



<https://sppl.ui.ac.ir/?lang=en>

Spatial Planning

E-ISSN: 2476-3357

Document Type: Research Paper

Vol. 15, Issue 3, No.58, 2025, pp. 91- 112

Received: 13/02/2025

Accepted: 14/07/2025

Evaluating Tourism Villages in terms of Landslide Hazard in Isfahan Province Using Spatial Analysis Algorithms

Hojjat Sadeghi ^{1a}*

Assistant professor, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

h.sadeghi@geo.ui.ac.ir

Masoumeh Ahmadvand

Master of Geography and Rural Planning, Payam-e Noor University, Tehran, Iran

m.ahmadvand2010@yahoo.com

Abstract

Background: Effective management and development of rural tourism necessitate a comprehensive understanding of various challenges, including crisis management and sustainable use of natural resources. Among these challenges, hazards like landslides pose significant risks to tourist villages, particularly as they increasingly result from human-induced climate change and environmental degradation. **Purpose:** This study aimed to assess the landslide hazard in tourism villages within Isfahan Province, evaluating their vulnerability under both pessimistic and optimistic scenarios. **Research Method:** The research employed a descriptive-analytical approach grounded in spatial data analysis. Data were analyzed using the Boolean method in ArcGIS software, applying spatial algorithms after standardizing the data within the software environment. **Findings:** The analysis revealed that in the optimistic scenario, only 1,092.27 square kilometers (1.032% of the area) were classified as having a "probability of landslides". In contrast, the pessimistic scenario showed a substantial increase with 91,521.3 km² (86.53%) at risk. The findings indicated that tourist villages, including Mashhad Kaveh, Hardang, Khafar, Jaja, and Damab, were vulnerable to landslides in both scenarios. The significant difference between the two scenarios underscored the urgent need for effective environmental management and land-use planning to mitigate landslide hazards. Failure to address the factors contributing to land instability might render a large portion of the region susceptible in the pessimistic scenario.

Keywords: Landslide Hazard, Tourism Village, Spatial Algorithms, GIS.

*Corresponding Author

Sadeghi, H. and Ahmadvand, M. (2025). Evaluating tourism villages in terms of landslide hazard in Isfahan province using spatial analysis algorithms. *Spatial Planning*, 15 (3), 91 - 112 .

2476-3357 © The Author(s).

Published by University of Isfahan

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



10.22108/sppl.2025.144352.1833

Introduction

Rural tourism has emerged as one of the most significant forms of tourism over the past decade, while being driven by changing human lifestyles. Effective planning for the management and development of this sector requires a thorough understanding of various challenges, including crisis management and sustainable use of natural resources. Among these challenges, hazards like landslides pose critical risks to tourist villages, particularly as their frequencies increase due to human-induced climate change and environmental degradation. Landslides represent a form of mass movement characterized by the downward and outward displacement of slope-forming materials along natural hillslopes. They result from a combination of factors, including geological conditions, slope gradient, precipitation, land cover, and human activities. The causes of landslides can be broadly categorized into two groups: natural factors—such as geology, climate, topography, and vegetation cover—and anthropogenic factors, including land-use changes, road construction, and development activities. These factors, whether acting independently or in concert, can significantly compromise slope stability and trigger landslides.

Tourist villages in Isfahan Province hold a unique position in attracting both domestic and international visitors due to their distinctive natural, cultural, and historical attributes. Being situated in areas with pristine landscapes and natural springs, these villages offer numerous opportunities for sustainable tourism development. However, alongside the economic and social benefits, they face environmental threats and hazards. One of the most pressing case of these threats is the risk of landslides, which is particularly high given the specific climatic, geological, and topographic conditions present in many of these villages. This poses a serious challenge to the sustainable development of tourism in the region. The primary objective of this research was to identify potential landslide-prone areas within the tourist villages of Isfahan Province and assess the severity of this issue under both pessimistic and optimistic scenarios.

Materials & Methods

This research adopted a descriptive-analytical approach and was applied in nature. The data utilized in this study comprised spatial data from the Mapping Organization, alongside meteorological statistics. Initially, key criteria for evaluating vulnerability of the tourist villages to landslide hazards were identified. 8 significant and relevant criteria were selected for analysis: altitude, slope, land cover, rainfall, soil type, distance from watercourses, distance from faults, and distance from roads. These criteria were standardized to ensure comparability. Subsequently, the landslide phenomenon was analyzed using the Boolean model and spatial algorithms within ArcGIS software.

Research Findings

The results of the pessimistic scenario indicated that a significant portion of the region was classified as landslide-prone. Higher-risk areas were distributed across various directions within the province with the highest concentration found in the western and southern regions. Contributing factors included climatic conditions, soil composition, slope, altitude, land-use changes, and other environmental and human influences. Notably, the highest density of tourist villages was also situated in the western part of the province. Villages, such as Mashhad Kaveh, Hardang, Damab, Jaja, Narmeh, Khafar, and Kalhorud, were located in areas susceptible to landslides. In contrast, the final map for the optimistic scenario revealed that fewer areas were identified as being at risk for landslides. These identified zones were dispersed throughout the province; yet, the highest potential for landslides remained in the western and southern regions.

Under the optimistic scenario, an area of 104,668 km²—equivalent to 98.96% of the total area—was categorized as "no landslide probability". This suggested that, under favorable conditions, the likelihood of landslides was confined to a very limited portion of the region, with only 27.11 km² (0.032%) designated as "landslide probability" zones. This scenario indicated that, in stable conditions and absent significant environmental pressures, most areas were relatively safe, minimizing the risk of landslides.

Conversely, in the pessimistic scenario, the area classified as "no landslide probability" decreased to 14,238.94 km² (13.46%), while the area identified as "landslide probability" increased dramatically to 91,521.3 km² (86.53%). This scenario assumed unfavorable environmental, climatic, and geological conditions, leading to a sharp rise in the likelihood of landslides and placing a significant portion of the region at risk.

The optimistic scenario reflected a stable environment with a very low probability of landslides. In contrast, the pessimistic scenario depicted an unstable situation where a significant portion of the area was at risk. This disparity highlighted the influence of environmental conditions and various pressures—such as precipitation, climate change, and human interventions—on land stability. The considerable difference between the two scenarios underscored the necessity of environmental management and land-use planning to mitigate landslide risks. Without effective control of the factors contributing to land instability, a substantial part of the area could become vulnerable in the pessimistic scenario.

The results indicated that, under the optimistic scenario, the correlation between the criteria and landslide occurrence ranged from low to moderate. The strongest correlations were found with slope (0.251), distance from streams (0.246), and distance from roads (0.245). In contrast, the lowest correlations were associated with soil type (0.222) and precipitation (0.223). Under the pessimistic scenario, correlation levels increased significantly. The strongest associations with landslide occurrence were seen with distance from fault lines (0.539) and elevation (0.372). Meanwhile, slope presented the weakest correlation in this scenario with a value of 0.185. This comparison illustrated that, in a pessimistic context where the likelihood of landslides was perceived to be higher, geological factors, such as proximity to fault lines and elevation, played a more critical role. Conversely, in the optimistic scenario, topographical and hydrological variables—such as slope and distance from streams—were more significant. These differences in correlation patterns emphasized the importance of evaluating multiple scenarios when assessing landslide hazard potential and developing effective risk mitigation strategies.

One of the key findings of this study was the significant impact of human activities on land instability. Factors like unauthorized construction, land-use changes, deforestation, pasture degradation, and expansion of road networks—often without adequate consideration of geological conditions—were major contributors to the increased occurrence of landslides. This issue was particularly pressing in the western regions of the province, where there was a high concentration of tourist villages. Villages, such as Mashhad Kaveh, Hardang, and Khafr, which were located in high-risk zones, had become increasingly vulnerable due to intensified construction and development activities.

The comparison between the two scenarios highlighted the urgent need for precise and proactive management strategies, especially in areas with a high susceptibility to landslides. Continuous monitoring and regulatory measures could play a crucial role in preventing the shift from an optimistic to a pessimistic scenario, thereby minimizing potential hazards and enhancing environmental safety.

Discussion of Results & Conclusion

The analysis of various scenarios in this study revealed that landslides were among the most significant natural hazards affecting the study area and its tourist villages. Their occurrence was influenced by a range of environmental, climatic, and geological factors. By examining these factors through both optimistic and pessimistic scenarios, we achieved a more accurate assessment of land stability in the region. Each scenario painted a potential future landscape, serving as a valuable foundation for planning and decision-making regarding the management of natural hazards in relation to tourist villages and the surrounding area.



ارزیابی روستاهای گردشگری از لحاظ مخاطره زمین‌لغزش در استان اصفهان با الگوریتم‌های تحلیل فضایی

حجت صادقی* ، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

h.sadeghi@geo.ui.ac.ir

معصومه احمدوند، کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

m.ahmadvand2010@yahoo.com

چکیده

طرح مسئله: برنامه‌ریزی مدیریت و توسعه گردشگری روستایی نیازمند شناخت مسائل مختلف آنها از جمله مدیریت بحران و منابع طبیعی است. مخاطرات احتمالی از جمله زمین‌لغزش از مهم‌ترین این مسائل است که روستاهای گردشگری همواره با آنها مواجه هستند و با توجه به تغییرات اقلیمی و محیطی انجام‌شده توسط بشر، در حال گسترش است. **هدف:** هدف پژوهش حاضر آن است که روستاهای گردشگری از لحاظ مخاطره زمین‌لغزش در استان اصفهان ارزیابی و وضعیت آنها در دو سناریوی بدبینانه و خوش‌بینانه مشخص شود. **روش پژوهش:** روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر داده‌های مکانی است. تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش بولین در دو سناریوی بدبینانه و خوش‌بینانه در نرم‌افزار Arc GIS انجام شد. داده‌ها در محیط نرم‌افزار استانداردسازی و از طریق الگوریتم‌های فضایی تحلیل شدند. **نتیجه پژوهش:** نتیجه نشان داد که در سناریوی خوش‌بینانه، فقط ۱۰۹۲/۲۷ کیلومترمربع معادل ۱/۰۳۲ درصد از مساحت به عنوان پهنه‌های با «احتمال زمین‌لغزش» و در سناریوی بدبینانه مساحت «احتمال زمین‌لغزش» ۹۱۵۲۱/۳ کیلومترمربع معادل ۸۶/۵۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. همچنین نتیجه نشان داد که روستاهای گردشگری منطقه در هر دو سناریو، در معرض خطر زمین‌لغزش قرار دارند که می‌توان به روستاهای مشهد کاوه، هاردانگ، خفر، جاجا و دماپ اشاره کرد. تبیین تفاوت درخور توجه میان دو سناریو نشان می‌دهد که مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی و آمایش سرزمین برای کاهش ریسک زمین‌لغزش ضروری است. در صورت کنترل نکردن عوامل مؤثر بر ناپایداری زمین، بخش وسیعی از منطقه در سناریوی بدبینانه آسیب‌پذیر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: مخاطره زمین‌لغزش، روستای گردشگری، الگوریتم‌های فضایی، GIS

*نویسنده مسؤول

صادقی، حجت و احمدوند، معصومه. (۱۴۰۴). ارزیابی روستاهای گردشگری از لحاظ مخاطره زمین‌لغزش در استان اصفهان با الگوریتم‌های تحلیل فضایی، برنامه‌ریزی فضایی، ۱۵ (۳)، ۹۱-۱۱۲.



