



Assessment of the Vulnerability of Mountainous Villages to Natural Hazards (Case Study: Izeh and Andika Counties)

Mahin Pireh ^{1*} , Fatemeh Noredin Mosa ² , Amal Miahi ³ 

1. Department of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. (Corresponding author).
Email: mahin.pirah@gmail.com
2. Department of Geography, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran.
Email: forodin1996@gmail.com
3. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
Email: a40251886@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article Type: Research Article Article History: Received: 08 August 2025 Revised: 17 October 2025 Accepted: 18 December 2025 Published: 29 March 2026 Use Your Device to Scan and Read the Article Online  Keywords: <i>Natural Hazards, Rural Areas, Izeh and Andika Counties.</i>	Earthquakes and landslides are among the most significant natural hazards worldwide, causing extensive damage to infrastructure, the environment, and human communities each year. Northern regions of Khuzestan Province are among the areas exposed to these hazards. Given the importance of the issue, this study aims to identify vulnerable areas to landslides and earthquakes in the counties of Izeh and Andika in Khuzestan Province. The main data sources used in this research include CHIRPS and MODIS satellite imagery, the 30-meter SRTM digital elevation model, and the 1:100,000 geological digital map of the region. The main tools employed were Google Earth Engine, ArcGIS, and IDRISI. In this study, a hybrid model combining the Weighted Linear Combination (WLC) and relative weight coefficients was used to assess the vulnerability of the villages in the region to landslides and earthquakes. According to the results, 85.3% of the villages in the area have a high vulnerability to earthquakes, and 9.7% to landslides. Additionally, about 9% of the villages are simultaneously threatened by both hazards. This highlights the urgent need for special attention to rural infrastructure and risk-based planning in these areas. The findings also indicate that Andika County has a higher density of villages vulnerable to both hazards. Based on the obtained results, it is recommended that comprehensive measures be taken to reduce vulnerability in the counties of Izeh and Andika, including the reinforcement of rural buildings using government facilities and public participation, the development and deployment of early warning systems, and the training of local residents in preparedness and crisis management.

Cite this article: Pireh, M., Noredin Mosa, F., & Miahi, A. (2026). **Assessment of the Vulnerability of Mountainous Villages to Natural Hazards (Case Study: Izeh and Andika Counties).** *Environmental Research in Mountainous Regions*, 2(1), 85-101. <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144275.1029>



© The Author(s) retain the copyright

Publisher: University of Kurdistan

Extended Abstract

Introduction

Iran, located within the seismically active Alpine-Himalayan belt, has a high seismic potential, which has placed many of its major cities at risk from this natural hazard (Ganjayan, 2024). Additionally, due to the fact that a large portion of its territory is covered by mountainous areas, it also has a high potential for landslides. One of the regions exposed to natural hazards such as earthquakes and landslides is the northern part of Khuzestan Province. The counties of Andika and Izeh, located in the northern part of Khuzestan, are mountainous areas with a high density of villages and a widespread distribution of human settlements along mountain slopes and riverbanks. Many of these villages are highly vulnerable to disasters such as earthquakes and landslides due to unregulated construction, lack of resilient infrastructure, and the absence of monitoring and early warning systems. This not only threatens the lives of residents but also causes irreparable damage to natural resources, agricultural lands, transportation routes, and water sources. Since sustainable rural development requires the identification and management of environmental risks, examining and analyzing areas prone to earthquakes and landslides especially in the rural areas of Andika and Izeh counties is an inevitable necessity. This study can assist local, provincial, and national authorities in prioritizing vulnerable areas and implementing more accurate planning for infrastructure reinforcement, public education, and disaster management. Given the importance of the issue, this research focuses on identifying vulnerable areas to landslide and earthquake hazards in the counties of Izeh and Andika in Khuzestan Province.

Methodology

In this study, satellite imagery from CHIRPS and MODIS, the 30-meter SRTM digital elevation model, and the 1:100,000 geological digital layer of the region were used as the main data sources. The primary tools employed in this research included Google Earth Engine, ArcGIS, and IDRISI. Additionally, a combined WLC model and relative weighting coefficients were utilized. Based on the subject and objectives, the study was conducted in two main

phases. In the first phase, vulnerable areas to landslides and earthquakes were identified. To detect areas prone to landslides, eight parameters were used: elevation, slope, distance from rivers, distance from roads, lithology, distance from faults, vegetation density, and average annual precipitation. For identifying earthquake-vulnerable areas, the parameters included distance from earthquake epicenters, distance from faults, lithology, and slope. After preparing the relevant data layers, they were standardized and weighted. Once the weights were applied, the data layers were imported into TerrSet software and integrated using the Weighted Linear Combination (WLC) method to produce the final vulnerability maps for both landslides and earthquakes. In the second phase, hazard maps of Izeh and Andika counties were prepared, followed by an assessment of the vulnerability status of villages in these counties against landslide and earthquake hazards.

Results and Discussion

According to the findings, the landslide hazard maps indicate that the eastern and northeastern parts of Izeh and Andika counties have the highest potential for landslide occurrence. This is mainly due to the presence of steep slopes, high elevations, specific geological formations, and unique hydrological conditions in these areas. The combination of these factors contributes to slope instability and a high susceptibility to landslides. Regarding earthquakes, the results show that the western parts of Izeh County and large portions of Andika County fall within areas with a high vulnerability to seismic hazards. These regions are located near active faults, and their geological structures indicate a high potential for strong earthquakes. In particular, proximity to seismogenic faults and the lack of earthquake-resistant infrastructure are among the main factors exacerbating this vulnerability.

Conclusion

The findings of this study indicate that a large portion of Izeh and Andika counties—particularly the eastern, northeastern, and western regions—are exposed to natural hazards such as earthquakes and landslides. Spatial analysis using the WLC method and relative weighting coefficients revealed that 85.3% of the villages in the region have a high vulnerability to earthquakes, 9.7% are highly

vulnerable to landslides, and about 9% are simultaneously threatened by both hazards. This underscores the urgent need for risk-based planning and greater attention to rural infrastructure in these areas. The combination of natural factors such as slope and elevation, along with human factors such as unregulated construction and poor resource management, has increased the risk level in these regions. Furthermore, it was found that Andika County has a higher concentration of villages vulnerable to both hazards. Overall, this study highlights the value of spatial analysis in identifying high-risk areas and prioritizing risk reduction efforts, offering valuable guidance to

decision-makers. Based on the results, it is recommended to implement comprehensive measures to reduce vulnerability in Izeh and Andika counties, including reinforcement of rural buildings through government support and community participation, establishment of early warning systems, public education on preparedness and disaster management, restriction of development in high-risk zones, and the use of modern technologies for continuous monitoring of faults and unstable slopes. Integrating spatial data with development planning can also lead to more accurate and effective decision-making in reducing regional vulnerability.

Ethical Considerations

Funding

According to the corresponding author, this research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Author Contributions

The authors have contributed collectively to all stages of the research.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors declare that no artificial intelligence (AI) tools were used in the writing of this manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Data Availability Statement

The data are available upon request from the authors.

Acknowledgments

The authors wish to express their sincere gratitude to all individuals, organizations, and institutions that contributed to the preparation of this article.



ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای مناطق کوهستانی در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهرستان‌های ایذه و اندیکا)

مهین پیره^{۱*}، فاطمه نورالدین موسی^۲، امل میاحی^۳

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: mahin.pirah@gmail.com

۲. گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: forodin1996@gmail.com

۳. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران. رایانامه: a40251886@gmail.com

چکیده

زمین‌لرزه و زمین‌لغزش از جمله مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در سطح جهان به شمار می‌روند که سالانه خسارات گسترده‌ای به زیرساخت‌ها، محیط‌زیست و جوامع انسانی وارد می‌کنند. از جمله مناطقی که در معرض این مخاطرات قرار دارد، مناطق شمالی استان خوزستان است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه در شهرستان‌های ایذه و اندیکا در استان خوزستان پرداخته شده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌های MODIS، CHIRPS، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و لایه رقومی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق، سامانه گوگل ارث انجین، ArcGIS و IDRISI بوده است. همچنین در این تحقیق از مدل ترکیبی WLC و ضریب وزنی نسبی به‌منظور شناسایی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای منطقه در برابر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه استفاده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، ۸۵/۳ درصد از روستاهای منطقه در برابر زمین‌لرزه و ۹/۷ درصد در برابر زمین‌لغزش، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالا هستند، و حدود ۹ درصد از روستاها نیز همزمان در برابر هر دو مخاطره تهدید می‌شوند. این موضوع بیانگر ضرورت توجه ویژه به زیرساخت‌های روستایی و برنامه‌ریزی مبتنی بر خطر در این مناطق است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داده است که شهرستان اندیکا دارای تراکم بیش‌تری از روستاهای آسیب‌پذیر در برابر هر دو مخاطره است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود برای کاهش آسیب‌پذیری در شهرستان‌های ایذه و اندیکا، اقدامات جامعی از جمله مقاوم‌سازی ساختمان‌های روستایی با بهره‌گیری از تسهیلات دولتی و مشارکت مردمی، توسعه و استقرار سیستم‌های هشدار سریع و آموزش ساکنان محلی در زمینه آمادگی و مدیریت بحران انجام گیرد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۷

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۷

انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۹

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



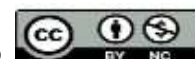
واژه‌های کلیدی: مخاطرات

طبیعی، مناطق روستایی، شهرستان‌های ایذه و اندیکا.

استناد: پیره، مهین؛ نورالدین موسی، فاطمه و میاحی، امل. (۱۴۰۵). ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای مناطق کوهستانی در برابر مخاطرات

طبیعی (مطالعه موردی: شهرستان‌های ایذه و اندیکا). پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۲ (۱)، ۸۵-۱۰۱.

<https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144275.1029>



مقدمه

زمین‌لرزه و زمین‌لغزش از جمله مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در سطح جهان به شمار می‌روند که سالانه خسارات گسترده‌ای به زیرساخت‌ها، محیط‌زیست و جوامع انسانی وارد می‌کنند (وحدت و همکاران، ۲۰۱۴؛ خزائی و قائمی، ۱۳۹۴). زمین‌لرزه‌ها در نتیجه آزاد شدن ناگهانی انرژی در پوسته زمین رخ می‌دهند و می‌توانند منجر به تخریب ساختمان‌ها، تلفات انسانی و اختلال در خدمات حیاتی شوند (ساریس^۱ و همکاران، ۲۰۱۰؛ پن^۲ و همکاران، ۲۰۱۹؛ یاریان^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). زمین‌لغزش نیز به‌عنوان یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی، زمانی اتفاق می‌افتد که تعادل دامنه‌ها به دلایل مختلفی مانند بارندگی شدید، تغییرات کاربری زمین، فرسایش، یا فعالیت‌های انسانی بر هم می‌خورد (وانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۲؛ گنجائیان^۵ و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۴).

در بسیاری از مناطق کوهستانی و پرشیب، این دو پدیده می‌توانند به صورت همزمان یا پیوسته رخ داده و آثار یکدیگر را تشدید کنند. به‌ویژه زمانی که زمین‌لرزه‌ها موجب فعال شدن لغزش در دامنه‌های ناپایدار می‌شوند (ژاو^۷ و همکاران، ۲۰۲۳؛ گنجائیان و همکاران، ۲۰۲۴). مناطق روستایی که اغلب فاقد زیرساخت‌های مقاوم و نظام‌های هشدار و مدیریت بحران هستند، بیش‌ترین آسیب را از این حوادث متحمل می‌شوند (جمینی و همکاران، ۱۴۰۲). از این‌رو، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و تحلیل ریسک ناشی از این مخاطرات، برای کاهش خسارات (سالاری و همکاران، ۱۳۹۶؛ محمدخان و همکاران، ۱۳۹۸)، برنامه‌ریزی کاربری زمین، و افزایش تاب‌آوری جوامع، به‌ویژه در مناطق پرخطر، امری حیاتی محسوب می‌شود (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۸؛ رضاپور و همکاران، ۱۴۰۲).

در دهه‌های اخیر، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی، بدون توجه کافی به ملاحظات زیست‌محیطی و خطرات طبیعی، به سمت مناطق پرریسک و آسیب‌پذیر گسترش یافته است (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۸؛ سالاری و همکاران، ۱۳۹۹؛ کیانی و همکاران، ۱۴۰۰). عواملی مانند رشد جمعیت، کمبود اراضی مناسب برای ساخت‌وساز، فشارهای اقتصادی، و نبود برنامه‌ریزی فضایی مناسب، سبب شده‌اند تا سکونتگاه‌ها در دامنه‌های پرشیب، بستر رودخانه‌ها، حاشیه گسل‌ها یا مناطق مستعد زمین‌لغزش توسعه یابند (نگهبان و همکاران، ۱۴۰۰؛ معاوی و همکاران، ۱۴۰۴). این توسعه ناپایدار، با تخریب پوشش گیاهی، تغییر در زهکش‌های طبیعی و دست‌کاری در ساختار زمین، ریسک وقوع حوادثی چون زمین‌لغزش و آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه را افزایش داده است. در نتیجه، در زمان وقوع مخاطرات طبیعی، این نواحی بیش‌ترین خسارت را متحمل می‌شوند و بازسازی آن‌ها نیز با دشواری‌های فراوان همراه است (نیری و همکاران، ۱۳۹۷).

