



Investigating the effects of land use changes on the potential for landslide risk in Meshkinshahr County

Elnaz Piroozi¹ , Sayyad Asghari Saraskanroud² , Batool Zeinali³

1. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Email: e.pirouzi@uma.ac.ir

2. (Corresponding Author) , Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Email: s.asghari@uma.ac.ir

3. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Email: zeynali.b@uma.ac.ir

Article Info

Article Type:

Research Article

Article History:

Received:

13 Nov 2025

Received in revised form:

3 Feb 2026

Accepted:

3 May 2026

pp.28-53

Keywords:

Land use,

Mass Movement,

Object-based method,

Multi-criteria analysis.

ABSTRACT

Landslides are one of the most destructive processes, the potential for which is often increased by unprincipled land use changes. Meshkinshahr County, located in Ardabil Province, has always been at risk of landslides due to climatic, physiographic, and geological conditions. However, in recent years, due to population growth and unprincipled land use changes, the potential for this hazard to occur at the county level has increased. Accordingly, the present study seeks to evaluate the effect of land use changes on the potential for landslide hazards in this county. To achieve the research objectives, a land use map was extracted using an object-oriented method for the years 2002 and 2024. To zone the landslide hazard, weighting was performed using the critic method, standardization was performed using a fuzzy membership function, and final modeling was performed using a weighted linear combination multi criteria method. The analysis of land use changes showed that in both years, poor pastures and dryland agriculture covered the largest area, and the largest land use change in the county was the conversion of poor pastures to dryland agriculture. According to the landslide zoning map in 2002, the area of the very high-risk and high-risk categories was 457.606 and 994.776 square kilometers, which increased to 483.444 and 1103.104 square kilometers, respectively, in 2024. Also, considering the use of the Rock curve method with an area under the curve of 0.81 in 2002 and 0.86 in 2024, the accuracy of the weighted linear combination method in identifying landslide-prone areas in Meshkinshahr County is very good. Finally, by examining the adaptation of zoning results to changes in land use in the county, it can be concluded that the increase in the area of agricultural lands and residential areas, and the decrease in the area of pastures, gardens, and forest cover, are the most important reasons for the increase in the potential for landslide risk in Meshkinshahr county.

Cite this article: Piroozi, E. , Asghi saraskanroud, S. and Zeinali, B. (2026). Investigating the effects of land use changes on the potential for landslide risk in Meshkinshahr County. *Quantitative Geomorphological Research*, 15(1). 28-53.

Doi: [10.22034/gmpj.2025.508815.1548](https://doi.org/10.22034/gmpj.2025.508815.1548)

Extended Abstract

Introduction

Landslides are one of the most destructive geomorphological hazard processes of the range, which not only cause huge losses to human society and economic development but also pose a serious threat to the environment. In recent years, successive changes in land use, due to the necessity of meeting the various needs of the growing world population, represent an important part of global changes in the environment, and often unprincipled changes in land use as a dynamic factor related to human activities, also lead to an increase in the potential for landslides. Meshkinshahr County (located in Ardabil Province), due to environmental characteristics including; topographic conditions, loose and unstable surface materials on resistant formations, and climatic conditions, has a high potential for landslide hazards. However, in recent years, due to the growing population and unprincipled land use changes, the potential for this hazard to occur at the county level has increased. Accordingly, the present study seeks to evaluate the effect of land use changes on the potential for landslide hazard in this county.

Methodology

In this study, to investigate land use changes, first, Landsat satellite images from OLI-TM sensors for the years 2002 and 2024 were obtained from the US Geological Survey. Then, to prepare the images, geometric and atmospheric corrections were made on the images using Envi5.3 software. In the next stage, using the object-oriented classification method and the nearest neighbor algorithm using Ecognition software, land use maps were extracted in the two years under study. In the next stage, by identifying the effective factors involved in landslides in the region (including; Dem, slope, aspect, lithology, distance from fault, land use, precipitation, distance from communication road, and distance from river) and preparing information layers for each criterion in GIS, the evaluation and standardization of the layers were performed using the fuzzy membership function and

weighting of the criteria, using the critic method. Finally; Final analysis and modeling were performed using the weighted linear combination multi-criteria analysis method.

Results and discussion

Based on the results of the analysis of land use changes, in both years of study, poor pastures and dryland agriculture cover the largest area of the county. In contrast, irrigated areas and snow-covered lands have occupied the smallest amount of the total area of the county in both years 2000 and 2024. According to the results of the study, during the years of study; irrigated agriculture, dryland agriculture, residential areas, and irrigated areas have increased, and on the contrary, the area of gardens and forests, good pastures and poor pastures and snow-covered lands has decreased. In addition; considering the analysis of the method of land use conversion, it is observed that the largest land use change in the county was the conversion of poor pastures to dryland agriculture, and in 2024, compared to 2002, about 452.02 square kilometers of the area of poor pastures in the county was converted to dryland agriculture.

According to the results, in 2002, the slope, land use, and lithology criteria had the highest weight coefficient, respectively, and in 2024, the land use, slope, and lithology criteria had the highest weight coefficient. According to the landslide hazard zoning map, in 2002, the area of the very high-risk and high-risk categories was 457.606 and 994.776 square kilometers, which increased to 483.444 and 1103.104 square kilometers, respectively, in 2024. In terms of land use, in the landslide map in both 2000 and 2024, the areas with the very high-risk and high-risk categories were mainly located in agricultural uses (especially rainfed agriculture), pastures, and residential areas.

Conclusion

Considering the landslide zoning map in 2002 and 2024 and the large area of very high-risk and high-risk zones, it can be concluded that, in general, given the environmental conditions prevailing in the area, including the dominance of slopes with

medium to steep slopes (15 to 80), altitudes of 1000 to 4000 meters, susceptible geological formations, rainfall and abundance of the waterway network and the under scouring of the slope support by flowing waters, fault structures and slope directions, trenching and removal of the slopes' toes following road construction and development activities, Meshkinshahr County has a high potential for the formation of landslide movements. However, with the changes in land use that have occurred in the county, such as an increase in the area of agricultural lands and residential areas, and a decrease in the area of pastures, gardens, and forest cover, the area of very high-risk and high-risk categories has increased by 25.835 and 158.328 square kilometers, respectively, in 2024 compared to 2000. Given the large area of landslide-prone areas in Meshkinshahr County and how land is being converted and changed, expert protection, watershed management, and management measures must be taken. Finally, it can be acknowledged that the results of this research have a practical aspect and it is expected that the use of the land use change map and landslide hazard zoning map obtained in the present study will be made available to stakeholders and organizations related to environmental hazard issues as a more powerful tool for understanding the effects of land use change on landslides and risk management and reducing losses and losses caused by the environmental hazard of landslides.

University of Mohaghegh Ardabili. We would like to express our gratitude and appreciation.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

This article is an extract from a postdoctoral research project that was funded by the

اثر تغییرات کاربری اراضی بر پتانسیل وقوع خطر زمین لغزش در سطح شهرستان مشکین شهر

الناز پیروزی^۱، صیاد اصغری سراسکانرود^۲، بتول زینالی^۳۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: e.pirouzi@uma.ac.ir۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: zeynali.b@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	زمین لغزش‌ها از مخرب‌ترین فرآیندهای دامنه‌ای هستند که اغلب توسط تغییرات غیراصولی کاربری زمین، پتانسیل وقوع آن‌ها افزایش می‌یابد. شهرستان مشکین شهر واقع در استان اردبیل با توجه به شرایط آب‌وهوایی، فیزیوگرافی و زمین‌شناسی همواره در معرض وقوع خطر زمین لغزش بوده است. اما در طی سال‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت و تغییرات غیراصولی کاربری اراضی، پتانسیل رخداد این مخاطره در سطح شهرستان افزایش یافته است. براین اساس، پژوهش حاضر به دنبال ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر پتانسیل وقوع خطر زمین لغزش در این شهرستان می‌باشد. در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شی‌گرا برای دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ استخراج گردید. به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نیز وزن‌دهی با استفاده از روش کرتیک، استانداردسازی با استفاده از تابع عضویت فازی و مدل‌سازی نهایی با بهره‌گیری از روش چندمعیاره ترکیب خطی وزن‌دار صورت پذیرفت. تحلیل تغییرات کاربری اراضی نشان داد که در هر دو سال مورد بررسی کاربری‌های مراتع ضعیف و زراعت دیم بیشترین مساحت را پوشش می‌دهند و بیشترین تغییر کاربری شهرستان به صورت تبدیل مراتع ضعیف به زراعت دیم بوده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر ۴۵۷/۶۰۶ و ۹۹۴/۷۷۶ کیلومتر مربع بوده است که مقدار این طبقات در سال ۲۰۲۴ به ترتیب به ۴۸۳/۴۴۴ و ۱۱۰۳/۱۰۴ کیلومتر مربع افزایش یافته است. همچنین، با توجه به بهره‌گیری از روش منحنی راک با سطح زیرمنحنی ۰/۸۱ در سال ۲۰۰۲ و ۰/۸۶ در سال ۲۰۲۴، دقت روش ترکیب خطی وزن‌دار در شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش شهرستان مشکین شهر، خیلی خوب می‌باشد. در نهایت با بررسی انطباقی نتایج پهنه‌بندی با تغییرات کاربری اراضی شهرستان، می‌توان افزایش مساحت اراضی زراعی و نواحی مسکونی و در مقابل کاهش سطح مراتع، باغات و پوشش جنگلی را مهم‌ترین دلایل افزایش پتانسیل وقوع خطر زمین لغزش در سطح شهرستان مشکین شهر دانست.

استناد: پیروزی، الناز، اصغری سراسکانرود، صیاد، زینالی، بتول. (۱۴۰۵). اثر تغییرات کاربری اراضی بر پتانسیل وقوع خطر زمین لغزش در سطح شهرستان مشکین شهر. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۱(۱)، ۵۳-۲۸.

Doi: 10.22034/gmpj.2025.508815.1548

مقدمه

زمین لغزش به عنوان یک نوع از حرکات دامنه‌ای، به حرکت یک توده سنگ، آوار و خاک در روی دامنه به سمت پایین، تحت تأثیر نیروی جاذبه اطلاق می‌گردد (سینگ و همکاران^۱، ۲۰۲۴؛ ۱؛ اسفندیاری و همکاران، ۱۰۷:۱۴۰۳). براساس گزارشات پایگاه بین‌المللی بلایای طبیعی^۲، زمین لغزش 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 (سیم و همکاران^۳، ۲۰۲۴؛ ۱). این مخاطره نه تنها خسارات هنگفتی را به جامعه انسانی و توسعه اقتصادی وارد می‌کند، بلکه تهدیدی جدی برای محیط‌زیست نیز محسوب می‌گردد (کلیمس و همکاران^۴، ۲۰۲۳؛ ۲؛ اوپو و همکاران^۵، ۲۰۲۴؛ ۱). به‌طوریکه 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 (ذاکری‌نژاد و کهرانی، ۱۸:۱۴۰۲؛ نانکاران و همکاران^۶، ۲۰۲۳؛ ۲). شکل‌گیری خطر زمین لغزش به عوامل متعددی همچون؛ شیب، زمین‌شناسی، فعالیت زمین‌ساختی، زلزله، شرایط اقلیمی، نوع کاربری زمین و عوامل انسانی بستگی دارد (کالکا و همکاران^۷، ۲۰۲۴؛ ۲؛ آگانتارا آیالا^۸، ۲۰۲۵؛ ۱؛ نگهبان و همکاران، ۱۴۰۴: ۴۳). در سال‌های اخیر، تغییرات متوالی کاربری اراضی با توجه به ضرورت تأمین نیازهای مختلف جمعیت روبه رشد جهان، نشان‌دهنده بخش مهمی از تغییرات جهانی بر محیط‌زیست می‌باشد (تالور و همکاران^۹، ۳۸:۲۰۲۰؛ چائو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۳؛ ۲). در رابطه با احتمال وقوع خطر زمین لغزش نیز در بین عوامل مؤثر و دخیل در شکل‌گیری که اغلب در طول زمان نسبتاً پایدار هستند، کاربری زمین به عنوان یک عامل پویای مرتبط با فعالیت‌های انسانی، دارای نقش کلیدی می‌باشد (رابی و همکاران^{۱۱}، ۲۰۲۲؛ ۲؛ یولاح و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۴؛ ۲؛ نگهبان و همکاران، ۱۴۰۰: ۲).