مقدمه

صنعت گردشگری به‌عنوان یکی از پویاترین بخش‌های اقتصادی جهان، در سال‌های اخیر نقش بسزایی در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها داشته است (Li et al., 2018, P. 137). در این میان، به گردشگری روستایی به دلیل برخورداری از جاذبه‌های طبیعی، فرهنگی و تاریخی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انواع گردشگری توجه شده است (Su, 2011, P. 192). روستاهای گردشگری با ارائه چشم‌اندازهای بکر، فرهنگ بومی غنی و محیطی آرام، مقصدی جذاب برای گردشگران داخلی و خارجی محسوب می‌شوند. این نوع گردشگری علاوه بر ایجاد فرصت‌های شغلی و افزایش درآمد برای ساکنان محلی، به احیای فرهنگ‌های بومی و حفاظت از میراث طبیعی نیز کمک می‌کند (Tahiri et al., 2022, p. 4). باوجود این مزایا، توسعه گردشگری روستایی نیازمند مدیریت صحیح و توجه به چالش‌های زیست‌محیطی است (Rosalina et al., 2021, P. 138)؛ زیرا غفلت از مخاطرات طبیعی می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری برای این مناطق به همراه داشته باشد.

مناطق روستایی به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی و محیطی خاص، همواره در معرض مخاطرات طبیعی مانند سیل، زلزله، خشک‌سالی و زمین‌لغزش قرار دارند. این مخاطرات علاوه بر آسیب به زیرساخت‌ها و تأسیسات گردشگری می‌توانند جان ساکنان محلی و گردشگران را نیز تهدید کنند (Di zhang & Liu, 2023, P. 192). زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مخاطرات مهم زمین‌شناختی، به‌ویژه در مناطق کوهستانی و شیب‌دار، خطرات جدی برای روستاهای گردشگری به همراه دارد (Ziegler et al., 2023, P. 6). این پدیده ممکن است به انسداد جاده‌ها، تخریب اماکن گردشگری و آسیب به اکوسیستم منطقه منجر شود که در نتیجه، کاهش تعداد گردشگران و افت اقتصادی منطقه را به دنبال دارد (Rossello et al., 2020, P. 6)؛ بنابراین، توجه به مدیریت و کاهش این مخاطرات در برنامه‌ریزی‌های گردشگری، امری ضروری است.

زمین‌لغزش به جابه‌جایی توده‌های خاک و سنگ در شیب‌های طبیعی گفته می‌شود که در اثر عوامل مختلفی مانند بارش شدید، تغییرات کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد (Perera et al., 2018, P. 3). زمین‌لغزش، حرکت توده‌ای در شیب‌های تند در مناظر ناهموار است (جمینی و همکاران، ۱۴۰۲، ص. ۱۰۸). در بسیاری از روستاهای گردشگری، به دلیل موقعیت جغرافیایی در دامنه کوه‌ها و مناطق مرتفع، احتمال وقوع زمین‌لغزش بسیار زیادست. این مخاطره می‌تواند تأثیرات منفی بر توسعه گردشگری داشته باشد؛ به‌طوری‌که تخریب زیرساخت‌های گردشگری و کاهش امنیت گردشگران، جذابیت این روستاها را به شدت کاهش می‌دهد (sunarta et al., 2018, P. 9). از طرفی، تغییر در چشم‌اندازهای طبیعی ناشی از زمین‌لغزش، خود به عاملی برای از دست رفتن ارزش‌های زیست‌محیطی و گردشگری تبدیل می‌شود (Morino et al., 2022, P. 11)؛ ازاین‌رو، شناسایی مناطق پرخطر و اجرای برنامه‌های مدیریتی برای کاهش خطرات زمین‌لغزش از اولویت‌های توسعه گردشگری پایدار به شمار می‌آید.

روستاهای گردشگری استان اصفهان به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد طبیعی، فرهنگی و تاریخی از جایگاه ویژه‌ای در جذب گردشگران داخلی و خارجی برخوردار هستند. این روستاها که در مناطقی با مناظر بکر و چشمه‌های طبیعی قرار دارند، فرصت‌های متعددی برای توسعه گردشگری پایدار فراهم کرده‌اند؛ بااین‌حال، این فرصت‌ها در کنار مزایای

اقتصادی و اجتماعی با تهدیدات و مخاطرات محیطی نیز مواجه هستند. یکی از مهم‌ترین این مخاطرات، وقوع زمین لغزش است که به دلیل شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و توپوگرافی خاص بسیاری از این روستاها، احتمال وقوع آن زیاد است و تهدید جدی برای توسعه پایدار گردشگری به شمار می‌آید.

زمین لغزش به عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌های گردشگری، اراضی کشاورزی و روستاهای گردشگری وارد کند. اهمیت پرداختن به این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که توسعه گردشگری بدون توجه به مخاطرات محیطی نه تنها پایداری مناطق روستایی را تهدید می‌کند، بلکه می‌تواند به از دست رفتن سرمایه‌های اقتصادی و طبیعی این روستاها منجر شود. باتوجه به اینکه بخش زیادی از روستاهای گردشگری استان اصفهان در دامنه‌های کوهستانی و مناطق شیب‌دار قرار دارند، احتمال وقوع زمین لغزش در آن‌ها زیاد است و در صورت مدیریت نادرست، این روستاها به کانون بحران تبدیل خواهند شد. از طرف دیگر، حضور گردشگران در این مناطق و توسعه زیرساخت‌های گردشگری مانند جاده‌سازی و ساخت‌وسازهای بی‌رویه، خود می‌تواند عاملی برای افزایش احتمال وقوع زمین لغزش باشد. این شرایط، ضرورت تدوین راهکارهای علمی و عملیاتی برای پیشگیری و کاهش آسیب‌های احتمالی را دوچندان می‌کند؛ بنابراین، ارزیابی و مدیریت این مخاطره نه تنها به حفظ زیرساخت‌ها و منابع طبیعی کمک می‌کند، بلکه گامی اساسی در جهت برنامه‌ریزی آگاهانه و توسعه پایدار گردشگری روستایی در استان اصفهان است. باتوجه به مسئله بیان‌شده، هدف اصلی پژوهش این است که پهنه‌های احتمالی زمین لغزش برای روستاهای گردشگری استان اصفهان شناسایی و میزان شدت این مسئله برای روستاهای گردشگری در دو سناریوی بدبینانه و خوش‌بینانه تبیین و مشخص شود.

مبانی نظری پژوهش

مطالعات زمین لغزش و ارزیابی مخاطرات مرتبط با آن، در دهه‌های اخیر به دلیل افزایش خسارات ناشی از این پدیده طبیعی، توجه محققان و مدیران محیطی را به خود جلب کرده است. زمین لغزش به عنوان یکی از مخاطرات ژئومورفولوژیکی زمانی رخ می‌دهد که تعادل طبیعی در دامنه‌ها به دلایل مختلفی از جمله بارش شدید، تغییرات کاربری اراضی، ساخت‌وسازهای انسانی و شرایط زمین‌شناسی بر هم می‌خورد. شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین لغزش از طریق به کارگیری روش‌های نوین تحلیل فضایی می‌تواند نقشی کلیدی در مدیریت بحران و برنامه‌ریزی محیط داشته باشد (Li & Samsudin, 2025, P. 4).

مخاطرات محیطی مانند زمین لغزش از جمله پدیده‌های طبیعی هستند که در مناطق کوهستانی و دارای شیب زیاد، به ویژه در روستاهای واقع در این مناطق، خسارات جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌های گردشگری و جوامع محلی وارد می‌کنند (Hossain et al., 2024, P. 786). یکی از راهبردهای مهم در کاهش اثرات این مخاطرات، شناسایی و پهنه‌بندی دقیق مناطق مستعد خطر است؛ در این راستا، سیستم اطلاعات جغرافیایی و الگوریتم‌های تحلیل فضایی، ابزارهای توانمندی برای تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و شناسایی پهنه‌های پرخطر محسوب می‌شوند.

زمین لغزش نوعی حرکت توده‌ای مواد در امتداد دامنه‌های طبیعی است که متأثر از عوامل متعددی مانند زمین‌شناسی، شیب، بارش، پوشش اراضی و فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد (Klai et al., 2024, P. 94). عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش

به دو دسته عوامل طبیعی (مانند زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی و پوشش گیاهی) و عوامل انسانی (مانند تغییر کاربری اراضی، ساخت جاده و فعالیت‌های عمرانی) تقسیم می‌شوند (Vegliante et al., 2024, P. 213). این عوامل می‌توانند به‌تنهایی یا در ترکیب با یکدیگر، پایداری دامنه‌ها را کاهش دهند و زمینه وقوع زمین‌لغزش را فراهم کنند.