ایران به‌عنوان کشوری واقع در کمربند لرزه‌خیز آلپ-همیالیا، پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی دارد و همین مسئله سبب شده است تا بسیاری از شهرهای مهم آن در معرض این مخاطره باشد (گنجائیان، ۱۴۰۳). همچنین با توجه به اینکه بخش زیادی از وسعت آن را نواحی کوهستانی دربرگرفته است، پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارد. از جمله مناطقی که در معرض مخاطرات طبیعی از جمله زمین‌لرزه و زمین‌لغزش است، نواحی شمالی استان خوزستان است. شهرستان‌های اندیکا و ایذه در شمال استان خوزستان، از جمله نواحی کوهستانی، با تراکم بالای روستاها و پراکنش سکونتگاه‌های انسانی در دامنه کوه‌ها و حواشی رودخانه‌ها هستند. بسیاری از این روستاها، به‌واسطه ساخت‌وساز غیراصولی، کمبود زیرساخت‌های مقاوم‌سازی، و فقدان نظام‌های پایش و هشدار، در برابر حوادثی همچون زمین‌لرزه و زمین‌لغزش بسیار آسیب‌پذیرند. این امر نه‌تنها جان ساکنان را تهدید می‌کند، بلکه موجب خسارات جبران‌ناپذیر به منابع طبیعی، زمین‌های کشاورزی، راه‌های ارتباطی و منابع آب نیز می‌گردد. از آنجا که توسعه پایدار روستایی نیازمند شناسایی و مدیریت ریسک‌های محیطی است، بررسی و تحلیل مناطق مستعد زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به‌ویژه در نواحی روستایی شهرستان‌های اندیکا و ایذه، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر دارد. این مطالعه می‌تواند به نهادهای مسئول در سطوح محلی، استانی و ملی کمک کند تا با اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر، برنامه‌ریزی دقیق‌تری برای مقاوم‌سازی زیرساخت‌ها، آموزش‌های عمومی، و مدیریت بحران ارائه دهند. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه در شهرستان‌های ایذه و اندیکا در استان خوزستان پرداخته شده است.

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

مخاطرات محیطی به رخدادهای طبیعی یا انسانی گفته می‌شود که می‌توانند با ایجاد اختلال در نظام‌های اجتماعی، اقتصادی و زیستی، تهدیدی برای حیات و پایداری انسان و محیط پیرامون او باشند. این مخاطرات در طیف گسترده‌ای از پدیده‌های طبیعی مانند سیل، زلزله،

1. Sarris
2. Pan
3. Yariyan
4. Wang
5. Ganjaeian
6. Zhang
7. Zhou

رانش زمین، طوفان و خشکسالی تا مخاطرات انسان‌زاد نظیر تخریب محیط زیست، جنگل‌زدایی و آلودگی‌های صنعتی قابل طبقه‌بندی هستند. بر اساس منشأ مخاطرات به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند (کاتر^۱ و همکاران، ۲۰۱۰):

۱. مخاطرات ژئوفیزیکی و زمین‌شناختی مانند زلزله، رانش زمین، فوران‌های آتشفشانی.
۲. مخاطرات هیدرولوژیک و هواشناسی مانند سیلاب، خشکسالی، توفان.
۳. مخاطرات زیستی مانند بیماری‌ها، اپیدمی‌ها و آفات.
۴. مخاطرات فناوریانه و انسان‌زاد مانند حوادث صنعتی و آلودگی‌ها.

در میان این گروه‌ها، مخاطرات زمین‌شناختی اهمیت ویژه‌ای دارند زیرا معمولاً بدون هشدار قبلی رخ داده، شدت بالایی دارند و آثار مخربی بر زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌های انسانی برجای می‌گذارند. دو مخاطره‌ی عمده در این حوزه که در پژوهش حاضر بررسی می‌شوند، زمین‌لرزه و زمین‌لغزش هستند (ژنگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۴)

زمین‌لرزه به لرزش ناگهانی پوسته‌ی زمین در اثر آزاد شدن انرژی انباشته‌شده در گسل‌ها گفته می‌شود. این پدیده به دلیل گسترده‌ی دامنه‌ی اثرات و خساراتش یکی از ویرانگرترین بلایای طبیعی به شمار می‌رود (کانوماری^۳، ۲۰۰۸). بر اساس گزارش‌های جهانی، سالانه هزاران زمین‌لرزه در نقاط مختلف جهان رخ می‌دهد که بخشی از آن‌ها خسارات جانی و مالی فراوانی بر جوامع انسانی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، وارد می‌کنند. ویژگی‌های مخرب زمین‌لرزه عبارت‌اند از: شدت بالا، ناگهانی بودن، غیرقابل پیش‌بینی بودن و گسترده‌ی منطقه‌ی آسیب. در مناطق روستایی، آثار زمین‌لرزه به دلایلی چون ضعف در کیفیت ساخت‌وسازها، مصالح سنتی و نبود استانداردهای مقاوم‌سازی، بیشتر و جدی‌تر است. علاوه بر تخریب خانه‌ها، زمین‌لرزه می‌تواند موجب نابودی زیرساخت‌های عمومی نظیر راه‌ها، پل‌ها و تأسیسات آب‌رسانی شود که زندگی روزمره‌ی روستاییان را مختل می‌کند. (لی و همکاران^۴، ۲۰۲۴).

زمین‌لغزش یا رانش زمین به حرکت توده‌های خاک، سنگ یا رسوبات در دامنه‌ها تحت تأثیر عواملی مانند نیروی گرانش، بارش شدید، زلزله یا فعالیت‌های انسانی اطلاق می‌شود. زمین‌لغزش‌ها از جمله مخاطرات نسبتاً آرام‌تر اما پرخطر هستند که غالباً در مناطق کوهستانی و شیب‌دار رخ می‌دهند. عوامل مستعدکننده‌ی زمین‌لغزش عبارت‌اند از: شیب زیاد، جنس نامناسب خاک و سنگ، بارش‌های شدید، تغییر کاربری اراضی، و زلزله‌ها. زمین‌لغزش‌ها در سکونتگاه‌های روستایی کوهستانی معمولاً موجب تخریب منازل، مزارع، جاده‌های روستایی و منابع طبیعی می‌شوند. همچنین، در بسیاری از موارد، زمین‌لغزش‌ها اثرات ثانویه‌ای نظیر مسدود شدن راه‌های ارتباطی، افزایش خطر سیلاب و از بین رفتن زمین‌های کشاورزی را به دنبال دارند (چن^۵ و همکاران، ۲۰۱۹).

جوامع روستایی به دلیل ویژگی‌های خاص خود از جمله وابستگی مستقیم به منابع طبیعی، دسترسی محدود به خدمات امدادی و بهداشتی، ضعف در مقاوم‌سازی بناها و زیرساخت‌ها و کمبود منابع مالی، بیشترین میزان آسیب‌پذیری را در برابر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش دارند. وقوع یک زمین‌لرزه یا رانش زمین در مناطق روستایی نه تنها موجب خسارات جانی و مالی می‌شود، بلکه پیامدهای اجتماعی-اقتصادی نظیر مهاجرت اجباری، کاهش تولید کشاورزی، گسست اجتماعی و افزایش فقر را نیز به دنبال دارد. به عبارت دیگر، مخاطرات ژئوفیزیکی در این مناطق علاوه بر بُعد فیزیکی، پیامدهای چندبعدی در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ایجاد می‌کنند. بنابراین، مطالعه و مدیریت این مخاطرات در روستاها ضرورتی انکارناپذیر برای تحقق توسعه پایدار و تاب‌آوری جوامع محلی است (جیلارد^۶ و همکاران، ۲۰۲).

در ارتباط با موضوع مورد مطالعه تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به اردن^۷ و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد که با استفاده از روش AHP و TOPSIS، به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر شهر استانبول ترکیه در برابر زمین‌لرزه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بخش زیادی از شهر استانبول، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارد. ال دوگوم^۸ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش‌های پهنه‌بندی و منطق فازی، به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری صفحه عربستان در برابر مخاطره زمین‌لرزه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که در بین شهرهای منطقه، شهر فوجیره دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری است. جنا^۹ و همکاران (۲۰۲۰) با روش تلفیقی منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی، به ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری شهر باندآچه^{۱۰} اندونزی در برابر مخاطره زمین‌لرزه پرداختند.