امروزه با توجه به تأثیرات مخرب وقوع خطر زمین لغزش، به‌منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش برای مناطق مختلف پژوهش‌های زیادی صورت پذیرفته است. به عنوان مثال؛ عابدینی و همکاران (۱۴۰۰)، با استفاده از الگوریتم تطبیقی ماباک و فرآیند تحلیل شبکه، خطر زمین لغزش در شهرستان نیر را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج مطالعه، عوامل کاربری اراضی، لیتولوژی و شیب بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند و بیان شده است که به ترتیب ۱۷۱/۹۳ و ۳۱۲/۳۸ کیلومترمربع از مساحت محدوده در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۱)، با بهره‌گیری از روش‌های چندمعیاره ویکور، ماباک، ترکیب خطی وزنی و میانگین وزن‌دار ترتیبی، خطر زمین لغزش در حوضه گیوی‌چای را مورد مطالعه قرار دادند و طبق یافته‌های پژوهش، شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی به عنوان مهمترین عوامل دخیل در وقوع زمین لغزش حوضه معرفی شده‌اند و براساس خروجی‌های حاصل از به کارگیری مدل‌های مورد بررسی، مساحت زیادی از سطح حوضه در طبقات با احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. لجم‌اورک و پیری (۱۴۰۲)، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تلفیق وزنی به بررسی خطر زمین لغزش در شهرستان باغملک پرداختند. طبق نتایج به دست

¹ . Singh et al

² . Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)

³ . Sim e al

⁴ . Klimes et al

⁵ . Ou et al

⁶ . Nanehkaran et al

⁷ . Caleca et al

⁸ . Alcántara-Ayala

⁹ . Taloor et al

¹⁰ . Gao et al

¹¹ . Rabby et al

¹² . Ullah et al

آمده، عوامل شیب، جنس زمین و شبکه آب‌های سطحی بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در این منطقه داشته است و حساس‌ترین قسمت‌های منطقه نیز جنوب غرب و قسمت‌هایی از شرق و غرب منطقه واقع شده است. اصغری سراسکانرود و پیروزی (۱۴۰۳)، خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز قرقنوچای را با بهره‌گیری از روش چندمعیاره آراس مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داده است که به‌ترتیب: ۱۲/۸۶ و ۲۵/۴۲ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر واقع شده و عوامل شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی به‌ترتیب بیشترین وزن را از بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش دارند. وجتک‌و و وجتک^۱ (۲۰۲۰)، با استفاده از روش وزن‌دهی فرآیند سلسله‌مراتبی و روش ترکیب وزنی به ارزیابی پتانسیل لغزش زمین در شهر هاندلوا اسلوواکی پرداختند. با توجه به نتایج مطالعه، شیب به عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شده است و همچنین، طبق یافته‌های این پژوهش، پهنه با حساسیت بالا و بسیار بالا، ۵۱/۹ درصد از کل محدوده مطالعاتی را تشکیل می‌دهد. صالح‌پورجم و همکاران^۲ (۲۰۲۱)، با بهره‌گیری از روش‌های ویکور، تاپسیس و روش شاخص زمین‌لغزش، حساسیت زمین‌لغزش در حوضه آبخیز الموت ایران را مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج حاصل از این مطالعه بیان شده است که به دلیل مساحت زیاد مناطق با پتانسیل بالا و بسیار بالا، مدیریت ریسک زمین‌لغزش در این حوضه بسیار مهم است و به طور کلی، نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های چندمعیاره، عملکرد خوب این مدل‌ها را برای تولید خطر زمین‌لغزش، نشان می‌دهد. کومار و همکاران^۳ (۲۰۲۲)، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب خطی وزنی به پیش‌بینی فضایی خطر زمین‌لغزش در منطقه کولو هیمالپال پرادش هند، پرداختند. نتایج مطالعه نشان داده است که ۶۸ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی دارای پتانسیل بالای لغزش می‌باشد. همچنین با توجه به نقشه پراکنش لغزش‌های موجود، دقت پیش‌بینی ۹۰ درصدی برای این پژوهش، محاسبه شده است. ساه و همکاران^۴ (۲۰۲۳)، با بهره‌گیری از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب خطی وزنی، خطر زمین‌لغزش در بخشی از ناحیه دارجلینگ در شمال‌شرقی هند را مورد ارزیابی قرار دادند و بر اساس نتایج به دست آمده، ۳۷/۸۶ درصد از منطقه در پهنه‌های پرخطر قرار دارد و انجام اقدامات مدیریتی، در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. تسوا و سونت^۵ (۲۰۲۴)، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب خطی وزنی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه شرقی گوجام، اتیوپی مرکزی پرداختند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که عوامل فاصله از رودخانه، بارندگی و فعالیت‌های انسانی عوامل محرک اصلی برای ایجاد زمین‌لغزش در منطقه بوده است و براساس اعتبارسنجی نقشه پهنه‌بندی بیش از ۸۰ درصد از زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده با پهنه‌های با خطر بالا مطابقت دارند.

نکته مهمی که با بررسی ادبیات و پیشینه پژوهشی بیشتر نمایان می‌گردد، این امر می‌باشد که مطالعات انجام شده در ایران با محوریت بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی در پتانسیل وقوع زمین‌لغزش بسیار محدود و انگشت‌شمار است. به‌عنوان نمونه: کلارستاقی و همکاران (۱۳۸۷)، پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز تجن ساری را در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی مورد بررسی قرار داده دادند و براساس نتایج مطالعه مشخص گردید که ۳۵/۲۴ درصد زمین‌لغزش‌ها با مساحت ۳۴/۸۱ هکتار در مناطقی اتفاق افتاده که تغییر کاربری از اراضی جنگلی به اراضی زراعی دیم و باغ در روی دامنه‌های شیب‌دار صورت گرفته است. ستوهیان (۱۳۹۴)، در پژوهشی با بررسی نقش عوامل طبیعی و انسانی در بروز زمین‌لغزش‌های لاهیجان در استان گیلان، بدین نتیجه دست یافته است که تغییر کاربری مربوط به قطع درختان جنگلی و تبدیل آن به اراضی کشت چای از مهمترین عوامل انسانی و جنس سازندها به‌ویژه سازندهای مارنی و رسی، ساخت‌های زمین‌شناسی نظیر چین خوردگی و گسل، شرایط اقلیمی منطقه و نیز شیب زمین از جمله عوامل طبیعی در بروز پدیده زمین

۱. Vojtekova and Vojtek

۲. Salehpour Jam et al

۳. Kumar et al

۴. Saha et al

۵. Tesfa and Sewnet

لغزش در شهرستان لاهیجان می‌باشد. زرگانی و علیمزاده (۱۴۰۲)، با استفاده از روش فازی عصبی در حوضه مسجد سلیمان به بررسی نقش تغییرات ارتفاعی و کاربری اراضی در وقوع خطر زمین‌لغزش پرداختند و نتایج نشان داد که در مناطقی با ارتفاع زیاد و در کاربری‌های مرتعی با پوشش گیاهی ضعیف، خطر بروز زمین لغزش افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه در رابطه با این پژوهش‌ها این امر هست که در این مطالعات با استخراج نقشه کاربری اراضی برای سال‌های مختلف، نسبت به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش اقدام نشده است. اما بررسی پیشینه پژوهشی خارجی مبنی بر این موضوع است که در پژوهش‌های انجام یافته توسط پژوهشگران خارجی تعداد پژوهشی در رابطه با بررسی نقش کاربری اراضی در وقوع زمین‌لغزش در طی بازه‌های زمانی مختلف وجود دارد که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات زیر اشاره داشت. ریچنبرج و همکاران^۱ (۲۰۱۴)، با استفاده از طبقه‌بندی‌های نظارت شده و روش تحلیل آماری چندمتغیره، تأثیر تغییر کاربری زمین بر پهنه‌بندی نقاط حساس به زمین‌لغزش را در سایت آزمایشی حوضه بریگا (مسینا، ایتالیا) را بین سال‌های ۱۹۵۴ تا ۲۰۰۹، مورد بررسی قرار داد و نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، نشان‌دهنده افزایش درصد سطحی مناطق مستعد لغزش در محدوده بوده و براساس یافته‌ها، بین پوشش جنگلی و پایداری شیب در محدوده مطالعاتی رابطه قوی وجود دارد. چن و همکاران^۲ (۲۰۱۹)، تأثیر کاربری زمین بر حساسیت زمین‌لغزش در شهر ژوشان چین را بررسی کردند و در این مطالعه با استفاده از شبکه عصبی و شی گرا، دو نوع نقشه کاربری زمین با فاصله زمانی ۲۱ سال (۱۹۹۲-۲۰۱۳)، تهیه شد و مقایسه نقشه‌های حساسیت زمین لغزش در دوره‌های مورد بررسی نشان داد که فعالیت‌های مهندسی انسانی مهم‌ترین عامل در افزایش پتانسیل لغزش در این منطقه بوده است. بویرن و بویهدد^۳ (۲۰۲۱)، به مطالعه تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه شهری کنستانتین واقع در شمال الجزایر در طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۱ پرداختند و براساس یافته‌های پژوهش با افزایش مناطق شهری در طی سال‌های مورد بررسی، تراکم زمین‌لغزش‌ها نیز افزایش یافته است. به‌طوریکه ۴۰ درصد از مناطق پرخطر و ۵۰ درصد از مناطق با خطر متوسط در منطقه شهری قرار دارند. فوزی و همکاران^۴ (۲۰۲۳)، تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز گریندولو اندونزی را در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ بررسی کردند. نتایج نشان داده است که با افزایش اراضی زراعی و کاهش اراضی جنگلی، پتانسیل زمین‌لغزش در طول سال‌های مطالعاتی در منطقه افزایش یافته است. کیمورا^۵ (۲۰۲۴)، به ارزیابی اثرات تغییرات کاربری و بارندگی بر زمین‌لغزش در یک منطقه کوهستانی در غرب ژاپن بین سال‌های ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۸ پرداختند و براساس یافته‌های پژوهش مشخص شد که توسعه زمین‌های کشاورزی پس از سال ۱۹۶۲ به ناپایداری گسترده و افزایش زمین‌لغزش‌های بزرگ منجر شده است و در مقابل، هیچ همبستگی واضحی بین شدت بارندگی و پتانسیل لغزش در محدوده یافت نشده است.

شهرستان مشکین‌شهر (واقع در استان اردبیل)، با توجه به ویژگی‌های محیطی اعم از شرایط توپوگرافیکی، وجود مواد سست و نامقاوم سطحی بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی از پتانسیل بالایی جهت وقوع خطر زمین‌لغزش، برخوردار است و در طی سال‌های اخیر، با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تغییرات غیراصولی کاربری اراضی، پتانسیل رخداد این مخاطره در سطح شهرستان افزایش یافته است. لذا به دلیل اهمیت موضوع و با توجه به این مهم که تاکنون مطالعه‌ای به‌منظور پهنه‌بندی این شهرستان از لحاظ خطر زمین‌لغزش و به‌ویژه بررسی اثرات تغییرات کاربری بر پتانسیل رخداد این مخاطره، انجام نشده است. در این پژوهش ارزیابی تغییرات کاربری‌ها در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴، با استفاده از طبقه‌بندی شی گرا و پهنه‌بندی پتانسیل زمین‌لغزش با بهره‌گیری از روش چندمعیاره ترکیب خطی وزن‌دار بررسی شده است. انتظار

1. Reichenbach et al

2. Chen et al

3. Bourenane & Bouhadad

4. Fauzi et al

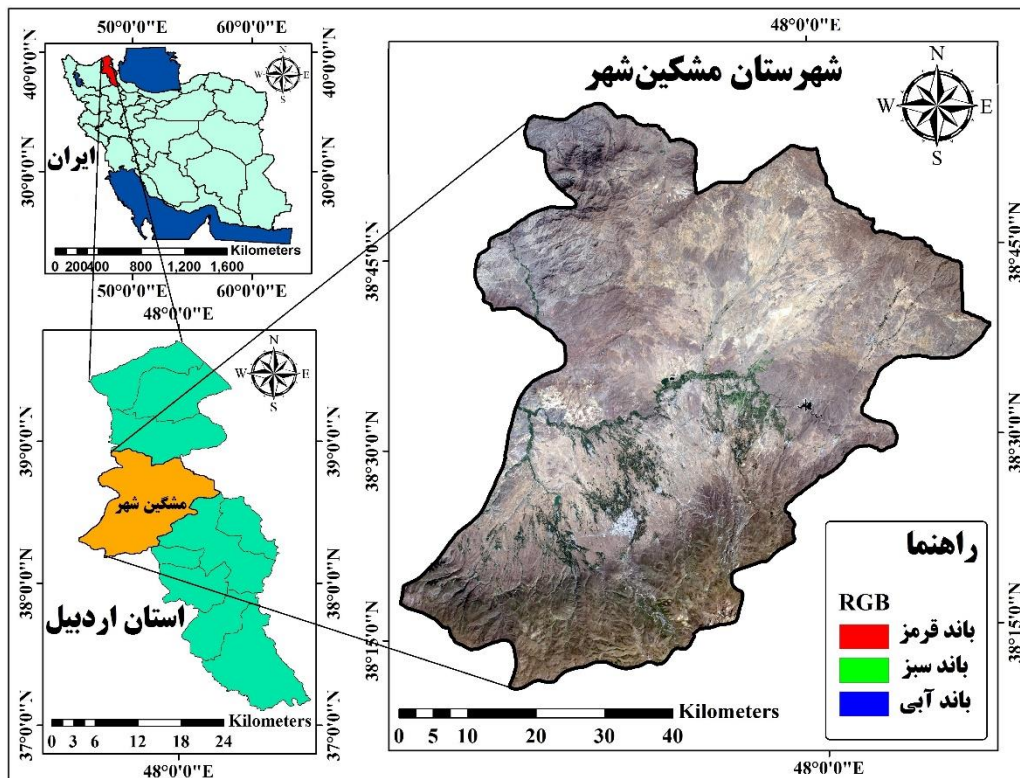
5. Kimura

می‌رود با توجه به نتایج پژوهش، با توجه به آگاهی یافتن از تغییرات انواع کاربری‌ها در سال‌های مورد مطالعه و با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر مخاطره زمین‌لغزش، اقدامات لازم برای کنترل اثرات منفی، عملیات اجرایی و اصلاحی و برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع در سطح شهرستان، انجام گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مورد بررسی

شهرستان مشکین‌شهر با وسعتی حدود ۳۸۷۹/۷۶ کیلومترمربع، بزرگترین شهرستان استان اردبیل است که در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مرکز این شهرستان، خیابان شهر مشکین‌شهر است که این شهر بعد از مرکز استان دومین شهر بزرگ استان می‌باشد. ارتفاع متوسط این شهرستان ۱۸۳۰ متر و بلندترین نقطه آن قله سیلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر از سطح آب‌های آزاد است. از مهم‌ترین کوه‌های شهرستان می‌توان به سلطان ساوالان، هرم‌داغی، آقام‌داغ (کسری)، جنوارداغی، دلی‌آلی، آبی‌قاری، اوغلان‌داغی، هفته‌داغی، چال‌داغ، قزل‌داغ، گوی‌داغ، ایلالی‌داغ و ایشیق چیخماز اشاره داشت. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. اما در جنوب و جنوب‌غرب (دامنه‌های شمالی کوهستان سیلان) اقلیم نیمه‌مرطوب نیز دیده می‌شود. میانگین بارش سالانه این شهرستان، ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین مقدار بارش شهرستان در ماه‌های فروردین و اردیبهشت و کمترین مقدار بارش نیز در ماه‌های مرداد و شهریور به وقوع می‌پیوندد و به‌ترتیب بهمن و مرداد ماه، سردترین و گرمترین ماه‌ها هستند. شهرستان مشکین‌شهر به لحاظ زمین‌شناسی از سازندهای گوناگونی از پرکامبرین تا کواترنر تشکیل شده است. قدیمی‌ترین واحدهای این شهرستان PCmt2 شامل سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای (رخساره شیبست متورق سبز)، مربوط به پرکامبرین و جدیدترین واحدها شامل Qft1 (رسوبات مخروط‌افکنه‌های پایکوهی سطح بالا و تراس‌های دره‌ای)، مربوط به کواترنر می‌باشد. از لحاظ مساحت تحت پوشش، بخش اعظمی از مساحت شهرستان مشکین‌شهر را سازندهای PAEav (آندزیت آتشفشانی مربوط به پائوسن-اوسن)، با مساحت ۷۲۲/۱۹۶ کیلومترمربع، Eav (آندزیت آتشفشانی مربوط به اوسن)، با مساحت ۶۷۵/۷۲۹ کیلومترمربع، Qft1 (رسوبات مخروط‌افکنه‌های پایکوهی سطح بالا و تراس‌های دره‌ای کواترنری) با ۶۹۰/۳۷۸ کیلومترمربع مساحت و Qvc (کوارتز دانه‌ای مخلوط-مواد آتشفشانی محلی با جریان لاهار کواترنری) با ۴۰۳/۶۵ کیلومترمربع مساحت، پوشش داده‌اند (نقشه زمین‌شناسی استان اردبیل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).



