Landslide risk zoning in Khorramabad County

Sayyad Asghari Saraskanroud [a,*], **Elnaz Piroozi** [b]
[a] *Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*
[b] *Ph.D. Graduated of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/09/29 Accepted:2026/02/26)

Extended abstract

1- Introduction

Slope movements are among the geomorphological and geological hazards that play a very effective role in changing the shape of the earth's surface (Jafari and Timajani, 2024:188). Landslides, as a type of slope movements, refer to the downward movement of a mass of rock, debris, and soil on a slope under the influence of gravity (Silakhouri et al., 2023:123; Singh et al., 2024:1). Landslides can have significant socio-economic and environmental impacts and lead to casualties, injuries, and damage to property and infrastructure (Gilanipour et al., 2025:1404). Given the importance of the issue, controlling and zoning the potential risk of landslides as one of the types of hazards seems essential in sustainable development. Khorramabad County is prone to landslide hazards due to its location in the folded Zagor zone and geological characteristics such as lithology, physiographic, climatic, and human conditions. Given the importance of the issue, it seems essential to examine the effect of each criterion and appropriately estimate the risk of the county to landslide hazards. Therefore, in this study, zoning of Khorramabad County against landslide hazards 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. Arc GIS, 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 Khorramabad 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 results of the study, 479.29 square kilometers of the city have very low potential, 971.24 square kilometers have low potential, and 1361.33 square kilometers have medium potential. The high-risk and very high-risk classes cover 1362.04 and 820.10 square kilometers of the city area, respectively. Matching the distribution of landslide points and areas at risk based on the zoning map obtained from the study shows that the largest number and percentage of landslide surfaces are located in the two very high-risk (44.44 percent of landslide points) and high-risk (42.22 percent of landslide points) classes. In addition, the medium-risk class also includes 14.44 percent of landslide areas, and in the two low-risk and very low-risk classes, the distribution of landslide points is not observed. A study of the distribution of urban and rural areas in the county also shows that

* **Corresponding Author:** s.asghari@uma.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

the city of Biranshahr (Chaghlondi), along with 42.30 percent of the villages in the county, are in the very high-risk category. The cities of Khorramabad, Grab, and Zagheh, along with 34.03 percent of the villages, are in the high-risk category. The middle category includes the city of Sepiddasht and 17.65 percent of the villages in the county.

The research findings also showed that the dominance of slopes with medium to steep slopes (10 to 50), altitudes of 1000 to 3000 meters, receiving abundant rainfall, diverse land uses (especially agricultural, forest cover, pastures), trenching and removal of the slopes' toes following road construction and development activities, susceptible geological formations (alternation of limestone, marl, shale, and sandstone layers), undercutting of the slope support by flowing waters, fault structures, and slope direction (especially; northern, western, northwest, eastern, and southeastern directions) have led to an increase in landslide potential at the county level.

4- Discussion & Conclusions

Validation of the Marcus model using the ROC curve (with an area under the curve of 0.92%) indicates the excellent efficiency and accuracy of the model for preparing a landslide hazard map of the region. Therefore, given the appropriate accuracy of the MARCOS model, in order to save time and money, in order to zoning landslide susceptibility and identify areas at risk, it is recommended for other researchers to use this method. Finally, it should be noted that, given the large extent of landslide-prone areas in Khorramabad County, it is necessary that the results of this study be given serious attention by relevant organizations (such as the Crisis Management Organization, the General Administration of Natural Resources and Watershed Management, the General Administration of Roads and Urban Development, the Regional Water Organization, and other organizations related to environmental hazard issues) in order to introduce important criteria involved in the creation of landslides in the county and identify areas with a high probability of this hazard, in order to carry out protective, watershed management, and preventive and restorative management measures to reduce the risk of landslides and stabilize slopes.

Key Words: Risk, Slope movement, multi-criteria analysis, Khorramabad.

Cite this article: Asghari Saraskanroud, S., Piroozi, E. (2026). Landslide risk zoning in Khorramabad County. *Journal of* Environmental *Erosion Research; 61 (1):64-87*. http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.64

© The Author(s).

Published by Hormozgan University Press.

DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.64

URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در شهرستان خرم‌آباد

صیاد اصغری سراسکانرود*: *استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران*
الناز پیروزی: *دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷)
DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.64

چکیده

زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که در تحول و فرسایش اشکال زمین مشارکت دارد. این پدیده زمانیکه جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، می‌تواند خسارات و تلفات فراوانی را درپی داشته باشد. با توجه به اهمیّت موضوع، کنترل و پهنه‌بندی خطر بالقوهٔ زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از انواع مخاطرات، در توسعهٔ پایدار ضروری به نظر می‌رسد. شهرستان خرم‌آباد به‌دلیل قرارگیری در زون زاگرس چین‌خورده و داشتن خصوصیات زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، انسانی و شرایط آب‌وهوایی مستعد بروز خطرات ناشی از پدیدهٔ زمین‌لغزش است. لذا هدف از این تحقیق، شناسایی مهم‌ترین عوامل ایجاد زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی وقوع آن، در سطح شهرستان خرم‌آباد با استفاده از تکنیک چندمعیارهٔ مارکوس می‌باشد. در راستای تحقق اهداف پژوهش، معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش، سازندهای زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شد. نتایج مطالعه نشان داد که معیارهای شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی و فاصله از شبکه راه‌ها، به‌ترتیب با ضرایب وزنی ۰/۱۵۸، ۰/۱۵۳، ۰/۱۳۱ و ۰/۱۱۷، به‌عنوان تأثیرگذارترین پارامترهای مؤثر بر زمین‌لغزش در محدوده شهرستان می‌باشند. با توجه به نقشهٔ خطرپذیری زمین‌لغزش در شهرستان خرم‌آباد، ۸۲۰/۱۰ کیلومترمربع از منطقه در طبقهٔ خطر بسیار زیاد، ۱۳۶۲/۰۴کیلومترمربع در طبقهٔ خطر زیاد و ۱۳۶۱/۳۳ کیلومترمربع در طبقهٔ متوسط قرار دارند که با توجه به طیف وسیع مناطق با احتمال بالای وقوع خطر، اجرای برنامه های مدیریت ریسک و پروژه‌های حفاظتی ضرورتی انکارناپذیر است. همچنین ارزیابی مقایسه‌ای توزیع فضایی نقاط زمین‌لغزش با نتایج پژوهش، به انطباق این نقاط با پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر اشاره دارد. نتایج تحلیل منحنی ROC برای روش مارکوس نیز نشان داد که نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش تهیه شده در منطقه موردمطالعه با سطح زیر منحنی (AUC۰/۹۲) دارای قدرت پیش‌بینی عالی است.

واژگان کلیدی: مخاطره، حرکت دامنه‌ای، تحلیل‌چندمعیاره، خرم‌آباد.

* نویسندهٔ مسئول: s.asghari@uma.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

۱ـ مقدمه

مخاطرات طبیعی اصولاً به تغییراتی اطلاق می‌شود که در شرایط زیست‌محیطی رخ می‌دهد، به گونه‌ای که سبب گسسته شدن روند زندگی طبیعی مردم و قرار گرفتن آن‌ها در معرض عناصر و عوامل خطرناک و تخریب‌زای محیط می‌شود (Abbasi et al, 2017). حرکات دامنه‌ای ازجمله مخاطرات ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی می‌باشد که در تغییر شکل سطح زمین نقش بسیار مؤثری دارد (Jafariand Timaji, 2024). زمین‌لغزش به‌عنوان یک نوع از حرکات دامنه‌ای، به حرکت یک تودهٔ سنگ، آوار و خاک در روی دامنه به سمت پایین، تحت تأثیر نیروی جاذبه اطلاق می‌گردد (Silakhori et al, 2023; Singh et al., 2024). شکل‌گیری خطر زمین‌لغزش به عوامل متعدّدی همچون؛ شیب، زمین‌شناسی، فعالیت زمین‌ساختی، زلزله، هوازدگی، شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، پوشش‌گیاهی، نوع کاربری‌زمین و عوامل انسانی بستگی دارد (Caleca et al., 2024). زمین لغزش می‌تواند اثرات اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی داشته باشد و منجر به تلفات، جراحات و آسیب به اموال و زیرساخت‌ها شود (Gilanipoor et al, 2025). وقوع این پدیده به راه‌های ارتباطی، مناطق مسکونی، خطوط انتقال انرژی، سازه‌های مهندسی، پوشش‌گیاهی و زمین‌های زراعی آسیب زده و می‌توانند به تخریب جنگل‌ها، مراتع، اراضی زراعی، مسدود نمودن رودخانه‌ها و تشکیل سدهای طبیعی، تخریب خاک و افزایش میزان رسوب در پشت سدها و دریاچه‌های طبیعی منجر گردد (Jafari et al, 2025; Asgari and Shadfar, 2025; Materazzi et al, 2021; Nanehkaran et al, 2023). افزون بر این، براساس گزارشات پایگاه بین‌المللی بلایای طبیعی، رانش زمین در بین بزرگ‌ترین بلایا 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). از آنجا که پیش‌بینی زمان وقوع زمین‌لغزش از توان علمی بشر خارج است، شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس توان خطر ناشی از بروز این پدیده اهمیّت زیادی دارد (Pakbazi, 2023).در این راستا لازم به ذکر است که از یک سو با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکان تحلیل و هم‌پوشانی داده‌های محیطی، زمین‌شناسی، اقلیمی و انسانی فراهم شده و می‌توان نقشه‌های حساسیت و پهنه‌بندی زمین‌لغزش را تهیه کرده و مناطق مستعد این پدیده را شناسایی نمود (Sadeghi and Javan, 2025; Diara et al, 2023). از سوی دیگر در چند دههٔ 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 تجزیه‌وتحلیل مخاطرات طبیعی به کار گرفته شده‌اند (Mahmoody-Vanolya, 2021). لذا استفاده از سیستم‌های اطّلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با یک رویکرد تلفیقی، می‌تواند روند برنامه‌ریزی در تشخیص موارد بحرانی و اضطراری را تسریع نموده وبه صدور نتایج مناسب منجر گردد (Asghari Saraskanroud and Piroozi, 2022).

به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ خطر زمین‌لغزش برای مناطق مختلف نیز طی دو دههٔ اخیر پژوهش‌های زیادی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت پذیرفته است. به‌عنوان مثال؛ Madadi Vojtekova and Vojtek (2020) با استفاده از روش فرآیند سلسله‌مراتبی، به ارزیابی پتانسیل لغزش زمین، در شهر هاندلوا اسلواکی پرداختند. با توجه به نتایج مطالعه، پهنهٔ با حساسیت بالا و بسیار بالا، ۵۱/۹ درصد از کل محدوده را تشکیل می‌دهد و شیب به عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شده است. Kumar و همکاران (2020) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به پیش‌بینی فضایی خطر

* نویسندهٔ مسئول: s.asghari@uma.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

