/۹۴۶	۰	۰/۶۶۸	۰/۹۷۴	۰/۷۹۴	۱/۳۷۵
لیتولوژی	۱/۴۲۵	۰/۹۱۰	۱/۳۲۷	۰/۷۸۲	۰/۶۶۸	۰	۰/۸۳۰	۰/۸۷۴	۱/۴۱۳
گسل	۰/۷۴۶	۰/۹۰۳	۰/۹۰۱	۰/۹۷۳	۰/۹۷۴	۰/۸۳۰	۰	۱/۰۹۶	۰/۹۲۴
رودخانه	۱/۰۹۸	۰/۹۲۲	۱/۱۰۸	۰/۹۲۴	۰/۷۹۴	۰/۸۷۴	۱/۰۹۶	۰	۱/۲۱۲
بارش	۰/۵۷۴	۱/۳۱۷	۰/۶۸۳	۰/۹۸۶	۱/۳۷۵	۱/۴۱۳	۰/۹۲۴	۱/۲۱۲	۰
مجموع تضاد	۷/۷۲۹	۷/۷۸۹	۷/۸۴۱	۷/۵۳۵	۸/۱۵۲	۸/۲۳۲	۷/۳۵۱	۸/۱۶۱	۸/۴۸۷

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

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

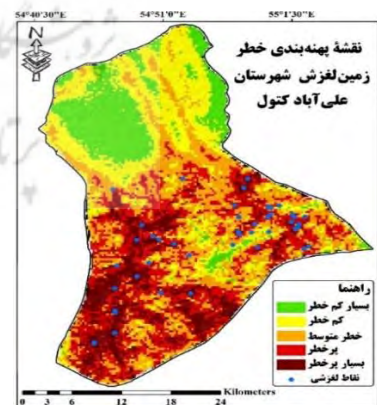
معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
انحراف معیار	۰/۳۴۳	۰/۱۵۹	۰/۱۷۵	۰/۳۲۷	۰/۲۷۴	۰/۲۷۵	۰/۱۷۸	۰/۱۶۵	۰/۲۸۱
میزان اطلاعات	۲/۶۵۲	۱/۲۴۴	۱/۳۷۵	۲/۴۶۸	۲/۲۴۰	۲/۲۷۰	۱/۳۰۸	۱/۳۵۳	۲/۳۸۸
وزن نهایی	۰/۱۵۳	۰/۰۷۱	۰/۰۷۹	۰/۱۴۲	۰/۱۲۹	۰/۱۳۱	۰/۰۷۵	۰/۰۷۸	۰/۱۳۸

طبقات خطر	مساحت طبقات خطر		تعداد و درصد نقاط
	زمین لغزش	پراکنش لغزشی	
بسیار پرخطر	مساحت به km ²	درصد	تعداد درصد
بسیار پرخطر	۱۵۱/۹۰۲	۱۳/۶۱	۱۴ ۳۰/۴۳
پرخطر	۲۵۳/۶۲۲	۲۲/۷۲	۲۳ ۶۳/۸۹
خطر متوسط	۲۷۷/۰۳۲	۲۴/۸۲	۹ ۱۹/۵۷
کم خطر	۲۶۲/۹۲۲	۲۳/۵۶	- -
بسیار کم خطر	۱۷۰/۶۱۲	۱۵/۲۹	- -

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

ارتفاع بر عناصر اقلیمی، پوشش گیاهی و فرآیندهای هوازگی تأثیر گذار می باشد و لذا بررسی ارتفاع در ایجاد زمین لغزش از اهمیت زیادی برخوردار است (Madadi & Piroozi, 2023:81). نتایج حاصل از بررسی رابطه بین عامل ارتفاع و نقشه پتانسیل وقوع زمین لغزش شهرستان علی آباد کتول، نشان می دهد که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر عمدتاً در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری واقع شده اند. سطوح با ارتفاع بالاتر از ۳۰۰۰ متر، به علت شیب زیاد و شرایط لیتولوژیکی و اقلیمی که جهت هوازگی مکانیکی، حرکات ریزشی و واژگونی مناسب هستند و مناطقی با ارتفاع پایین تر از ۱۵۰۰ متر با توجه به شیب کم، از احتمال وقوع لغزش پایین تری برخوردارند. افزون بر این، انطباق پراکنش نقاط لغزش یافته با معیار طبقات ارتفاعی نیز حاکی از این موضوع می باشد که ۹۱/۳۰ درصد از نقاط لغزشی در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری قرار گرفته اند. شیب از جمله عوامل مهم مؤثر در مقدار فرسایش، میزان رواناب و شدت زمین لغزش می باشد. با افزایش شیب، نیروی گرانش افزایش می یابد و در نتیجه با غلبه نیروی محرکه بر نیروی مقاومت، دامنه ناپایدار شده و پتانسیل وقوع زمین لغزش افزایش می یابد (Sharifi et al., 2022: 48). در محدوده شهرستان علی آباد کتول، مقدار شیب بین صفر تا ۹۹/۲۲ درصد می باشد و طبقات بسیار پرخطر و پرخطر، دارای شیب ۱۵ تا ۸۰ درصد می باشند. بررسی انطباقی بین نقاط لغزشی با معیار شیب تأیید کننده این امر هست که در ۸/۷۰ درصد از نقاط لغزشی در محدوده شیبی ۱۵ تا ۲۰ درصد، ۴۳/۴۸ درصد از نقاط لغزشی در شیب