1. Cutter
2. Zheng
3. Kanamori
4. Li
5. Chen
6. Gillard
7. Erden
8. Al-Dogom
9. Jena
10. Banda Aceh

نتایج این تحقیق نشان داده است که مناطق مرکزی این شهر تحت تاثیر وضعیت ساخت‌وسازها و توپوگرافی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است. سو^۱ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش‌های جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم‌گیری، مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در چین را شناسایی کردند. نتایج این تحقیق بیانگر آسیب‌پذیری بالای منطقه در برابر مخاطره زمین‌لغزش و کاربرد و دقت بالای مدل‌های مورد استفاده بوده است. آنوانا و آووچوری^۲ (۲۰۲۳) با استفاده از روش‌های آماری و پهنه‌بندی، به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیررسمی در برابر مخاطرات طبیعی پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر عدم توجه به اصول صحیح ساخت‌وساز و آسیب‌پذیری بالای سکونتگاه‌های غیررسمی در برابر مخاطرات طبیعی است. زندهمقدم و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از روش‌های وزن‌دهی و پهنه‌بندی، به پهنه‌بندی وضعیت آسیب‌پذیری شهر نسیم شهر در برابر مخاطرات طبیعی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که حدود ۷۰ درصد از وسعت نسیم شهر، آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطرات طبیعی دارد. پیره و گنجائیان (۱۴۰۳) با استفاده از روش‌های وزن‌دهی و پهنه‌بندی، به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان سندرچ پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بخش زیادی از وسعت شهرستان سندرچ، در معرض مخاطره زمین‌لغزش قرار دارد. شریفی و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از روش‌های منطق فازی و تحلیل سلسه مراتبی، به بررسی توسعه فضاهای شهری شهرستان نور در برابر مخاطرات محیطی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که مناطق شمالی و جنوبی شهرستان نور، مستعد آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات طبیعی هستند. عابدینی و همکاران (۱۴۰۴) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نوران‌چای با استفاده از مدل منطق فازی و تحلیل شبکه‌ای پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که حدود ۱۵ درصد از منطقه، پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیادی در برابر مخاطره زمین‌لغزش دارند. گنجائیان و همکاران (۱۴۰۴) به ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای منطقه اورامان در برابر مخاطرات طبیعی پرداختند و نشان دادند که مناطق مرکزی این منطقه، پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری در برابر مخاطرات طبیعی دارد. مواساتی و همکاران (۱۴۰۴) با استفاده از روش‌های منطق فازی و تحلیل سلسه مراتبی به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری کلانشهر تبریز با تاکید بر زلزله پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که مناطق مرکزی و حاشیه‌ای شهر تبریز، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند.

بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که عمده تمرکز مطالعات انجام‌شده بر روی یک نوع مخاطره خاص معطوف بوده است و در بسیاری از موارد، به‌طور جامع به بررسی همزمان چندین مخاطره پرداخته نشده است. علاوه بر این، اکثریت تحقیقات بیش‌تر به مناطق شهری و مراکز جمعیتی بزرگ توجه داشته‌اند و کم‌تر به آسیب‌پذیری و شرایط خاص نقاط روستایی پرداخته شده است. این کمبود در مطالعات موجود، ضرورت توجه ویژه به مناطق روستایی را که به دلایل مختلف از جمله ضعف زیرساخت‌ها، محدودیت منابع و فاصله جغرافیایی از مراکز خدمات‌رسان، آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند، بیش از پیش نمایان می‌سازد. برخلاف این روند، پژوهش حاضر با رویکردی جامع و متفاوت، نه تنها وضعیت آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه را در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه به‌طور همزمان ارزیابی می‌کند، بلکه به‌طور خاص به بررسی شرایط و ویژگی‌های آسیب‌پذیری در نقاط روستایی می‌پردازد. این تمرکز ویژه بر مناطق روستایی، با هدف شناسایی نقاط ضعف و نیازهای خاص این مناطق صورت گرفته است تا بتوان راهکارهای هدفمند و مؤثری برای کاهش ریسک و افزایش تاب‌آوری آن‌ها ارائه داد. به این ترتیب، نوآوری اصلی این تحقیق در تلفیق ارزیابی چندگانه مخاطرات و توجه ویژه به آسیب‌پذیری روستاها است که در مطالعات پیشین کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. این رویکرد جامع می‌تواند مبنایی برای توسعه سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت بحران منطبق با شرایط بومی و خاص مناطق روستایی باشد و گامی مؤثر در جهت ارتقای ایمنی و پایداری این مناطق محسوب شود.

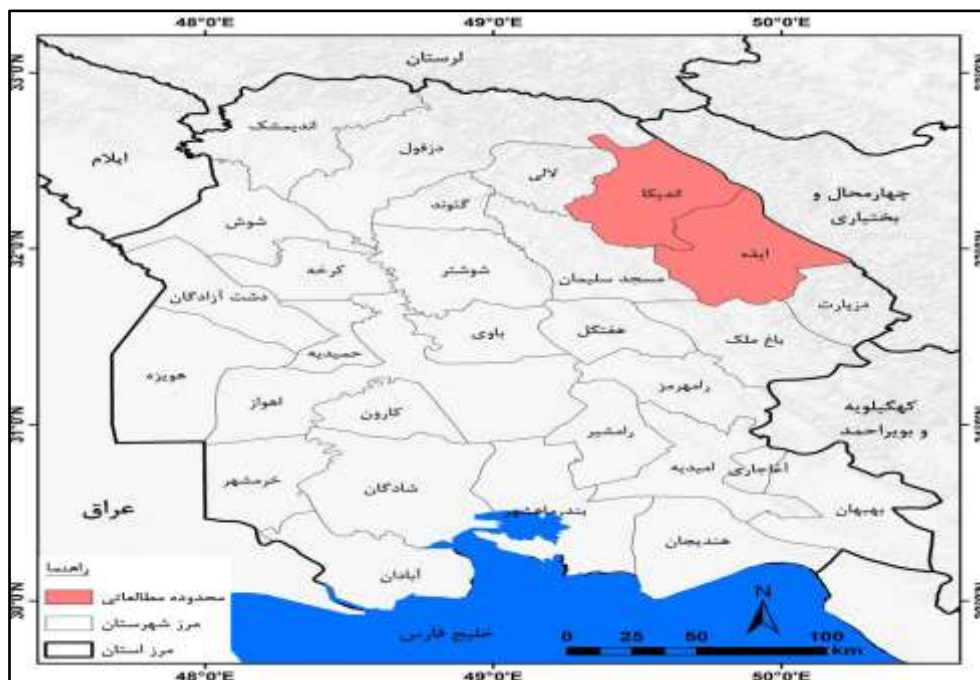
روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل شهرستان‌های ایذه و اندیکا در شمال شرق استان خوزستان است (شکل ۱). شهرستان ایذه با مرکزیت شهر ایذه دارای ۱۹۸۸۷۱ نفر جمعیت و شهرستان اندیکا با مرکزیت شهر قلعه خواجه دارای ۴۷۶۲۹ نفر جمعیت است (مرکز آمار کشور، ۱۳۹۵). شهرستان‌های ایذه و اندیکا از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در واحد زاگرس قرار چین‌خورده قرار دارند و همین مسئله سبب شده است تا بخش زیادی از وسعت آن‌ها را واحد کوهستان و دامنه‌های پرشیب دربرگیرد. همچنین از نظر اقلیمی نیز، این منطقه جزء مناطق نیمه‌مرطوب ایران محسوب می‌شود (صفایی‌پور و همکاران، ۱۴۰۳).