براساس پیشینه نظری، عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش را می‌توان در سه دسته کلی قرار داد (Zahor & Yamungu, 2022; Moragues et al, 2024; Krisandika & Sutrisno, 2023). ۱- عوامل زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی: نوع سنگ‌ها، ترکیب خاک، شیب زمین، فرسایش، گسل، آبراهه‌ها و میزان نفوذپذیری آب، ۲- عوامل اقلیمی: میزان بارش سالانه، شدت بارش‌های ناگهانی و تغییرات دمایی، ۳- عوامل انسانی: تخریب پوشش گیاهی، کاربری (فعالیت‌های کشاورزی، جاده‌سازی و توسعه شهری).

در این میان، روستاهای گردشگری که عمدتاً در نواحی مستعد این پدیده قرار دارند، بیش از سایر مناطق در معرض خطر قرار گرفته‌اند و در صورت مدیریت نادرست، خسارات درخور توجهی را متحمل خواهند شد (Ye et al., 2022, P. 3). گردشگری روستایی یکی از شاخه‌های مهم صنعت گردشگری است که با تکیه بر منابع طبیعی، فرهنگی و اجتماعی روستاها موجب توسعه اقتصادی این مناطق می‌شود؛ بااین‌حال، این نوع گردشگری در برابر مخاطرات طبیعی مانند زمین‌لغزش، زلزله و سیلاب آسیب‌پذیر است (Chen et al., 2021a, P. 1448). براساس مفهوم توسعه پایدار هرگونه برنامه‌ریزی در حوزه گردشگری باید با در نظر گرفتن ظرفیت‌های محیطی و کاهش خطرات طبیعی صورت گیرد. درغیراین‌صورت، این مخاطرات می‌توانند باعث خسارت به زیرساخت‌های گردشگری، کاهش جذابیت مناطق و درنهایت افت اقتصادی جوامع محلی شوند (Chen et al., 2021b, P. 46).

روستاهای گردشگری، به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط محیطی خاص، در معرض خطر زمین‌لغزش قرار دارند. شناسایی این مخاطرات و مدیریت آن‌ها، نه تنها به کاهش خسارات احتمالی کمک می‌کند، بلکه بستر لازم برای توسعه پایدار گردشگری و ارتقای کیفیت زندگی در این روستاها را نیز فراهم می‌سازد.

پیشینه پژوهش

عرب‌عامری و همکاران نتیجه گرفتند که فاصله از جاده و جهت شیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته و بخش زیادی از منطقه در معرض خطر شدید این مخاطره قرار دارد (عرب‌عامری و همکاران، ۱۳۹۷). روستایی و همکاران به معیارهای شیب دامنه، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، شاخص پوشش گیاهی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش اشاره دارند و معیار فاصله از رودخانه را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مطالعه‌شده (طالقان) معرفی کرده‌اند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۹). شریفی و همکاران در پهنه‌بندی زمین‌لغزش نتیجه گرفتند که شیب، ارتفاع، کاربری اراضی از مهم‌ترین عوامل در این زمینه هستند که ۱۴/۹۴ درصد منطقه استعداد مخاطره زمین‌لغزش را داشته است (شریفی و همکاران، ۱۴۰۰). درویشی و موسوی ندوشن به جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از مراکز سکونت، انحنای زمین، بارش، ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی و... به‌عنوان عوامل ارزیابی زمین‌لغزش اشاره داشتند و نتیجه گرفتند که بیش از ۱۷/۸۹ درصد منطقه دارای خطر زمین‌لغزش زیاد بوده است (درویشی و موسوی ندوشن، ۱۴۰۲). لجم اورک و پیری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اشاره داشته‌اند که بیشترین زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه

در ارتباط با شیب و جنس زمین بوده است؛ زیرا این عوامل با دخالت فعالیت‌های شبکه آب‌های سطحی، بارندگی و دیگر عوامل یادشده باعث سست شدن پیوند بین رسوبات شده و حرکت آن‌ها را موجب می‌شوند (لجم اورک و پیری، ۱۴۰۴). صادقی و جوان در بررسی روستاهای گردشگری ایران از لحاظ زمین لغزش اشاره داشته‌اند که ۲۵ روستای گردشگری ایران در معرض خطر شدید زمین لغزش شناخته شده‌اند (صادقی و جوان، ۱۴۰۴).

علاوه بر این، مطالعات جهانی نیز بر نقش عوامل انسانی نظیر تغییرات کاربری زمین، جاده‌سازی نامناسب و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع در زمینه مخاطره زمین لغزش و تشدید آن تأکید دارند؛ برای نمونه، تحقیق سادمیر و همکاران نشان داد که افزایش ساخت‌وسازهای غیرمجاز و فقدان سیاست‌های کاربری زمین، آسیب‌پذیری روستاهای گردشگری را به میزان درخور توجهی افزایش داده است (Sudmeier et al., 2015). تیاگی و همکاران نتیجه گرفتند که شیب و کاربری نقش مهمی در میزان آسیب‌پذیری و خطر زمین لغزش دارند (Tyagi et al., 2021). مکونن و همکاران نتیجه گرفتند که گسل، شیب، بارش، سنگ‌شناسی و... نقش مهمی در خطر زمین لغزش دارند که در این زمینه جنس خاک مهم‌ترین نقش و تأثیر را دارد (Mekonnen et al., 2022). آسامره ضمن تأکید بر عوامل شیب، کاربری، فاصله از گسل، زهکشی، پوشش زمین اشاره دارد که زاویه شیب، فاصله تا زهکشی و انواع شیب در کنترل زمین لغزش‌ها از نظر آماری معنی‌دار هستند (Asmare, 2022). وانگ و همکاران نتیجه گرفتند که با تراکم زمین لغزش به صورت تصاعدی، حساسیت زمین لغزش افزایش می‌یابد و منطقه با حساسیت زمین لغزش زیاد عمدتاً در امتداد رودخانه‌ها و جاده‌ها متمرکز شده است (Wang et al., 2024). جلاوی و همکاران نشان دادند که مناطق پرخطر و بسیار پرخطر زمین لغزش متأثر از شبکه جاده‌ها و زیرساخت‌های حمل و نقل قرار گرفته‌اند (Jallayu et al., 2024). چتا و همکاران اشاره داشته‌اند که سنگ‌شناسی، زاویه شیب، فاصله از رودخانه‌ها و جاده‌ها و همچنین بارش مهم‌ترین عوامل ارزیابی خطر زمین لغزش هستند که می‌توانند بر تشدید خطر زمین لغزش مؤثر باشند (Chettah et al., 2024).

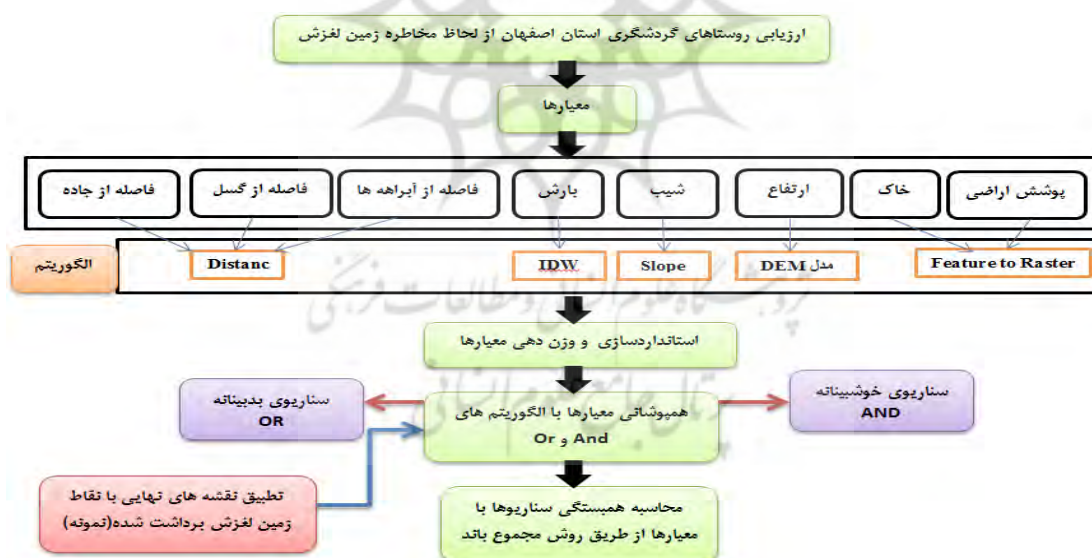
بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها زمین لغزش را براساس معیارهای متداولی مانند شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه و گسل ارزیابی کرده‌اند و تمرکز آن‌ها بیشتر بر پهنه‌بندی مناطق خطر خیز بوده است؛ با این حال، در این پژوهش علاوه بر استفاده از الگوریتم‌های تحلیل فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سناریوسازی به منظور پیش‌بینی وضعیت‌های مختلف خطر زمین لغزش انجام شده است. تلفیق جامع معیارهای انسانی (فاصله از جاده) و طبیعی، تمرکز ویژه بر روستاهای گردشگری، استفاده از الگوریتم‌های تحلیل فضایی، تأیید نتایج با داده‌های واقعی زمین لغزش و تحلیل همبستگی معیارها در دو سناریوی مختلف، نوآوری این پژوهش را تأیید می‌کند. به طور کلی، این پژوهش با رویکردی جامع، چندبعدی و سناریومحور توانسته است تصویری دقیق و کاربردی از مخاطره زمین لغزش برای روستاهای گردشگری استان اصفهان ارائه دهد.

روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. داده‌های این پژوهش شامل داده‌های مکانی سازمان نقشه‌برداری است. ابتدا معیارهای مؤثر در ارزیابی روستاهای گردشگری از لحاظ آسیب‌پذیری مخاطره زمین لغزش شناسایی شد. در تحقیقات مختلف، معیارهای متنوعی استفاده شده است. در پژوهش حاضر به ۸ معیار مهم و مرتبط اکتفا شد. این معیارها عبارت‌اند از: ارتفاع، شیب، پوشش اراضی، بارش، خاک، فاصله از آبراهه، فاصله

از گسل و فاصله از جاده. در ابتدا معیارها استانداردسازی شدند؛ به گونه‌ای که همه معیارها دارای واحد یکسانی شدند. براساس مطالعه متون و پژوهش‌های قبلی، استاندارد و ویژگی‌های در معرض مخاطره زمین‌لغزش متناسب با هر معیار استخراج و لحاظ شد.

در این پژوهش برای وزن‌دهی به زیرمعیارها از مدل بولین استفاده شده است. منطق بولین شاخه‌ای از علم جبر در ریاضیات است که گزاره‌های آن بر محور سه تابع هم‌پوشانی، AND، OR^۱ و NOT^۲ استوار است. این منطق را جورج بول^۳ در دهه ۱۸۰۰ معرفی و توسعه داد و به ساده‌سازی تفسیر عبارت‌ها و گزاره‌هایی که پیچیدگی زیادی دارند، کمک شایانی کرد. در این منطق نتیجه هر گزاره خارج از دو حالت نخواهد بود؛ یا مقدار آن صحیح است یا مقدار ناصحیح دارد. از این رو به این منطق در عامیانه منطق صفر و یک گفته می‌شود. در مدل بولین مناطق با احتمال زمین‌لغزش، کد یک و مناطق با عدم احتمال زمین‌لغزش یا احتمال بسیار کم، کد صفر دریافت کردند. این فرآیند برای تمامی ۸ معیار لحاظ شد و نقشه‌ها در دو طبقه یک و صفر استخراج شدند. در ادامه نقشه‌های به‌دست‌آمده از طریق عملگر یا الگوریتم‌های Boolean AND و Boolean OR هم‌پوشانی شدند که سناریوهای خوش‌بینانه (AND) و بدبینانه (OR) شناخته می‌شوند. با این عملیات، وضعیت روستاهای گردشگری براساس پهنه‌های محاسبه‌شده از لحاظ میزان آسیب‌پذیری حاصل از مخاطره زمین‌لغزش مشخص شدند. نقشه‌ها در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شدند. در این پژوهش از الگوریتم IDW^۴ برای تهیه نقش بارش، از الگوریتم فاصله (Distance) برای تهیه نقشه فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده، فاصله از گسل و از الگوریتم Slope برای تهیه نقشه شیب استفاده شده است (شکل ۱).



شکل (۱): مدل و فرایند انجام تحقیق (نگارنده، ۱۴۰۲)

Fig (1): Research model and process (Author, 2023)

۱. در این تابع اگر یکی از متغیرها صفر باشد، خروجی گیت نیز صفر خواهد بود.

۲. در این تابع تنها اگر یکی از متغیرها مقدار یک داشته باشد، خروجی برابر یک خواهد بود.

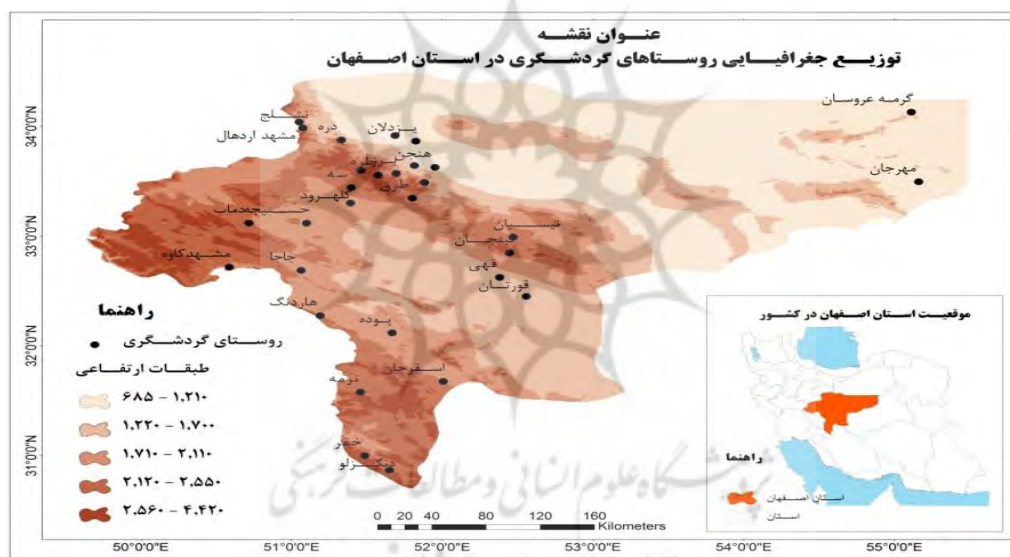
۳. این تابع مقدار ورودی یک را صفر و صفر را یک می‌کند.

4. George Boole

5. Inverse distance weighting

محدوده مطالعه شده

استان اصفهان از استان‌های مرکزی ایران است که مرکز آن، شهر اصفهان است. از نظر طبیعی این استان به دشت کویر در شرق و شمال، رشته‌کوه‌های زاگرس در غرب و جنوب بسته شده است که این موقعیت طبیعی، از یک سو چارچوب‌هایی و از سوی دیگر پتانسیل‌ها و برتری‌هایی را برای استان فراهم کرده است. مساحت استان بالغ بر $105760/2$ کیلومترمربع است. بر پایه داده‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن در دوره‌های گذشته، جمعیت استان اصفهان در سال ۱۳۵۵، نزدیک به ۲ میلیون نفر بوده است که با رشدی فزاینده به ۶ میلیون نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است. این استان دارای پتانسیل‌های متنوعی است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به گردشگری اشاره کرد. گردشگری جایگاه ویژه‌ای در این استان دارد و به عنوان مهم‌ترین مقصد گردشگران خارجی در کشور شناخته می‌شود. بخش اعظمی از پتانسیل‌های گردشگری این استان به حوزه روستایی مربوط می‌شود که سالانه گردشگران زیادی را به سمت خود جذب می‌کند. از مهم‌ترین روستاهای گردشگری استان اصفهان می‌توان به ابیان، پوده، مشهد اردغال، گرمه، مشهد کاوه، قورتان، دماب، نیسیان، هاردانگ و خفر اشاره کرد. (شکل ۲) توزیع فضایی و مکانی روستاهای گردشگری را نشان داده است.



شکل (۲): نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه (بازترسیم، نگارنده، ۱۴۰۲)

Fig (2). Geographical location map of the area

تجزیه و تحلیل و یافته‌های پژوهش

در این پژوهش بر ۶ معیار اصلی شامل ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، پوشش اراضی، آبراهه، بارش تأکید شده است. وزن‌دهی به معیارها براساس **جدول (۱)** انجام شده است. براساس روش بولین بایستی کدهای یک و صفر به پهنه‌های مدنظر داده شود. در این پژوهش برای پهنه‌ها یا مناطق بدون خطر یا کم‌خطر، عدد یک و برای پهنه یا مناطق پرخطر، عدد صفر تخصیص داده شد؛ برای مثال در زمینه معیار ارتفاع براساس مطالعات مختلف و جمع‌بندی انجام‌گرفته‌شده باتوجه به شرایط منطقه، ارتفاع ۷۸۱ تا ۲۰۰۰ متر کد صفر و در معرض خطر سیل شناخته شده و ارتفاع ۲۰۰۱ تا ۴۱۸۲ متر به عنوان منطقه کم‌خطر یا بدون خطر، کد یک دریافت کرده است.

همچنین برای لایه شیب نیز، شیب صفر تا ۲۵ به عنوان پرخطر و ۲۶ تا ۱۰۰ درصد به عنوان کم‌خطر در نظر گرفته شده است. از نظر لایه زمین‌شناسی نیز، مناطق با مشخصات نفوذپذیری زیاد کد یک و با نفوذپذیری کم آب، کد صفر دریافت کرده است؛ زیرا جنس زمین و لیتولوژی آن در نفوذ آب یا جریان آن تأثیر زیاد دارد؛ به گونه‌ای که لیتولوژی با نفوذپذیری زیاد، باعث نفوذ آب و جریان‌نیافتن آن می‌شود.

همچنین از لحاظ پوشش اراضی نیز مراتع، پوشش لخت و صخره‌ای با توجه به تأثیرگذاری در جریان آب، کد صفر و اراضی کشاورزی و جنگل، کد یک دریافت کرده‌اند. از لحاظ فاصله از آبراهه‌ها نیز فاصله صفر تا ۲۰۰۰ متر عنوان پهنه پرخطر (کد صفر) و فاصله ۲۰۰۱ تا ۹۹۶۲ متر عنوان پهنه بدون خطر یا کم‌خطر (کد یک) کسب کرده‌اند؛ علاوه بر این، از لحاظ بارش نیز، به پهنه با بارش صفر تا ۲۵۰ میلیمتر، کد صفر و بارش بین ۲۵۱ تا ۶۰۰ میلیمتر کد یک داده شده‌اند؛ در نهایت مطابق با **جدول (۱)** در نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۱۰٫۸ وزن‌های داده‌شده، اعمال و در نهایت نقشه‌های مربوط به هر معیار استخراج شد.