بر اساس جدول ۵، از نظر پتانسیل وقوع زمین لغزش؛ ۱۷۰/۶۱۲ کیلومترمربع از شهرستان دارای پتانسیل بسیار کم، ۲۶۲/۹۲۲ کیلومترمربع دارای پتانسیل کم و ۲۷۷/۰۳۲ کیلومترمربع دارای پتانسیل متوسط، می باشد. کلاس های پرخطر و بسیار پرخطر نیز به ترتیب؛ ۲۵۳/۶۲۲ و ۱۵۱/۹۰۲ کیلومترمربع از مساحت شهرستان را پوشش می دهند. تطبیق پراکنش نقاط زمین لغزشی و مناطق در معرض خطر بر اساس نقشه پهنه بندی حاصل از مطالعه، بیانگر این موضوع می باشد که بیشترین تعداد و درصد از سطوح لغزشی در دو کلاس بسیار پرخطر (۳۰/۴۳ در صد از نقاط لغزش یافته) و پرخطر (۶۳/۸۹ در صد از نقاط لغزش یافته) واقع شده اند. به علاوه، طبقه خطر متوسط نیز ۱۹/۵۷ درصد از مناطق لغزشی را شامل می شوند و در دو طبقه کم خطر و بسیار کم خطر، پراکنش نقاط لغزش یافته مشاهده نمی گردد. بررسی پراکنش مناطق شهری و روستایی شهرستان نیز نشان می دهد؛ روستاهای چه جا، زرین گل، سیاه مرزکوه، خولین دره و چلی در طبقه بسیار پرخطر واقع شده اند. طبقه پرخطر نیز روستاهای السستان، گتو، طاویر، وسی سر، محمدآباد، الامن، چینو، افراخته، ماهیان، شیرین آباد و میانر ستاق را پوشش می دهد. همچنین؛ شهرهای علی آباد کتول و فاضل آباد به همراه روستاهای سیاه رودبار، نرسو، الازمن، رحمت آباد، نوده کتول، اسلام آباد، ریگ چشمه، سنگ دوین و الوستان، دارای پتانسیل خطر متوسط می باشند.



شکل ۸. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه شهرستان علی آباد کتول با استفاده از روش مارکوس، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

جدول ۵. اطلاعات طبقات خطر زمین لغزش حاصل از به کارگیری الگوریتم چند معیاره مارکوس

از آنجایی که بخش بزرگی از مساحت شهرستان را انواع سازنده‌های آهکی تشکیل می‌دهند، این عامل در وقوع زمین لغزش‌های محدوده مؤثر است. بنابراین، از مهم‌ترین عوامل دخیل در شکل‌گیری حرکات لغزشی در محدوده، می‌توان به تناوب لایه‌های سخت سنگ آهک در بالا و مارن و شیل و ماسه‌سنگ در زیر، وجود درزها و شکاف‌های بر روی لایه‌ها، شیب تند و نفوذ آب اشاره کرد. ارزیابی مقایسه‌ای نقشه پراکنش نقاط لغزشی با معیار سازنده‌های زمین‌شناسی نیز نشان می‌دهد، به ترتیب؛ ۳۰/۴۳، ۲۶/۰۹، ۲۳/۹۱، ۸/۷۰، ۴/۳۵، ۴/۳۵ و ۲/۱۷ درصد از نقاط لغزشی در سازنده‌های CI و p، Qsd، Pmc2، pd، dckh، Cm دارند.