1. Su

2. Anwana & Owajori



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

منبع: سازمان نقشه‌برداری ایران، ۱۴۰۰

روش تحقیق

در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌های MODIS، CHIRPS، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و لایه رقومی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در این تحقیق، سامانه گوگل ارث انجین، ArcGIS و IDRISI بوده است. همچنین در این تحقیق از مدل ترکیبی WLC و ضریب وزنی نسبی استفاده شده است. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، این تحقیق در دو مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

مرحله اول (شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه): به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه از چند مرحله استفاده شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

- **شناسایی و استانداردسازی پارامترها:** به‌منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، از ۸ پارامتر ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، لیتولوژی، فاصله از گسل، تراکم پوشش گیاهی و میانگین بارش سالانه استفاده شده است. همچنین به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین‌لرزه، از پارامترهای فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه، فاصله از گسل، لیتولوژی و شیب استفاده شده است. به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع، شیب و رودخانه، از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM استفاده شده است. به‌منظور تهیه نقشه لیتولوژی و خطوط گسلی منطقه، از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده شده است. به‌منظور تهیه نقشه کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده، از سایت USGS استفاده شده است و لایه‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده (مربوط به ۵۰ سال اخیر) با بزرگای بیش از ۳ ریشتر در منطقه تهیه شده است. همچنین با توجه به کاربرد سامانه گوگل ارث انجین در تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی و بارش (صفری نامیوندی و همکاران، ۱۴۰۳؛ نگهبان و همکاران، ۱۴۰۳)، از این سامانه و تصاویر MODIS، CHIRPS به ترتیب به‌منظور تهیه نقشه میانگین بارش و تراکم پوشش گیاهی استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر، لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای ارزش درون لایه‌ای، استانداردسازی شده‌اند. یعنی به مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و زمین‌لرزه، ارزش نزدیک ۱ و به مناطقی که مستعد نیستند، ارزش نزدیک صفر داده شده است.

- **وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی:** پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، با استفاده از روش ضریب وزنی نسبی به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است. روش ضریب وزنی نسبی توسط گنجائیان و همکاران (۱۴۰۴) مطرح شده است. در این روش، تمامی معیارها با هم مقایسه شده است و وزن نهایی بر مبنای تعداد اولویت هر پارامتر نسبت به پارامترهای دیگر سنجیده شده است. به‌طور مثال برای شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، پارامتر شیب از تمامی پارامترها مهم‌تر است، بنابراین وزن ۱/۷ را گرفته است. یعنی چون از ۷ پارامتر

مهم است، به ازای هر پارامتر، $0/1$ به ضریب آن اضافه شده است. بر این اساس، در این روش، به ازای هر بار ارجعیت نسبت به پارامترهای دیگر، ضریب $0/1$ به وزن آن پارامتر اضافه خواهد شد.

- **اجرای مدل WLC^۱:** پس از وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی و اعمال وزن بدست آمده بر روی آن‌ها، لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار TerrSet و نهایت با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) با هم ترکیب شده و نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش تهیه شده است. در روش WLC، وزن‌های به‌دست‌آمده مستقیماً در ترکیب لایه‌ها به کار می‌شود و خروجی به صورت یک نقشه پیوسته از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه تهیه می‌شود (تابش و همکاران، ۱۳۹۹).

مرحله دوم (ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری نقاط روستایی در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه): پس از شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه، ابتدا نقشه مخاطرات شهرستان‌های ایذه و اندیکا تهیه شده است و سپس به ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای این شهرستان در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه پرداخته شده است.

یافته‌ها و بحث

شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لغزش

با توجه به اینکه بخش زیادی از وسعت شهرستان‌های ایذه و اندیکا را دامنه‌های پرشیب دربرگرفته است، یکی از مخاطرات پیش‌روی این شهرستان‌ها، حرکات دامنه‌ای و خصوصاً زمین‌لغزش است. در ادامه به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است:

الف) تشریح پارامترهای مورد استفاده

در این پژوهش به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه، از پارامترهای طبیعی و انسانی استفاده شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

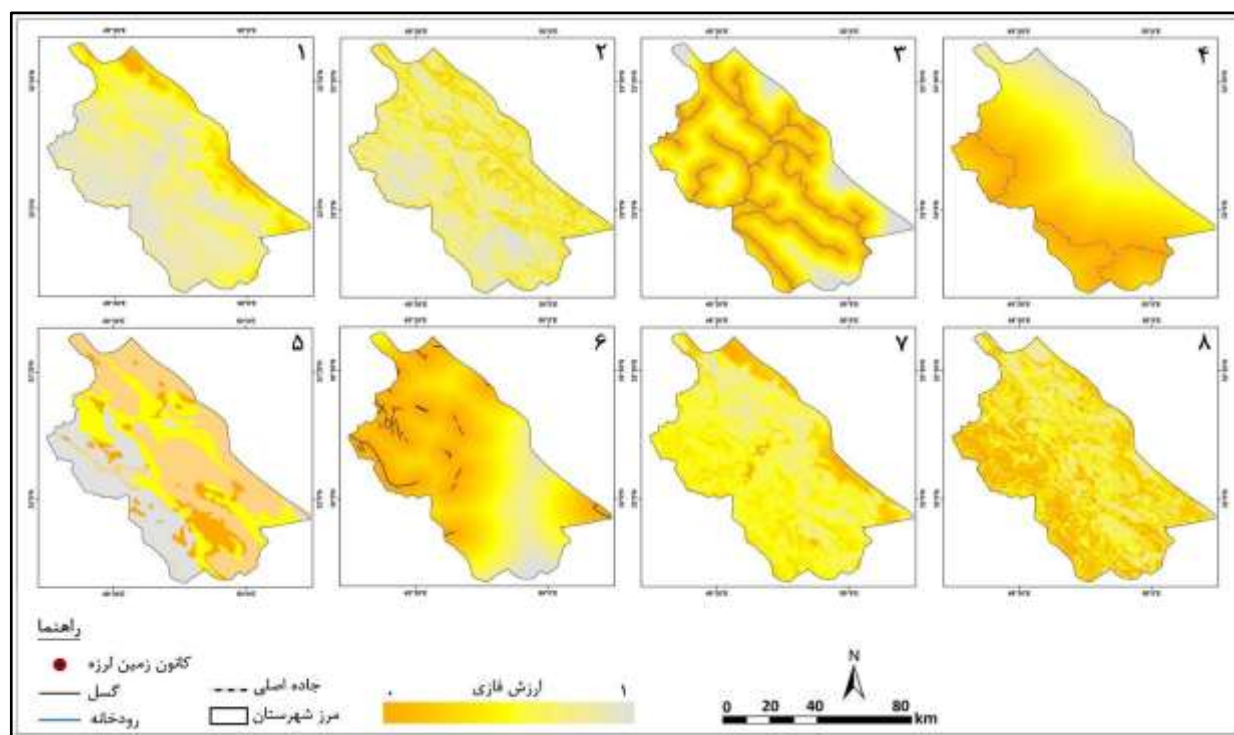
شیب و ارتفاع: شیب به عنوان مهم‌ترین عامل وقوع زمین‌لغزش محسوب می‌شود. مناطق پرشیب به دلیل اینکه ناپایدار هستند، در معرض مخاطره زمین‌لغزش قرار دارند. با توجه به اینکه بخش زیادی از وسعت منطقه را دامنه‌های پرشیب دربرگرفته است، بنابراین از نظر پارامتر شیب، بخش زیادی از وسعت منطقه در معرض مخاطره زمین‌لغزش قرار دارد. پارامتر ارتفاع نیز از جمله پارامترهای موثر محسوب می‌شود که تأثیر غیرمستقیمی در وقوع زمین‌لغزش دارد. به طور معمول، مناطق مرتفع به دلیل رطوبت، یخبندان و فرسایش بیش‌تری که دارند، پتانسیل بیش‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند.