زمین‌لغزش در منطقهٔ کولو هیماچال پرادش هند، پرداختند. نتایج مطالعه نشـان داده اسـت که ۶۸ درصـد از مسـاحت محدوده مطالعاتی دارای پتانسـیل بالای لغزش می‌باشـد. Madadi و همکاران (2021) با اسـتفاده روش‌های چندمعیارهٔ ماباک و کوداس، به شناسایی مناطق دارای احتمال وقوع زمین‌لغزش در شهرستان کوثر پرداختند. براساس نتایج حاصل از روش ماباک به‌ترتیب؛ ۱۷/۸۹ و ۲۵/۲۲ درصـد و طبق نتایج به‌دست آمده از روش کوداس به‌ترتیب؛ ۹/۰۷ و ۲۲/۱۸ درصـد از مساحت محدوده در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر واقع شدند. Sharifi و همکاران (2022) خطر زمین‌لغزش در شـهرسـتان نور را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش حاکی از قرارگیری حدود ۱۴/۴۹ درصـد از منطقه در کلاس زمین‌لغزش با احتمال زیاد می‌باشد که این پهنه‌های پرخطر به‌طور عمده در بخش‌های شـمال، شـمال‌غرب و شمال‌شرق شهرستان قرار دارند. Saha و همکاران (2023) با بهره‌گیری از روش فرآیند تحلیل سـلسـله‌مراتبی، خطر زمین‌لغزش در بخشی از ناحیه دارجلینگ در شمال‌شرقی هند را مورد ازیابی قرار دادند و بر اساس نتایج به دسـت آمده، ۳۷/۸۶ درصد از منطقه در پهنه‌های پرخطر قرار دارد و انجام اقدامات مدیریتی، در منطقه ضروری به نظر می‌رسـد. Madadi and Piroozi (2023) با اسـتفاده از روش‌های چندمعیارهٔ مارکوس و کوداس به بررسی خطر زمین‌لغزش در حوضـهٔ بالادست سد یامچی پرداختند. طبق نتایج به‌دست آمده، عامل شیب، کاربری اراضی و لیتولوژی، در وقوع زمین‌لغزش حوضـه بیشترین اهمّیت را دارند و خروجی حاصل از روش‌های مورد استفاده، نشان‌دهندهٔ پتانسیل بالای حوضه از لحاظ وقوع خطر زمین‌لغزش می‌باشد. به‌علاوه، یافته‌های این پژوهش بیانگر دقت عالی روش مارکوس با مسـاحت زیر منحنی ۰/۸۱، می‌باشـد. Abedini and Pirouzi (2024) با استفاده از روش مارکوس و کوداس به بررسی وقوع خطر زمین‌لغزش در مسـیرارتباطی نیر- سراب پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که به‌ترتیب عوامل شیب، کاربری اراضـی و لیتولوژی، بیشـترین تأثیرگذاری را در رخداد لغزش‌های منطقه دارند و خروجی هر دو روش مارکوس و کوداس، نشان‌دهندهٔ توان بالای منطقهٔ مورد مطالعه از لحاظ رخداد خطر زمین‌لغزش است. اعتبارسنجی روش‌ها نیز بیانگر دقت خیلی‌خوب روش کوداس، با مساحت زیر منحنی ۰/۷۶ و دقت عالی روش مارکوس، با مساحت زیر منحنی ۰/۸۷ اسـت. Tesfa and Sewnet (2024) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ شرقی گوجام، اتیوپی مرکزی با استفاده از فرآیند تحلیل سـلسـله مراتبی، پرداختند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که عوامل فاصله از رودخانه، بارندگی و فعالیت‌های انسـانی عوامل محرک اصـلی برای ایجاد زمین‌لغزش در منطقه بوده است و براساس اعتبارسنجی نقشهٔ پهنه‌بندی بیش از ۸۰ درصد از زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده با پهنه‌های با خطر بالا، مطابقت دارند.

شـهرسـتان خرم‌آباد به‌دلیل قرارگیری در زون زاگر چین‌خورده، داشـتن خصـوصیات زمین‌شناسی نظیر لیتولوژی، شرایط فیزیوگرافی، آب‌وهوایی و انسانی مستعد بروز خطرات ناشی از پدیدهٔ زمین لغزش است. در نمونه مطالعات پیشین انجام شـده در سـطح شـهرسـتان نیز به پتانسـیل بالای محدودهٔ مورد مطالعه از نظر رخداد زمین‌لغزش تأکید شده است. به‌عنوان مثال؛ Hatami Fard و همکاران (2012) خطر زمین‌لغزش در شـهرسـتان خرم‌آباد را با اسـتفاده از مدل AHP مورد بررسـی قرار دادند و براساس یافته‌های پژوهش به‌ترتیب حدود ۲۵/۵۱ و ۶/۱۷ درصد از مسـاحت شهرستان با احتمال وقوع خطر بسـیار زیاد و زیاد معرفی شده است. Karam و همکاران (2013) با استفاده از مدل ترکیبی-OWA AHPبه پهنه‌بندی زمین‌لغزش در شـهرستان خرم‌آباد پرداختند و نتایج نشان داده است که پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد، به ترتیب ۴۲/۲۴ و ۵۲/۱۶ درصـد از مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده‌اند. بنابر اهمیّت موضوع، بررسی

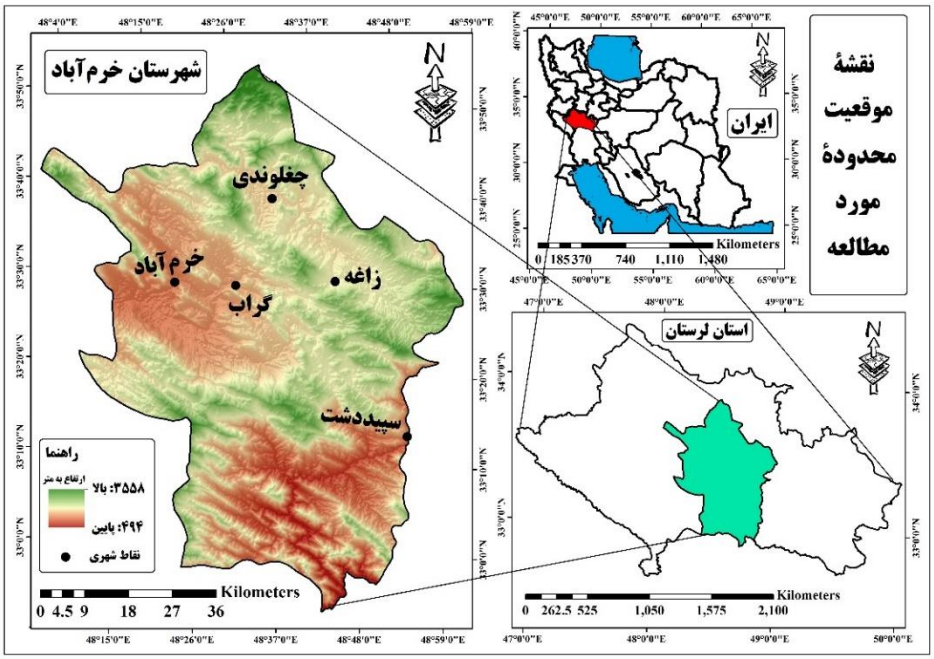
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

تأثیر هریک از معیارها و برآورد مناسب از خطرپذیری شهرستان در برابر مخاطرهٔ زمین‌لغزش، به‌منظور عملیات اجرایی و اصلاحی، کنترل اثرات منفی ناشی از این مخاطره و برنامه‌ریزی استفاده بهینه از منابع ضروری به نظر می‌رسد. از آن نظر که بررسی پیشینهٔ پژوهشی نشان می‌دهد، تاکنون مطالعه ای با استفاده از الگوریتم چندمعیارهٔ مارکوس در سطح شهرستان خرم‌آباد صورت نپذیرفته است. به نظر می‌رسد که این تحقیق به عنوان نخستین مطالعهٔ پهنه بندی زمین‌لغزش با استفاده از این الگوریتم در شهرستان خرم آباد، می‌تواند مبنای علمی ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی‌های آینده و کاهش مخاطرات طبیعی در منطقه فراهم کند.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

شهرستان خرم‌آباد در محدودهٔ ۴۸ درجه و ۴ دقیقه و ۶ ثانیه تا ۴۸ درجه ۹۹ دقیقه و ۵ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۸۹ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۳۳ درجه ۸۹ دقیقه و ۵ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این شهرستان در مرکز استان لرستان واقع شده است و مساحت آن بالغ بر ۴۹۹۴ کیلومترمربع می‌باشد. این شهرستان از شمال با شهرستان‌های بروجرد و سلسله، از شرق با شهرستان‌های دورود و الیگودرز، از غرب با شهرستان چگنی و از جنوب با شهرستان پلدختر و استان خوزستان ارتباط دارد. این شهرستان دارای ۴ بخش مرکزی، بیرانوند، پاپی و زاغه و ۱۷ دهستان است. شهرستان خرمآباد دارای آب و هوایی معتدل است. براساس داده‌های هواشناسی، ماه های تیر و مرداد ماه با میانگین دمای به‌ترتیب ۲۹/۶ و ۲۹/۱ درجه سانتی‌گراد، گرمترین ماه‌ها و دی ماه و بهمن ماه با میانگین دمای ۴/۹ و ۶/۸ درجه سانتی‌گراد، سردترین ماه‌های سال هستند. دو ماه دی و فروردین به‌ترتیب با مجموع بارش ماهانه برابر ۸۶ و ۷۶ میلی‌متر پربارش‌ترین ماه سال بوده است. در ماه‌های خرداد تا شهریور دوره تقریباً بدون بارش غالب است.



شکل ۱: نقشه موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در پهنهٔ زاگرس و زیرپهنهٔ زاگرس چین‌خورده (زاگرس بیرونی)، قرار گرفته است. در شهرستان خرم آباد به ترتیب؛ از قدیم به جدید سازندهای گروه بنگستان (سروک، سورگاه و ایلام)، گورپی، امیران، کشکان، آسماری-شهبازان، گروه فارس (گچساران، آغاجاری)، بختیاری و رسوبات کواترنری گسترده شده است. در این

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

شـهرستان، انواع پدیده ها و اشکال ژئومورفولوژی به صورت درّه‌های کارستی، تراس‌های رودخانه‌ای، مخروط‌افکنه‌ها، پرتگاه‌های فرسـایشـی و اشکال ناشی از انحلال دیده می‌شوند. از اشکال بسیار مهم شهرستان زمین‌لغزش‌ها می‌باشند که تصاویری از نمونه زمین‌لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان در شکل (۲)، نمایش داده شده است.



شکل ۲: تصاویری از نمونه زمین‌لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان خرم‌آباد