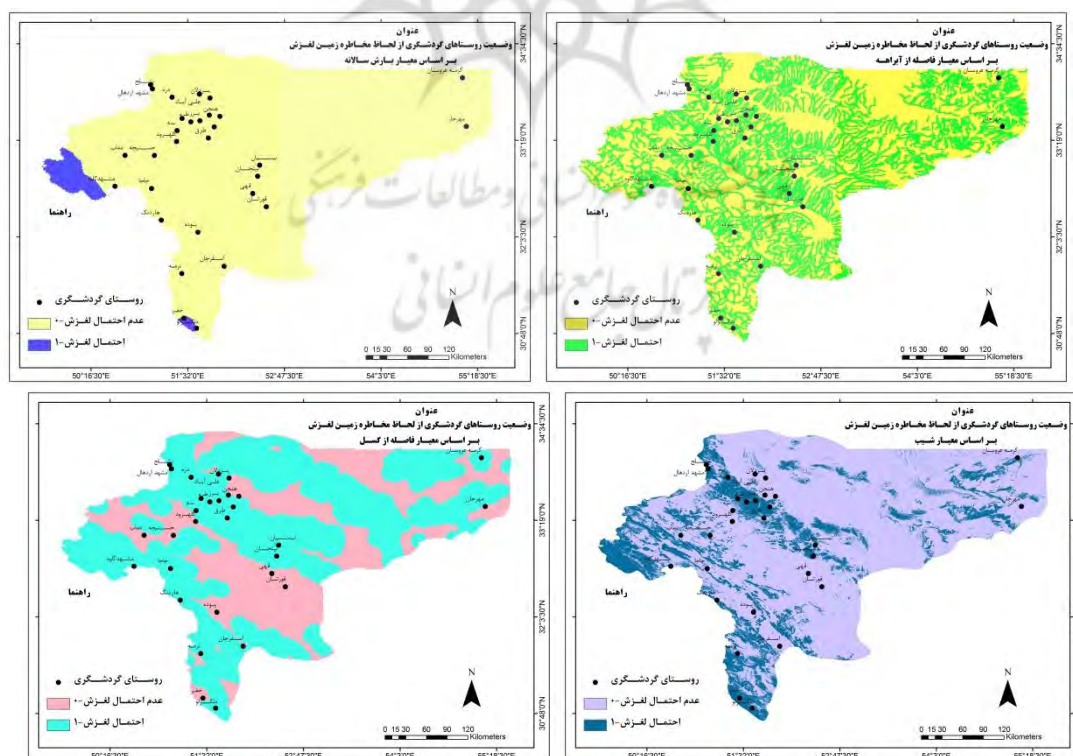
جدول (۱): وزن‌دهی درونی معیارها به تفکیک براساس روش بولین

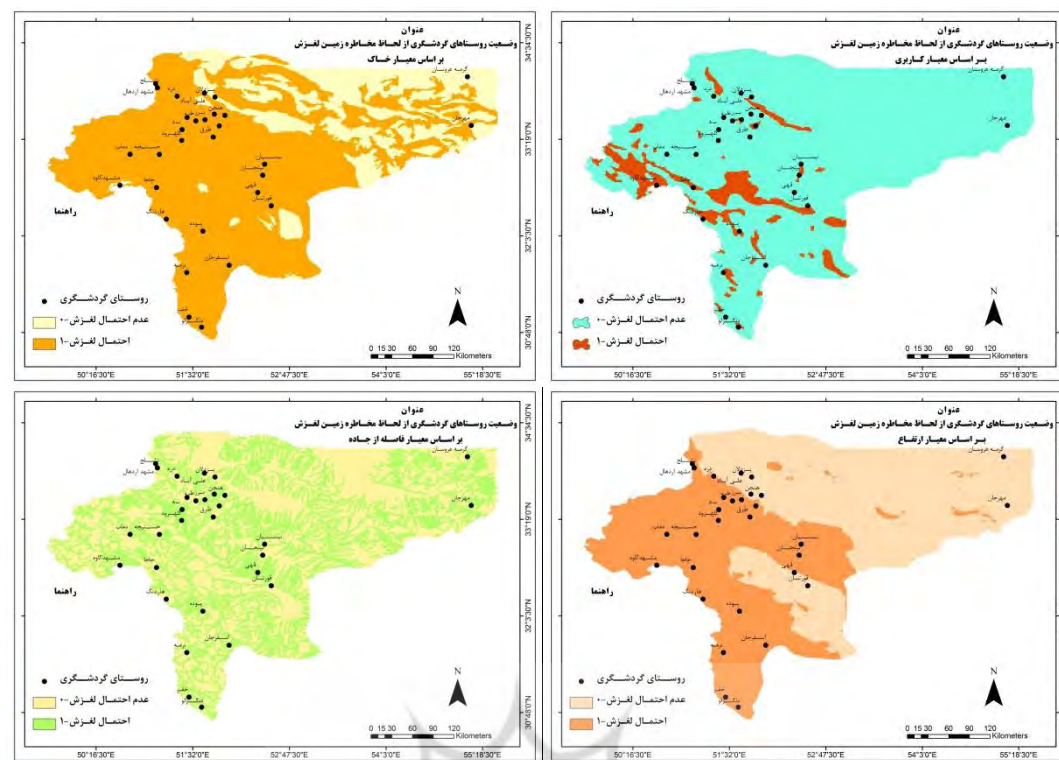
Table (1). Internal weighting of criteria according to Boolean method

وزن طبقات براساس بولین	گزینه	معیار
۰	۰-۱۶۰۰	ارتفاع
۱	۱۶۰۱-۴۴۱۵	
۰	۰-۲۰	شیب
۱	۲۱<	
۰	جنگل راش و خزری	پوشش اراضی
۰	کویر	
۰	مراتع کوهستانی (معتدل و گرم)	
۰	مراتع متوسط در کوهستان‌ها	
۱	فاقد پوشش گیاهی ویژه	
۱	اراضی کشاورزی آبی	
۱	اراضی کشاورزی دیم	
۰	جنگل بلوط، ارس و...	
۰	مراتع مرغوب با درخت پراکنده	
۱	پوشش گیاهی دشت‌های شنی و سیلابی	
۰	۵-۷۰۰	بارش
۱	۷۰۱-۱۴۹۰	
۱	انسپتی سول	خاک
۱	آنتی سول	
۰	اری سول	
۰	بدلند	
۱	۰-۶۰۰	فاصله از جاده
۰	۶۰۱-۳۱۷۳۰	
۱	۰-۵۰۰	فاصله از آبراهه
۰	۵۰۱-۳۱۷۳۰	
۱	۰-۱۰۰۰۰	فاصله از گسل
۰	۱۰۰۰۱-۵۲۷۵۶	

براساس وزن‌های به‌دست‌آمده، نقشه‌های مربوط به هر معیار استخراج شد. این نقشه‌ها نشانگر وضعیت روستاهای گردشگری براساس مخاطره زمین لغزش است (شکل ۳)؛ برای نمونه در زمینه معیار بارش، مناطق غربی استان اصفهان احتمال زمین لغزش بیشتری را در مقایسه با دیگر مناطق دارد. همچنین در زمینه معیار فاصله از آبراهه‌ها، هرچه فاصله کمتر باشد، احتمال خطر زمین لغزش افزایش می‌یابد که این نکته در نقشه مربوط به معیار فاصله از آبراهه‌ها اعمال شده است؛ علاوه بر این، در زمینه فاصله از گسل نیز چنین شرایطی صادق است. یکی دیگر از معیارهای مهم، شیب است. با افزایش شیب میزان احتمال زمین لغزش افزایش می‌یابد که در پهنه‌های غربی و جنوبی به دلیل ارتفاعات بیشتر، میزان شیب افزایش می‌یابد و احتمال رخ دادن زمین لغزش بیشتر خواهد بود که در نقشه مربوط به شیب، این پهنه‌ها ارزش بیشتری دریافت کرده‌اند.

در زمینه معیار خاک نیز، آری سول‌ها شرایط بیشتری برای اتفاق زمین لغزش دارند؛ زیرا نوع خاک نقش مهمی در پایداری زمین دارد. خاک‌هایی که آب را بیشتر جذب و نگه می‌دارند، مستعد زمین لغزش هستند و این شرایط در این نوع خاک وجود دارد. از لحاظ پوشش اراضی نیز، اراضی لخت و بدون پوشش استعداد بیشتری دارند. تغییرات کاربری اراضی مانند تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی یا شهری، پایداری خاک را کاهش می‌دهد. این شرایط بیشتر در منطقه غرب استان مشاهده می‌شود. همچنین در زمینه ارتفاع نیز، ارتفاعات بالا، شرایط برای زمین لغزش را دارند و احتمال رخ دادن آن در ارتفاعات بالا، بیشتر است؛ در نهایت از لحاظ فاصله از جاده نیز، بایستی بیان کرد که به دلیل دستکاری انسان و ساخت‌وسازهای احتمالی در پیرامون جاده‌ها، زمین شرایط بیشتری برای زمین لغزش دارد؛ زیرا فعالیت‌های عمرانی انسان سبب کاهش ثبات خاک می‌شود.





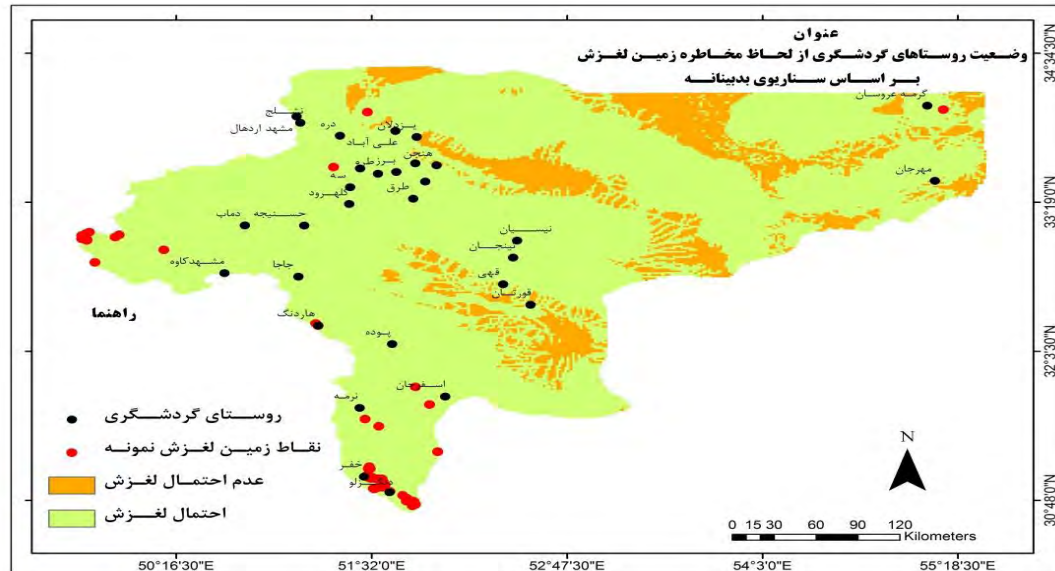
شکل (۳): نقشه‌های مربوط به هر معیار براساس وزن‌دهی به روش بولین

Fig (3). Maps related to each criterion based on Boolean weighting

هم‌پوشانی معیارها براساس عملگرهای بولین

در مرحله قبل وزن‌دهی معیارها انجام و نقشه مربوط به هریک از آنها استخراج شد. در ادامه عمل هم‌پوشانی براساس عملگرهای بولین انجام شد. در این عملیات دو عملگر AND و OR استفاده شدند. این عملگرها به ترتیب سناریوهای خوش‌بینانه (AND) و بدبینانه (OR) را تشکیل داده‌اند؛ به عبارت دیگر در سناریوی بدبینانه، سخت‌ترین شرایط در نظر گرفته می‌شود و بخش بیشتری از منطقه به عنوان منطقه پرخطر شناخته می‌شود؛ اما در سناریوی خوش‌بینانه این مطلب برعکس است و بخش زیادی به عنوان مناطق کم‌خطر یا بدون خطر از لحاظ مخاطره زمین‌لغزش شناخته شده‌اند.