گسل‌ها از دو جهت می‌توانند در ایجاد زمین لغزش مؤثر باشند؛ اول اینکه منشأ زلزله محسوب می‌شوند و در صورت وقوع زمین لرزه، شیب‌های مجاور انرژی دریافت می‌کنند و در نتیجه احتمال گسیختگی و فروپاشی بیشتری دارند. ثانیاً مسیری که گسل از آن می‌گذرد نسبت به سایر مناطق دارای سنگ‌های ضعیف‌تری است که خود عاملی در ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین لغزش محسوب می‌گردد (Sharifi et al., 2022: 47). لذا، حرکت گسل می‌تواند به شروع زمین لغزش در شیب‌ها منجر گردد و در همین راستا، به‌منظور بررسی نقش گسل‌ها در ایجاد زمین لغزش، نقشه فاصله از گسل تهیه می‌شود (Asghari Saraskanroud & Piroozi, 2002: 82). بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نشان می‌دهد، نقاط بسیار پرخطر و پرخطر، غالباً در فواصل صفر تا ۵۰۰۰ متری، از گسل واقع شده‌اند. مقایسه نقشه فاصله از گسل شهرستان با نقشه پراکنش نقاط لغزش یافته نیز حاکی از این موضوع می‌باشد که ۵۶/۵۲ درصد از زمین لغزش‌ها در فاصله ۴۵۰۰ متری از گسل رخ داده‌اند و مابقی نقاط لغزشی نیز در فواصل بیش از ۴۵۰۰ متری قرار گرفته‌اند. اگرچه راهسازی برای توسعه اقتصادی مناطق مختلف ضروری است، اما این امکان وجود دارد که ساخت‌وسازهای نامناسب، باعث ایجاد مشکلات ناپایداری در شیب‌ها و آسیب رساندن به تأسیسات و محیط‌زیست شود. همانطور که Nasiri et al. (2022) نیز در پژوهش خود

۲۰ تا ۴۰ درصد، ۳۶/۹۶ درصد از نقاط لغزش یافته در دامنه شیبی ۴۰ تا ۶۰ درصد و ۱۰/۸۷ درصد از نقاط لغزشی نیز در طبقات شیب ۶۰ تا ۸۰ درصد، رخ داده‌اند. بانظر به اینکه جهت شیب بر میزان دریافت انرژی خورشیدی و درجه حرارت، بارندگی، نگهداشت رطوبت، وجود پوشش گیاهی و هوازدگی مؤثر می‌باشد، به‌عنوان یکی از فاکتورهای دخیل در افزایش پتانسیل زمین لغزش مورد بررسی قرار می‌گیرد (Golipour et al., 2022: 213). بررسی طبقات پرخطر و بسیار پرخطر و مقایسه آن با نقشه جهات شیب شهرستان، نشان می‌دهد که اغلب پهنه‌های دارای احتمال خطر در جهت‌های شمالی، غربی، شرقی، جنوب شرقی و شمال غربی واقع شده است. همچنین مقایسه معیار جهت شیب و نقاط لغزشی نشان می‌دهد که به ترتیب؛ ۳۲/۶۰، ۱۷/۳، ۱۵/۲۲، ۱۳/۰۴ و ۸/۸۶ درصد از نقاط لغزش یافته در جهات شمالی، غربی، شرقی، شمال غرب و جنوب شرق رخ داده است.

سازنده‌های زمین‌شناسی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری دامنه‌ای هستند و به‌طور کلی ساختار، بافت، استحکام و دوام نسبی یک توده سنگ را منعکس می‌کنند (Esposito et al., 2021: 7). با توجه به نقشه پتانسیل زمین لغزش شهرستان و معیار سازنده‌های زمین‌شناسی، می‌توان بیان کرد که طبقات بسیار پرخطر و پرخطر عمدتاً در پهنه‌هایی با سازنده‌های Cm، pd، dckh و Pmc2 قرار دارد. به‌طوریکه، به ترتیب ۵۲/۵۲، ۳۴/۸۶، ۱۴/۹۲ و ۷/۸۲ کیلومتر مربع از مساحت طبقه بسیار پرخطر متشکل از سازنده‌های Cm، pd، dckh و Pmc2 می‌باشد. به علاوه، در طبقه پرخطر نیز سازنده‌های Cm، pd، Dckh و Pmc2 به ترتیب؛ ۷۴/۷۵، ۴۸/۵۴، ۳۳/۲۳ و ۲۴/۸۲ کیلومتر مربع از مساحت این طبقه را پوشش می‌دهند. لازم به ذکر می‌باشد که سازنده‌های CI، p، Qft1، Qft2، Pr، TRjs و Qsd در رتبه‌های بعدی از لحاظ پتانسیل وقوع زمین لغزش در سطح شهرستان علی‌آباد کنترل قرار دارند. بنابراین می‌توان اذعان داشت، در سطح محدوده مورد مطالعه تمایل به زمین لغزش در سازنده‌هایی با واحدهای سنگ‌شناسی شیل، مارن، سنگ آهک ورقه‌ای، ماسه سنگ و نهشته‌های کواترنر وجود دارد. آهک به دلیل مقاومت کم در برابر فرسایش از عوامل تشدیدکننده وقوع زمین لغزش می‌باشد و