شکل ۱. نقشه موقعیت شهرستان مشکین شهر در استان و کشور

منابع داده‌ها و ابزارها

تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع پژوهشی-کاربردی است و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و استفاده از فنون تحلیل چندمعیاره است. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای ENVI، Arc GIS، Idrisi، Excel و بهره‌گیری شده است. در این مطالعه به منظور استخراج نقشه‌های کاربری اراضی دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست ۵ (تاریخ: ۲۰۰۲/۰۸/۰۶) و سنجنده OLI لندست ۹ (تاریخ: ۲۰۲۴/۰۸/۲۶) به شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۳ اخذ از سایت زمین‌شناسی آمریکا و روش شی‌گرا استفاده شده است. جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا باید مؤلفه‌های تأثیرگذار مشخص شده و بر مبنای آن‌ها داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز گردآوری و طبقه‌بندی شوند. بدین منظور، در این مطالعه، پس از بررسی تحقیقات علمی مشابه در زمینه موضوع، انجام مشاهدات میدانی و با در نظر گرفتن شرایط طبیعی و انسانی منطقه، ابتدا عوامل (شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی و فاصله از رودخانه)، به عنوان معیارهای مؤثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش شهرستان مشکین شهر تشخیص داده شدند و سپس نسبت به استخراج هر یک از لایه‌های اطلاعاتی معیارها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام شد. نقشه معیار طبقات ارتفاعی شهرستان با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی اخذ شده از سایت دانشگاه آلاسکا (با قدرت تفکیک ۱۲/۵×۱۲/۵ متر)، استخراج گردید. با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاعی، لایه‌های اطلاعاتی شیب و جهت شیب در Arc map تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مؤلفه‌های سنگ‌شناسی و فاصله از گسل‌ها، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی رقومی شده استان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج شد. لایه‌های اطلاعاتی راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه خطوط

ارتباطی و رودخانه‌های استان اردبیل، تهیه و مورد سنجش قرار گرفت. نقشه بارش نیز، با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و با بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ، ترسیم شد.

استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شی‌گرا

در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای به دو روش کلی پردازش پیکسل پایه و شی‌گرا انجام می‌شود. روش پیکسل پایه بر طبقه‌بندی ارزش‌های عددی تصاویر مبتنی است و روش جدید شی‌گرا، علاوه بر ارزش‌های عددی تصاویر؛ محتوا، بافت و زمینه را نیز در فرایند طبقه‌بندی تصاویر به کار می‌گیرد. پس می‌توان بیان داشت که روش‌های شی‌گرا به جهت بهره‌مندی از الگوریتم‌های دانش پایه^۱، بر ضعف روش پیکسل پایه در استفاده نکردن از اطلاعات هندسی و بافتی اجسام غلبه کرده و از انواع الگوریتم‌های هندسی، شکلی، طیفی و مکانی استفاده می‌کند (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۷۱؛ عبادی و همکاران، ۱۴۰۳: ۲۶۴). لذا، در این پژوهش نیز به منظور استخراج نقشه‌های کاربری اراضی دو سال ۲۰۲۴ و ۲۰۲۲ از روش شی‌گرا استفاده شده است. در راستای استخراج نقشه کاربری اراضی شهرستان مشکین‌شهر با استفاده از روش شی‌گرا، بعد از اخذ تصاویر ماهواره‌ای مد نظر از سایت زمین‌شناسی آمریکا، ابتدا به منظور آماده‌سازی تصاویر، نسبت به تصحیحات اتمسفری در نرم‌افزار Envi5.3 اقدام شد. فرایند استخراج نقشه کاربری اراضی توسط روش شی‌گرا در سه مرحله کلی قطعه‌بندی، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت انجام می‌گردد. در مرحله قطعه‌بندی، پیکسل‌های تصویر بر اساس تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود میان آن‌ها در زمینه ویژگی‌های طیفی و شکلی و با در نظر گرفتن درجه‌ای از ناهمگنی مجاز در هر قطعه به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند که این قطعه‌ها یا شی‌های ساخته شده در گام بعدی به منظور شناسایی عوارض مورد نظر طبقه‌بندی می‌شوند (اصغری سراسکانرود و ناصری، ۱۳۹۹: ۸۴). در این پژوهش جهت قطعه‌بندی از روش چندمقیاسه^۲ استفاده شده است. برای این منظور با تجزیه و تحلیل، مقیاس ۳۵ برای تصویر سال ۲۰۲۴ و مقیاس ۴۰ برای تصویر سال ۲۰۲۲ انتخاب شد و شکل و ضریب فشردگی برای هر دو تصویر ۰/۴ و ۰/۶ در نظر گرفته شد. پس از قطعه‌بندی و استخراج داده‌های آموزشی با استفاده از روش طبقه‌بندی الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی^۳ و توسط نرم‌افزار eCognition، استخراج هشت کلاس باغ و جنگل، مرتع خوب، مرتع ضعیف، زراعت آبی، زراعت دیم، مناطق آبی، نواحی مسکونی و پوشش برفی انجام شده است. در این پژوهش، جهت دستیابی به نتایج بهتر و با دقت بیشتر علاوه بر اطلاعات طیفی، برخی شاخص‌ها نظیر شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی^۴ و میانگین انعکاس طیفی باندهای مختلف، اطلاعات بافتی نظیر ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری^۵ و اطلاعات مربوط به شکل جهت استخراج پوشش کاربری اراضی استفاده شده است.

بررسی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم است و هیچ طبقه‌بندی تازمانی که دقت آن ارزیابی نشود، مستند نخواهد بود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۱۳). پارامتر اصلی که برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، صحت کلی و ضریب کاپا می‌باشند. با توجه به نتایج به دست آمده، صحت کلی و ضریب کاپا بر روی تصویر ۲۰۲۲ به ترتیب دارای مقدار ۹۷٪ و ۹۶٪ می‌باشد و بر روی تصویر سال ۲۰۲۴ نیز مقدار ضریب کاپا با ۹۶٪ و مقدار صحت کلی با ۹۶٪ برابر است. به علاوه ضریب کاپا و صحت کلی از نظر تک‌تک کاربری‌ها نیز از صحت قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد (جدول ۱). در نهایت لایه‌های به دست آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌ها، تهیه نقشه خروجی مناسب و اعمال نمودن معیار کاربری در فرایند پهنه‌بندی خطر فرسایش به نرم‌افزار Arc GIS انتقال داده شدند.

^۱ . Basic knowledge algorithm

^۲ . Multiresolution Segmentation

^۳ . Nearest Neighbor

^۴ . NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

^۵ . GLCM (Gray Level Co-Occurrence Matrix)

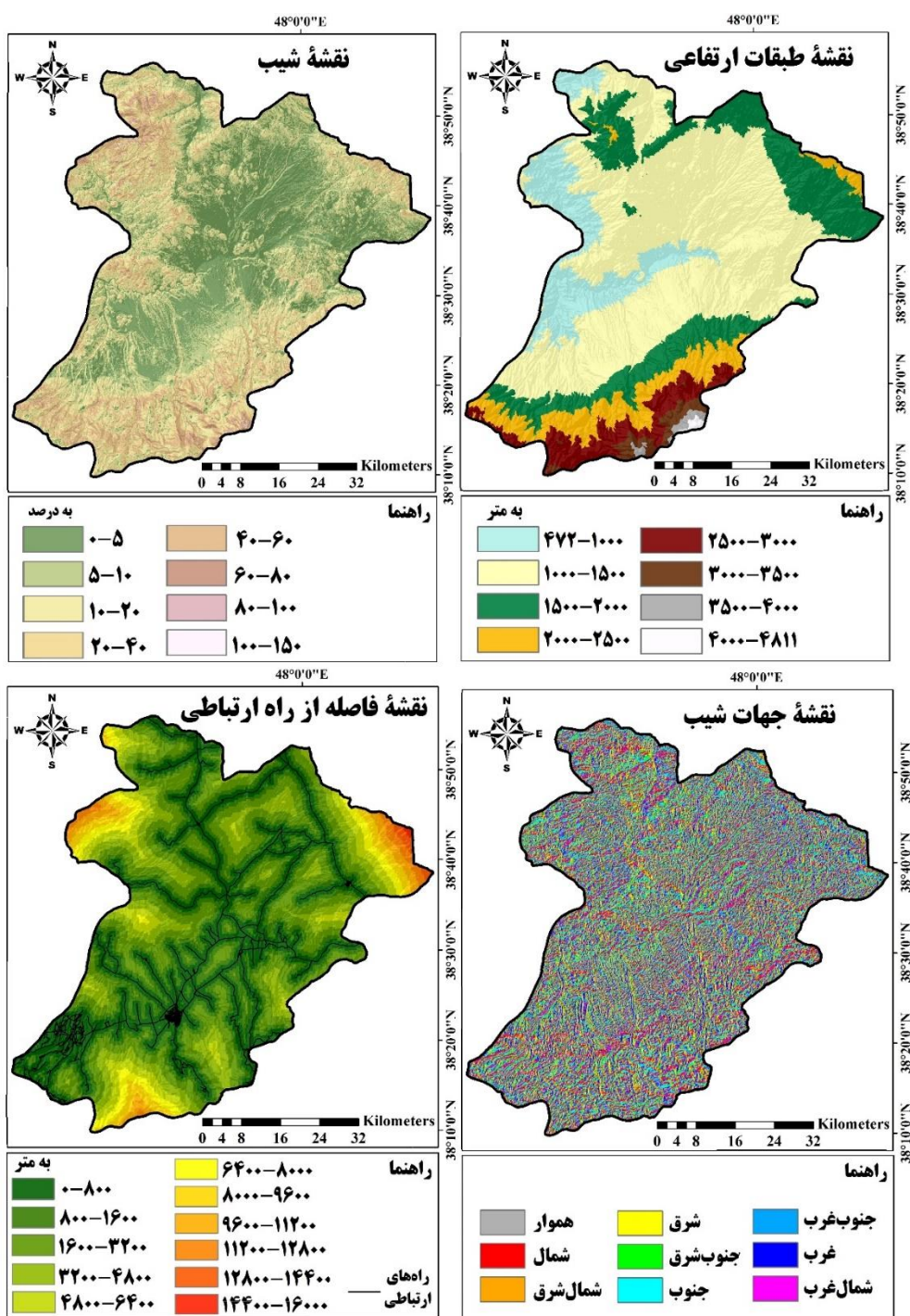
جدول ۱. نتایج ارزیابی دقت تصاویر کلاس‌بندی شده کاربری اراضی در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۴

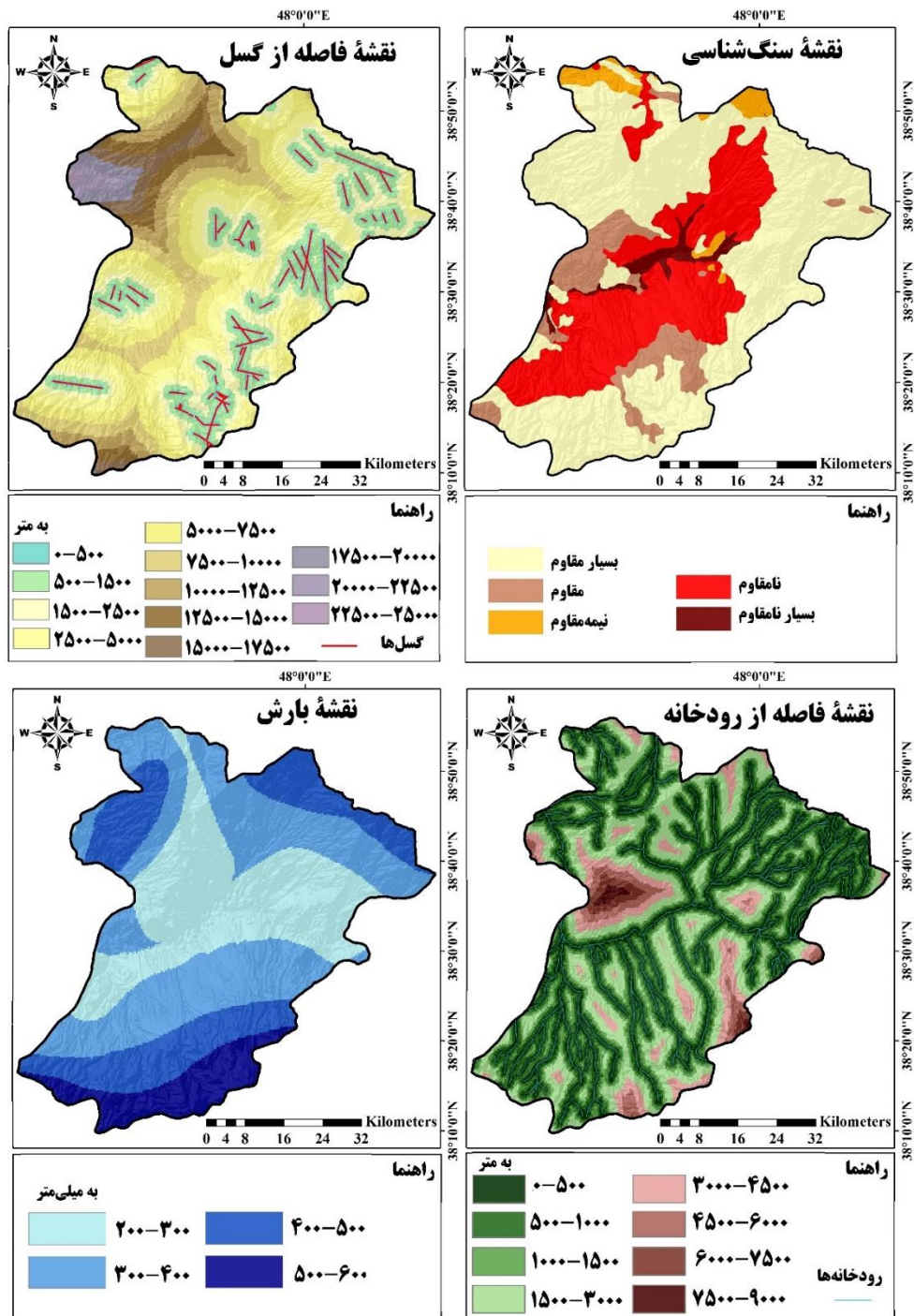
سال	نام کاربری	دقت کاربر (درصد)	دقت تولیدکننده (درصد)
۲۰۰۲	مناطق مسکونی	۱۰۰	۸۸/۸۳
	آب	۱۰۰	۸۵/۸۲
	زراعت دیم	۹۴/۷۳	۸۶/۶۹
	زراعت آبی	۹۷/۴۵	۹۹/۶۳
	باغات و پوشش جنگلی	۹۱/۴۰	۹۲/۳۵
	مراتع خوب	۹۷/۷۴	۹۴/۹۳
	مراتع ضعیف	۹۸/۰۳	۹۹/۵۸
	برف	۹۷/۰۴	۹۸/۳۳
	مناطق مسکونی	۹۹/۶۰	۱۰۰
	آب	۱۰۰	۱۰۰
۲۰۲۴	زراعت دیم	۸۹/۷۴	۹۷/۳۵
	زراعت آبی	۹۸/۲۱	۹۸/۹۲
	باغات و پوشش جنگلی	۹۸/۳۲	۹۹/۱۲
	مراتع خوب	۹۰/۸۲	۹۳/۷۷
	مراتع ضعیف	۹۹/۱۰	۹۶/۱۵
	برف	۹۷/۴۰	۹۷/۸۰