فاصله از رودخانه و جاده: رودخانه‌ها و جاده‌ها به عنوان عامل ناپایداری دامنه‌ها محسوب می‌شوند. در واقع، رودخانه‌ها از طریق فرسایش و برش پای دامنه‌ها، زمینه را برای بروز زمین‌لغزش فراهم می‌کنند. همچنین جاده‌ها نیز از طریق برش و زیربری پای دامنه‌ها، باعث ناپایداری دامنه‌ها و بروز مخاطره زمین‌لغزش می‌شوند. با توجه به موارد ذکر شده، مناطق نزدیک به رودخانه و جاده، پتانسیل بیش‌تری از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند.

لیتولوژی و فاصله از گسل: نوع لیتولوژی نقش مهمی در میزان مقاومت سنگ، نفوذپذیری و در نتیجه حرکات دامنه‌ای از جمله زمین‌لغزش دارد. مناطقی که دارای لیتولوژی سستی هستند، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند. همچنین قرارگیری منطقه مورد مطالعه در واحد زاگرس و تراکم خطوط گسلی در این منطقه سبب شده است تا بخش زیادی از این منطقه دارای تراکم بالایی از درز و شکاف‌ها باشد. با توجه به اینکه مناطق دارای درز و شکاف، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند، بنابراین مناطق نزدیک به خطوط گسلی، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند.

پوشش گیاهی و بارش: پوشش گیاهی نقش مهمی در پایداری دامنه‌ها فرسایش و کنترل حرکات دامنه‌ای دارد. به طور معمول دامنه‌هایی که دارای تراکم بالای پوشش گیاهی هستند، کم‌تر با حرکات دامنه‌ای مواجه می‌شوند. همچنین میانگین بارش نیز نقش مهمی در میزان فرسایش، تخریب و وقوع زمین‌لغزش دارد و مناطقی که دارای میانگین بارش بیش‌تری هستند، پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند.

با توجه به موارد ذکر شده، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر، به منظور استانداردسازی پارامترها، به مناطق با شیب و ارتفاع زیاد، نزدیک به رودخانه، جاده و گسل، مناطق دارای لیتولوژی آبرفتی، مناطق دارای پوشش گیاهی کم تراکم و مناطق با بارش زیاد، ارزش نزدیک ۱ داده شده است. همچنین به مناطق با شیب و ارتفاع کم، دور از رودخانه، جاده و گسل، مناطق دارای لیتولوژی آهکی، مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم و مناطق کم بارش، ارزش نزدیک صفر داده شده است (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی ۱-ارتفاع ۲-شیب ۳-فاصله از رودخانه ۴-فاصله از جاده ۵-لیتولوژی ۶-فاصله از گسل ۷-تراکم پوشش گیاهی ۸-بارش
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

ب) وزن‌دهی به پارامترها

پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، با توجه به اینکه ارزش و اهمیت لایه‌های اطلاعاتی یکسان نیست، با استفاده از روش ضریب وزنی نسبی، به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، پارامترهای شیب، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه به ترتیب با ضریب $1/7$ ، $1/6$ و $1/5$ ، دارای بالاترین ضریب هستند و بالاترین تاثیرگذاری را دارند (جدول ۱).

جدول ۲. وزن نهایی پارامترها

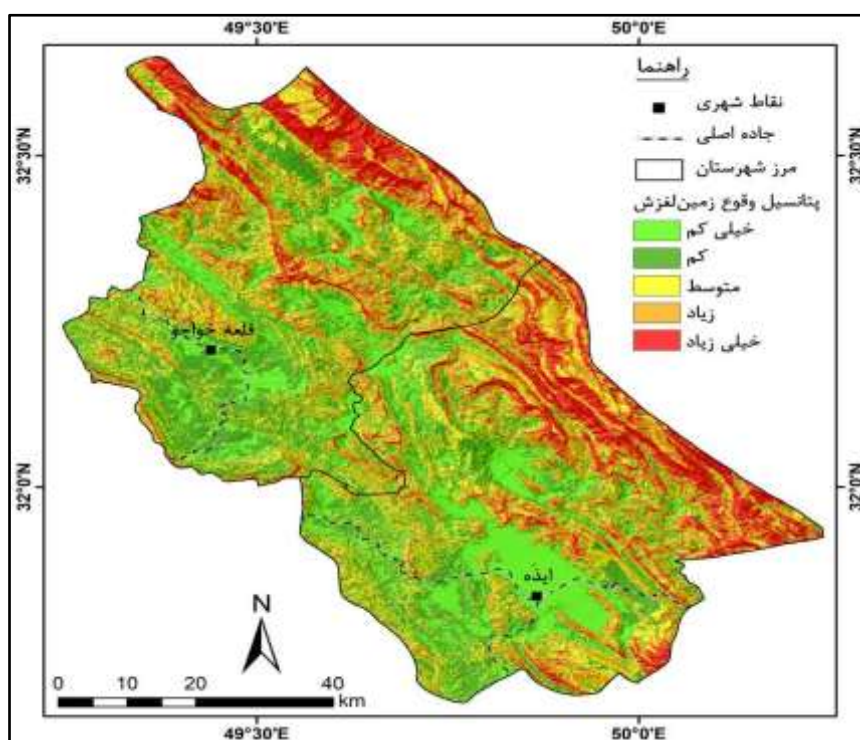
ردیف	پارامتر	ارجعیت نسبت به پارامترهای دیگر	وزن نهایی
۱	شیب	فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل و میانگین بارش	$1/7$
۲	فاصله از جاده	فاصله از رودخانه، لیتولوژی، ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل و میانگین بارش	$1/6$
۳	فاصله از رودخانه	لیتولوژی، ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل و میانگین بارش	$1/5$
۴	لیتولوژی	ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل و میانگین بارش	$1/4$
۵	ارتفاع	تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل و میانگین بارش	$1/3$
۶	تراکم پوشش گیاهی	فاصله از گسل و میانگین بارش	$1/2$
۷	فاصله از گسل	میانگین بارش	$1/1$
۸	میانگین بارش	-	۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

ج) اجرای مدل WLC

پس از استانداردسازی و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، وزن بدست آمده بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شده است و سپس لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار IDRISI شده است. در ادامه با استفاده از روش WLC، لایه‌های اطلاعاتی با هم ترکیب شده و به این صورت نقشه

نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان‌های ایذه و اندیکا تهیه شده است (۳). بر اساس نتایج بدست آمده، بخش زیادی از مناطق شرقی و شمال شرقی شهرستان‌های ایذه و اندیکا به دلیل ارتفاع و شیب زیاد، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند.