نواحی مرطوب دارای پوشش جنگلی و مراتع می‌باشد و این پدیده به دنبال بارندگی‌های زیاد و در نواحی پرشیب و در اثر از بین رفتن تکیه‌گاه و پاشنه دامنه‌ای و در برخی مواقع تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و کاربری‌های غیراصولی شکل می‌گیرد. پیمایش‌های میدانی نیز نشان می‌دهد، اولین عارضه‌ای که پس از رانش زمین در اراضی جنگلی رخ می‌دهد کج شدگی درختان از راستای قائم می‌باشد. پرواضح است که با زمین لغزش در اراضی جنگلی درختان درگیر شده، ابتدا خشک شده و پس از مدتی از بین می‌روند.

فاصله از یک آبراهه یکی از عوامل مهم در ایجاد ناپایداری دامنه‌ای و به‌ویژه؛ زمین لغزش می‌باشد. وجود آبراهه‌ها با نفوذ آب در زمین و ایجاد سستی، باعث ایجاد اختلاف بین دیوارها و سنگ بستر می‌شود که با افزایش شیب همراه است و افزایش شیب در نهایت به از دست دادن تعادل و ناپایداری دامنه منجر می‌شود (Nanehkaran et al., 2023: 6). با بررسی نقشه موضوعی فاصله از رودخانه می‌توان نتیجه گرفت، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر تا فاصله ۵۰۰ متری از رودخانه قرار دارند و بررسی مقایسه‌ای پراکنش نقاط لغزشی با این معیار نیز نشان می‌دهد، تمامی این نقاط در فاصله صفر تا ۵۰۰ متری از رودخانه‌ها قرار دارند. بارندگی به دلیل تأمین آب خاک می‌تواند با افزایش فشار استاتیکی آب بر درزها و شکاف‌ها و امکان ایجاد سستی در خاک، عامل موثری در ایجاد زمین لغزش باشد (Ou et al., 2024: 6). بررسی معیار بارش بیانگر این موضوع می‌باشد که پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر در سطوحی با بارش ۸۰۰-۶۰۰ میلی‌متر قرار گرفته است. بررسی نقاط لغزشی نیز نشان می‌دهد، به ترتیب؛ ۲۶/۰۹ و ۲۳/۲۱ درصد از نقاط لغزشی در سطوحی بارشی ۸۰۰-۷۵۰ و ۷۵۰-۷۰۰ میلی‌متر قرار دارند و پهنه‌های بارشی ۷۰۰-۶۵۰ و ۶۰۰-۶۵۰ میلی‌متر نیز به ترتیب؛ ۲۱/۷۴ و ۱۰/۸۷ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان را پوشش می‌دهد. اعتبارسنجی نتایج حاصل از پژوهش به وسیله منحنی راک، مقدار سطح زیرمنحنی (۰/۸۹) را نشان می‌دهد که این امر بیانگر عملکرد بسیار خوب مدل و کارایی آن برای شناسایی پتانسیل وقوع زمین لغزش در سطح شهرستان علی‌آباد کتول، است (شکل ۹).