۳ـ مواد و روش

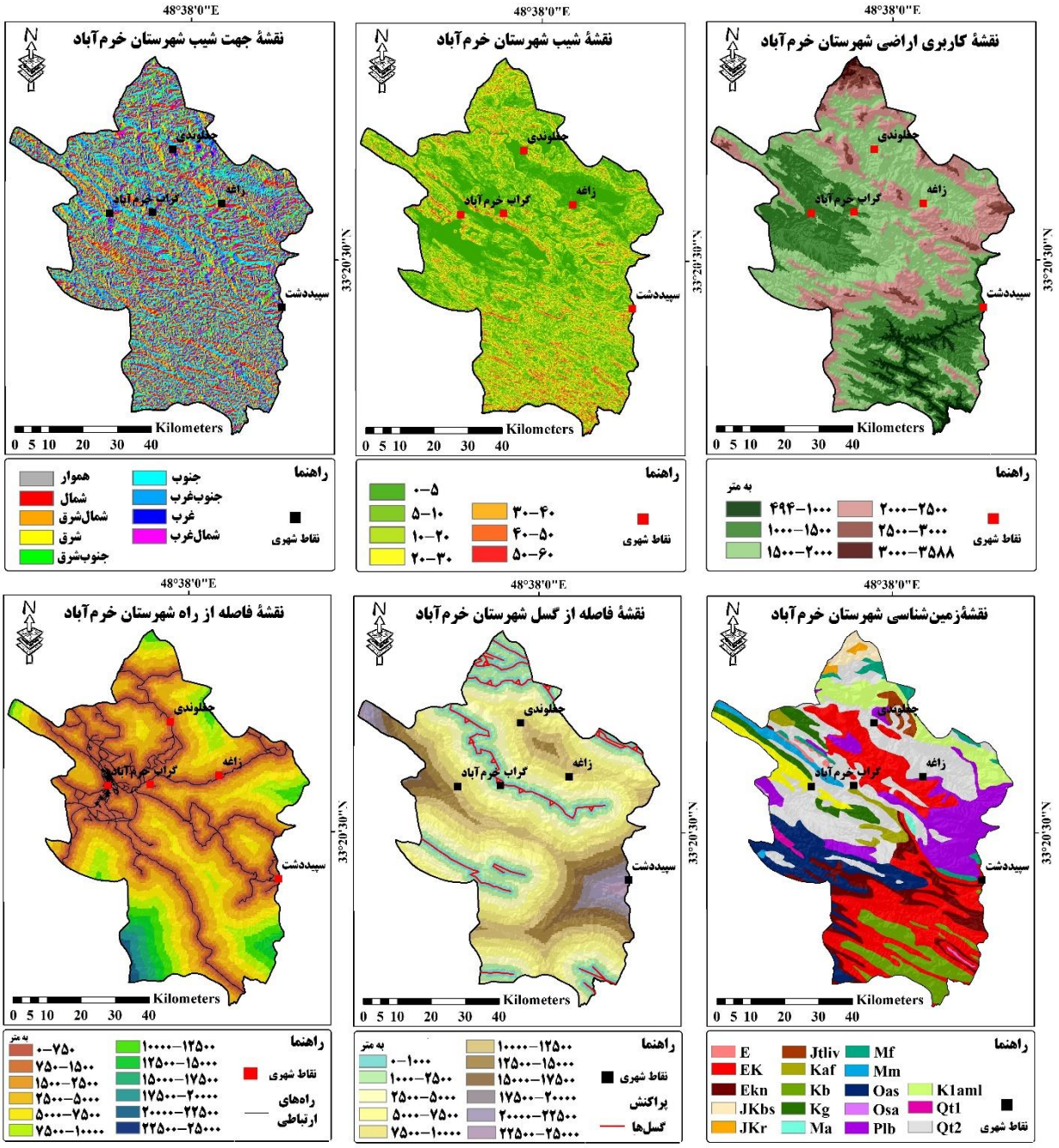
۱-۳- منابع داده ها و ابزارها

پژوهش حاضر با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد مطالعه، از نوع پژوهشی- کاربردی است و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از فنون تحلیل چندمعیاره می‌باشد. جهت پردازش تصاویر و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای Arc GIS، Idrisi وExcel بهره‌گیری شده است. با توجه به اینکه زمین‌لغزش تحت تأثیر عوامل متعددی رخ می‌دهد و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش از اهمّیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه، پس از کنکاش تحقیقات علمی مشابه در زمینهٔ موضوع، با استفاده از تجربیات کارشناسان و با درنظر گرفتن شرایط طبیعی و انسانی منطقه، ۹ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی و فاصله از رودخانه، به‌عنوان عوامل مؤثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد انتخاب شد و سپس نقشه‌های مربوط به هر معیار تهیه گردید. نقشهٔ معیار طبقات ارتفاعی شهرستان با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی أخذ شده از سایت دانشگاه آلاسکا (با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متری، مربوط به سنجندهٔ PALSAR و ماهوارهٔ ALOS)، استخراج گردید. لایهٔ اطّلاعاتی شیب با استفاده از دستورهای slope، در Arc map و با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد. نقشهٔ جهات شیب نیز با بهره‌گیری از لایهٔ slope استخراج شد. لایهٔ مربوط به مؤلفهٔ زمین‌شناسی و پراکنش خطوط گسلی با استفاده از نقشهٔ رقومی شدهٔ استان لرستان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج شد. لایهٔ اطّلاعاتی راه‌های ارتباطی شهرستان نیز با استفاده از نقشهٔ خطوط ارتباطی استان لرستان (اخذ شده از استانداری استان

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

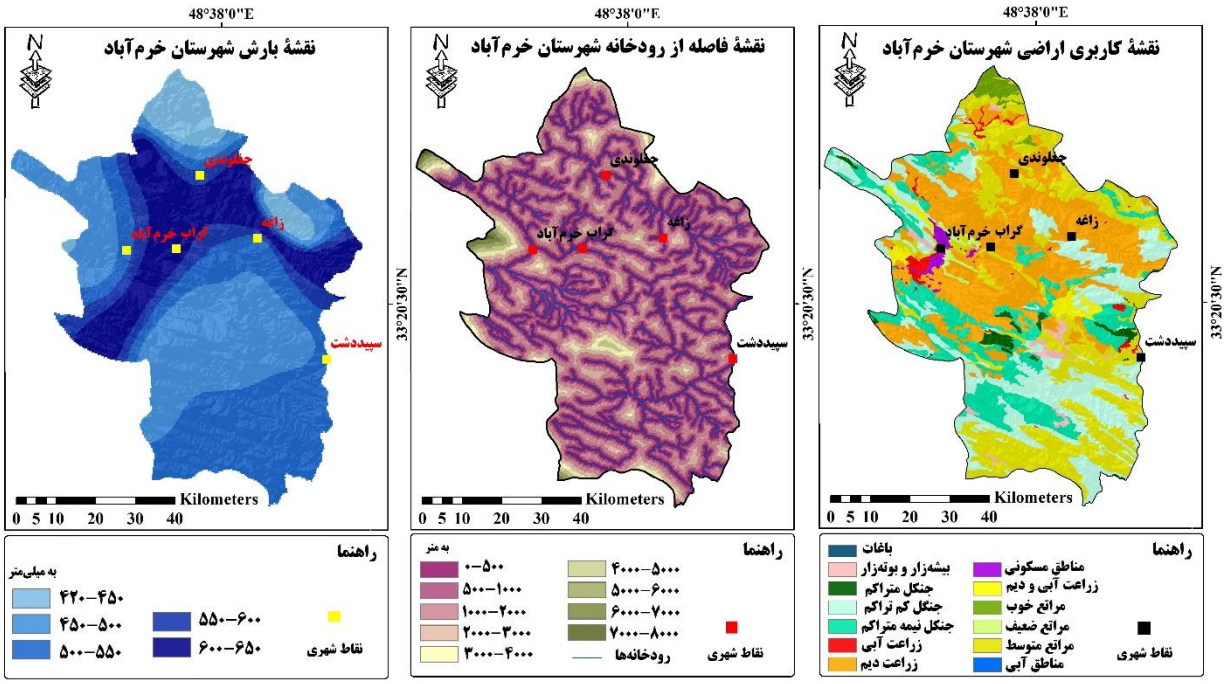
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

لرستان)، با استفاده از دستورEuclidean Distance تهیه گردید. نقشهٔ کاربری اراضی محدودهٔ مورد مطالعه نیز با استفاده از نقشهٔ کاربری اراضی استان ایلام، استخراج شد. لایهٔ شبکهٔ رودخانه‌ای شهرستان از روی نقشهٔ پراکنش رودخانه‌های استان لرستان برش داده شد و سپس نقشهٔ فاصله از رودخانه با استفاده از دستور Euclidean Distance استخراج گردید. لایهٔ بارش شهرستان نیز با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی خرم‌آباد، بروجرد، دهنو، ونایی، کاکارضا، سراب سید علی، سپیدشت، نوژیان، کشور، بدرآباد، معمولان (سال‌های آماری ۲۰۲۵-۲۰۰۵) و با بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ به‌دست آمد. نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد در شکل ۳، نمایش داده شده است.



[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]



شکل ۳: نقشهٔ معیارهای مورد بررسی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد

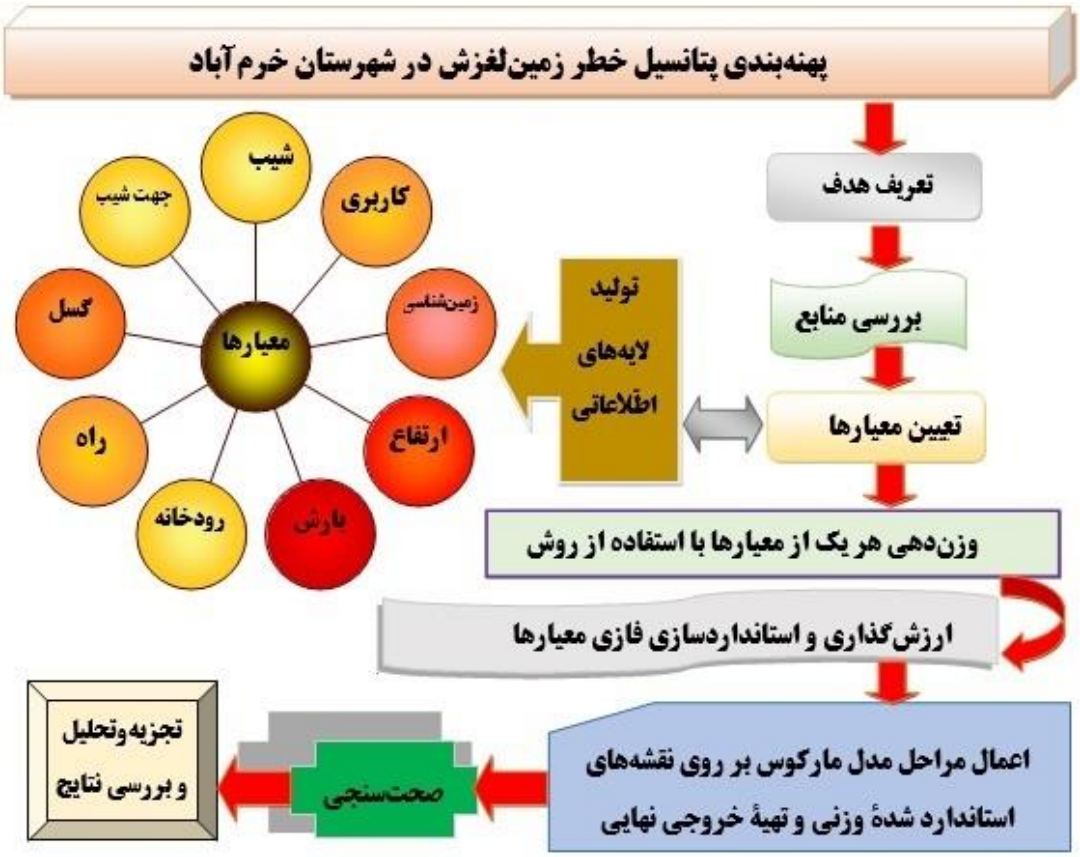
۳-۲- مراحل تهیهٔ نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش مارکوس[1]

روش مارکوس از روش‌های جدید تصمیم گیری چندمعیاره است که در سال ۲۰۲۰ توسط Stević و همکاران ارائه شده است. این روش، نسبت به سایر روش‌های معمول (مانند AHP و TOPSIS)، به بررسی دقیق‌تر تناسب بین معیارها و نتایج کمک می‌کند. به‌طور خاص، استفاده از روش مارکوس برای شبیه‌سازی و انتخاب مناطق بهینه در شرایط خاصی که معیارها با هم همپوشانی دارند یا به نوعی با یکدیگر تضاد دارند، کاربرد دارد که این موضوع می‌تواند برای مناطق با شرایط جغرافیایی پیچیده یا متغیر که در روش‌های دیگر نادیده گرفته می‌شود، مفید باشد (Abdullae et al, 2023; Karbakhsh-ravari and Sarmadian, 2025). اولین گام در این روش تعیین معیارهای مورد بررسی است. در گام دوم، ایده‌آل و ضد ایده‌آل تعیین می‌شود. نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی، گام سوم از روش مارکوس می‌باشد. در این پژوهش مرحلهٔ استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی (تابع بزرگ فازی در معیارهای شیب، جهت شیب، لیتولوژی و کاربری‌اراضی)، (تابع خطی افزایشی در معیارهای طبقات ارتفاعی و بارش) و (تابع خطی کاهشی 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 نشان‌دهندهٔ حداقل عضویّت می‌باشد (Bhattacharyya and Mukherjee, 2021; Badola et al, 2023). در گام چهارم، نسبت به تعیین مقادی ضریب وزنی معیارها، اقدام شده است. در این پژوهش، به منظور وزن‌دهی عوامل از روش کرتیک[2] استفاده شده است. در این روش، نظر کارشناسان دخالتی ندارد و وزن‌دهی معیارها براساس همبستگی و انحراف‌معیار بین داده‌های ماتریس تصمیم محاسبه می‌گردد (Arshad et al, 2023; Asghari Saraskanroud and Piroozi, 2024). در راستای اجرای عملیاتی مراحل وزن‌دهی کرتیک، ابتدا در محیط نرم‌افزار ادریسی و با استفاده از

[1] MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution)
[2] CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