شکل ۳. نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان‌های ایذه و اندیکا

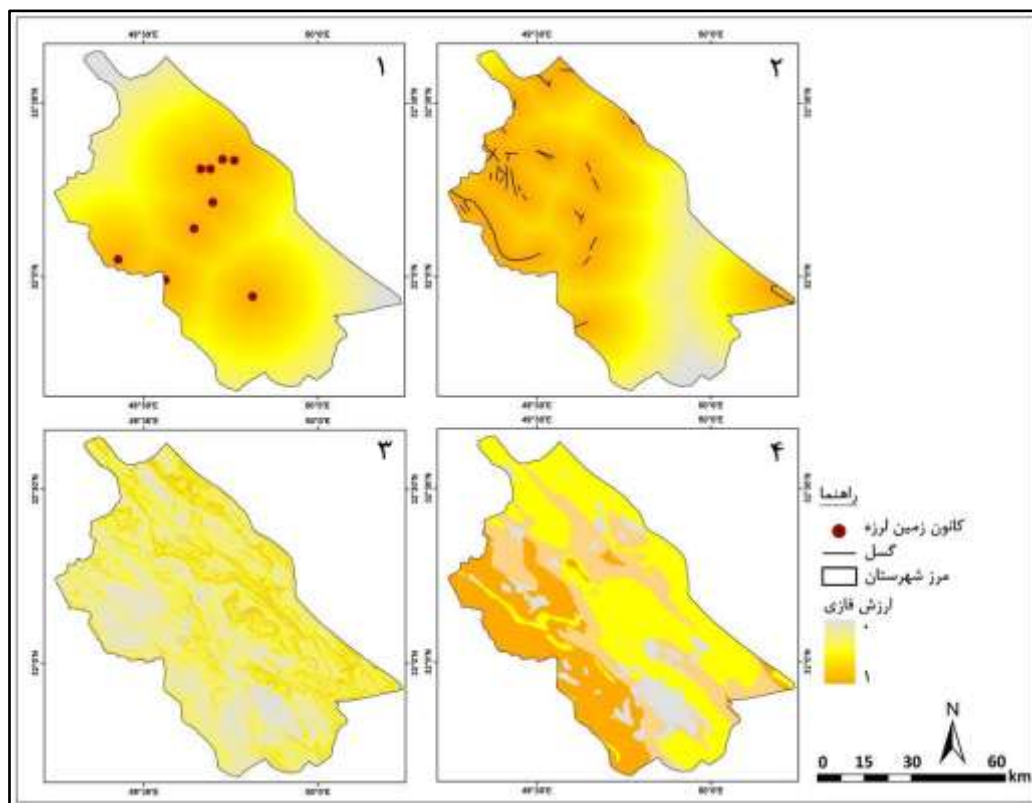
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه

قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در واحد زاگرس چین‌خورده سبب شده است تا این منطقه پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره زمین‌لرزه داشته باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در این بخش به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین‌لرزه پرداخته شده است:

الف) تشریح پارامترهای مورد استفاده

در این بخش به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین‌لرزه از ۴ پارامتر فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه، فاصله از گسل، نوع لیتولوژی و شیب زمین استفاده شده است. خطوط گسلی عامل اصلی وقوع زمین‌لرزه محسوب می‌شوند و مناطقی که در نزدیکی خطوط گسل قرار دارند، پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی دارند. بر این اساس، به‌منظور استانداردسازی لایه خطوط گسلی، به مناطق نزدیک به خطوط گسلی، ارزش نزدیک ۱ و به مناطق دور از خطوط گسلی، ارزش نزدیک صفر داده شده است. مناطق نزدیک به کانون‌های زمین‌لرزه نیز به دلیل اینکه مستعد وقوع زمین‌لرزه هستند، پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند. بر این اساس، به مناطق نزدیک به کانون‌های زمین‌لرزه، ارزش نزدیک ۱ داده شده است. نوع لیتولوژی نیز از جمله پارامترهای موثر در میزان آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه محسوب می‌شود. مناطقی که دارای لیتولوژی مقاوم هستند، میزان آسیب‌پذیری کم‌تری دارند. بر این اساس، به مناطق دارای لیتولوژی سست، ارزش نزدیک ۱ و به دارای لیتولوژی مقاوم، ارزش نزدیک صفر داده شده است. همچنین با توجه اینکه شیب زیاد باعث ناپایداری دامنه‌ها می‌شود، مناطق پرتشیب، پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر زمین‌لرزه دارند. بر این اساس، به مناطق نزدیک با شیب زیاد، ارزش نزدیک ۱ داده شده است (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

(ب) وزن‌دهی به پارامترها

در این بخش نیز همانند بخش قبلی با استفاده از روش ضریب وزنی نسبی، به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، پارامتر فاصله از گسل با وزن $\frac{1}{3}$ دارای بالاترین وزن و ارزش بوده است.

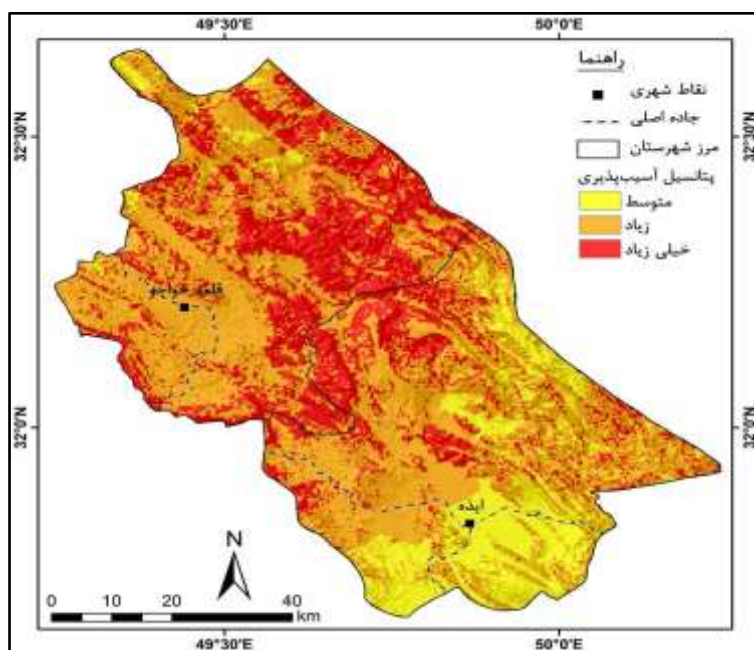
جدول ۲. وزن نهایی پارامترها

ردیف	پارامتر	ارجعیت نسبت به پارامترهای دیگر	وزن نهایی
۱	فاصله از گسل	شیب، لیتولوژی، فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه	$\frac{1}{3}$
۲	شیب	لیتولوژی، فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه	$\frac{1}{2}$
۳	لیتولوژی	فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه	$\frac{1}{1}$
۴	فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه	-	۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