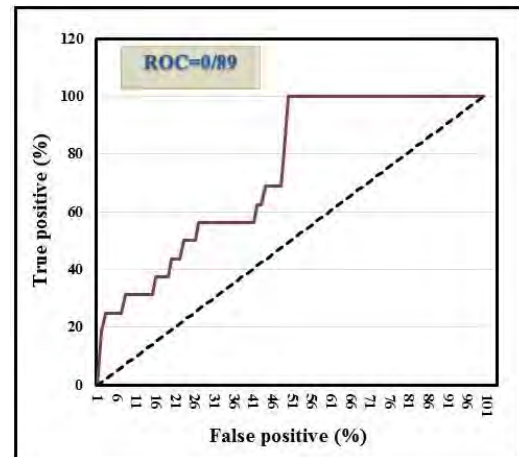
مطرح نمودند، در استان‌های شمالی کشور از جمله؛ استان گلستان، در صد رانش زمین به دلیل احداث جاده‌های جنگلی نسبتاً زیاد است. علاوه بر مسأله حذف پاشنه خاکبرداری بر اثر ترانشه‌زنی، عبور ماشین‌آلات سنگین نیز در این مناطق سبب تشدید حرکت توده‌ای در کنار محور جاده می‌گردد. ارزیابی مقایسه‌ای خروجی حاصل از پژوهش با معیار فاصله از راه ارتباطی نشان می‌دهد، پهنه‌های بسیار پرخطر و پرخطر در فاصله صفر تا ۲۵۰۰ متری از راه‌های ارتباطی شهرستان قرار دارند و مقدار محدودی از مساحت این نواحی پرخطر نیز در فواصل ۲۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متری واقع شده‌اند. بررسی نقاط لغزشی نیز نشان می‌دهد، ۷۶/۰۸ درصد از نقاط لغزشی در فاصله صفر تا ۲۵۰۰ متری از راه‌های ارتباطی، ۲۱/۷۳ درصد نیز در فواصل ۲۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متری و مابقی در فواصل بیش از ۴۰۰۰ متری از راه‌های ارتباطی شهرستان، قرار دارند.

کاربری اراضی بر ویژگی‌های سطحی زمین تأثیر گذاشته و واکنش به فرآیندهای زمین‌شناسی حاکم بر منطقه از جمله هوازگی و فرسایش را تغییر می‌دهد (Asghari Saraskanroud & Piroozi, 2024: 82). بررسی انطباقی بین نقشه پهنه‌بندی با نوع کاربری اراضی شهرستان بیانگر این امر می‌باشد که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، به‌طور عمده در کاربری‌های مراتع و مناطق با پوشش جنگلی واقع شده‌اند و نواحی مسکونی و زراعی در اولویت بعدی قرار دارند. به‌طوریکه در طبقه بسیار پرخطر ۷۶/۷۵ کیلومتر مربع دارای کاربری مراتع، ۶۴/۶ کیلومتر مربع به‌صورت جنگل، ۵/۲۶ کیلومتر مربع به‌صورت مسکونی و ۵/۱۹ کیلومتر مربع با کاربری زراعی می‌باشد. همچنین، به ترتیب؛ ۳۱/۳۶، ۱۵۹/۱۶، ۱۱۵/۶۱ و ۲۷/۸۷ کیلومتر مربع از طبقه پرخطر دارای کاربری جنگلی، زراعی، مراتع و مسکونی می‌باشد. مقایسه بین نقاط لغزشی موجود با نقشه معیار کاربری نیز نشان می‌دهد که به ترتیب؛ ۶۰/۵۸ و ۲۸/۲۶ درصد از نقاط لغزشی در کاربری جنگلی و مراتع قرار دارد. کاربری‌های زراعی و مسکونی نیز به ترتیب؛ ۸/۶۰ و ۴/۳۵ درصد از نقاط لغزش یافته را پوشش می‌دهند. لذا، می‌توان بیان داشت که از پدیده‌های ژئومورفولوژیک در ارتفاعات منطقه وقوع زمین لغزش‌ها در

فعالیت‌های عمرانی، سازندهای زمین‌شناسی مستعد (تناوب لایه‌های سنگ آهک، مارن، شیل و ماسه‌سنگ)، زیرشویی تکیه‌گاه دامنه‌ای توسط آب‌های جاری، ساختارهای گسلی و جهت شیب (به ویژه؛ جهات شمالی، غربی، شرق، جنوب‌شرقی و شمال‌غربی)، اشاره کرد.