دستور REGRESS، انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌های مورد بررسی به‌دست آمد. در مرحله بعد، نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطّلاعات و وزن نهایی در نرم‌افزار اکسل اقدام گردید. در پنجمین گام از روش مارکوس، مطلوبیت هر گزینه تعیین می‌گردد و در نهایت در مرحلهٔ آخر، تعیین عملکرد نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود (Abdullae et al, 2023; Jafarzadeh Ghoushchi et al, 2023). با توجه به این امر که، منحنی تشخیص عملکرد نسبی (راک[1])، از کارآمدترین روش‌ها در پیش‌بینی و تعیین دقت مدل‌سازی، است (Rostamizad and Dastranj, 2024; Baharvand, 2023). صحت خروجی نهایی مطالعه، با استفاده از دستور ROC در نرم‌افزار ادریسی و با تعریف لایهٔ نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی به عنوان ورودی، نقشه پراکنش نقاط لغزشی به‌عنوان نقشه مرجع و لایهٔ مرز محدوده به عنوان نقشهٔ ماسک با استفاده از این روش انجام شده است. روندنمای پژوهش در شکل ۴، قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۴: روندنمای مربوط به فرآیند تحقیق

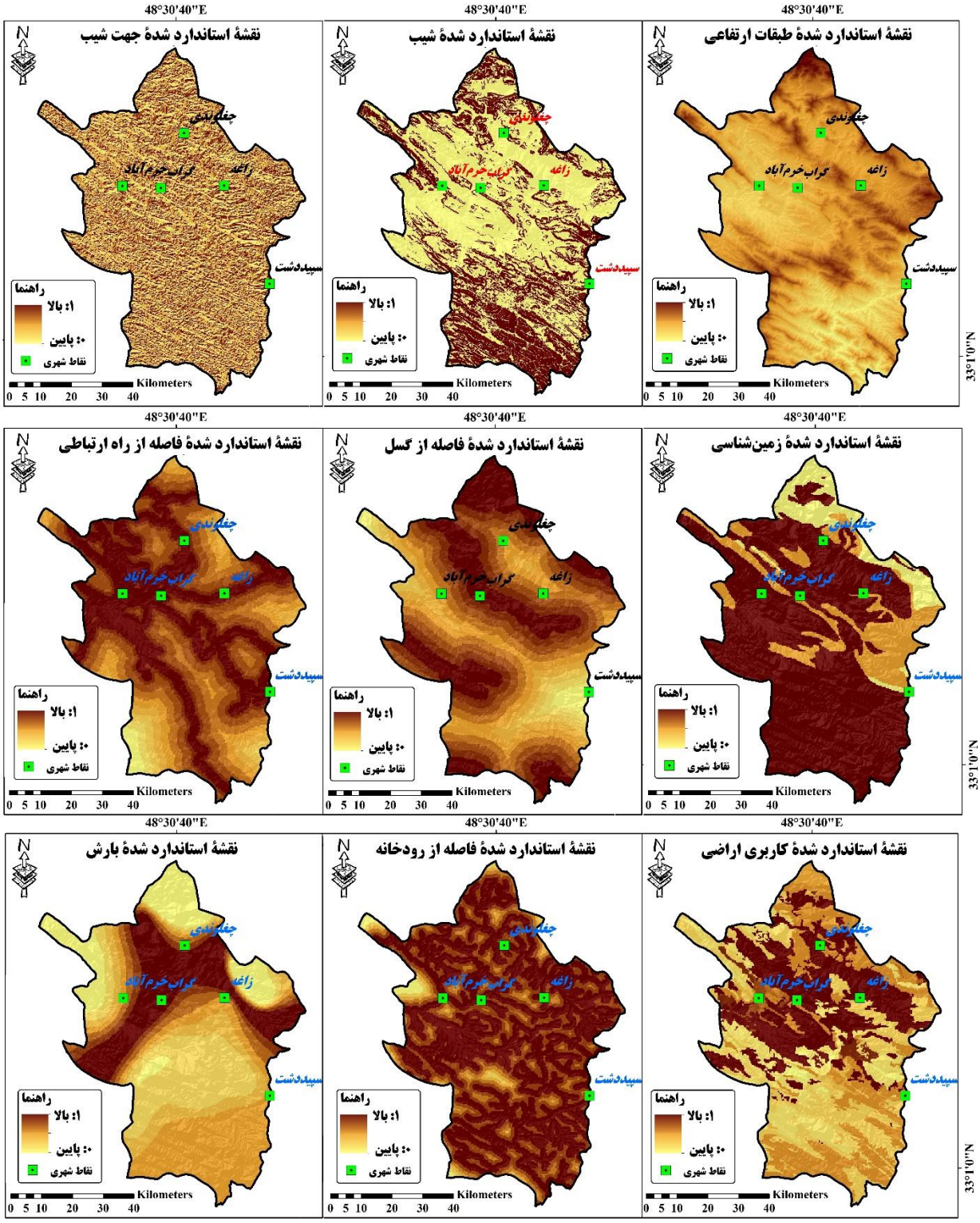
۴-یافته‌ها

جهت تحلیل‌های مکانی یکپارچه در محیط GIS، لازم است که تمامی لایه‌ها به‌صورت ساختاری ارزش‌گذاری و استانداردسازی شوند. بدین‌منظور در این تحقیق ابتدا همهٔ لایه‌ها با بهره‌گیری از توابع عضویت فازی استاندارد شدند (شکل ۵). به‌منظور تعیین شاخص‌های مؤثر در تعیین پهنه‌های مختلف خطر، مقدار ضریب اهمّیتی هر یک از معیارها (جداول ۲)، نیز حاصل شد و با اعمالوزن‌های مربوطه بر روی لایه‌های فازی، با اجرای عملیاتی دیگر مراحل مارکوس در قالب عملیات ریاضی بر روی لایه‌های استانداردشدهٔ فازی، نقشه حساسیت زمین‌لغزش حاصل شد. سپس این نقشه با استفاده از روش شکست طبیعی به پنج کلاس تقسیم‌بندی شد و به صورت گرافیکی در شکل ۶، ارائه شده است.

[1]. ROC (Receiver operating characteristic)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]



شکل ۵: نقشه‌های استاندارد شدهٔ فازی معیارهای مورد بررسی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

جدول ۲: نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارهای مورد بررسی با استفاده از روش کرتیک

ماتریس همبستگی معیارها

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
شیب	۱	۰/۰۴۶	۰/۴۲۶	-۰/۱۳۲	-۰/۱۹۱	-۰/۵۶۵	۰/۳۳۴	-۰/۱۲۴	۰/۴۳۲
جهت شیب	۰/۰۴۶	۱	-۰/۰۸۶	۰/۲۱۴	۰/۳۲۵	۰/۲۴۱	۰/۱۳۱	۰/۰۹۷	-۰/۱۳۶
ارتفاع	۰/۴۲۶	-۰/۰۸۶	۱	۰/۲۱۲	-۰/۲۴۶	-۰/۳۱۱	۰/۱۶۴	-۰/۱۱۵	۰/۲۴۶
کاربری	-۰/۱۳۲	۰/۲۱۴	۰/۲۱۲	۱	۰/۹۷۵	۰/۲۷۷	۰/۰۹۷	-۰/۱۰۴	۰/۰۷۶
راه	-۰/۱۹۱	۰/۳۲۵	-۰/۲۴۶	۰/۹۷۵	۱	۰/۴۱۵	۰/۰۶۵	۰/۲۶۵	-۰/۲۱۷
لیتولوژی	-۰/۵۶۵	۰/۲۴۱	-۰/۳۱۱	۰/۲۷۷	۰/۴۱۵	۱	۰/۱۹۸	۰/۲۳۴	-۰/۲۵۴
گسل	۰/۳۳۴	۰/۱۳۱	۰/۱۶۴	۰/۰۹۷	۰/۰۶۵	۰/۱۹۸	۱	-۰/۰۹۷	۰/۱۷۶
رودخانه	-۰/۱۲۴	۰/۰۹۷	-۰/۱۱۵	-۰/۱۰۴	۰/۲۶۵	۰/۲۳۴	-۰/۰۹۷	۱	-۰/۲۴۳
بارش	-۰/۴۳۲	-۰/۱۳۶	۰/۲۴۶	۰/۰۷۶	-۰/۲۱۷	-۰/۲۵۴	۰/۱۷۶	۰/۲۴۳	۱

ماتریس تضاد معیارها

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
شیب	۰	۰/۹۵۳	۰/۵۷۴	۱/۱۳۲	۱/۱۹۱	۱/۵۶۵	۰/۶۶۵	۱/۱۲۴	۰/۵۶۸
جهت شیب	۰/۹۵۳	۰	۱/۰۸۶	۰/۷۸۶	۰/۶۷۴	۰/۷۵۹	۰/۸۶۹	۰/۹۰۲	۱/۱۳۶
ارتفاع	۰/۵۷۴	۱/۰۸۶	۰	۰/۷۸۸	۱/۲۴۶	۱/۳۱۱	۰/۸۳۶	۱/۱۱۵	۰/۷۵۴
کاربری	۱/۱۳۲	۰/۷۸۶	۰/۷۷۸	۰	۰/۰۲۵	۰/۷۲۳	۰/۹۰۲	۱/۱۰۴	۰/۹۲۴
راه	۱/۱۹۱	۰/۶۷۴	۱/۲۴۶	۰/۰۲۵	۰	۰/۵۸۵	۰/۹۳۵	۰/۷۳۵	۱/۲۱۷
لیتولوژی	۱/۵۶۵	۰/۷۵۹	۱/۳۱۱	۰/۷۲۳	۰/۵۸۵	۰	۰/۸۰۱	۰/۷۶۶	۱/۲۵۴
گسل	۰/۶۶۵	۰/۸۶۹	۰/۸۳۶	۰/۹۰۲	۰/۹۳۵	۰/۸۰۱	۰	۱/۰۹۷	۰/۸۲۴
رودخانه	۱/۱۲۴	۰/۹۰۲	۱/۱۱۵	۱/۱۰۴	۰/۷۳۵	۰/۷۶۶	۱/۰۹۷	۰	۱/۲۴۳
بارش	۰/۵۶۸	۱/۱۳۶	۰/۷۵۴	۰/۹۲۴	۱/۲۱۷	۱/۲۵۴	۰/۸۲۴	۱/۲۴۳	۰