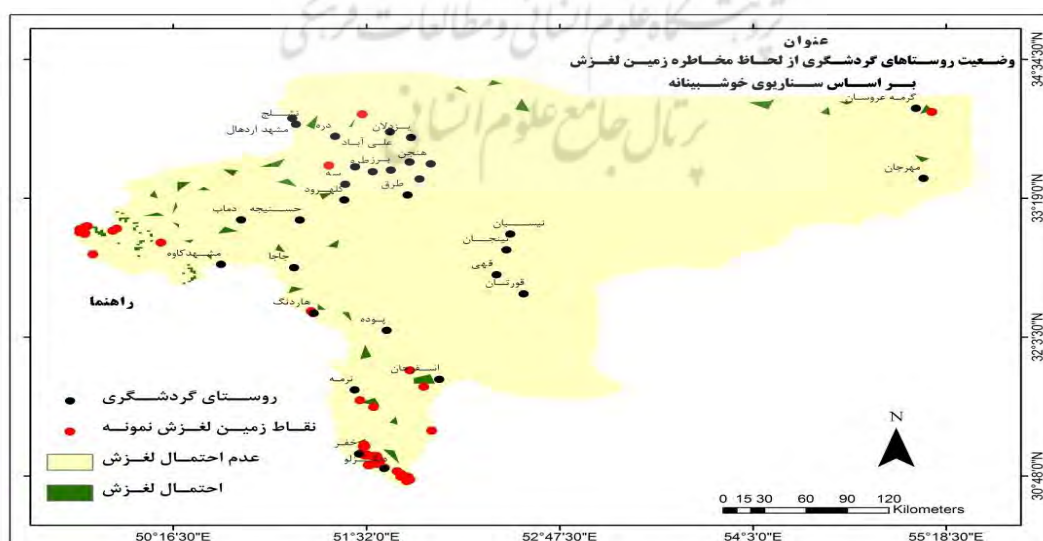
براساس نتایج سناریوی بدبینانه (شکل ۴) بخش زیادی از منطقه به عنوان پهنه در معرض خطر زمین‌لغزش شناخته شد. پهنه‌های در معرض خطر بیشتر، در جهات مختلف استان مشاهده می‌شود؛ اما بیشترین تراکم این پهنه، مربوط به مناطق غربی و جنوبی استان است. از دلایل این موضوع می‌توان به شرایط اقلیمی، خاک، شیب، ارتفاع، تغییر کاربری‌ها و عوامل محیطی و انسانی دیگر اشاره کرد. تراکم بیشتر روستاهای گردشگری نیز در غرب استان واقع شده است که این روستاها در پهنه‌ها با احتمال زمین‌لغزش استقرار دارند که می‌توان به روستاهای مشهد کاوه، هاردانگ، دماپ، جاجا، نرمه، خفر و کلهرود اشاره کرد. نکته مهم دیگر، تطبیق نقاط زمین‌لغزش نمونه یا برداشت‌شده با نقشه پهنه‌بندی شده است؛ زیرا نقاط زمین‌لغزش نمونه با پهنه احتمالی زمین‌لغزش در استان تطابق و سازگاری دارد که این شرایط می‌تواند به تأیید نتایج مربوط به پهنه‌های احتمالی زمین‌لغزش کمک کند.



شکل (۴): نقشه نهایی روستاهای گردشگری از لحاظ مخاطره زمین لغزش به روش OR (سناریوی بدبینانه)

Fig (4). Final map of tourism villages in terms of landslide Hazard using the OR method (pessimistic scenario)

براساس نقشه نهایی (شکل ۵) روستاهای گردشگری از لحاظ مخاطره زمین لغزش براساس سناریوی خوش بینانه مشخص شد که پهنه کمتری به عنوان پهنه های احتمالی زمین لغزش شناسایی شد. نقاط یا پهنه های شناسایی شده در قسمت های مختلف استان پراکنده شده است؛ اما بیشترین تراکم احتمالی زمین لغزش نیز در جهت غربی و جنوبی استان واقع شده است. این شرایط در نقشه سناریوی بدبینانه نیز مشاهده می شد، با این تفاوت که در سناریوی بدبینانه، پهنه های وسیعی را شامل شده است. نکته مهم دیگر، سازگاری نقاط زمین لغزش نمونه با پهنه های احتمالی زمین لغزش در نقشه است که تقریباً با هم سازگاری دارند و تأییدی برای نتیجه و نقشه ارائه شده است. (شکل ۵) به خوبی پراکندگی روستاهای گردشگری و پهنه یا نقاط احتمالی زمین لغزش را نشان داده است.



شکل (۵): نقشه نهایی روستاهای گردشگری از لحاظ مخاطره زمین لغزش به روش AND (سناریوی خوش بینانه)

Fig (5). Final map of tourism villages in terms of landslide Hazard using the ANF method (optimistic scenario)

تحلیل سناریوی خوش‌بینانه

در این سناریو، مساحت ۱۰۴۶۶۸ کیلومترمربع معادل ۹۶/۹۸ درصد از کل مساحت در طبقه «عدم احتمال زمین لغزش» قرار دارد. این بدان معناست که در شرایط خوش‌بینانه، احتمال وقوع زمین لغزش در سطح بسیار محدودی از منطقه دیده می‌شود. فقط ۱۰۹۲/۲۷ کیلومترمربع معادل ۱/۰۳۲ درصد از مساحت به‌عنوان پهنه‌های با «احتمال زمین لغزش» شناخته شده است. این سناریو بیانگر آن است که در شرایط پایدار و بدون فشارهای محیطی خاص، بیشتر نواحی ایمن هستند و احتمال زمین لغزش در حداقل میزان ممکن قرار دارد.

تحلیل سناریوی بدبینانه

در این سناریو، مساحت «عدم احتمال زمین لغزش» به ۱۴۲۳۸/۹۴ کیلومترمربع معادل ۱۳/۴۶ درصد کاهش می‌یابد. در مقابل، مساحت «احتمال زمین لغزش» ۹۱۵۲۱/۳ کیلومترمربع معادل ۸۶/۵۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. در این حالت، فرض می‌شود که شرایط محیطی، اقلیمی و زمین‌شناسی نامطلوب است و احتمال وقوع زمین لغزش به‌شدت افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که بخش بزرگی از منطقه در معرض خطر قرار گرفته است (جدول ۲).

سناریوی خوش‌بینانه نشان‌دهنده وضعیت پایدار و با احتمال وقوع زمین لغزش بسیار کم است. سناریوی بدبینانه برعکس، وضعیت بسیار ناپایدار را نشان می‌دهد که در آن بخش اعظم منطقه در معرض خطر قرار دارد. این اختلاف نشان‌دهنده تأثیر شرایط محیطی و فشارهای مختلف (مانند بارش‌ها، تغییرات اقلیمی یا مداخلات انسانی) بر پایداری زمین است. این تفاوت درخور توجه میان دو سناریو نشان می‌دهد که مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی و آمایش سرزمین برای کاهش ریسک زمین لغزش ضروری است. در صورت عدم کنترل عوامل مؤثر بر ناپایداری زمین، بخش وسیعی از منطقه در سناریوی بدبینانه آسیب‌پذیر خواهد بود.

جدول (۲): مقایسه پهنه‌های احتمال زمین لغزش و عدم احتمال زمین لغزش در دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه

Table (2). Comparison of landslide probability and landslide non-probability zones in two optimistic and pessimistic scenarios

سناریو	طبقه	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
سناریوی خوش‌بینانه (and)	احتمال نداشتن زمین لغزش	۱۰۴۶۶۸/۰۰	۹۸/۹۶
	احتمال زمین لغزش	۱۰۹۲/۲۷	۱/۰۳۲
سناریوی بدبینانه (Or)	احتمال نداشتن زمین لغزش	۱۴۲۳۸/۹۴	۱۳/۴۶
	احتمال زمین لغزش	۹۱۵۲۱/۳	۸۶/۵۳
-	جمع	۱۰۵۷۶۰/۲	۱۰۰

محاسبه همبستگی سناریوها با معیارها از طریق الگوریتم آماری مجموعه باند^۱

در جدول ۳ همبستگی معیارها با سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه مشخص است. در سناریوی خوش‌بینانه میزان همبستگی معیارها با وقوع زمین لغزش در حد پایین تا متوسط قرار دارد و بیشترین همبستگی مربوط به شیب (۰/۲۵۱)،

^۱. Band Collection Statistics

فاصله از آبراهه (۰/۲۴۶)، و فاصله از جاده (۰/۲۴۵) است؛ درحالی که کمترین همبستگی با خاک ۰/۲۲۲ و بارش با ۰/۲۲۳ مشاهده می شود. در مقابل، در سناریوی بدبینانه میزان همبستگی به طور چشمگیری افزایش می یابد و فاصله از گسل (۰/۵۳۹) و ارتفاع (۰/۳۷۲) بالاترین همبستگی را نشان می دهند؛ درحالی که معیار شیب با مقدار ۰/۱۸۵ کمترین همبستگی را دارد. این مقایسه نشان می دهد که در سناریوی بدبینانه عوامل زمین شناختی مانند فاصله از گسل و ارتفاع نقش کلیدی تری در وقوع زمین لغزش ایفا می کنند؛ درحالی که در سناریوی خوش بینانه عوامل مرتبط با شیب و فاصله از آبراهه اهمیت بیشتری دارند.