نتیجه ارزیابی دقت روش مارکوس در پهنه بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان علی‌آباد کتول با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی و نقاط لغزشی، نشان دهنده دقت عالی مدل با مساحت زیر منحنی ۰/۸۹ درصد بوده و نتایج پهنه‌بندی تا حد زیادی با واقعیت‌های زمینی منطبق می‌باشد. بنابراین می‌توان اذعان داشت که نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پژوهش‌های به‌عمل آمده توسط؛ [Vojtekova & Salehpour, Madadi et al. \(2021\)](#)، [Vojtek, \(2020\)](#)، [Kumar, Sharifi et al. \(2022\)](#)، [Jam et al. \(2021\)](#)، [Asghari Saraskanroud & Piroozi, et al, \(2022\)](#)، [Madadi & Piroozi, Saha et al. \(2023\)](#)، [\(2022\)](#)، [Asghari, Tesfa & Sewnet \(2024\)](#)، [\(2023\)](#)، [Saraskanroud & Piroozi \(2024\)](#) مبنی بر عملکرد خوب روش‌های تحلیل چندمعیاره در بررسی و ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش، همخوانی دارد. لذا با توجه به نتایج این تحقیق و دقت مناسب مدل مارکوس، به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه، در راستای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش و شناسایی مناطق در معرض خطر، بهره‌گیری از این روش پیشنهاد می‌گردد.

در نهایت لازم به ذکر می‌باشد، با توجه به وسعت بالای پهنه‌های دارای احتمال وقوع زمین‌لغزش در سطح شهرستان علی‌آباد کتول، بایستی اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی کارشناسی شده در این پهنه‌های صورت پذیرد. با توجه به نتایج مطالعه و با نظر به اینکه شیب، کاربری اراضی و بارش مهمترین معیارهای دخیل در وقوع زمین‌لغزش در سطح شهرستان علی‌آباد کتول می‌باشند. انجام اقدامات کنترل زمین‌لغزش در رابطه با این معیارها، شامل مجموعه‌ای از اقدامات پیشگیرانه و ترمیمی به‌منظور کاهش خطر زمین‌لغزش و پایداری دامنه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. در رابطه با معیار شیب، پلکانی نمودن شیب‌ها، پایدارسازی ترانشه‌ها، استفاده از



شکل ۹. منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

۴. بحث و نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی با خسارات اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجه است که به‌منظور کاهش کاهش تلفات و خسارات احتمالی و مدیریت آن، پهنه‌بندی و شناسایی عوامل دخیل در شکل‌گیری این پدیده مورد نیاز است. این پژوهش، با هدف شناسایی عوامل مؤثر و تعیین پهنه‌های مستعد وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره مارکوس در سطح شهرستان علی‌آباد کتول واقع در استان گلستان، انجام شده است. براساس نتایج حاصل از پژوهش؛ عوامل شیب، کاربری اراضی و بارش به‌ترتیب با ضرایب وزنی ۰/۱۵۳، ۰/۱۴۲ و ۰/۱۳۸ در پتانسیل وقوع زمین‌لغزش شهرستان علی‌آباد کتول، بیشترین اهمیت وزنی را دریافت نمودند. به علاوه، با نظر به پوشش ۱۵۱/۹۰۲ و ۲۵۳/۶۲۲ کیلومترمربعی طبقات بسیار پرخطر و پرخطر در سطح محدوده، نتایج این پژوهش بیانگر پتانسیل بالای این شهرستان از لحاظ احتمال وقوع خطر زمین‌لغزش می‌باشد. به‌طور کلی؛ در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر، پراکندگی مکانی عوامل به‌گونه‌ای است که شرایط مناسبی را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌کند که در این راستا می‌توان به تسلط دامنه‌هایی با شیب متوسط تا تند (۱۵ تا ۸۰)، سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری، دریافت بارش‌های فراوان، کاربری‌های متنوع (پوشش جنگلی، مراتع، زراعی و مسکونی)، ترانشه‌زنی و از بین بردن پاشنه دامنه‌ها به دنبال عملیات راهسازی و

به داخل خاک و کاهش نفوذ آب با استفاده از پوشش‌های سطحی مناسب مورد توجه جدی قرار گیرد. در نهایت می‌توان اذعان داشت، با عنایت به این موضوع که زمین‌لغزش‌ها پدیده‌هایی پیچیده هستند و مطالعات دقیق و گسترده زمین‌لغزش با استفاده از تجهیزات پیشرفته یا آزمایش‌های میدانی به ویژه در مناطق وسیع، پرهزینه می‌باشد. نتایج این تحقیق با معرفی اهمیت معیارهای دخیل در وقوع زمین‌لغزش شهرستان و شناسایی نواحی دارای احتمال وقوع این مخاطره در قالب پهنه‌بندی، جنبه کاربردی داشته و می‌تواند به صورت ابزار قدرتمندتری برای مدیریت ریسک و کاهش خسارات و تلفات ناشی از مخاطره محیطی زمین‌لغزش، در اختیار ذینفعان و سازمان‌هایی مانند؛ سازمان مدیریت بحران، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، اداره کل راه و شهرسازی، سازمان آب منطقه‌ای و سایر ارگان‌های مرتبط با مسائل مخاطرات محیطی قرار گیرد.