انحراف معیار، میزان اطّلاعات و وزن نهایی معیارها با استفاده از روش کرتیک

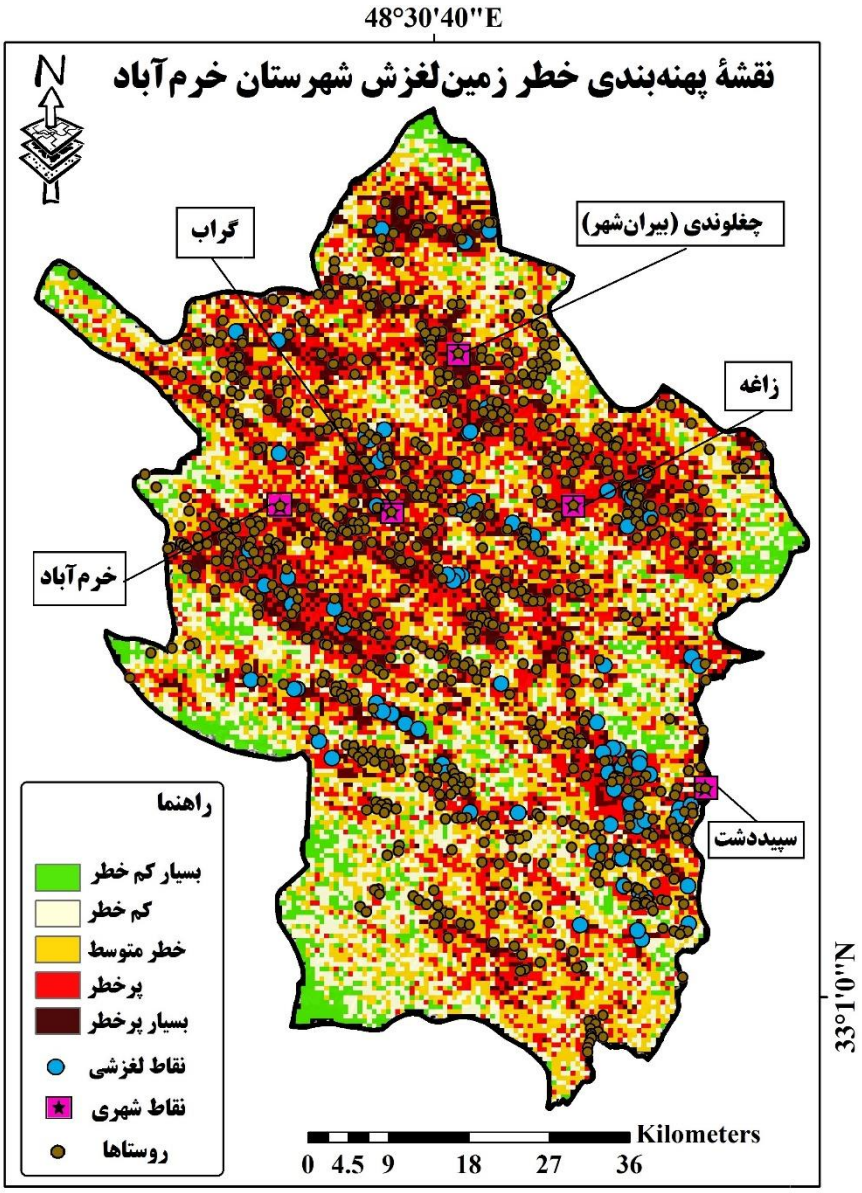
معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش
انحراف معیار	۰/۳۴۲	۰/۱۴۱	۰/۱۸۲	۰/۳۴۵	۰/۲۹۸	۰/۳۳۱	۰/۲۱۱	۰/۲۲۱	۰/۲۱۷
میزان اطّلاعات	۲/۶۵۸	۱/۰۱۰	۱/۴۰۵	۲/۲۰۲	۱/۹۶۹	۲/۵۶۹	۱/۴۶۲	۱/۷۸۷	۱/۷۱۸
وزن نهایی	۰/۱۵۸	۰/۰۶۰	۰/۰۸۴	۰/۱۳۱	۰/۱۱۷	۰/۱۵۳	۰/۰۸۷	۰/۱۰۶	۰/۱۰۲

نتایج ارزیابی مدل مارکوس در پنج کلاس حساسیت زمین‌لغزش در جدول ۳، ارائه شده است. براساس این جدول، ۴۷۹/۲۹ کیلومترمربع از شهرستان دارای پتانسیل بسیارکم، ۹۷۱/۲۴ کیلومترمربع دارای پتانسیل کم و ۱۳۶۱/۳۳ کیلومترمربع دارای پتانسیل متوسط می باشد. طبقات پرخطر و بسیار پرخطر نیز به ترتیب؛ ۱۳۶۲/۰۴ و ۸۲۰/۱۰ کیلومترمربع از مساحت شهرستان را پوشش می‌دهند. تطبیق پراکنش نقاط زمین‌لغزشی و مناطق در معرض خطر براساس نقشهٔ پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، گویای این مسئله می‌باشد که بیشترین تعداد و درصد از سطوح لغزشی در دو طبقهٔ بسیار پرخطر (۴۴/۴۴ درصد از نقاط لغزش یافته) و پرخطر (۴۲/۲۲ درصد از نقاط لغزش یافته) واقع شده‌اند. به‌علاوه، طبقهٔ خطر متوسط نیز ۱۴/۴۴ درصد از مناطق لغزشی را شامل می‌شوند و در دو طبقهٔ کم خطر و بسیار کم خطر، پراکنش نقاط لغزش‌یافته مشاهده نمی‌گردد. بررسی پراکنش مناطق شهری و روستایی شهرستان نیز نشان می‌دهد، شهر بیران‌شهر (چغلوندی)، به همراه ۴۲/۳۰ درصد از روستاهای شهرستان (مانند: چشمه گل، گولاب، دولت‌آباد، مله تخت، توئیشکه، قلعه‌نو، خمسانه، مریدآباد، سیل نظر، کله‌جو، وروندی، سیاه‌چل، چقابل، رنگرزان، میرآب، تنقوره، تقی‌آباد و محمدآباد) در طبقهٔ بسیارپرخطر قرار دارند. شهرهای خرم‌آباد، گراب و زاغه به همراه ۳۴/۰۳ درصد از روستاها

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

(ازجمله: نوده، تیک، شـهباز، مونک، صیدنر، حاجی‌آباد، دورک، ایلر، بن‌مورت، گدپوک، چشمکر، پاریاب‌گز، ده‌نسار والیر) در طبقهٔ پرخطر واقع شـده‌اند. طبقهٔ متوسـط نیز شـهر سپیددشت و ۱۷/۶۵ درصد از روستاهای شهرستان (اعم از روستاهای پشت مورت، چول، ریدر، مهربان، جوکار، ناوه و دوش سرخ) را در خود جای داده است.



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان خرم آباد با استفاده از روش مارکوس

جدول ۳: اطّلاعات طبقات خطر زمین‌لغزش حاصل از به‌کارگیری الگوریتم چندمعیارهٔ مارکوس

طبقات خطر	مساحت طبقات خطر زمین‌لغزش		تعداد و درصد نقاط پراکنش لغزشی	
	مساحت به km^2	درصد	تعداد	درصد
بسیار پرخطر	۸۲۰/۱۰	۱۶/۴۲	۴۰	۴۴/۴۴
پرخطر	۱۳۶۲/۰۴	۲۷/۲۷	۳۸	۴۲/۲۲
خطر متوسط	۱۳۶۱/۳۳	۲۷/۲۶	۱۳	۱۴/۴۴
کم خطر	۹۷۱/۲۴	۱۹/۴۵	–	–
بسیار کم خطر	۴۷۹/۲۹	۹/۶۰	–	–

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

همانگونه که Madadi and piroozi (2023)، نیز بیان داشته‌اند؛ عامل ارتفاع بر عناصر اقلیمی، پوشش گیاهی و فرآیندهای هوازدگی تأثیرگذار می‌باشد و لذا بررسی آن در مطالعات زمین لغزش از اهمیّت فراوانی برخوردار است. حداقل و حداکثر مقادیر ارتفاعی محدوده، ۴۹۴ و ۳۵۸۸ متر می‌باشد. شهرستان خرم‌آباد در واقع بخشی از کوه‌های زاگرس چین‌خورده است که اشکال ساختاری آن به صورت تاقدیس‌ها و ناودیس‌هایی با صفحات محوری شمال غربی-جنوب شرقی و تا حدودی مارپیچی شکل است. این اشکال به ترتیب ارتفاعات و فرورفتگی‌هایی را ایجاد کرده‌اند که با رسوبات جوان و سنگ‌های فرسایشی پر شده‌اند. منطقهٔ مورد مطالعه با کوه‌های پیوسته و ممتد خود (مخمل‌کوه و سفیدکوه) بهترین نمونه‌های یک تودهٔ کوهستانی چین‌خورده و یکپارچه را تشکیل می‌دهد که مناطق پست آن توسط دشت‌های آبرفتی بین‌کوهی اشغال شده است (Hatami Fard et al, 2012). ارتفاعات شهرستان خرم‌آباد شامل کوه‌های متعددی است که برخی از مهمترین آن‌ها عبارتند از: مخمل کوه با ارتفاع حدود ۱۹۰۰ متر، کوه هشتاد پهلو با ارتفاع تقریبی ۳۹۰۴ متر، قله یافته با ارتفاع حدود ۲۶۸۰ متر، کوه تخت چو با ارتفاع ۱۷۳۳ متر، سفیدکوه (قله ورطاق) با ارتفاع ۳۱۵۰ متر و قله تاف با ارتفاع ۲۷۲۲ متر. به‌طورکلی؛ ۲۰۸/۱۴ کیلومترمربع از مساحت شهرستان در طبقات ارتفاعی ۱۰۰-۴۹۴ متر قرار دارد. سطوح ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۰۰۰ و ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متری نیز به ترتیب؛ ۱۳۱۶/۳۰ و ۲۱۷۷/۲۲ کیلومتر از سطح شهرستان را پوشش می‌دهند. به‌ترتیب، ۱۱۰۹/۶۹، ۱۶۴/۳۸ و ۱۸/۲۹ کیلومترمربع از مساحت محدوده نیز دارای مقادیر ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰، ۲۵۰۰—۳۰۰۰ و ۳۵۸۸-۳۰۰۰ متری می‌باشند. نتایج حاصل از بررسی انطباقی معیار ارتفاع با نقشهٔ پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد، نشان می‌دهد که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری گسترده شده‌اند. در این رابطه می‌توان بیان داشت که در محدودهٔ مطالعاتی با نظر به ویژگی‌های لیتولوژیکی سازندها و شرایط اقلیمی، ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متر قلمرو فعالیت هوازدگی مکانیکی بوده و رخداد حرکات ریزشی، واژگونی و تشکیل جریانات واریزه‌ای در این سطوح ارتفاعی غالب می‌باشند. در مناطقی با ارتفاع پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر نیز با توجه به شیب کم، از احتمال وقوع لغزش کاسته می‌شود. افزون‌براین، انطباق پراکنش نقاط لغزش‌یافته با معیار طبقات ارتفاعی نیز حاکی از این موضوع می‌باشد که ۹۲/۳۰ درصد از نقاط لغزشی در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری قرار گرفته‌اند.

شیب از جمله عوامل مهّم مؤثر در مقدار فرسایش، میزان رواناب و شدّت زمین‌لغزش می‌باشد. با افزایش شیب، نیروی گرانش افزایش می‌یابد و در نتیجه با غلبهٔ نیروی محرکه بر نیروی مقاومت، دامنه ناپایدار شده و پتانسیل وقوع زمین لغزش افزایش می‌یابد (Sharifi et al, 2022). در محدودهٔ شهرستان خرم‌آباد، مقدار شیب بین صفر تا ۶۰ درصد می‌باشد و به ترتیب ۱۱۳۵/۸۶، ۱۰۰۷/۹۱ و ۱۶۹۱/۰۶ کیلومترمربع از مساحت شهرستان در محدودهٔ شیبی ۵-۰، ۱۰-۵ و ۲۰-۱۰ درصد واقع شده است. طبقات شیب ۳۰-۲۰ و ۴۰-۳۰ درصد نیز به‌ترتیب ۷۹۵/۷۵ و ۲۶۵/۱۴ کیلومترمربع از مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده است. به‌علاوه، ۶۲/۰۷ و ۳۶/۲۰ کیلومترمربع از محدودهٔ شهرستان به‌ترتیب در سطوحی با شیب ۵۰-۴۰ و ۶۰-۵۰ درصد قرار دارند. به‌طور عمده، طبقات بسیار پرخطر و پرخطر، دارای شیب ۱۰ تا ۵۰ درصد می‌باشند. مقایسهٔ نقاط لغزشی با معیار شیب نیز نشان می‌دهد، حدود ۷۶/۰۸ درصد از نقاط لغزشی در محدودهٔ شیبی ۱۰ تا ۵۰ درصد، رخ داده‌اند.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

بانظر به اینکه جهت شیب بر میزان دریافت انرژی خورشیدی و درجهٔ حرارت، بارندگی، نگهداشت رطوبت، وجود پوشش‌گیاهی و هوازدگی مؤثر می‌باشد، به عنوان یکی از فاکتورهای دخیل در افزایش پتانسیل زمین‌لغزش مورد بررسی قرار می‌گیرد (Golipour et al, 2022). با نظر به نقشهٔ جهات شیب شهرستان خرم‌آباد، جهات شمال، شمال‌شرق و شمال‌غرب به‌ترتیب ۸۴۴/۱۷، ۷۱۹/۷۶ و ۴۳۵/۷۱ کیلومترمربع ازسطح شهرستان را پوشش می‌دهند. به‌ترتیب ۸۶۲/۵۰، ۴۴۳/۰۶ و ۷۴۲/۰۴ کیلومترمربع از مساحت شهرستان نیز دارای جهات شیب جنوب، جنوب‌شرق و جنوب‌غرب هستند. جهات غرب، شرق و سطوح هموار نیز به‌ترتیب ۴۱۲/۹۰، ۴۱۱/۱۹ و ۱۲۲/۶۴ کیلومترمربع از سطح شهرستان را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی طبقات پرخطر و بسیار پرخطر و مقایسهٔ آن با نقشهٔ جهات شیب شهرستان، نشان می‌دهد که اغلب پهنه‌های دارای احتمال خطر در جهت‌های شمالی، غربی، شمال‌غربی، شرق و جنوب‌شرقی واقع شده است. همچنین مقایسهٔ معیار جهت شیب و نقاط لغزشی نشان می‌دهد که به‌ترتیب ۳۸/۰۴، ۲۲/۸۲، ۱۰/۱۴،۸۶/۱۳ و ۹/۷۸ از نقاط لغزش‌یافته در جهات شمالی، غربی، شرق، شمال‌غرب و جنوب‌شرق رخ داده است.