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش WLC^۱ (ترکیب خطی وزنی)

یکی از روش‌های متداول و پرکاربرد در ارزیابی چندمعیاری، روش تلفیقی خطی وزن‌دار است. با توجه به سهولت در استفاده و اجرای عملیاتی روش WLC، این روش در بعد گسترده‌ای در زمینه‌های مربوط به جهان واقعی و به‌ویژه بررسی انواع مخاطرات محیطی به کار گرفته می‌شود (عابدینی و موسوی، ۱۳۹۷: ۴۹). روش WLC، همه پارامترها یا لایه‌ها را در غالب روش چندمعیاره باهم تلفیق می‌کند و اهمیت هر یک از پارامترها را بر اساس وزنی که به آن پارامتر داده می‌شود در نظر می‌گیرد. در نتیجه، نقشه حاصل از مکان‌یابی یا پهنه‌بندی به روش WLC دارای قابلیت بالایی برای ارائه گزینه‌های مناسب است. ارزیابی‌ها توسط عملگر WLC، به‌طور کلی شامل مراحل زیر می‌باشد: مرحله اول - تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش: در این پژوهش ۹ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی و فاصله از رودخانه، به‌عنوان عوامل مؤثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش شهرستان مشکین‌شهر تشخیص داده شدند. شکل ۲، نمایشگر نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان مشکین‌شهر می‌باشد.

^۱ . Weighted Linear Combination





شکل ۲. نقشه سایر معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان مشکین‌شهر

مرحله دوم- استانداردسازی هر لایه نقشه معیار: در فرایند ارزیابی ممکن است معیارها در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی مورد سنجش قرار گیرند (مانند درصد در اندازه‌گیری شیب و متر در اندازه‌گیری فاصله از رودخانه)، نمی‌توان عملیات ریاضی همچون جمع و تفریق را بر روی آن‌ها به انجام رسانید. حال اگر بخواهیم سرجمع امتیازی را که یک پیکسل، به لحاظ معیارها کسب کرده است، محاسبه کنیم این کار بدون استانداردسازی میسر نخواهد بود. استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه

تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. در این پژوهش جهت استانداردسازی لایه‌ها از عضویت فازی استفاده شده است (جدول ۲). 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 نشان‌دهنده حداقل عضویت می‌باشد (باتاچاریا و موخرجی^۱، ۲۰۲۱: ۴۱۲؛ بادولا و همکاران^۲، ۲۰۲۳: ۳).

جدول ۲. نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر زمین‌لغزش شهرستان مشکین‌شهر

متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	کلاسه‌بندی مجدد و اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش	تابع بزرگ فازی
جهت شیب	کلاسه‌بندی مجدد و اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش	تابع بزرگ فازی
طبقات ارتفاعی	با افزایش ارتفاع، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد	تابع خطی افزایشی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش	تابع بزرگ فازی
فاصله از راه ارتباطی	در مناطق مجاور راه ارتباطی، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش افزایش می‌یابد	تابع نزدیک فازی
لیتولوژی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش	تابع بزرگ فازی
فاصله از گسل	در مناطق مجاور گسل، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش افزایش می‌یابد	تابع نزدیک فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش افزایش می‌یابد	تابع نزدیک فازی
بارش	با افزایش مقدار بارش، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد	تابع خطی افزایشی

مرحله سوم- تعیین ضریب وزنی هر معیار: به منظور تعیین ضرایب وزنی معیارها از روش‌های متعددی همچون AHP، ANP و CRITIC استفاده می‌شود. در روش‌های وزن‌دهی AHP (فرآیند تحلیل سلسله مراتبی) و ANP (فرآیند تحلیل شبکه‌ای)، نظرات کارشناسی دخیل می‌باشد. اما در روش CRITIC نظر کارشناسان دخالتی ندارد و وزن‌دهی معیارها براساس همبستگی و انحراف معیار بین داده‌های ماتریس تصمیم محاسبه می‌گردد (ارشاد و همکاران^۳، ۲۰۲۳: ۷۸؛ اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۴۰۳: ۷۶). لذا، استفاده از روش کرتیک، در وزن‌دهی معیارها می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسه زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرایند تحلیل شبکه‌ای و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات، عینیت می‌یابد. بنابراین، در پژوهش حاضر نیز به منظور وزن‌دهی عوامل از روش کرتیک استفاده شده است. در راستای اجرای عملیاتی مراحل وزن‌دهی کرتیک، ابتدا انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌های مورد بررسی، به دست آمد. در مرحله بعد نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی در نرم‌افزار اکسل اقدام گردید.

مرحله چهارم- ایجاد لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی: در این مرحله لایه‌های نقشه استاندارد شده هر معیار در وزن‌های متناظر آن معیار که در نتیجه وزن‌دهی کرتیک حاصل شده بود، ضرب گردید.

مرحله پنجم- عملیات همپوشی جمعی بر روی لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی: در این مرحله لایه‌های استاندارد شده وزنی تمامی معیارها را با هم جمع شده و نقشه‌های پتانسیل وقوع لغزش را استخراج کرده است. در این قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه یا A_i ، از رابطه (۱)، استفاده می‌شود:

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij} \quad \text{رابطه ۱}$$

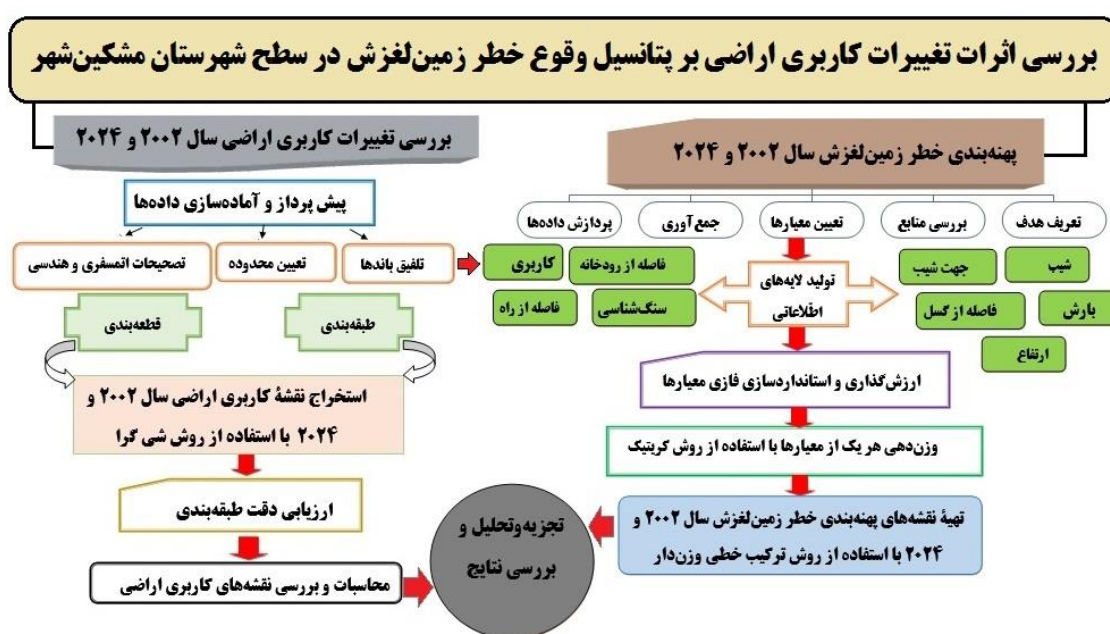
^۱ . Bhattacharyya and Mukherjee

^۲ . Badola et al

^۳ . Arshad et al

که در آن x_{ij} معرف نمره گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام و w_j ، مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است؛ به گونه‌ای که $\sum w_j = 1$ وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند. با تعیین ارزش حداکثر $A_j = 1$ اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌گردد (گنجیان و همکاران^۱، ۴۵:۲۰۲۰).

بعد از تهیه خروجی نهایی حاصل از روش مورد استفاده در پژوهش حاضر، با توجه به این امر که یکی از کارآمدترین و رایج‌ترین روش‌های بررسی میزان دقت مدل‌ها به صورت کمی، شاخص سطح زیرمنحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) می‌باشد (سیلاخوری و همکاران، ۱۲۸:۱۴۰۲)، صحت خروجی نهایی مطالعه با توجه به نقاط پراکنش لغزش اخذ شده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل با استفاده از این روش انجام شده است. فلوچارت مربوط به مراحل پژوهش در شکل ۳، نمایش داده شده است.



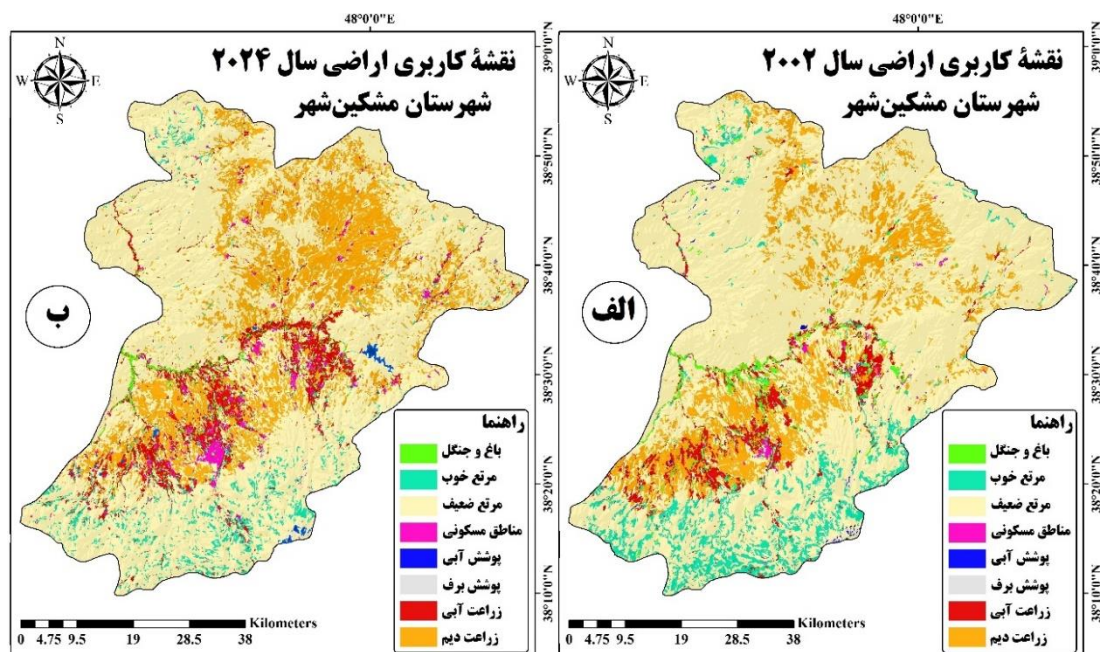
شکل ۳. فلوچارت مراحل پژوهش

نتایج

بعد از انجام مراحل طبقه‌بندی شی‌گرا، کاربری‌های شهرستان مشکین‌شهر در هشت کلاس باغ و جنگل، مرتع خوب، مرتع ضعیف، زراعت آبی، زراعت دیم، مناطق آبی، نواحی مسکونی و پوشش برفی طبقه‌بندی شدند و نقشه کاربری اراضی برای دو بازه زمانی سال ۲۰۲۴ و ۲۰۰۲، استخراج گردید (شکل ۴). بر مبنای نقشه‌های تهیه شده پوشش اراضی برای سال‌های مذکور، مساحت هر کدام از کلاس‌ها موجود برآورد شد (جدول ۳). همانطور که نتایج نشان می‌دهد در هر دو سال مورد مطالعه، بیشترین وسعت منطقه تحت پوشش مراتع ضعیف و زراعت دیم و کمترین سطح کاربری مربوط به اراضی پوشیده از برف و پهنه آبی می‌باشد. با توجه به نتایج مطالعه در طی بازه زمانی مورد مطالعه، مساحت اراضی با کاربری زراعت آبی، زراعت دیم، نواحی مسکونی و مناطق آبی افزایش یافته است. به‌طوریکه در سال ۲۰۲۴ در مقایسه با سال ۲۰۰۲، زراعت دیم ۲۰۳/۷۸ کیلومترمربع، زراعت آبی ۶۳/۰۶ کیلومترمربع، نواحی مسکونی ۵۴/۴۸ کیلومترمربع و مناطق با پوشش آبی ۱/۱۹ کیلومترمربع، افزایش مساحت داشته‌اند. در مقابل از مساحت کاربری‌های باغ و جنگل، مراتع خوب، مراتع ضعیف و

¹. Ganjaeian et al

اراضی پوشیده از برف در سال ۲۰۲۴ نسبت به سال ۲۰۰۲ کاسته شده است. بررسی نتایج حاصله نشان می‌دهد که در طی دوره زمانی مطالعاتی، مساحت کاربری مراتع ضعیف و خوب به ترتیب به ۱۸۰/۹۵ و ۱۱۸/۵۹ کیلومترمربع کاهش یافته است. وسعت اراضی باغی و جنگلی شهرستان، در سال ۲۰۲۴ با کاهش ۲۲/۴۷ کیلومترمربعی مواجه شده است و پوشش برفی نیز ۰/۵ کیلومترمربع کاهش داشته است.