جدول (۳): همبستگی معیارها با سناریوهای خوش بینانه و بدبینانه

Table (3). The correlation of criteria with optimistic and pessimistic scenarios

سناریو	معیارها	همبستگی
سناریوی خوش بینانه (AND)	پوشش اراضی	۰/۲۲۵
	خاک	۰/۲۲۲
	ارتفاع	۰/۲۴۲
	شیب	۰/۲۵۱
	فاصله از جاده	۰/۲۴۵
	فاصله از گسل	۰/۲۲۸
	فاصله از آبراهه	۰/۲۴۶
	بارش	۰/۲۲۳
	پوشش اراضی	۰/۱۹۶
سناریوی بدبینانه (OR)	خاک	۰/۳۰۲
	ارتفاع	۰/۳۷۲
	شیب	۰/۱۸۵
	فاصله از جاده	۰/۳۴۴
	فاصله از گسل	۰/۵۳۹
	فاصله از آبراهه	۰/۳۴۴
	بارش	۰/۲۶۹

منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۳

نتیجه گیری

بررسی سناریوهای مختلف در این پژوهش نشان می دهد که زمین لغزش یکی از مهم ترین مخاطرات طبیعی در منطقه مطالعه شده و در ارتباط با روستاهای گردشگری است که وقوع آن به عوامل مختلف محیطی، اقلیمی و زمین شناختی وابسته است. تحلیل این عوامل در قالب دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه، امکان ارزیابی دقیق تری از وضعیت پایداری زمین در منطقه فراهم کرده است. هریک از این سناریوها تصویری از شرایط احتمالی آینده ارائه می دهند که می توانند مبنای برنامه ریزی و تصمیم گیری برای مدیریت خطرات طبیعی در ارتباط با روستاهای گردشگری و منطقه باشند.

در سناریوی خوش بینانه بخش عمده ای از منطقه به عنوان پهنه های ایمن یا کم خطر شناسایی شده است. این سناریو بیانگر شرایطی است که در آن مداخلات انسانی محدود و فشارهای محیطی مانند بارش های سنگین یا فعالیت های عمرانی گسترده وجود ندارد. نتایج این سناریو نشان می دهد که بیشتر مناطق دارای شیب ملایم، فاصله مناسب از

آبراهه‌ها و گسل‌ها هستند و پوشش گیاهی مناسبی دارند که به تثبیت خاک و کاهش احتمال زمین‌لغزش کمک می‌کند. این وضعیت نشان‌دهنده پایداری نسبی زمین در شرایط معمول است. همچنین، این نتایج بیانگر آن است که با مدیریت صحیح منابع طبیعی و کاهش فعالیت‌های آسیب‌زا می‌توان بخش‌های وسیع‌تری از منطقه را در این وضعیت نگه داشت و از وقوع حوادث ناگوار پیشگیری کرد. در پهنه پرخطر مشخص‌شده در این سناریو، روستاهای گردشگری مشاهده می‌شود.

در سناریوی بدبینانه شرایط به کلی متفاوت است. این سناریو سخت‌ترین وضعیت ممکن را شبیه‌سازی می‌کند که در آن ترکیبی از عوامل محیطی نامطلوب مانند بارش‌های شدید، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به ناپایداری زمین منجر شده‌اند. بخش عمده‌ای از منطقه در این سناریو به‌عنوان پهنه‌های پرخطر شناسایی شده است. عواملی مانند فاصله کم از گسل‌ها، ارتفاعات بالا و شیب تند در این مناطق باعث افزایش احتمال وقوع زمین‌لغزش می‌شوند. همچنین، تحلیل نقشه‌های تهیه‌شده نشان می‌دهد که مناطق غربی و جنوبی استان بیشترین تراکم پهنه‌های پرخطر را دارند که این امر به دلیل شرایط خاص زمین‌شناختی و اقلیمی این نواحی است. در این مناطق، تغییرات کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و فعالیت‌های عمرانی باعث کاهش پایداری خاک و افزایش خطر زمین‌لغزش شده است. روستاهای گردشگری استان نیز در این پهنه‌ها وجود دارد و متأثر از مخاطره زمین‌لغزش قرار دارند.

مقایسه همبستگی معیارها در دو سناریو نشان می‌دهد که در سناریوی خوش‌بینانه عوامل مرتبط با شیب و فاصله از آبراهه دارای بیشترین همبستگی با احتمال زمین‌لغزش هستند. این امر به دلیل اهمیت این دو عامل در ایجاد پایداری یا ناپایداری زمین است. در مناطقی با شیب کمتر، احتمال جریان سریع آب کاهش می‌یابد و خاک فرصت تثبیت پیدا می‌کند. از سوی دیگر، فاصله بیشتر از آبراهه‌ها نیز خطر فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. در مقابل، در سناریوی بدبینانه عوامل زمین‌شناختی مانند فاصله از گسل و ارتفاع تأثیر بیشتری در وقوع زمین‌لغزش دارند. این مسئله نشان می‌دهد که در شرایط نامطلوب، عوامل زمین‌شناختی بیشتر از عوامل اقلیمی یا کاربری اراضی نقش دارند؛ برای مثال، در مناطقی با ارتفاع بالا و فاصله کم از گسل، احتمال وقوع زمین‌لغزش حتی با وجود پوشش گیاهی مناسب نیز زیاد است.

نتایج تحقیق حاضر با مطالعات پیشین در برخی جنبه‌ها هم‌پوشانی و در برخی دیگر تفاوت دارد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که در سناریوی خوش‌بینانه، شیب ملایم و فاصله مناسب از آبراهه‌ها و گسل‌ها مهم‌ترین عوامل در کاهش خطر زمین‌لغزش هستند که این موضوع با مطالعات (روستایی و همکاران، ۱۳۹۹) و (شریفی و همکاران، ۱۴۰۰) همخوانی دارد. همچنین، در سناریوی بدبینانه، نقش عوامل زمین‌شناختی مانند ارتفاع و فاصله از گسل در افزایش مخاطره زمین‌لغزش تأیید شد که با نتایج (Mekonnen et al., 2022) و (Asmare, 2022) همسو است. برخلاف یافته‌های (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷) در این پژوهش، فاصله از جاده به‌عنوان عامل اصلی شناسایی نشد؛ علاوه بر این، تأثیر بارش و تغییرات اقلیمی در افزایش خطر زمین‌لغزش، مشابه تحقیقات (Tyagi et al., 2021) و (Chettah et al., 2024) مشاهده شد.

یکی از نکات مهم در این پژوهش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر ناپایداری زمین است. ساخت‌وسازهای غیرمجاز، تغییرات کاربری اراضی، تخریب جنگل‌ها و مراتع و گسترش شبکه‌های جاده‌ای بدون در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی از جمله

عواملی هستند که می‌توانند به تشدید پدیده زمین لغزش منجر شوند. این مسئله به‌ویژه در مناطق غربی استان که دارای تراکم زیاد روستاهای گردشگری است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. روستاهایی مانند مشهد کاوه، هاردانگ و خفر که در پهنه‌های پرخطر قرار دارند، به دلیل افزایش فعالیت‌های عمرانی در معرض خطر بیشتری قرار گرفته‌اند. مقایسه نتایج در دو سناریو نشان می‌دهد که اتخاذ رویکردهای مدیریتی دقیق و پیشگیرانه، به‌ویژه در مناطق با ریسک زیاد زمین لغزش می‌تواند از تبدیل سناریوی خوش‌بینانه به سناریوی بدبینانه جلوگیری کند. اقدامات نظارتی و پایش دائمی می‌تواند احتمال خطرات را به حداقل برساند؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزی‌های آمایش سرزمین به‌گونه‌ای انجام شود که این معیارها در اولویت باشند. همچنین، کاهش تغییرات کاربری اراضی و جلوگیری از تخریب پوشش‌های طبیعی می‌تواند به تثبیت زمین کمک کند؛ درنهایت، نقشه‌های تهیه‌شده می‌توانند مبنای ارزشمندی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در راستای کاهش مخاطرات زمین لغزش و افزایش ایمنی روستاهای گردشگری باشند. برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود که مخاطرات دیگر نیز برای روستاهای گردشگری ایران انجام شود. از مهم‌ترین محدودیت‌های پژوهش، دسترسی نداشتن به داده‌های مکانی با مقیاس مناسب و همچنین آمار به‌روز تغییر و تحولات روستاهای گردشگری بوده است.