سازندهای زمین‌شناسی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری دامنه‌ای هستند و به‌طورکلی ساختار، بافت، استحکام و دوام نسبی یک توده سنگ را منعکس می‌کنند (Esposito et al, 2021). پوشش رسوبی منطقه بیشتر شامل سنگ‌ها و نهشته‌هایی به سن کرتاسه تا پلیوسن کواترنری است. قدیمی‌ترین واحد سنگی در گستره مورد مطالعه، سازندهای سروک، ایلام، گورپی، بخش امام حسن و امیران می‌باشند. در ادامهٔ توالی نیز سنگ‌های سنوزوئیک شامل: سازندهای کشکان و شهبازان به سن پالئوسن -ائوسن و سازند آسماری به سن اولیگومیوسن رخنمون دارند. جوان‌ترین، واحد سنگ چینه‌ای نیز کنگلومرای سازند بختیاری به پلیوسن- کواترنری است. نهشته‌های کواترنری نیز به شکل نهشته‌های کوهرفتی، مخروط‌افکنه و پادگانه آبرفتی و نهشته‌های برجا به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند. اطّلاعات زمین‌شناسی شهرستان درجدول ۱، بیان شده است.

جدول ۱: واحدهای زمین‌شناسی سطح شهرستان خرم‌آباد

علامت اختصاری	شرح نوع سازند	مساحت به KM^2	دوره زمین‌شناسی
Jkr	چرت رادیولاری نازک لایه بنفش و قرمز با میان لایه‌هایی از سنگ اهک نریتیک و پلاژیک	۲۸/۰۷	تریاس
Jtliv	توف اندزیتی اتشفشانی	۵۵/۹۲	ژوراسی
JKbs	سنگ اهک خاکستری، ضخیم و لایه لایه با اوئولیت	۶۷/۸۰	ژوراسی-کرتاسه
KB	عمدتا سنگ اهک و شیل با سن البین تا کومپانین (گروه یکپارچه بنکستان شامل: سازندهای سروک، سورگاه و ایلام)	۴۵۵/۱۴	کرتاسه
EK	سنگ اهک فسیل دار خاکستری و قهوه ای با لایه‌بندی متوسط تا توده‌ای (سازند کژدمی)	۷۳۶/۷۰	کرتاسه
Kg	مارن و شیل خاکستری مایل به ابی به همراه سنگ اهک رسی نازک لایه فرعی (سازند گورپی)	۱۵۹/۹۹	کرتاسه
K1aml	سنگ اهک اوربیتولین‌دار خاکستری با لایه‌بندی ضخیم تا توده‌ای	۲۹۲/۰۹	کرتاسه
Kat	سیلتستون و ماسه‌سنگ کم‌هوازده با رنگ زیتونی-قهوه‌ای تیره با توسعهٔ محلی کنگلومراهای چرت و سنگ آهک صدفی (سازند امیران)	۱۷۸/۴۰	کرتاسه-پالئوسن
E	سنگ‌های ائوسن تفکیک نشده	۲۰/۰۸	ائوسن
Ekn	سنگ اهک رسی نازک لایه و شیل اهکی	۷۳۷/۰۲	ائوسن
Oas	سازند اسماری و شهبازان تفکیک نشده	۳۹۸/۸۸	ائوسن-میوسن
Mf	سنگ اهک مرجانی و جلبکی(گروه فارس)	۹۵/۵۰	میوسن
Ma	ماسه‌سنگ قهوه‌ای تا خاکستری، اهکی، دارای ویژگی‌های خاص و هوازدگی کم، رگه‌های گچی، مارن قرمز و سیلتستون (سازند آغاجاری)	۱۲/۷۷	میوسن
Plb	کنگلومرای سخت توده‌ای متناوب و ماسه‌سنگ با لایه‌بندی متقاطع و هوازدگی کم (سازند بختیاری)	۵۷۳/۰۷	پلیوسن
Qt1	ابرفتهای قدیمی مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی	۲۲/۶۲	کواترنر
Qt2	ابرفتهای جوان مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان	۱۱۵۹/۹۵	کواترنر

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

با توجه به نقشهٔ پتانسیل زمین‌لغزش شهرستان و معیار سازندهای زمین‌شناسی، می‌توان بیان کرد که طبقات بسیار پرخطر و پرخطر عمدتاً در پهنه‌هایی با سازندهای Qt2، EK، Plp، Ekn، Kaf، Kb و Oas قرار دارد. به‌طوریکه، به‌ترتیب ۴۲۴/۷۹، ۸۸/۵۳، ۳۴/۴۳، ۲۱/۲۸ ، ۱۵/۸۱، ۱۰/۰۶ و ۱۰/۲۸ کیلومترمربع از مساحت طبقهٔ بسیار پرخطر متشکل از سازندهای Qt2، EK، Plp، Ekn، Kaf، Kb و Oas می‌باشد. به‌علاوه، در طبقهٔ پرخطر نیز سازندهای Qt2، EKn، Plp، Kb، Oas، Ekn و Kaf به ترتیب ۱۱۵۹/۸۲، ۷۵۳/۰۵، ۵۷۲/۰۷، ۴۴۸/۷۹، ۳۹۴/۸۹، ۳۵۱/۰۴ و ۱۷۵/۴۰ کیلومترمربع از مساحت این طبقه را پوشش می‌دهند. ارزیابی مقایسه‌ای نقشهٔ پراکنش نقاط لغزشی با معیار سازندهای زمین‌شناسی نیز نشان می‌دهد، به ترتیب ۳۰، ۱۲/۲۳،۲۷/۷۸، ۱۱/۱۱، ۸/۸۹، ۵/۵۶ و ۴/۴۵ درصد از نقاط لغزشی در سازندهای Qt2، Ek، Plb، Ekn، Oas، Kaf و Kb قرار دارند. بنابراین می‌توان بیان داشت که در محدودهٔ مورد مطالعه پتاسیل زمین‌لغزش در سازندهایی با واحدهای سنگ‌شناسی شیل، مارن، سنگ آهک ورقه‌ای، ماسه‌سنگ و نهشته‌های کواترنر وجود دارد. به‌طورکلی، در سطح شهرستان خرم‌آباد تناوب لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های سست مارنی، شیلی و ماسه‌سنگ در یال طاقدیس‌های بزرگ شرایط مساعدی را برای ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی به وجود آورده است. لذا، 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 داشت.

گسل‌ها از عوامل ایجاد ناهماهنگی و ناپیوستگی در تودههای سنگی و خاکی هستند. درصد قابل ملاحظه ای از لغزش‌ها در نزدیکی گسل‌ها رخ می‌دهد که این امر، اهمیت این ساختار زمین‌شناسی را در افزایش ناپایداری دامنه‌ها نشان می‌دهد (Pakbazt et al, 2023).گسل‌ها از دو جهت می‌توانند در ایجاد زمین‌لغزش موثر باشند؛ اول اینکه منشأ زلزله محسوب می‌شوند و در صورت وقوع زمین‌لرزه، 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). فاصله از گسل در محدودهٔ مطالعاتی بین صفر تا ۲۵۰۰۰ متر، می‌باشد. محدودهٔ خرم‌آباد به علت حرکات شدید تکتونیکی نسبتاً پیچیده بوده و در آن سه خط گسل اصلی وجود دارد. دو گسل عمده و طولانی در محور ناودیس دشت‌ها ایجاد شده و گسل سوم در ارتفاعات شمالی دشت خرم‌آباد عبور کرده است که انتهای آن به گسل اصلی و فعال رشته جبال زاگرس پیوند می‌خورد. بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد، نقاط بسیار پرخطر و پرخطر، غالباً در فواصل صفر تا فاصلهٔ ۱۰۰۰۰ متری، از گسل واقع شده‌اند. مقایسه نقشه فاصله از گسل شهرستان با نقشه پراکنش نقاط لغزش‌یافته نیز حاکی از این موضوع می‌باشد که به‌ترتیب ۱۲/۲۳، ۱۱/۱۲ ۱۷/۷۸ و ۸/۸ درصد ار درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ ۱۰۰۰-۰، ۲۵۰۰-۱۰۰۰، ۵۰۰۰-۲۵۰۰ و ۷۵۰۰-۵۰۰۰ متری از گسل رخ داده‌اند و مابقی نقاط لغزشی نیز در فواصل بیش از ۷۵۰۰ متری قرار گرفته‌اند.

اگرچه راه‌سازی برای توسعهٔ 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. در رابطه با احداث جاده، علاوه بر مسألهٔ حذف پاشنهٔ خاکبرداری بر اثر ترانشه‌زنی، عبور ماشین‌آلات سنگین نیز سبب تشدید حرکت توده ای در کنار محور جاده می‌گردد. فاصله از راه‌های ارتباطی در سطح شهرستان بین صفر تا ۲۵۰۰۰

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

متری می‌باشد. منطقهٔ مورد مطالعه در مسیر راه ارتباطی شمال به جنوب کشور قرار گرفته و از این نظر حائز اهمیت است. از مهم‌ترین راه‌های ارتباطی شهرستان می‌توان به آزادراه خرم آباد-زال، اشاره داشت. این آزادراه بخشی از محور سراسری تهران-بندر امام خمینی است که از نظر اقتصادی از مهم‌ترین راه‌های کشور محسوب می‌شود. اختلاف ارتفاع ۱۴۰۰ متری بین ابتدا و انتهای این آزادراه و همچنین قطع شدن چین‌خوردگی‌ها، باعث ایجاد ترانشه‌های متعددی در طول مسیر شده است. به دلیل شیب زیاد ترانشه‌ها، وجود سازندهای بسیار حساس، این دامنه‌ها بسیار مستعد ناپایداری هستند. با احداث آزادراه خرم آباد و عبور مسیر پروژه از مناطق کوهستانی با مورفولوژی خاص و وجود سازندهای متنوع زمین‌شناسی، احتمال وقوع گسیختگی‌های شیبی وجود داشته است. پس از گذشت چندین سال از به بهره‌برداری رسیدن این آزادراه، هم‌اکنون به وضوح علائم وقوع رانش زمین به شکل فعال یا مستعد وقوع در منطقه قابل مشاهده است. تصاویری از نمونه زمین‌لغزش‌های رخ داده در مسیر ارتباطی خرم‌آباد- زال در تصویر ۷، نمایش داده شده است. بر اساس پژوهش‌های Ebrahimi و همکاران (2018) و Mirzai (2024) نیز بیان شده است که در پی احداث این آزادراه و به دنبال ترانشه‌زنی در شیب‌های ناپایدار با افزایش مقدار شیب و نبود زهکشی مناسب جهت تخلیهٔ آب مازاد زیر سطح، پتانسیل وقوع زمین‌لغزش افزایش یافته است. 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. بررسی نقاط لغزشی نیز نشان می‌دهد، به‌ترتیب ۳۶/۶۷، ۲۲/۲۲ و ۱۴/۴۴ درصد از نقاط لغزشی در فواصل ۷۵۰-۰، ۱۵۰۰-۷۵۰، ۲۵۰۰-۱۵۰۰ متری از راه‌های ارتباطی و مابقی در فواصل بیش از ۲۵۰۰ متری از راه‌های ارتباطی شهرستان، قرار دارند.