تقدیر و سپاس‌گزاری: این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد. از این رو تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌داریم.

References

- Abdulla, A., Baryannis, G., & Badi, I. 2023. An integrated machine learning and MARCOS method for supplier evaluation and selection. *Decision Analytics Journal*, 9, 100342, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100342>
- Abedini, M., Mozafari, H. & Faalnaziri, M. 2022. Investigating and comparing the effectiveness of information value models and frequency ratio coefficient and Shannon's entropy in zoning rock fall risk (case study: Zanjan-Teham-Taram road). *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 3(1), 55-75. <https://doi.org/10.52547/gsama.3.1.5> (In Persian).
- Ahmadpour, A., Ghafarpur Anbaran, P. & Babayyan, H. R. 2024. Landslide and Rockfall susceptibility zoning in the area of Kerend-e Gharb and Sarpol –e Zahab (the axis of Pataq pass) in Kermanshah province. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 5(2), 39-58. <https://doi.org/10.22034/gsama.2024.715552> (In Persian).
- Arshad, MW., Mesran, M., Setiawansyah, S., Ryan Randy Suryono, RR., & Rahmanto, Y (2023). Combination of CRITIC Weighting Method and Multi-Atributive Ideal-Real Comparative Analysis in Staff Admissions. *Journal of Computer Science and Information Technology*, 2 (4), 77-86. <https://doi.org/10.47065/explorer.v4i2.1428>
- Asghari Saraskanroud, S., & Piroozii, 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.

- <https://doi.org/10.22108/gep.2024.140985.16396>
(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).
- Asghari Sareskanrood, S., Mohammadzadeh Shishegaram, M., & Asghari Sareskanrood, S. (2022). Zoning and estimation of range movements in Hashtroud city using radar interferometry and MABAC model. *Environmental Management Hazards*, 9(2), 133-150. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2022.346994.736> (In Persian).
- Badola, SH., Mishra, V.N., Parkash, S., & Pandey, M. 2023. Rule-based fuzzy inference system for landslide susceptibility mapping along national highway 7 in Garhwal Himalayas, India. *Quaternary Science Advances*, 11, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100093>
- Bhattacharyya, R., & Mukherjee, S. 2021. Fuzzy Membership Function Evaluation by Non-Linear Regression: An Algorithmic Approach. *Fuzzy information and engineering*, 12 (4), 412-434. <https://doi.org/10.1080/16168658.2021.1911567>
- Caleca, F., Scaini, C., Frodella, W., & Tofani, V. 2024. Regional-scale landslide risk assessment in Central Asia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 24, 13-27. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-13-2024>.
- Entezari, M., Esteki, S., & Gholamhaydari, H. 2024. Investigation of State of Landslide in Tarom Watershed Using Risk-Vulnerability Superimposed Model. *Journal of Geography and Planning*, 28(89), 61-39. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.54607.3073> (In Persian).
- Esfandyari Darabad, F., Rostami, G., Mostafazadeh, R. & Abedini, M. 2024. Spatial assessment and zoning of landslide risk in Zamkan watershed using support vector machine and logistic regression. *Hydrogeomorphology*, 11(40), 123-102. <https://doi.org/10.22034/hyd.2024.61467.1737> (In Persian).
- Esposito, G., Carabella, C., Paglia, G., & Miccadei, E. 2021. Relationships between Morphostructural/Geological Framework and Landslide Types: Historical Landslides in the Hilly Piedmont Area of Abruzzo Region (Central Italy). *Land*, 10(3), 287, 1-28. <https://doi.org/10.3390/land10030287>
- 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).
- Jafarzadeh Ghoushchi, S., Shaffiee Haghshenas, S., Memarpour Ghiaci, A. Guido, G., & Vitale, A. 2023. Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment. *Neural Comput & Applic*, 35, 4549-4567. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07929-4>
- Javan, F., Atashbahar, R. and Motalebpoor, A. (2025). Zoning of Environmental Hazards in Tourism Destinations with Emphasis on Flooding (Case Study: Sarvabad County, Kurdistan Province). *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(3), 43-56. <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144141.1025> (In Persian).
- Keshavarz, S. R., Bayati Eshkaftaki, J. & Almodaresi, S. A. 2022. Spatial analysis of the amount of landslides using radar interferometric technique in order to reduce hazards (Study area: Sarbaz area in Isfahan province). *Environmental Management Hazards*, 9(3), 271-288. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2023.347893.741> (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://doi.org/10.22044/jme.2022.12235.2222> .
- Madadi, A. & piroozi, E. 2023. Landslide risk zoning in the upstream basin of Yamchi Dam in Ardabil province, using multi-criteria decision making methods MARCOS and CODAS. *Quantitative Geomorphological Research*, 12(1), 73-94. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2023.370812.1390> (In Persian).