منابع

- جمینی، داود، شهابی، هیمن، نظری، حمید، و آتش بهار، رامین (۱۴۰۲). شناسایی سکونتگاه‌های روستایی در معرض خطر وقوع زمین لغزش در زیست‌بوم‌های عشایری (مطالعه موردی: شهرستان پاوه). *مطالعات برنامه‌ریزی قلمرو کوچ‌نشینان*، ۳(۱)، ۱۲۲-۱۰۷. <https://doi.org/10.22034/jsnap.2023.410697.1066>
- درویشی، یوسف، و موسوی ندوشن، سیدمعین (۱۴۰۲). تحلیل فضایی حساسیت وقوع زمین لغزش در محدوده‌های روستایی و شهری (مطالعه موردی: حریم مناطق تابع شهرستان گرگان در حوضه آبخیز زرین گل). *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۷(۲)، ۳۳۳-۳۵۰. https://www.jget.ir/article_147993.html
- روستایی، شهرام، مختاری، داود، و اشرفی فینی، زهرا (۱۳۹۹). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴(۷۱)، ۱۲۵-۱۵۰. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_10631.html
- شریفی، حسین، رمضان‌پور، مهرداد، ابراهیمی، لیلا، و حق‌زاد، آمنه (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شهرستان نور با استفاده از مدل تحلیل شبکه. *پژوهش‌های جغرافیایی/اقتصادی*، ۲(۶)، ۴۰-۵۵. https://jurs.znu.ac.ir/article_251004.html
- صادقی، حجت، و جوان، فرهاد (۱۴۰۴). آسیب‌پذیری روستاهای گردشگری ایران از لحاظ مخاطره زمین لغزش با استفاده از GIS. *جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)*، ۲۳(۸۴)، ۱۵۳-۱۷۰. <https://doi.org/10.22034/jiga.2025.2055364.1385>
- عرب‌عامری، علیرضا، رضایی، خلیل، و شیرانی، کورش (۱۳۹۷). پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوضه ونک، استان اصفهان). *فضای جغرافیایی*، ۱۸(۶۲)، ۹۳-۱۱۶. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2150-fa.html>

لجم اورک، مرتضی، و پیری، زهرا (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و فن GIS (مطالعه موردی: شهرستان باغملک). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲(۳)، ۱۹۳-۲۱۵.

<https://doi.org/10.22067/geoh.2022.77009.1239>

References

- Arabameri, A., & Shirani, K. (2018). Zonation and evaluation of landslide hazard using DA, CF and AHP models (Case study: Vanak Basin, Isfahan University). *Journal of Geographic Space*, 18(62), 93-116. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2150-fa.html> [In Persian]
- Asmare, D. (2022). Landslide hazard zonation and evaluation around Debre Markos town, NW Ethiopia—a GIS-based bivariate statistical approach. *Scientific African*, 15(2), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01129>
- Chen, L., Yang, H., Song, K., Huang, W., Ren, X., & Xu, H. (2021a). Failure mechanisms and characteristics of the Zhongbao landslide at Liujing Village, Wulong, China. *Landslides*, 18(4), 1445-1457. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-020-01594-1>
- Chen, S., Law, R., & Zhang, M. (2021b). Review of research on tourism-related diseases. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 26(1), 44-58. <https://doi.org/10.1080/10941665.2020.1805478>
- Chettah, W., Mezhoud, S., Baadeche, M., & Hadji, R. (2024). Fuzzy logic-based landslide susceptibility mapping in earthquake-prone areas: A case study of the Mila Basin, Algeria. *Russian Geology and Geophysics*, 65(10), 1252-1270. <https://doi.org/10.2113/RGG20244699>
- Darvishi, Y., & Moosavi-Nadoshan, S. M. (2023). Spatial analysis of landslide susceptibility in rural and urban areas using climatic and topographic indicators (Case study: boundaries of Gorgan city in Zarrin Gol watershed). *Geographical Engineering of Territory*, 7(2), 333-350. https://www.jget.ir/article_147993.html [In Persian]
- Di Zhang, W., & Liu, J. C. (2023). Rural public space design in China's western regions: Territorial landscape aesthetics and sustainable development from a tourism perspective. *Urban Resilience and Sustainability*, 1(3), 188-213. <http://www.aimspress.com/aimspress-data/urs/2023/3/PDF/urs-01-03-013.pdf>
- Hossain, T., Tushar, M. A. N., Murshed, S., Basak, U., & Islam, M. A. (2024). Landslide studies in the context of disaster management in Bangladesh—A systematic literature review. *Earth*, 5(4), 784-811. <https://doi.org/10.3390/earth5040041>
- Jallayu, P. T., Sharma, A., & Singh, K. (2024). Vulnerability of highways to landslide using landslide susceptibility zonation in GIS: Mandi district, India. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9(9), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01653-9>
- Jamini, D., Shahabi, H., Nazari, H., & Atashbahar, R. (2023). Identifying rural settlements at risk of landslides in nomadic ecosystems (Case study: Paveh county). *Nomadic Territory Planning Studies*, 3(1), 107-122. <https://doi.org/10.22034/jsnap.2023.410697.1066> [In Persian]
- Klai, A., Katlane, R., Haddad, R., & Rabia, M. C. (2024). Landslide susceptibility mapping by Frequency Ratio and Fuzzy logic approach: A case study of Mogods and Hedil (Northern Tunisia). *Applied Geomatics*, 16(1), 91-109. <https://doi.org/10.1007/s12518-023-00544-5>
- Krisandika, K., & Sutrisno, A. J. (2023). Analysis of land use factor on landslide using modified frequency ratio. *Proceeding Sustainable Agricultural Technology Innovation (SATI)*, 2(1), 53-65. <https://www.ojs.unkriswina.ac.id/index.php/semnas-FST/article/view/532>
- Lajmorak, M., & Piri, Z. (2023). Landslide hazard zoning using hierarchical analysis process (AHP) model and GIS technology (Case study: Baghmalek county). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(3), 193-215. <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.77009.1239> [In Persian]
- Li, H., & Samsudin, N. A. (2025). A systematic review of landslide research in urban planning worldwide. *Natural Hazards*, 121, 6391-6411. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07064-4>

- Li, K. X., Jin, M., & Shi, W. (2018). Tourism as an important impetus to promoting economic growth: A critical review. *Tourism Management Perspectives*, 26, 135-142.
<https://doi.org/10.1016/j.tmp.2017.10.002>
- Mekonnen, A. A., Raghuvanshi, T. K., Suryabhadgavan, K. V., & Kassawmar, T. (2022). GIS-based landslide susceptibility zonation and risk assessment in complex landscape: A case of Beshilo watershed, northern Ethiopia. *Environmental Challenges*, 8(3), 1-23.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100586>
- Moragues, S., Lenzano, M. G., Jeanneret, P., Gil, V., & Lannutti, E. (2024). Landslide susceptibility mapping in the Northern part of Los Glaciares National Park, Southern Patagonia, Argentina using remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Quaternary Science Advances*, 13, 100146.
<https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100146>
- Morino, C., Coratza, P., & Soldati, M. (2022). Landslides, a key landform in the global geological heritage. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1-19. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.864760>
- Perera, E. N. C., Jayawardana, D. T., Jayasinghe, P., Bandara, R. M. S., & Alahakoon, N. (2018). Direct impacts of landslides on socio-economic systems: A case study from Aranayake, Sri Lanka. *Geoenvironmental Disasters*, 5, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40677-018-0104-6>
- Rosalina, P. D., Dupre, K., & Wang, Y. (2021). Rural tourism: A systematic literature review on definitions and challenges. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 47, 134-149.
<https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2021.03.001>
- Rosselló, J., Becken, S., & Santana-Gallego, M. (2020). The effects of natural disasters on international tourism: A global analysis. *Tourism Management*, 79, 104080.
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104080>
- Roustaie, S., Mokhtari, D., & Ashraffini, Z. (2020). Landslide hazard zonation in Taleghan watershed using Shannon entropy index. *Journal of Geography and Planning*, 24(71), 125-150.
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_10631.html?lang=en [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]
- 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://jurs.znu.ac.ir/article_251004.html [In Persian]
- Su, B. (2011). Rural tourism in China. *Tourism Mmanagement*, 32(6), 1438-1441.
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.12.005>
- Sudmeier-Rieux, K., Paleo, U. F., Garschagen, M., Estrella, M., Renaud, F. G., & Jaboyedoff, M. (2015). Opportunities, incentives and challenges to risk sensitive land use planning: Lessons from Nepal, Spain and Vietnam. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14(3), 205-224.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.09.009>
- Sunarta, I. N., Susila, K. D., & Kariasa, I. N. (2018). *Landslide hazard analysis and damage assessment for tourism destination at Candikuning Village, Tabanan Regency, Bali, Indonesia*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Indonesia.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/123/1/012006>
- Tahiri, A., Kovaçi, I., & Trajkovska Petkoska, A. (2022). Sustainable tourism as a potential for promotion of regional heritage, local food, traditions, and diversity—case of Kosovo. *Sustainability*, 14(19), 1-13. <https://doi.org/10.3390/su141912326>
- Tyagi, A., Tiwari, R. K., & James, N. (2021). GIS-based landslide hazard zonation and risk studies using MCDM. In T.G. Sitharam, R. Jakka, & L. Govindaraju, (Eds), *Local Site Effects and Ground Failures* (pp. 251-266). Lecture Notes in Civil Engineering (Vol. 117). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-9984-2_22

- Vegliante, G., Baiocchi, V., Falconi, L. M., Moretti, L., Pollino, M., Puglisi, C., & Righini, G. (2024). A GIS-based Approach for Shallow Landslides Risk Assessment in the Giampilieri and Briga Catchments Areas (Sicily, Italy). *GeoHazards*, 5(1), 209-232.
<https://doi.org/10.3390/geohazards5010011>
- Wang, P., Deng, H., & Liu, Y. (2024). GIS-based landslide susceptibility zoning using a coupled model: A case study in Badong County, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(4), 6213-6231. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31621-2>
- Ye, X., Wen, J., Zhu, Z., & Sun, R. (2022). Natural disaster risk assessment in tourist areas based on multi scenario analysis. *Earth Science Informatics*, 15, 659-670.
<https://doi.org/10.1007/s12145-020-00518-w>
- Zahor, Z., & Yamungu, N. E. (2022). Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) Analysis for Landslides Susceptibility Mapping. *University of Dar es Salaam Library Journal*, 17(2), 72-93. <https://doi.org/10.4314/udslj.v17i2.6>
- Ziegler, A. D., Wasson, R. J., Sundriyal, Y., Srivastava, P., Sasges, G., Ramchunder, S. J., Ong, C. E., Nepal, S. K., McAdoo, B. G., Gillen, J., Bishwokarma, B., Bhardwaj, A., & Apollo, M. (2023). A call for reducing tourism risk to environmental hazards in the Himalaya. *Environmental Hazards*, 22(1), 1-28.
<https://doi.org/10.1080/17477891.2021.1984196>