شکل ۷: تصاویری از نمونه زمین‌لغزش‌های رخ داده در مسیر ارتباطی خرم‌آباد- زال

عدم توجه به استفاده و بهره‌برداری صحیح از اراضی دامنه‌ای و بهره‌برداری بیش از حد از اراضی، به‌ویژه اراضی نامتعادل، منجر به فشار بیش از ظرفیت آنها و بر هم خوردن تعادل زیست‌محیطی دامنه‌ها می‌شود و رانش زمین یکی از پدیده‌هایی است که در اثر بر هم خوردن این تعادل رخ می‌دهد (Entezari, 2024). انواع کاربری‌های شهرستان، به‌صورت زراعت دیم و آبی (به‌ترتیب؛ با پوشش ۱۵۵۴/۴۶ و ۵۴/۸۳ کیلومترمربع از مساحت شهرستان)، ترکیب

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

زراعت آبی و دیم (۸۶/۳۰ کیلومترمربع)، باغات (۴/۲۰ کیلومترمربع)، بیشـــه‌زار و بوته‌زار (۷۰/۸۶ کیلومترمربع)، منـاطق مســـکونی (۶۸/۱۸ کیلومترمربع)، مراتع ضـــعیف، متوســـط و خوب (به‌ترتیب با ۴۷/۰۵، ۱۲۰۸/۲۹ و ۶۶/۲۸ کیلومترمربع)، مناطق آبی (۰/۳۸کیلومترمربع)، جنگل با تاج پوشـش کم، جنگل با تاج پوشش متوسط و جنگل با تاج پوشش انبوه (به‌ترتیب با ۱۰۲۲/۰۳، ۷۴۳/۱۵ و ۶۷/۹۹ کیلومترمربع) می‌باشد. استان لرستان و به‌ویژه شهرستان خرم‌آباد از لحاظ منابع طبیعی به‌خصوص جنگل‌ها و مراتع از مناطق مهم سرزمین ایران به شمار می‌آید. مهم‌ترین گونهٔ گیاهی در جنگل‌های خرم‌آباد بلوط است که این درختان نقش فوق‌العاده اکولوژیستی دارند و منابع مهمی برای حفظ آب و خاک محســوب می‌شوند. اکثر جنگل‌های شهرستان در کوه‌های هشتادپهلو، سفیدکوه و نورآباد پراکنده شده است و از جمله مناطق جنگلی مهم در این شـهرســتان می‌توان به پارک جنگلی مخمل‌کوه و پارک جنگلی شـوراب اشاره کرد. شرایط متنوع محیطی شـهرستان خرم‌آباد موجب پیدایش و گسترش گونه‌های متعددی از گیاهان مرتعی شده به طوری که ۱۷ تیپ مختلف در شـهرستان تشخیص داده شده است. مقایسهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی با کاربری اراضی شهرستان نشان می‌دهد که مناطق بســیار پرخطر و پرخطر، به‌طور عمده در کاربری‌های زراعت دیم، مرتع متوســط، مناطق با پوشــش جنگلی کم تراکم و نیمه‌متراکم واقع شــده‌اند به‌طوریکه در طبقهٔ بســیار پرخطر ۴۱۳/۸۴ کیلومترمربع دارای کاربری زراعت دیم، ۱۱۵/۲۳ کیلومترمربع به‌صــورت مراتع متوســط، ۳۹/۶۹ کیلومترمربع به‌صورت جنگل کم تراکم و ۲۲/۲۴ کیلومترمربع جنگل نیمه‌متراکم می‌باشــد. همچنین، به‌ترتیب ۵۶۵/۵۳، ۲۶۹/۸۰، ۱۵۸/۴۵ و ۹۹/۷۷ کیلومترمربع از طبقهٔ پرخطر دارای کاربری‌های زراعت دیم، مرتع متوســط، مناطق با پوشــش جنگلی کم تراکم و نیمه‌متراکم می‌باشــد. مقایســهٔ بین نقاط لغزشــی موجود با نقشــه معیار کاربری نیز نشــان می‌دهد که به‌ترتیب ۳۴/۴۴، ۲۸/۸۹، ۱۱/۱۱ و ۱۲/۲۲ درصــد از نقاط لغزشی در کاربری‌های زراعت دیم، مرتع متوسط، مناطق با پوشش جنگلی کم تراکم و نیمه‌متراکم قرار دارد. لذا، نتایج حاصــل ازبررسی کاربری اراضی نشان بیانگر این موضوع است که بیشترین حساسیت به لغزش در واحد اراضی زراعت وجود دارد که این امر را می توان در مدیریت ناآگاهانه دیم‌زارهـــا نسـبت داد. درصد بالای از زمین لغزش‌ها نیز در مناطق جنگلی و مرتعی منطقه رخ داده است که این امر را می تواند از یک سو ناشی از وسعت زیاد کاربری جنگل در محدوده دانست. به علاوه در طی سال های اخیر بخش اعظمی از مساحت این اراضی جنگلی با تغییر کاربری همراه بوده است و این امر نیز بر افزایش پتانسیل لغزش پذیری افزوده است.

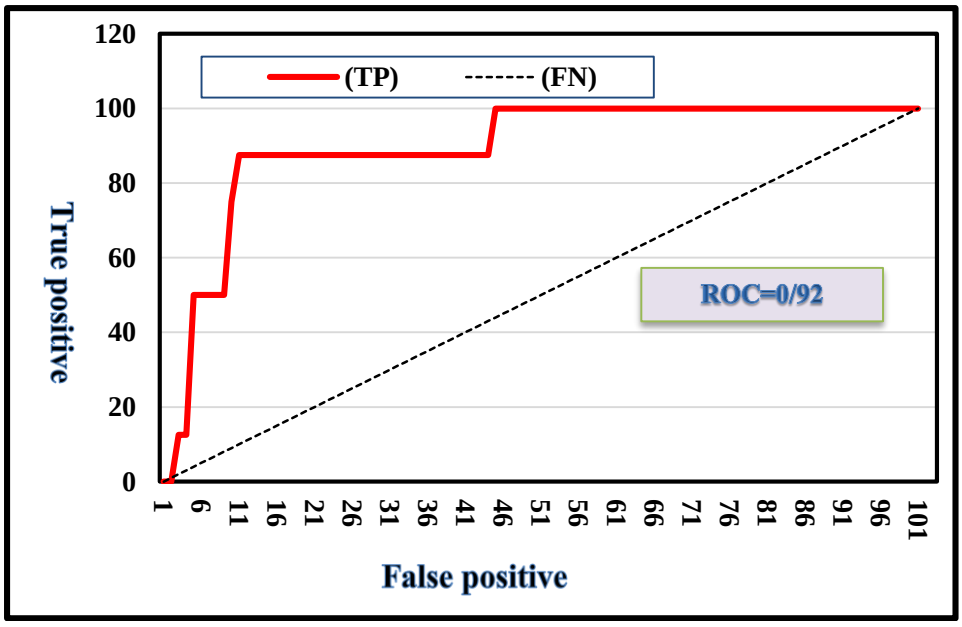
فاصله از یک آبراهه یکی از عوامل مهم در ایجاد ناپایداری دامنه‌ای و به‌ویژه؛ زمین‌لغزش می‌باشد. وجود رودخانه، با نفوذ آب در زمین و ایجاد ســستی به ایجاد اختلاف بین دیوارها و سنگ بستر منجر می‌شود که با افزایش شیب همراه اســت. افزایش شــیب در نهایت به از دســت دادن تعادل و ناپایداری دامنه منجر می‌شود (Nanehkaran et al, 2023). فاصــله از رودخانه در ســطح شــهرســتان خرم‌آباد بین صفر تا ۸۰۰۰ متر می‌باشد. رودخانه‌های اصلی شهرستان خرم‌آباد عبارتند از: رود خرم‌آباد، رود کرگانه، رود ســزار، رود ایوشــان و رود چمشک. رودخانهٔ خرم‌آباد، رود اصلی شهرستان می‌باشــد که این رودخانهٔ دائمی ۲۶ کیلومتر طول دارد و از ریزابه‌های بســیاری که تمامی آن‌ها از ارتفاعات پیرامون خرم‌آباد ســرچشمه گرفته‌اند، پدید می‌آید. این رودخانه نخست از دره شمال شرقی کوه لپیو پیاده به سوی جنوب غربی جاری شــده و ســپس به موازات خرم‌آباد، به نصــرآباد ســرازیر می‌شــود و پس از عبور از درّهٔ شرقی سفیدکوه به نهر خرم‌آباد وارد می‌شود. در این نهر با ریزابه بزرگی که ا ز ارتفاعات شرقی سرازیر شده مخلوط شده و در جنوب شهر با

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

رودخانه تنگ بهرام‌کش در هم می‌آمیزد و به‌طرف غرب تغییر مسیر داده و به دهستان کره‌گاه وارد می‌شود. در این دهستان با رودخانه درّه نسب مخلوط شده و پس از عبور از دهستان ویسیان، در دهستان هویان به رود کشکان می‌ریزد. حوضهٔ این رودخانه، خلیج فارس و دریای عمان است. با بررسی نقشهٔ موضوعی فاصله از رودخانه می‌توان نتیجه گرفت، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر عمدتاً در 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. لذا، نتایج به دست آمده از مطالعهٔ توزیع زمین‌لغزش‌ها نسبت به فاصله از آبراهه نشان داد که بیشترین رخداد زمین‌لغزش (۷۱/۱۱ درصد از لغزش‌های موجود)، در فواصل صفر تا ۵۰۰ متر قرار دارد که این امر را می‌توان به کاهش تنش مؤثر و مقاومت برشی دامنه‌ها در اثر نفوذ آبراهه‌ها به رسوبات نسبت داد.

بارندگی به‌دلیل تأمین آب خاک می‌تواند با افزایش فشار استاتیکی آب بر درزها و شکاف‌ها و امکان ایجاد سستی در خاک، عامل موثری در ایجاد زمین‌لغزش باشد (Ou et al, 2024). با نظر به نقشهٔ بارش، مقادیر بارشی در سطح شهرستان خرم‌آباد بین ۴۲۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر می‌باشد. بررسی معیار بارش بیانگر این موضوع می‌باشد که پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر در سطوحی با بارش ۶۵۰-۴۵۰ میلی‌متر قرار گرفته است. بررسی نقاط لغزشی نیز نشان می‌دهد، به‌ترتیب ۳۲/۲۲ و ۳۴/۴۴ درصد از نقاط لغزشی در سطوحی بارشی ۵۰۰-۴۵۰ و ۵۵۰-۵۰۰ میلی‌متر قراردارند و پهنه‌های بارشی ۶۰۰-۵۵۰ و ۶۵۰-۶۰۰ میلی‌متر نیز به‌ترتیب ۱۳/۳۳ و ۱۷/۷۸ درصد از زمین‌لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان را پوشش می‌دهد. اعتبارسنجی نتایج حاصل از پژوهش به وسیلهٔ منحنی راک، مقدار سطح زیرمنحنی (۰/۹۲) را نشان می‌دهد که این امر بیانگر عملکرد عالی مدل و کارایی آن برای شناسایی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در سطح شهرستان خرم‌آباد است (شکل ۸).