- Madadi, A., Piroozi, E. & Faal Naziri, M. 2021. A Comparative Evaluation of MABAC and CODAS Multi-Criteria Decision Algorithms in Landslide Risk Zoning (Case Study: Kowsar County). *Geography and Environmental Planning*, 31(4), 1-24. <https://doi.org/10.22108/gep.2020.124723.1348>. (In Persian).
- Mahmoody-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 monoclinial setting (Central Italy): Numerical vs. geomorphological approach. *Land*, 10 (6), 624, 1-22. <https://doi.org/10.3390/land10060624>.
- Nanehkaran, Y. A., Chen, B., Cemiloglu, A., Chen, J., Anwar, S., Azarafza, M., & Derakhshani, R. 2023. Riverside Landslide Susceptibility Overview: Leveraging Artificial Neural Networks and Machine Learning in Accordance with the United Nations (UN) Sustainable Development Goals. *Water*, 15(15), 2707, 1-28. <https://doi.org/10.3390/w15152707>.
- Nasiri, M., Mohammadzade, M., Iotfalian, M., & Parsakhoo A. 2022. Zoning and Field Study of Landslides along Forest Roads of Darabkola-Sari. *J Watershed Manage Res*. 13(26), 105-114. <https://doi.org/10.52547/jwmmr.13.26.105> (In Persian).
- Ou, L., Huang, C. & Cao, Y. 2024. Research on landslide hazard assessment based on improved analytic hierarchy process optimizing multiple rainfall indicators. *Discov Appl Sci*, 6 (409), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06119-2>.
- Rostamizad, G., & Dastranj, A. 2024. Evaluating the sensitivity of the landslide event using the support vector machine algorithm. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(4), 299-312. <https://doi.org/10.22098/mmws.2023.13934.137> 9 (In Persian).
- Sadeghi, H. and Javan, F. (2024). The Evaluation of Tourist Villages of Iran in terms of Geophysical Vulnerability using Fuzzy Scenarios. *Journal of Rural Research*, 15(4), 85-100. <https://doi.org/10.22059/jrrr.2024.383580.1993> (In Persian).
- Sadeghi, H. and Javan, F. (2025). Vulnerability of Iranian tourism villages in terms of Landslide hazard using GIS. *Geography*, 23(84), 153-170. <https://doi.org/10.22034/jiga.2025.2055364.1385> (In Persian).
- Saha, A., Villuri, VGK., 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 Science*, 13(8), 5062, 1-23. <https://doi.org/10.3390/app130850629>.
- Sharifi, H., Ramazanipore, M., Ebrahimi, L. & Haghzad, A. 2022. Landslide hazard zoning of Noor city using network analysis model. *Economic Geography Research*, 2(6), 40-55. <https://doi.org/10.1001.1.27173747.1400.2.6.4.0>. (In Persian).
- Sim, K.B., Lee, M.L. & Wong, S.Y. A. 2022. review of landslide acceptable risk and tolerable risk. *Geoenviron Disasters*, 9 (3), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40677-022-00205-6>.
- Singh, U., Nandan, R., & Tiwari, A. 2024. Recent Trends and Techniques in Landslide Hazard Assessment. *Qeios*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.32388/LBYEQN>.
- Tesfa, CH., & Sewnet, D. 2024. GIS-based MCDM approach for landslide hazard zonation mapping in east Gojjam zone, central Ethiopia. *Quaternary Science Advances*, 15 (10), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2024.100210>.
- 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>.
- Zivari, R. 2015. Karst Development Potential in Khosh yeilagh Carbonate Formation in Aliabad Katul area, Golestan Province, Master's thesis, Faculty of Earth Sciences, Applied Geology, Kharazmi University. (In Persian) <https://irandoc.ac.ir/>