شکل ۴. الف) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ شهرستان مشهد، ب) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۴ شهرستان مشهد

جدول ۳. مساحت و میزان تغییرات هر نوع از کاربری‌های اراضی در سطح شهرستان مشهد در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۴

نوع کاربری	در سال ۲۰۰۲ مساحت به کیلومترمربع	در سال ۲۰۰۲ درصد	در سال ۲۰۲۴ مساحت به کیلومترمربع	در سال ۲۰۲۴ درصد	تغییرات
زراعت آبی	۱۴۷/۹۸	۳/۸۱	۲۱۱/۰۴	۵/۴۴	افزایشی
زراعت دیم	۵۷۴/۶۵	۱۴/۸۱	۷۷۸/۴۳	۲۰/۰۶	افزایشی
باغ و جنگل	۶۱/۰۲	۱/۵۲	۳۸/۵۵	۰/۹۹	کاهش
مناطق مسکونی	۱۴/۴۲	۰/۳۷۱	۶۸/۹۰	۱/۷۷	افزایشی
مراتع خوب	۲۴۹/۸۳	۶/۴۴	۱۳۱/۲۴	۳/۳۸	کاهش
مراتع ضعیف	۲۸۲۴/۴۲	۷۲/۸۰	۲۶۴۳/۴۷	۶۸/۱۳	کاهش
مناطق آبی	۴/۸۳	۰/۱۲۴	۶/۰۲	۰/۱۵۵	افزایشی
اراضی پوشیده از برف	۲/۶۱	۰/۰۶۷	۲/۱۱	۰/۰۵۴	کاهش

نقشه تغییرات کاربری اراضی شهرستان مشهد در سال‌های مورد مطالعه در شکل ۵، نمایش داده شده است. با توجه به این نقشه و جدول ۴، درصد و مساحت کاربری‌های تغییر یافته را نشان می‌دهد. می‌توان بیان داشت که بیشترین تغییر کاربری شهرستان به تبدیل مرتع ضعیف به زراعت دیم مربوط می‌باشد و در طی ۲۲ سال مورد بررسی حدود ۴۵۲/۰۲ کیلومترمربع از مساحت مراتع ضعیف موجود در شهرستان به زیر کشت دیم رفته است. بیشترین تغییرات بعدی مربوط به

نقشه تبدیل کاربری اراضی شهرستان
مشکین شهر از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۴

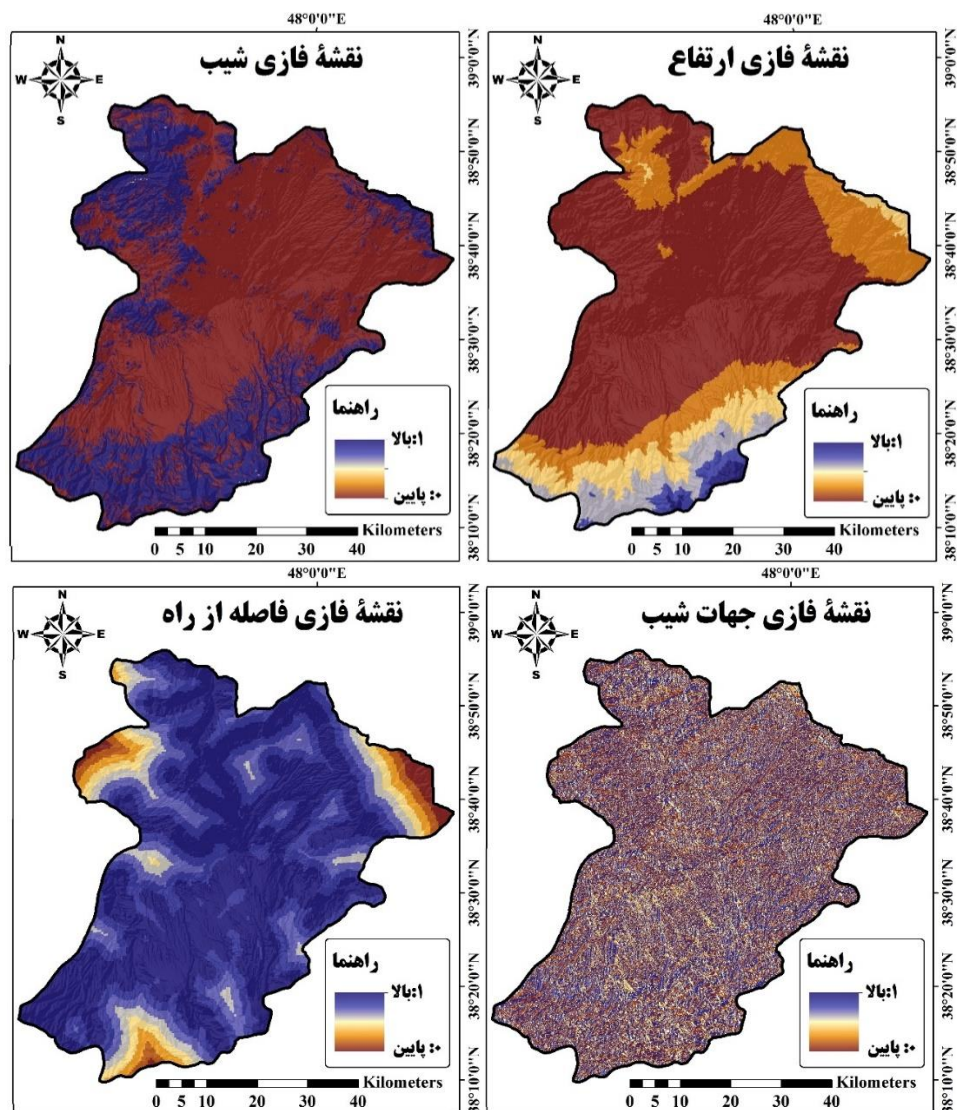
راهنما

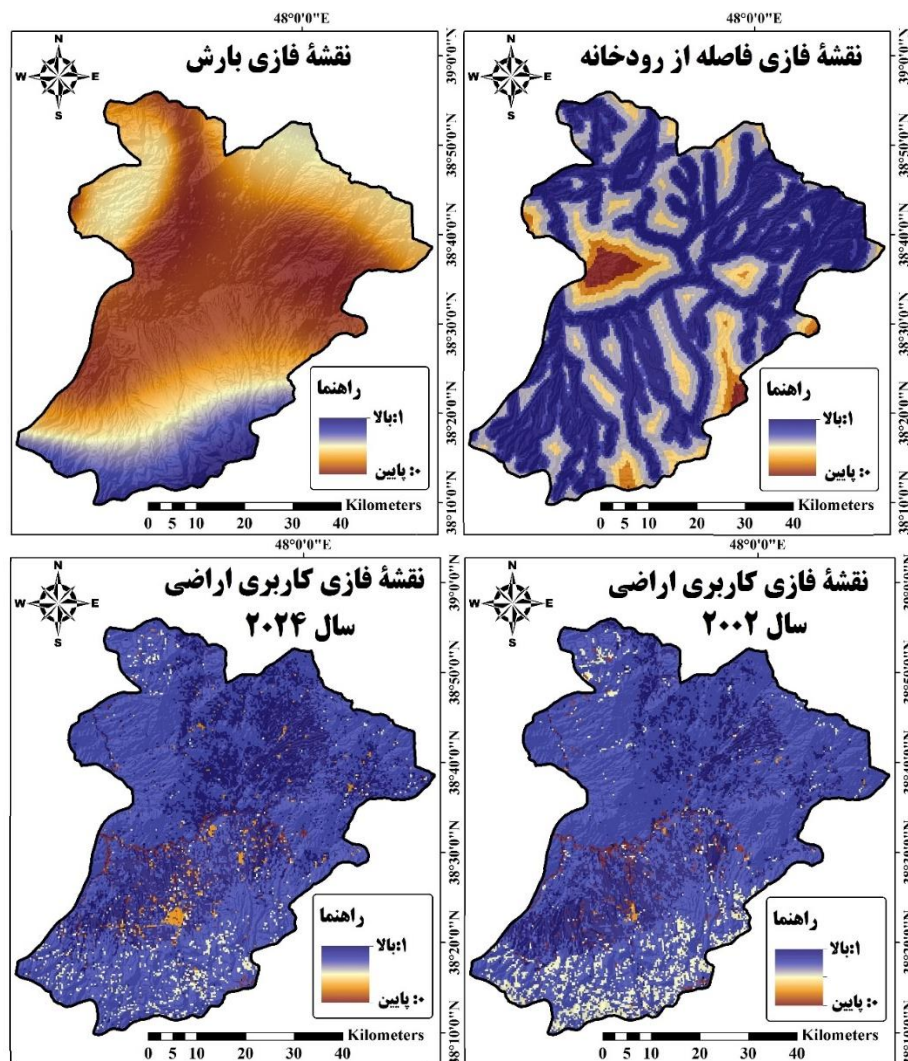
- مرتفع خوب به مرتفع ضعیف
- مرتفع خوب به مناطق آبی
- مرتفع خوب به زراعت آبی
- مرتفع خوب به زراعت دیم
- مرتفع خوب به مناطق مسکونی
- مرتفع ضعیف به زراعت دیم
- مرتفع ضعیف به زراعت آبی
- مرتفع ضعیف به مناطق مسکونی
- مرتفع ضعیف به مناطق آبی
- زراعت دیم به مرتفع خوب
- زراعت دیم به مرتفع ضعیف
- زراعت دیم به باغ و جنگل
- مناطق آبی به باغ و جنگل
- مناطق آبی به زراعت آبی
- مناطق آبی به مناطق مسکونی
- باغ و جنگل به زراعت دیم
- باغ و جنگل به مرتفع خوب
- باغ و جنگل به مرتفع ضعیف
- باغ و جنگل به مناطق مسکونی
- باغ و جنگل به مناطق آبی

جدول ۴. درصد و مساحت کاربری‌های تغییر یافته شهرستان مشکین شهر در سال‌های مورد مطالعه

به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، با توجه به نقشه کاربری سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ و نیز نقشه سایر معیارهای مطرح، نقشه‌های استاندارد شده هر یک از معیارهای مطرح استخراج شد (شکل ۶). سپس به‌منظور تعیین معیارهای مؤثر در تعیین

پهنه‌های مختلف خطر، میزان اهمیت هر یک از معیارها (جدول ۵)، به دست آمد. با توجه به نتایج حاصله، در سال ۲۰۰۲، به ترتیب معیارهای شیب، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی و در سال ۲۰۲۴، معیارهای کاربری اراضی، شیب و سنگ‌شناسی دارای بیشترین ضریب وزنی هستند.



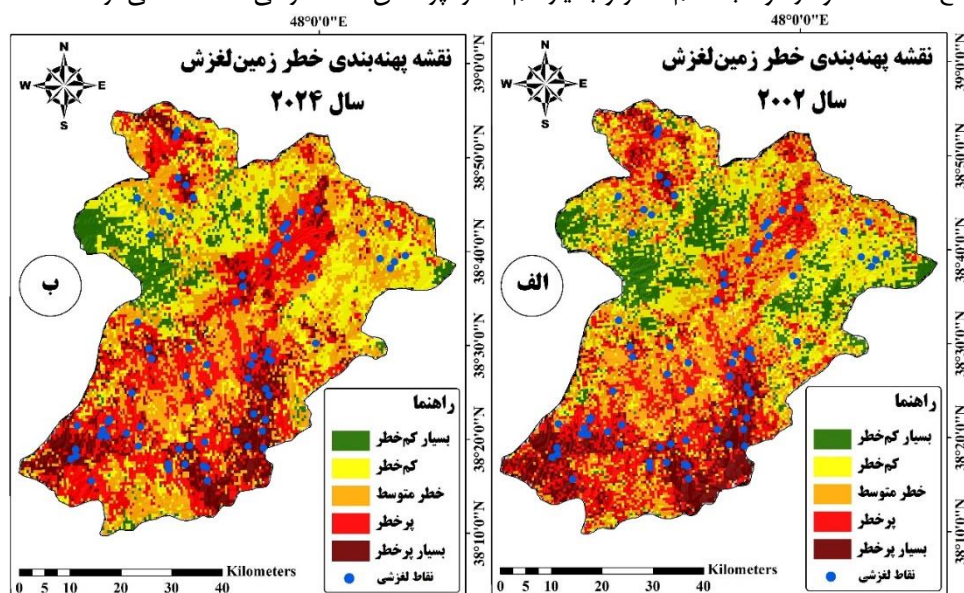


شکل ۶. نقشه‌های استاندارد شده فازی معیارهای مورد بررسی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شهرستان مشکین شهر
جدول ۵. مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه

معیار	مجموع تضاد	انحراف معیار	میزان اطلاعات	وزن نهایی
ارتفاع	۵/۹۹۵	۰/۱۷۵	۱/۰۵۴	۰/۰۷۹
شیب	۵/۴۲۰	۰/۳۵۶	۱/۹۲۹	۰/۱۴۵
جهت شیب	۶/۹۴۰	۰/۱۲۲	۰/۸۴۸	۰/۰۶۳
فاصله از راه	۴/۹۵۴	۰/۳۳۴	۱/۶۵۷	۰/۱۲۴
سنگ‌شناسی	۵/۲۱۶	۰/۳۴۱	۱/۷۸۱	۰/۱۳۴
فاصله از گسل	۷/۰۰۸	۰/۱۶۳	۱/۱۴۲	۰/۰۸۶
فاصله از رودخانه	۵/۱۰۴	۰/۳۱۱	۱/۵۹۱	۰/۱۱۹
بارش	۴/۶۶۸	۰/۳۰۱	۱/۴۰۷	۰/۱۰۶
کاربری اراضی	۵/۱۷۴	۰/۳۶۱	۱/۸۶۷	۰/۱۴۰
ارتفاع	۵/۹۸۸	۰/۱۷۵	۱/۰۴۷	۰/۰۷۸
شیب	۵/۴۴۱	۰/۳۵۶	۱/۹۳۷	۰/۱۴۴
جهت شیب	۶/۹۳۹	۰/۱۲۲	۰/۸۵۲	۰/۰۶۳
فاصله از راه	۴/۹۹۸	۰/۲۳۴	۱/۶۶۹	۰/۱۲۴
سنگ‌شناسی	۵/۲۱۷	۰/۳۴۱	۱/۷۷۹	۰/۱۳۲
فاصله از گسل	۷/۰۳۱	۰/۱۶۳	۱/۱۵۲	۰/۰۸۵
فاصله از رودخانه	۵/۱۵۴	۰/۳۱۱	۱/۶۰۲	۰/۱۱۹
بارش	۴/۷۵۴	۰/۳۰۱	۱/۴۳۱	۰/۱۰۶
کاربری اراضی	۵/۳۹۱	۰/۳۶۳	۱/۹۵۶	۰/۱۴۵

با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲
با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۴

در نهایت با اعمال کردن وزن‌های مربوطه در لایه‌های فازی شده و همپوشانی لایه‌های استاندارد شده وزنی، نقشه‌های خروجی نهایی برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم‌خطر، به‌دست آمد (شکل ۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی، در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر ۴۵۷/۶۰۶ و ۹۹۴/۷۷۶ کیلومترمربع بوده است که مقدار این طبقات در سال ۲۰۲۴ به ترتیب به ۴۸۳/۴۴۴ و ۱۱۰۳/۱۰۴ کیلومترمربع افزایش یافته است (جدول ۶). تطبیق پراکنش نقاط زمین‌لغزشی و مناطق در معرض خطر براساس نقشه پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، بیانگر این موضوع می‌باشد که با توجه به نقشه پهنه‌بندی سال ۲۰۰۲ به ترتیب؛ ۳۳، ۲۱ و ۱۲ نقطه از کل نقاط لغزشی موجود (به ترتیب معادل ۲۷/۶۳، ۴۳/۴۲ و ۱۵/۷۹ درصد از نقاط لغزشی ثبت شده در بانک اطلاعات لغزشی شهرستان)، در طبقات بسیار پرخطر، پرخطر و متوسط قرار دارند. همچنین براساس نقشه پهنه‌بندی سال ۲۰۰۲، به ترتیب ۸ و ۲ نقطه از نقاط لغزشی رخ داده در سطح شهرستان (معادل ۱۰/۵۳ و ۱/۳۲ درصد از نقاط لغزشی)، در دو طبقه کم‌خطر و بسیار کم‌خطر قرار دارند. اما بررسی انطباقی کل نقاط لغزشی ثبت شده در بانک اطلاعات لغزشی شهرستان با نقشه پهنه‌بندی سال ۲۰۲۴ که در نتیجه اعمال نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۴ حاصل شده است، حاکی از این امر می‌باشد که به ترتیب طبقات بسیار پرخطر و پرخطر ۲۵ و ۳۶ نقطه از نقاط لغزشی (معادل ۳۲/۸۹ و ۴۷/۳۷ درصد از کل نقاط لغزشی) را پوشش می‌دهد. ۱۵ نقطه از نقاط لغزشی (معادل ۱۹/۷۴ درصد از مجموع نقاط لغزش)، در طبقه متوسط واقع شده است و در دو طبقه کم‌خطر و بسیار کم‌خطر، پراکنش نقاط لغزشی مشاهده نمی‌گردد.



شکل ۷. الف) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش سال ۲۰۰۲، ب) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش سال ۲۰۲۴

جدول ۶. اطلاعات طبقات خطر زمین‌لغزش سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ شهرستان مشکین‌شهر

سال	طبقه خطر	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
سال ۲۰۰۲	مساحت به کیلومترمربع	۴۵۷/۶۰۶	۹۴۴/۷۷۶	۱۰۸۹/۰۵۶	۸۸۹/۳۲۶	۴۹۸/۹۹۶
	مساحت به درصد	۱۱/۸۰	۲۴/۳۵	۲۸/۰۷	۲۲/۹۲	۱۲/۸۷
سال ۲۰۲۴	مساحت به کیلومترمربع	۴۸۳/۴۴۴	۱۱۰۳/۱۰۴	۱۱۱۵/۱۹۴	۸۵۴/۹۳۴	۳۲۳/۰۸۴
	مساحت به درصد	۱۲/۴۶	۲۸/۴۳	۲۸/۷۴	۲۲/۰۴	۸/۳۳
تغییرات دوره	مساحت به کیلومترمربع	۲۵/۸۳۵	۱۵۸/۳۲۸	۲۶/۱۳۸	۳۴/۳۹۲	۱۷۵/۹۱۲
	نوع تغییرات	افزایشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی	کاهشی

بحث

میانگین ارتفاع در محدوده کل شهرستان مشکین شهر حدود ۱۵۱۹ متر است و حداقل ارتفاع شهرستان بالغ بر ۴۷۲ متر (منطبق بر محل تلاقی رودخانه‌های قره‌سو و اهرچای) می‌باشد. در جهت شرق و مخصوصاً جنوب شهرستان (به سمت دامنه‌های توده آتشفشانی سبلان) بر میزان ارتفاع افزوده می‌شود. در این رابطه، حداکثر ارتفاع در محدوده شهرستان بالغ بر ۴۸۱۱ متر می‌باشد که منطبق بر پیرامون قله سبلان است. بدین ترتیب اختلاف ارتفاعی بالغ بر ۴۳۳۹ متر در سطح شهرستان دیده می‌شود که رقمی قابل توجه به‌شمار می‌رود. این مقدار اختلاف ارتفاع در تغییرپذیری و تنوع ویژگی‌های مختلف محیطی - زیست محیطی شهرستان منعکس شده است. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین عامل ارتفاع و نقشه پتانسیل وقوع زمین لغزش شهرستان مشکین شهر، نشان می‌دهد که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متری واقع شده‌اند. سطوح با ارتفاع بالاتر از ۳۵۰۰ متر، به علت شیب زیاد و شرایط لیتولوژیکی و اقلیمی که جهت هوازگی مکانیکی، حرکات ریزشی و واژگونی مناسب هستند و مناطقی با ارتفاع پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر با توجه به شیب کم، از احتمال وقوع لغزش پایین‌تری برخوردارند. افزون‌براین، انطباق پراکنش نقاط لغزش یافته با معیار طبقات ارتفاعی نیز حاکی از این موضوع می‌باشد که ۹۸/۶۸ درصد از نقاط لغزشی در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متری قرار گرفته‌اند.

در حالت کلی به دلیل کوهستانی بودن منطقه و وجود توده آتشفشانی سبلان، شهرستان مشکین شهر منطقه‌ای پرشیب و ناهموار است. به‌طوریکه در محدوده شهرستان، مقدار شیب بین ۰ تا ۱۵۰ درصد می‌باشد. وجود اراضی پرشیب گسترده در محدوده شهرستان به مسائل و مشکلات متعددی از قبیل دشواری در دسترسی و ارتباطات، محدود بون اراضی به منظور فعالیت‌های کشاورزی و ساخت‌وساز، فرسایش و ناپایداری‌های دامنه‌ای منجر شده است. بررسی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش شهرستان نشان می‌دهد که طبقات بسیار پرخطر و پرخطر به‌طور عمده دارای شیب ۱۰ تا ۸۰ درصد می‌باشند. بررسی انطباقی بین نقاط لغزشی با معیار شیب نیز تأییدکننده این امر هست که در ۹۲/۱۰ درصد از نقاط لغزشی در محدوده شیبی ۱۰ تا ۸۰ درصد، رخ داده‌اند. بررسی طبقات پرخطر و بسیار پرخطر و مقایسه آن با نقشه جهات شیب شهرستان نیز نشان می‌دهد که اغلب پهنه‌های دارای احتمال خطر در جهات شمالی، غربی، شرق و سپس شمال غربی و جنوب شرقی واقع شده است. همچنین مقایسه معیار جهت شیب و نقاط لغزشی نشان می‌دهد که به‌ترتیب: ۳۶/۸۴، ۲۶/۳۲، ۱۷/۱۱، ۱۱/۸۴ و ۶/۵۸ از نقاط لغزش یافته در جهات شمالی، غربی، شرق، شمال غرب و جنوب شرق رخ داده است.

از لحاظ سنگ‌شناسی به‌ترتیب ۹۸/۳۱ و ۱۰۹۵/۱۷ کیلومترمربع از مساحت شهرستان دارای مقاومت بسیار کم و کم می‌باشد و سازندهایی با مقاومت متوسط، زیاد و بسیار زیاد نیز به‌ترتیب ۱۲۴/۷۳، ۳۶۹/۳۲ و ۲۱۹۲/۲۳ کیلومترمربع از سطح شهرستان را پوشش می‌دهند. بررسی انطباقی بین نقشه‌های پتانسیل لغزش با معیار سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که مناطق پرخطر و بسیار پرخطر عمدتاً در سازندهای در سازندهایی سست اعم از رسوبات مخروط افکنه‌های پایکوهی سطح بالا و پادگانه‌های آبرفتی جوان، مارن‌ها و شیل، کنگلومرا، رسوبات ضخیم تا متوسط از ماسه سنگ و سپس در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خرد شده بازالتی قرار دارند. بررسی نقاط لغزشی نیز نشان می‌دهد، به ترتیب ۷۳/۶۸ درصد از نقاط لغزشی در سازندهای سست اعم از رسوبات مخروط افکنه‌های پایکوهی سطح بالا و پادگانه‌های آبرفتی جوان، مارن‌ها و شیل، کنگلومرا، رسوبات ضخیم تا متوسط از ماسه سنگ و ۲۶/۳۲ درصد در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خرد شده بازالتی قرار دارند. از مهم‌ترین گسل‌های محدوده می‌توان به گسل‌های دامنه جنوبی سبلان اعم از گسل قصر داغ - برجلو در مجاورت قصر داغ به طول ۹/۵ کیلومتر، گسل فرعی قزخ بلاغ در یک کیلومتری شمال شرقی روستای قزخ بلاغ به طول یک کیلومتر، گسل دیزو واقع روستای دیزو یا همان ناصرآباد به طول ۴ کیلومتر و گسل موئیل در شمال روستای موئیل به طول ۶ کیلومتر اشاره داشت. فاصله از گسل در شهرستان مشکین شهر بین صفر تا ۲۵۰۰۰ متر می‌باشد و بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نشان می‌دهد که نقاط بسیار پرخطر و پرخطر، غالباً در فواصل صفر تا ۲۵۰۰ متری از

گسل واقع شده‌اند. مقایسه نقشه فاصله از گسل شهرستان با نقشه پراکنش نقاط لغزش یافته نیز حاکی از این موضوع می‌باشد که ۶۱/۸۲ درصد از زمین لغزش‌ها در فاصله ۲۵۰۰ متری از گسل رخ داده‌اند و مابقی نقاط لغزشی نیز در فواصل بیش از ۲۵۰۰ متری قرار گرفته‌اند.

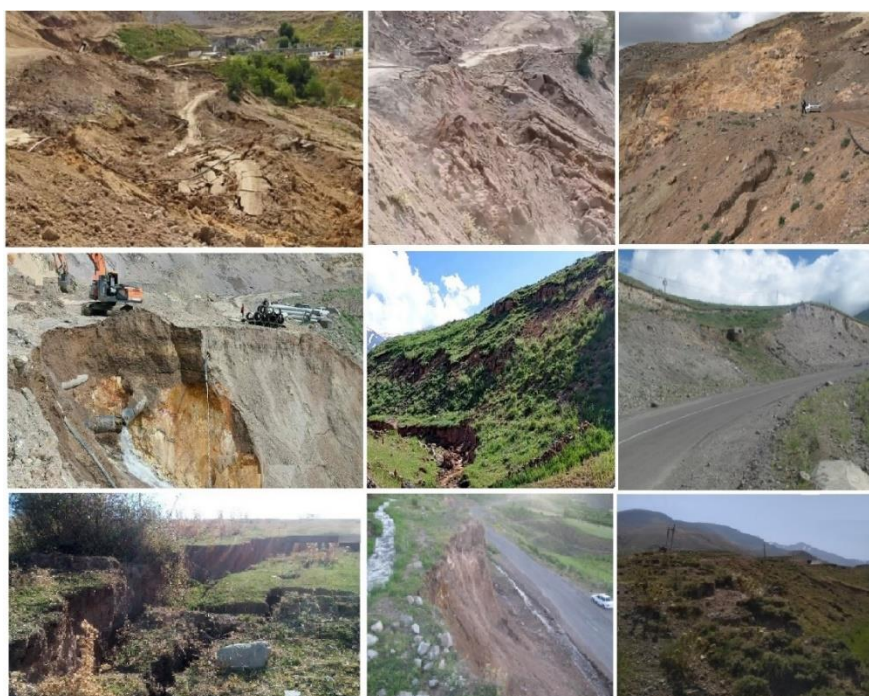
فاصله از راه ارتباطی در سطح شهرستان مشکین شهر در حد فاصل صفر تا ۱۶۰۰۰ متر می‌باشد و ارزیابی مقایسه‌ای خروجی حاصل از پژوهش با معیار فاصله از راه ارتباطی نشان می‌دهد، پهنه‌های بسیار پرخطر و پرخطر در فاصله صفر تا ۳۲۰۰ متری از راه‌های ارتباطی شهرستان قرار دارند. بررسی نقاط لغزشی نیز نشان می‌دهد، ۳۹/۴۷ درصد از نقاط لغزشی در فاصله صفر تا ۸۰۰ متری از راه‌های ارتباطی، ۲۸/۹۴ درصد نیز در فواصل ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متری، ۱۸/۴۲ درصد در فاصله ۱۶۰۰ تا ۳۲۰۰ متری و مابقی در فواصل بیش از ۳۲۰۰ متری از راه‌های ارتباطی شهرستان، قرار دارند. با بررسی نقشه موضوعی فاصله از رودخانه می‌توان نتیجه گرفت، با توجه به فراوانی شبکه رودخانه‌ای در شهرستان مشکین شهر (از جمله خیاوچای، قطور سوئی چای، اوناچایی، انزان چایی، گیزیلی مشه کوهکنار، شیروان دره چایی، خاتون آرخی، آلتی چایی، نقدی چایی، آقجه لوچایی و زیناب دره سی)، رودخانه‌ها با نفوذ آب در زمین و ایجاد سستی، به ایجاد اختلاف بین دیوارها و سنگ بستر موجب شده و با افزایش شیب، در نهایت به از دست دادن تعادل و ناپایداری دامنه منجر شده است. لذا عمدتاً مناطق بسیار پرخطر و پرخطر غالباً تا فاصله ۵۰۰ متری از رودخانه قرار دارند. بررسی مقایسه‌ای پراکنش نقاط لغزشی با این معیار نیز نشان می‌دهد، ۵۷/۸۹ درصد از این نقاط در فاصله صفر تا ۵۰۰ متری از رودخانه‌ها قرار دارند.