شکل ۸: منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که همه ساله موجب به وجود آمدن خسارات جانی و مالی فراوانی می‌گردد. کنترل زمین‌لغزش در حال وقوع، اغلب امکان‌پذیر نبوده و در صورت امکان بسیار پرهزینه است، امّا

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

از وقوع آن در مناطق مستعد می‌توان پیشگیری کرد. لذا، شناسایی مناطق ناپایدار و ممیزی آن‌ها، به منظور تشخیص و تعیین عوامل محیطی یکی از موضوعات مهم در زمینه عمران منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای، به‌ویژه در مناطق کوهستانی می‌باشد. این پژوهش، با هدف شناسایی عوامل مؤثر و تعیین پهنه‌های مستعد وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیارهٔ مارکوس در سطح شهرستان خرم‌آباد انجام شده است. نتایج حاصل از اولویت‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش با بهره‌گیری از روش کرتیک در منطقه مورد مطالعه، نشان داد که عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی و فاصله از شبکه راه‌ها، به‌ترتیب با ضرایب وزنی ۰/۱۵۸، ۰/۱۵۳، ۰/۱۳۱ و ۰/۱۱۷، بیش ترین تأثیر را بر رخداد زمین لغزش ها دارند. به‌علاوه، با نظر به اینکه ۸۲۰/۱۰ کیلومترمربع از منطقه در طبقهٔ خطر بسیار زیاد، ۱۳۶۲/۰۴کیلومترمربع در طبقهٔ خطر زیاد و ۱۳۶۱/۳۳ کیلومترمربع در طبقهٔ متوسط واقع شده است. می‌توان بیان داشت که شهرستان خرم‌آباد از لحاظ احتمال وقوع خطر زمین‌لغزش از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. به‌طورکلی؛ در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر، پراکندگی مکانی عوامل به گونه‌ای است که شرایط مناسبی را برای وقوع زمین لغزش فراهم می کند که در این راستا می‌توان به تسلط دامنه‌هایی با شیب متوسط تا تند (۱۰ تا ۵۰)، سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری، دریافت بارش‌های فراوان، کابری‌های متنوع (به‌ویژه زراعی، پوشش جنگلی، مراتع)، ترانشه‌زنی و از بین بردن پاشنه دامنه‌ها به دنبال عملیات راهسازی و فّعالیّت‌های 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، شمال‌غربی، شرق و جنوب‌شرقی)، اشاره کرد.

اعتبارسنجی مدل مارکوس با کاربست منحنی ROC (با مساحت زیر منحنی ۰/۹۲درصد)، نشان‌دهندهٔ کارایی و دقت عالی مدل به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش منطقه است. به‌علاوه، از انطباق نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست آمده توسط مدل با نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های واقعی منطقهٔ مورد مطالعه نیز کارایی نقشهٔ خطر زمین‌لغزش مورد تایید می‌باشد. به‌طوریکه تطبیق سطوح لغزش‌یافته و پهنه¬های مواجه با خطر نشان می¬دهد که در خروجی حاصل از الگوریتم مورد بررسی، طبقهٔ بسیار پرخطر با ۴۴/۴۴ و پرخطربا ۴۲/۲۲ درصد از نقاط لغزشی موجود، دارای بیشترین تعداد و درصد از سطوح لغزشی هستند. بنابرین می‌توان اذعان داشت که نتایج پژوهش حاضر به طورکلی با نتایج حاصل از پژوهش‌های به‌عمل آمده توسط Madadi et al. (2021)، Sharifi et al. (2022) و Vojtekova and Vojtek, (2020)، Kumar et al, (2022)، Saha et al. (2023)، Tesfa and Sewnet (2024)، دررابطه با عملکرد خوب روش‌های تحلیل چندمعیاره و به‌طور ویژه با نتایج Madadi and Piroozi (2023) و Abedini and Piroozi (2024) مبنی برکارایی روش تحلیل چندمعیارهٔ مارکوس در پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش همخوانی دارد. لذا باتوجه به 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 برای سایر پژوهشگران نیز پیشنهاد می‌گردد.

در نهایت لازم به ذکر می‌باشد، با توجه به وسعت بالای پهنه‌های دارای احتمال وقوع زمین‌لغزش در سطح شهرستان خرم‌آباد، لازم است تا نتایج این تحقیق در غالب معرفی معیارهای مهم دخیل در ایجاد زمین‌لغزش شهرستان و شناسایی نواحی با احتمال وقوع بالای این مخاطره، در راستای انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیرتی پیشگیرانه و ترمیمی به منظور کاهش خطر زمین‌لغزش و پایداری دامنه‌ها، مورد توجه جدی سازمان‌های ذی‌ربط (هچون؛ سازمان مدیریت

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

بحران، ادارۀ کل منابع طبیعی و آبخیزداری، ادارۀ کل راه‌وشهرسازی، سازمان آب منطقه‌ای و سایر ارگان‌های مرتبط با مسائل مخاطرات محیطی)، قرار گیرد. از جملۀ این اقدامات می‌توان به تغییر در شکل دامنه توسط تغییر در ارتفاع و شیب (به طور مثال با پلکانی کردن دامنه می‌توان شیب و ارتفاع را کاهش داد)، پایدارسازی ترانشه‌ها، استفاده از سازه‌های مهندسی از قبیل میل مهار سنگ، بتن پاشی و احداث دیواره حائل یا ضربه‌گیر در مناطق مستعد لغزشی، ممانعت از راه‌سازی و احداث سایر سازه‌ها در مناطق شیب‌دار و لبه‌های پرتگاهی (به‌ویژه در اراضی حساس موجود در مناطق جنگلی)، ایجاد سیستم زهکشی مناسب برای هدایت آب‌های سطحی و جلوگیری از نفوذ آب به داخل خاک وکاهش نفوذ آب با استفاده از پوشش‌های سطحی مناسب، اشاره داشت. با توجه به نتایج مطالعه و با نظر به این موضوع که اغلب نواحی پرخطر در اراضی زراعی، مرتعی و جنگلی قرار گرفته است و در سطح شهرستان خرم‌آباد شاهد تخریب جنگل‌ها و مراتع به دنبال استفاده از چوب درختان جهت مصارف سوخت، گسترش اراضی کشاورزی در پی تبدیل جنگل‌ها به کشتزار توسط مردم بومی، گسترش جاده‌ها، چرای دام در مناطق جنگلی و تخریب درختان بلوط، چرای افراطی و زودرس و دیررس مراتع توسط دام عشایر، هستیم. پیشنهاد می‌گردد تا ضمن انجام اقداماتی مانند: جلوگیری از کشاورزی در اراضی شیب‌دار و مستعد رانش، جلوگیری از تخریب پوشش‌گیاهی و جنگل‌کاری با کاشت گونه‌های بومی با ریشه‌های عمیق، ممانعت از شخم زدن مراتع و تبدیل آن‌ها به زمین‌های زراعی، آموزش همگانی و ارتقای سطح آگاهی‌های عمومی درمورد عواقب ناشی از تغییر بی‌رویۀ کاربری اراضی و ساخت‌وسازهای غیرمجاز، در مطالعات آتی پژوهشگران، اثر تغییرات کاربری اراضی بر پتانسیل وقوع خطر زمین‌لغزش در سطح شهرستان را در بازهای زمانی مختلف مورد بررسی قرار دهند.

قدردانی

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

منابع

1. Abbasi, H., Sharafi, S., & Maryakji, Z. (2017). Geomorphological hazards threatening the spatial analysis of urban living complex in Lorestan province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4 (2), 107-125. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2719-fa.html (In Persian)
2. 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
3. Abedini, M., & Piroozi, E. (2024). Determining Areas Prone to the Occurrence of Landslides in the Nir-Sarab Communication Route. *Geography and Development*, 22(74), 82-110. https://doi.org/10.22111/gdij.2024.8147(In Persian)
4. 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

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

5. Asgari S & Shadfar S. (2025). Landslide risk zoning using artificial neural network (ANN) in Mishkhas watershed of Ilam. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 11 (4), 61-76. https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.4.4 (In Persian)
6. 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. P*hysical Geography Research*, 54(1), 65-94. https://doi.org/10.22059/jphgr.2022.333658.1007656 (In Persian)
7. 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. https://doi.org/10.22108/gep.2024.140985.16396 (In Persian)
8. 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
9. Baharvand, S. (2023). The Evaluation of Landslide Sensitivity using Frequency Ratio and Fuzzy Logic Models (Case Study: Khorramabad-Arak Freeway). *Journal of Geography and Environmental Hazard*s, 12(1), 103-116. https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75264.1201 (In Persian)
10. Bhattacharyya, R., & Mukherjee, S. (2021). Fuzzy Membership Function Evaluation by Non-LinearRegression: An Algorithmic Approach. *Fuzzy infomation and engineering*, 12 (4), 412–434. https://doi.org/10.1080/16168658.2021.1911567
11. 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
12. Diara, I. W., Wahyu Wiradharma, I., Suyarto, R., Wiyanti, W. & Saifulloh, M. (2023). Spatio-temporal of landslide potential in upstream areas, Bali tourism destinations: remote sensing and geographic information approach. J*ournal of Degraded & Mining Lands Management*, 10(4), 4769-4777. https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.104.4769
13. Ebrahimi, M., Zakerian, A., Dawoudian, J., & Amir-Ahmadi, A. (2018). Stability Analysis and Stabilization Solutions for Landslides (Case Study: Khorramabad-Pole Zaal Freeway). *Geography and Environmental Sustainability*, 7(4), 1-17. https://ges.razi.ac.ir/article_867.html?lang=en (In Persian)
14. 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)
15. 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
16. Gilanipoor, A., Motevalli, S. & Derafshi, K. (2025). Assessment of Landslide Sensitivity and Determination of Effective Factors in its Occurrence Using the Random Forest Algorithm (Case Study: Glandrood Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(1), 247-274. https://doi.org/10.22067/geoeh.2025.89542.1514 (In Persian)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

17. 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)
18. Hatami Fard, R., Mousavi, S. & Alimoradi, M. (2012). Landslide hazard zonation using AHP model and GIS technique in Khoram Abad City. *Geography and Environmental Planning*, 23(3), 43-60. https://gep.ui.ac.ir/article_18553.html?lang=en (In Persian)
19. Jafari, M., Shadfer, S., Pairevan, H., & Asgari S. (2025). Assessing the potential of landslides in Sivan basin, Ilam province and the impact of that vulnerability of the region. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 12 (1 and 45), 1-15. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3375-fa.html (In Persian)
20. Jafari, G. H. & Timaji, M. (2024). Spatial Identity of Landslide Risk in Eastern Alamut (Case Study: Ovan Lake). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(2), 186-209. https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.82684.1375 (In Persian)
21. 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
22. Karam, A., Safari, A., Hatamifard, R., & Nouri, A (2013). Application of OWA-AHP hybrid model for landslide hazard zoning (Case study: Khorramabad city). I*ranian Bi-Quarterly Journal of Applied Geomorphology*, 1 (2). 20-1. https://civilica.com/doc/793725/ (In Persian)
23. Karbakhsh-ravari, E., & Sarmadian, F. (2025). Land suitability assessment using the Marcos method and its comparison with the parametric method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56(7), 1821-1838. https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.394553.66993 (In Persian)
24. 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
25. 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)
26. 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)
27. 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)
28. Materazzi, M., Bufalini, M., Gentilucci, M., Pambianchi, G., Aringoli, D., & Farabollini, P. (2021). Landslide hazard assessment in a monoclinal setting (Central Italy): Numericalvs, geomorphological approach. *Land*, 10 (6), 1-22. https://doi.org/10.3390/land10060624

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]

29. Mirzai, F., Momeni, A. A. & Abdi, Y. (2024). Landslide hazard zonation along Khorramabad-Zal Highway in Lorestan province using analytical hierarchy process (AHP). *New Findings in Applied Geology*, 18(36), 264-282. https://doi.org/10.22084/nfag.2024.28365.1582 (In Persian)
30. 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), 1-28. https://doi.org/10.3390/w15152707
31. 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
32. Pakbazi, S., Armin, M., & Faraji, M. (2023). Investigating the Impact of the Rainfall System of April 2018 on the Occurrence of Landslides in Boyer-Ahmad and Dena Counties in Kohgilouye and Boyer-Ahmad Province. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 13 (4),83-108. https://doi.org/10.61186/jeer.13.4.83 (In Persian)
33. 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.2023.13934.1379 (In Persian)

Sadeghi, H. & 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)

35. 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
36. 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://dor.org/20.1001.1.27173747.1400.2.6.4.0 (In Persian)
37. Silakhori, Z., Vahabzadekebriya, G., & Poorghasemi H. (2023). Landslide Susceptibility Mapping using Bayesian Model: A Case Study of some Regions of Talar Watershed, Mazandaran Province. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 13 (2) :122-140. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-683-fa.html (In Persian)
38. 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
39. 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
40. 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
41. Vojtekova, J., & Vojtek, M. (2020). Assessment of landslide susceptibility at a localspatial scale applying the multi-criteria analysisand GIS: a case study from Slovaki, Geomatics. *Natural Hazards and Risk*, 11 (1), 131–148. https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1713233

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.64]