در سطح شهرستان مشکین شهر در ترازهای ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر (بالغ بر ۶۲ درصد از مساحت شهرستان)، تیپ اقلیمی نیمه خشک و بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در جهت شمال و جنوب با افزایش ارتفاع تیپ اقلیمی نیمه خشک به اقلیم مدیترانه‌ای تبدیل می‌شود که این تیپ اقلیم با مساحت بالغ بر ۱۹ درصد از مساحت شهرستان در پایکوه‌ها و دامنه‌های پایین دست ارتفاعات شهرستان با ترازهای ارتفاعی عمدتاً ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر منطبق است. در سطوح مذکور، شرایط خشک‌تر پهنه‌های نیمه خشک تا حدودی تعدیل می‌شود و به دلیل افزایش ارتفاع مقداری بر نزولات جوی افزوده شده می‌شود. در پایکوه‌ها و دامنه‌های پایین دست تا میانی ارتفاعات منطقه در طی اواخر زمستان و اوایل بهار بارش‌های همرفتی - رگباری نیز از فراوانی بیشتری برخوردارند. در جهت جنوب و افزایش بیشتر ارتفاع، تیپ اقلیمی مدیترانه‌ای جای خود را به اقلیم نیمه مرطوب منطبق بر دامنه‌های میانی ارتفاعات سبلان با بارش بیش از ۵۰۰ میلی‌متر، می‌دهد. بررسی معیار بارش بیانگر این موضوع می‌باشد که متوسط بارش در سطح شهرستان بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد و پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر در سطوحی با بارش ۵۰۰-۲۰۰ میلی‌متر قرار گرفته است. بررسی نقاط لغزشی نیز نشان می‌دهد، به ترتیب: ۱۴/۴۷ و ۵۲/۶۳ درصد از نقاط لغزشی در سطوحی بارشی ۳۰۰-۲۰۰ و ۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متر قرار دارند و پهنه‌های بارشی ۵۰۰-۴۰۰ نیز ۲۱/۰۵ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان را پوشش می‌دهد.

بررسی انطباقی بین نقشه پهنه‌بندی با نوع کاربری اراضی شهرستان بیانگر این امر می‌باشد که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، به طور عمده در کاربری‌های زراعی (به ویژه زراعت دیم) و مراتع و مناطق مسکونی قرار دارند. با توجه به کاهش سطح مراتع ضعیف و خوب، کاهش باغات و پوشش جنگلی و در مقابل افزایش کاربری‌های زراعی (آبی و دیم) و نواحی مسکونی در سال ۲۰۲۴ در مقایسه با سال ۲۰۰۲، مساحت مناطق دارای احتمال خطر نیز افزایش داشته است. لذا، به نظر می‌رسد که افزایش وسعت طبقات دارای پتانسیل بسیار بالا، بالا و متوسط را می‌توان به تغییرات کاربری اراضی رخ داده در سال‌های مورد بررسی نسبت داد. در طی بازه زمانی مورد مطالعه، حدود ۴۵۲/۰۲ کیلومترمربع از مساحت مراتع ضعیف موجود در شهرستان به زیر کشت دیم رفته است و لذا با تبدیل پوشش مراتع ضعیف شهرستان به اراضی کشاورزی و به خصوص، به دیم‌زارهای کم‌بازده (به ویژه گندم)، وسعت کاربری‌های زراعی شهرستان افزایش یافته است. آثار سوء این تبدیل اراضی و نیز مدیریت ناآگاهانه دیم‌زارها، به ویژه اگر دیمکاران شخمی که می‌زنند در جهت شیب زمین باشد، ظهور عرصه‌های فقیر از پوشش گیاهی با خاکی کم عمق با حاصل خیزی پایین می‌باشد که بالقوه به شدت در معرض فرسایش

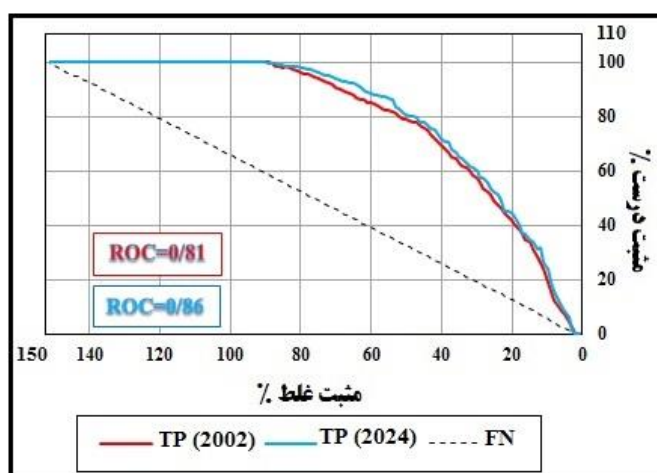
توده‌ای و زمین لغزش هستند. البته باید توجه داشت که بخشی از کاهش مساحت مراتع مربوط به افزایش تعداد دام و عدم رعایت تناسب بین دام و مرتع، چرای زودرس، چرای طولانی، بوته‌کشی، احداث جاده و عملیات عمرانی در دامنه‌های می‌باشد که در نتیجه این شرایط در طی سال‌های مورد بررسی، ۱۷۲/۱۱ کیلومترمربع از سطح مراتع خوب به مراتع ضعیف تبدیل شده است. نکته حائز اهمیتی دیگری که با مقایسه نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ جلب توجه می‌نماید، کاهش سطح پوشش جنگلی و باغات و تبدیل این اراضی به انواع دیگر از کاربری‌ها است. به‌طوریکه در طی بازه زمانی مطالعاتی، ۲۹/۵۰ کیلومترمربع از سطح اراضی جنگلی و باغات به زراعت آبی، ۲/۵۵ کیلومترمربع به زراعت دیم، ۱۲/۶۳ کیلومترمربع به مراتع و ۳/۲۵ کیلومترمربع نیز به مناطق مسکونی (به‌ویژه، ویلاسازی در نواحی باغی و جنگلی با آب‌وهوای مطبوع)، تغییر یافته‌اند. پوشش گیاهی با کاهش سرعت روان آب‌های سطحی، نگهداری و نفوذ دادن آب در خاک، کاهش برخورد مستقیم قطرات باران، تثبیت ریشه‌ها، بهبود ساختمان و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پتانسیل زمین لغزش را کاهش می‌دهد و لذا با تخریب اراضی دارای پوشش گیاهی، پتانسیل وقوع زمین لغزش نیز افزایش می‌یابد.

بررسی پراکنش مناطق شهری و روستایی شهرستان نیز نشان می‌دهد؛ با توجه به نقشه پتانسیل زمین لغزش سال ۲۰۰۲، ۱۰/۲۰ درصد از نقاط روستایی شهرستان (برابر با ۳۵ روستا)، در طبقه بسیار پرخطر واقع شده‌اند. طبقه پرخطر ۲۲/۴۵ درصد از روستاها (برابر با ۷۷ روستا) را پوشش می‌دهد. همچنین؛ ۲۶/۸۶ درصد از نواحی نقاط روستایی (برابر با تعداد ۹۹ روستا) دارای پتانسیل خطر متوسط می‌باشند و به ترتیب؛ ۲۳/۹۱ درصد (برابر با ۸۲ روستا) و ۱۴/۵۸ (برابر با ۵۰ روستا) در دو طبقه کم‌خطر و بسیار کم‌خطر قرار دارند. اما بررسی تطبیقی پراکنش نقاط روستایی با نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش سال ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که به تعداد نقاط روستایی واقع در دو طبقه بسیار پرخطر و پرخطر افزوده شده است. به‌طوریکه در سال ۲۰۲۴، ۱۱/۹۵ درصد از روستاها (برابر با ۴۱ روستا) در طبقه بسیار پرخطر قرار دارند و روستاهای تنبک، قادرلو، اینچه، آق بیگ، اهل ایمان و شمس‌آباد به تعداد روستاهای در معرض خطر بسیار بالا افزوده شده است. طبقه پرخطر نیز ۲۸/۵۷ درصد از روستاها (برابر با ۹۸ روستا) را پوشش می‌دهد و در سال ۲۰۲۴، ۲۱ روستا به مجموع روستاهای طبقه پرخطر افزوده شده است که از این روستاها می‌توان به روستاهای شیخ‌لر، چیقان، قره‌تپه، آق قاسملو، شیخ محمدلو، شمسیر، کنگرلو، قره‌چی، عباس‌کندی، دوه‌چی و حماملو اشاره داشت. به‌ترتیب پراکنش تعداد روستاهای واقع در طبقات خطر متوسط، کم‌خطر و بسیار کم‌خطر به ۷۴ و ۳۵ روستا (معادل با ۲۷/۷۰، ۲۱/۵۷ و ۱۰/۲۰ درصد از روستاها)، کاهش یافته است. بررسی نقاط شهری نیز نشان می‌دهد که دو شهر رضی و مشکین‌شهر در هر دو دوره، در طبقه خطر متوسط قرار دارند. اما شهر لاهرود و فخرآباد که در سال ۲۰۰۲ در طبقه متوسط بودند، در سال ۲۰۲۴ در طبقه پرخطر جای گرفته‌اند. در شکل (۸)، تصاویری از نمونه زمین لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان مشکین‌شهر، نمایش داده شده است که در این تصاویر نیز ناپایداری دامنه‌ها ناشی از احداث جاده (ترانشه زنی و از بین رفتن تکیه‌گاه دامنه‌ای)، انتقال آب از روی دامنه (به منظور آبرسانی به زمین‌های زراعی و پروژه انتقال آب به مناطق روستایی و فرسایش و لغزش دامنه به دنبال آن)، مشاهده می‌گردد.



شکل ۸. تصاویری از نمونه زمین لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان (منبع: پیمایش‌های میدانی و سایت‌های داخلی)

با توجه به اینکه 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 (رستمی‌زاد و دسترنج، ۱۴۰۳:۳۰۵). اعتبارسنجی نتایج حاصل از پژوهش به‌وسیله منحنی ROC، مقدار سطح زیرمنحنی ۰/۸۱ در سال ۲۰۰۲ و ۰/۸۶ در سال ۲۰۲۴، را نشان می‌دهد و لذا دقت روش مورد استفاده در شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش شهرستان مشکین‌شهر، خیلی خوب می‌باشد. (شکل ۹).



شکل ۹. منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی

نتیجه گیری

بررسی زمین لغزش‌ها به عنوان نوعی از مخاطرات محیطی با پیامدهای مهم اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد؛ خصوصاً که امروزه با افزایش جمعیت و تغییرات بی‌رویه و غیراصولی کاربری اراضی، آمارهای جهانی تلفات و خسارات مالی ناشی از این پدیده پیوسته در حال افزایش می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر احتمال وقوع زمین لغزش شهرستان مشکین‌شهر در دو بازه زمانی ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ انجام شده است. براساس نتایج حاصل از پژوهش در طی سال‌های مورد بررسی از مساحت کاربری‌های باغ و جنگل، مراتع خوب و مراتع ضعیف و اراضی پوشیده از آب کاسته شده و در مقابل وسعت اراضی زراعت آبی، زراعت دیم، نواحی مسکونی و مناطق آبی افزایش یافته است. تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیز نشان می‌دهد که بیشترین تغییر کاربری شهرستان به صورت تبدیل مراتع ضعیف به زراعت دیم بوده است. زینالی و همکاران (۱۴۰۲)، که به بررسی تغییرات کاربری اراضی و مؤلفه‌های اقلیمی در شهرستان مشکین‌شهر در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱، پرداختند و عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، که رابطه کاربری اراضی با دمای سطح شهرستان مشکین‌شهر در دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ را مورد مطالعه قرار دادند نیز افزایش زمین‌های کشاورزی و از بین رفتن مراتع را به عنوان بیشترین تغییرات کاربری اراضی شهرستان مشکین‌شهر مطرح نمودند.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش شهرستان نشان می‌دهد که پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر در هر دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴، مساحت بالایی از سطح شهرستان را پوشش می‌دهند. به طوریکه در هر دو سال مورد بررسی مناطق شمال غربی و بخش جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی شهرستان، از پتانسیل وقوع زمین لغزش بالایی برخوردار هستند. لذا با توجه مساحت بالای پهنه‌های بسیار پرخطر و پرخطر می‌توان بدین نتیجه دست یافت که در حالت کلی با توجه به شرایط محیطی حاکم بر محدوده، اعم از تسلط دامنه‌هایی با شیب متوسط تا تند (۱۵ تا ۸۰)، سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متری، سازندهای زمین‌شناسی مستعد، بارندگی و فراوانی شبکه آبراهه و زیرشویی تکیه‌گاه دامنه‌ای توسط آب‌های جاری، ساختارهای گسلی و جهات شیب (به‌ویژه؛ جهات شمالی، غربی، شرقی، جنوب شرقی و شمال غربی)، ترانشه‌زنی و از بین بردن پاشنه دامنه‌ها به دنبال عملیات راهسازی و فعالیت‌های عمرانی، شهرستان مشکین‌شهر از پتانسیل بالایی جهت شکل‌گیری حرکات لغزشی برخوردار می‌باشد. اما نکته مهمی که بر اساس نتایج حاصله بایستی بدان توجه داشت، افزایش مساحت طبقات بسیار پرخطر، پرخطر و متوسط و کاهش مساحت طبقات کم‌خطر و بسیار کم‌خطر، در سال ۲۰۲۴ در مقایسه با سال ۲۰۰۲ می‌باشد. در این رابطه با توجه به این مهم که سایر معیارهای مورد بررسی برای هر دو سال مطالعاتی ثابت در نظر گرفته شده‌اند و معیار کاربری اراضی، تنها معیاری است که تغییرات آن با استخراج دو نقشه کاربری اراضی مجزا، مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات حاصل در مساحت پهنه‌های دارای احتمال خطر را بایستی نتیجه تغییرات کاربری اراضی بین دو سال مورد مطالعه در نظر داشت. بنابراین با بررسی تطبیقی نقشه‌های کاربری اراضی دو سال مورد بررسی با نتایج حاصل از پهنه‌بندی، می‌توان دریافت که با تغییرات کاربری اراضی رخ داده در سطح شهرستان به صورت افزایش مساحت اراضی زراعی و نواحی مسکونی و در مقابل کاهش سطح مراتع، باغات و پوشش جنگلی به ترتیب مساحت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر در سال ۲۰۲۴ در مقایسه با سال ۲۰۰۲، ۲۵/۸۳۵ و ۱۵۸/۳۲۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است.

لازم به ذکر می‌باشد، با توجه به وسعت بالای پهنه‌های دارای احتمال وقوع زمین لغزش در سطح شهرستان مشکین‌شهر و نحوه تبدیل و تغییرات اراضی، بایستی اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی کارشناسی شده صورت پذیرد. از جمله این اقدامات می‌توان به تقویت و احیاء پوشش گیاهی مراتع و ممیزی مراتع، کاهش فشار بهره‌برداری از مراتع از طریق فراهم نمودن مشاغل جایگزین (مانند؛ زنبورداری، کاشت گیاهان دارویی)، تبدیل دیم‌زارهای کم بازده به کشت نباتات علوفه‌ای،

مطالعه پایداری دامنه‌ها قبل از احداث زیر ساخت‌ها، ممانعت از ساخت ساختمان‌ها، راه‌سازی و احداث سایر سازه‌ها در مناطق مستعد، پایداری ترانشه‌ها، استفاده از دیوارهای حائل، آموزش همگانی و ارتقای سطح اطلاعات مردمی (به‌ویژه، ارتقای سطح آگاهی‌های عمومی درمورد عواقب ناشی از تبدیل کاربری اراضی مرتعی به دیم‌زار، آشناسازی کشاورزان با اقدامات حفاظتی در اراضی شیب‌دار و نحوه کشت در این اراضی) اشاره داشت. در نهایت، می‌توان اذعان داشت که نتایج این تحقیق جنبه کاربردی داشته و انتظار می‌رود، استفاده از نقشه تغییرات کاربری اراضی و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست آمده در مطالعه حاضر، به‌صورت ابزار قدرتمندتری به منظور آگاهی از اثرات تغییرات کاربری اراضی بر زمین‌لغزش و 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 راه‌وشهرسازی، سازمان آب منطقه‌ای و سایر ارگان‌های مرتبط با مسائل مخاطرات محیطی قرار گیرد.

منابع

- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ رستمی، قباد؛ مصطفی‌زاده، رئوف و عابدینی، موسی (۱۴۰۳). ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تئوری کاتاستروف در حوضه آبریز زمکان کرمانشاه. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۳(۲)، ۱۰۶-۱۲۵. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.452001.1498>
- اصغری سراسکانرود، صیاد و پیروزی، الناز (۱۴۰۳). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره آراس (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قرنقوچای در جنوب‌شرق استان آذربایجان شرقی). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵(۳)، ۶۵-۹۴. <https://doi.org/10.22108/gep.2024.140985.1639>
- اصغری سراسکانرود، صیاد و پیروزی، الناز (۱۴۰۱). ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره VIKOR, OWA, WLC و MABAC در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه گیوی‌چای استان اردبیل. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۴(۱)، ۶۵-۹۴. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.333658.1007656>
- اصغری سراسکانرود، صیاد و ناصری، احمد (۱۳۹۹). استخراج نقشه کاربری اراضی شهرستان سوسنگرد با استفاده از الگوریتم‌های پیکسل پایه و شی‌گرا. *فضای جغرافیایی*، ۲۰(۶۹)، ۷۷-۹۵. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3181-fa.html>
- حسین‌آبادی، سعید؛ اکبری، ابراهیم، و نقدبیشی، افسانه (۱۳۹۹). ارزیابی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و مدل زنجیره مارکوف (مورد مطالعه: شهر بیرجند و پیرامون آن). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹(۱)، ۱۶۹-۱۸۸. <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.81819>
- ذاکری‌نژاد، رضا و کهرانی، عباس (۱۴۰۲). ارزیابی و مقایسه مدل‌های CART و TreeNet جهت تهیه نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش با استفاده نرم‌افزار SPM و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، (مطالعه موردی حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۷)، ۳۸-۱۷. <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.42304.1904>
- رستمی‌زاد، قباد و دسترنج، علی (۱۴۰۳). ارزیابی حساسیت رخداد زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۴)، ۲۹۹-۳۱۲. <https://doi.org/10.22098/mmws.2023.13934.1379>
- زرگانی، زینب و علمیزاده، هیوا (۱۴۰۲). بررسی نقش تغییرات ارتفاعی و کاربری اراضی در خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فازی عصبی (مطالعه موردی: حوضه مسجد سلیمان). *دومین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش ملی توسعه پایدار دریا محور*، خرمشهر، بهمن ماه ۱۴۰۲. <https://civilica.com/doc/1972596/>
- زینالی، بتول؛ ملانوری، الهام و صفری، شیوا (۱۴۰۲). بررسی تغییرات کاربری اراضی و مولفه‌های اقلیمی در شهرستان مشکین‌شهر، حفاظت آب و خاک، ۱۲(۳)، ۱۵-۳۱. <https://doi.org/10.30495/wsrecj.2022.68774.11316>
- ستوهیان، فرزاد (۱۳۹۴). بررسی نقش عوامل طبیعی و انسانی در بروز زمین‌لغزش‌های لاهیجان در استان گیلان، *اولین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران*، ۹ بهمن ۱۳۹۴، تهران. <https://civilica.com/doc/972112>

- سیلاخوری، زهرا؛ وهابزاد کبریا، قربان و پورقاسمی، حمیدرضا (۱۴۰۲). تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل بیزین (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز تالار، استان مازندران). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۳ (۲)، ۱۲۲-۱۴۰. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-683-fa.html>
- عابدینی، موسی؛ پیروزی، الناز و شکر زاده، الهام (۱۴۰۰). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از الگوریتم تطبیقی MABAC و ANP (مطالعه‌ی موردی: شهرستان نیر). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۰ (۲)، ۱۳۶-۱۵۵. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2021.215108.1214>
- عابدینی، موسی؛ قلعه، احسان؛ آقازاده، نازفر و محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۱). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۲ (۶۷)، ۳۷۵-۳۹۳. <https://doi.org/10.52547/jgs.22.67.375>
- عابدینی، موسی و موسوی، معصومه (۱۳۹۷). بررسی مهمترین مخاطرات محیطی در حوضه آبخیز شهر ایذه با استفاده از مدل‌های WLC و TOPSIS، *فضای جغرافیایی*، ۱۸ (۶۱)، ۴۱-۶۲. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1873-fa.html>
- عبادی، الهام؛ اسفندیاری درآباد، فریبا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ مصطفی‌زاده، رئوف و ملانوری، الهام (۱۴۰۳). بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک شی‌گرا و پیکسل پایه مطالعه موردی: حوضه فیروز آباد خلخال. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸ (۲۷)، ۳۲۹-۳۴۷. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.52092.3014>
- فیضی‌زاده، بختیار؛ خدمت‌زاده، علی و نیکجو، محمدرضا (۱۳۹۷). ریز طبقه‌بندی اراضی باغی و زراعی با استفاده از تکنیک‌های پردازش شی پایه والگوریتم‌های فازی با هدف تخمین سطح زیر کشت. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۸ (۴)، ۲۰۱-۲۱۶. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.48.201>
- کلارستانی، عطالله؛ حبیب‌نژاد، محمود و احمدی، حسن (۱۳۸۷). مطالعه وقوع زمین لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی مطالعه موردی حوزه آبخیز تجن، ساری. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۴۰ (۱)، ۸۱-۹۱. <https://www.ensani.ir/fa/article/47822/>
- لجم اورک، مرتضی و پیری، زهرا (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP و فن GIS (مطالعه موردی: شهرستان باغملک). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۳)، ۱۹۳-۲۱۵. <https://doi.org/10.22067/geoe.2022.77009.1239>
- نگهبان، سعید، مرحمت، مهری و علی نژاد، حمید (۱۴۰۴). ارزیابی و پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مطالعه موردی حوضه آبخیز مارگون، زاگرس فارس). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۴ (۲)، ۴۱-۴۲. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2025.474854.1519>
- نگهبان، سعید، پی سوزی، تینا، گنجائیان، حمید و نوروزی، میلاد (۱۴۰۰). شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش و جابجایی عمودی با استفاده از تصاویر راداری (مطالعه موردی: محدوده شهری و حاشیه شهری لواسان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰ (۳)، ۱-۱۸. <https://doi.org/10.22067/geoe.2021.71728.1094>
- Alcántara-Ayala, I. (2025). Landslides in a changing world. *Landslides*, Published online, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02451-1>
- 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>
- 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-LinearRegression: An Algorithmic Approach, *Fuzzy infomation and engineering*, 12 (4), 412–434. <https://doi.org/10.1080/16168658.2021.1911567>
- Bourenane, H., & Bouhadad, Y. (2021). Impact of Land Use Changes on Landslides Occurrence in Urban Area: The Case of the Constantine City (NE Algeria). *Geotech Geol Eng*, 39, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01768-1>
- 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>
- Chen, L., Guo, Z., Yin, K., Shrestha, D.P., & Jin, S. (2019). The influence of land use and land cover change on landslide susceptibility: a case study in Zhushan Town, Xuan'en County (Hubei, China). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19 (10), 2207-2228. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-2207-2019>
- Fauzi, R.A., Harini, R., & Rijanta, R. (2023). The Effect of Land Cover Changes On Landslides in Grindulu Watershed, Pacitan Regency, East Java. *BIO Web of Conferences*, 80, 1-6. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20238003020>
- Ganjaeian, H., Rezaei Arefi, M., Peysoozi, T., & Emami, K. (2020). Zonning susceptible areas of landslide using WLC and OWA methods -A case study in Mountain cliff Khan, Iran. *Sustainability Earth Review*, 1(2), 43-51. [10.52547/sustaineearth.1.2.43](https://doi.org/10.52547/sustaineearth.1.2.43)
- Gao, C., Cheng, D., Iqbal, J., & Yao, S. (2023). Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of the Great Yellow River Region (GYRR) Land Cover and the Relationship Analysis with Mountain Hazards. *Land*, 12(2), 1-24. <https://doi.org/10.3390/land12020340>
- Kimura, T. (2024). Effects of Land Cover Changes and Rainfall Variation on the Landslide Size–Frequency Distribution in a Mountainous Region of Western Japan. *Geosciences*, 14(3), 1-16. <https://doi.org/10.3390/geosciences14030059>
- Klimes, J., Novotny, j., Balek, j., Rosario, A.M., Torres, JC., Vargas, R., López, D., Obispo, Y., Roldán-Minaya, E., Caballero, A., Jara, H., Villafane, H., & Melgarejo, E. (2023). Landslide hazard assessment and risk reduction in the rural community of Rampac Grande, Cordillera Negra, Peru. *Environ Earth Sci*, 83 (27), 1-26. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11307-1>
- Kumar, A., Sharma, R., & Bansal, V. (2022). Spatial Prediction of Landslide Hazard using GIS-multi-criteria Decision Analysis in Kullu District of Himachal Pradesh, India. *Journal of Mining and Environment*, 13(4), 943-956. https://jme.shahroodut.ac.ir/article_2535.html
- 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>
- 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>
- Rabby, Y.W., Li, Y., Abedin, J., & Sabrina, S. (2022). Impact of Land Use/Land Cover Change on Landslide Susceptibility in Rangamati Municipality of Rangamati District, Bangladesh. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11 (89). 1-16. of Geo-Information, 11 (89): 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijgi11020089>

- Reichenbach, P., Busca, C., Mondini, A.C., & Rossi, M. (2014). The Influence of Land Use Change on Landslide Susceptibility Zonation: The Briga Catchment Test Site (Messina, Italy). *Environ Manage*, 54(6), 132-138. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0357-0>
- 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/app13085062>
- Salehpour, Jam., Mosaffaie, A., & Sarfaraz, F. (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid MCDM models. *Nat Hazards*, 108, 1025–1046. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04718-5>
- 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>
- Taloor, AK., Kumar, V., Kumar, SG., Singh, A.K., Kale, A.V., Sharma, R., Khajuria, V., Raina, G., Kouser, B., & Chowdhary, N.H. (2020). Land Use Land Cover Dynamics Using Remote Sensing and GIS Techniques in Western Doon Valley, Uttarakhand, India, *Geocology of Landscape Dynamics. Advances in Geographical and Environmental Sciences*, 1, 37-51. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2097-6_23
- 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>
- Ullah, K., Wang, Y., Li, P., Fang, Z., Rahaman, M., Ullah, S., & Hamed, M.M. (2024). Spatiotemporal dynamics of landslide susceptibility under future climate change and land use scenarios. *Environ. Res. Lett*, 19 (1), 1-18. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad8a72>
- 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>