(ج) اجرای مدل WLC

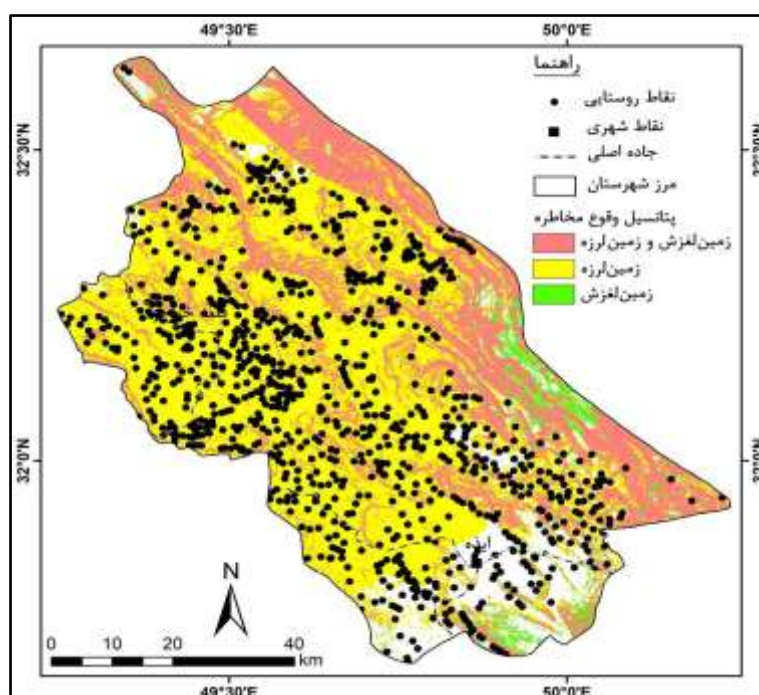
در این بخش همانند بخش قبلی، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار IDRISI شده است و سپس با استفاده از روش WLC، لایه‌های اطلاعاتی با هم ترکیب شده و به این صورت نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه در شهرستان‌های ایزه و اندیکا تهیه شده است (۵). بر اساس نتایج بدست آمده، نیمه غربی شهرستان ایزه و بخش زیادی از شهرستان اندیکا، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند.



شکل ۵. نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین‌لرزه در شهرستان‌های ایذه و اندیکا
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای منطقه در برابر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه

پس از شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه، در این بخش ابتدا نقشه وضعیت آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه تهیه شده است (شکل ۶) و سپس به ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان‌های ایذه و اندیکا پرداخته شده است.



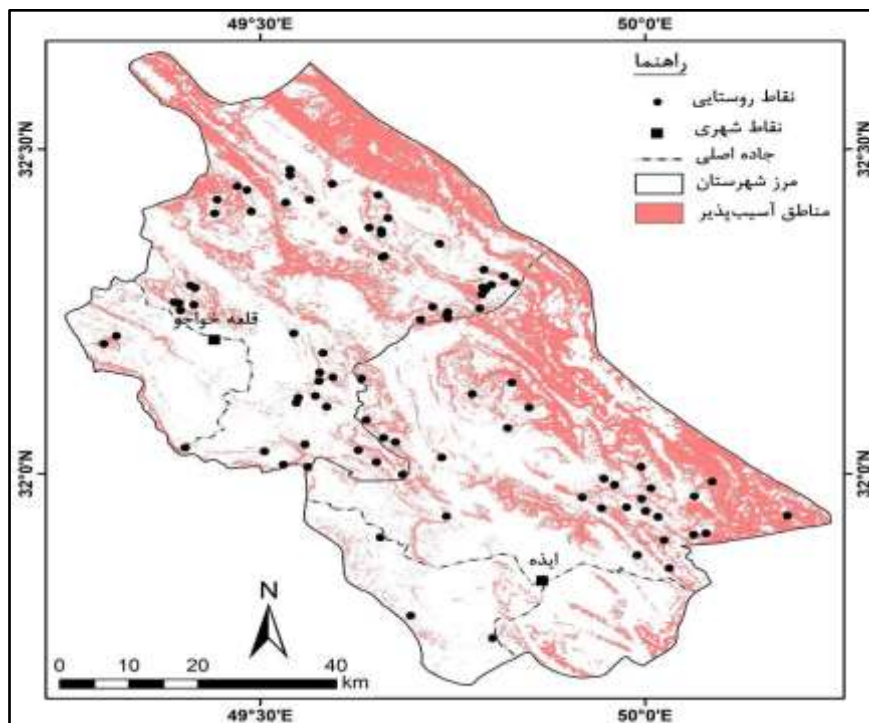
شکل ۶. نقشه وضعیت آسیب‌پذیری شهرستان‌های ایذه و اندیکا در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

نتایج ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان‌های ایذه و اندیکا در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه نشان داده است که از مجموع ۹۸۰ روستای این شهرستان‌ها، ۸۳۶ روستا (۸۵/۳ درصد) پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر زمین‌لرزه دارند، ۹۵ روستا (۹/۷ درصد) پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره زمین‌لغزش دارند (جدول ۳). نتایج آنالیز مکانی روستاهای آسیب‌پذیر در برابر هر دو مخاطره نشان داده است که در مجموع، روستاهای شهرستان اندیکا تراکم بیشتری در طبقه آسیب‌پذیر در برابر هر دو مخاطره دارند ولی در محدوده شهرستان ایذه، فقط روستاهای مناطق شرقی آن تراکم بیشتری در طبقه آسیب‌پذیر در برابر هر دو مخاطره دارند (شکل ۷).

جدول ۳. ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان‌های ایذه و اندیکا در برابر مخاطرات زمین‌لغزش و زمین‌لرزه

نوع مخاطره	زمین‌لرزه	زمین‌لغزش	زمین‌لرزه و زمین‌لغزش	مجموع
تعداد روستا	۸۳۶	۹۵	۸۸	۹۸۰
درصد روستا	۸۵/۳	۹/۷	۹	۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴



شکل ۷. نقشه روستاهای آسیب‌پذیر در برابر هر دو مخاطره زمین‌لغزش و زمین‌لرزه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که بخش وسیعی از شهرستان‌های ایذه و اندیکا، به‌ویژه نواحی شرقی، شمال‌شرقی و غربی، در معرض مخاطرات طبیعی زمین‌لرزه و زمین‌لغزش قرار دارند. تحلیل‌های مکانی با استفاده از روش WLC و ضریب وزنی نسبی نشان داد که حدود ۸۵/۳ درصد از روستاهای منطقه در برابر زمین‌لرزه و ۷/۹ درصد در برابر زمین‌لغزش دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالا هستند و نزدیک به ۹ درصد از روستاها به‌صورت همزمان در معرض هر دو مخاطره قرار دارند. این نتایج نشان‌دهنده ضرورت توجه ویژه به زیرساخت‌های روستایی و برنامه‌ریزی مبتنی بر مخاطرات است. این یافته‌ها در امتداد نتایج پژوهش‌هایی همچون اردن و همکاران (۲۰۱۲) قرار دارد که مناطق شهری استانبول را در معرض آسیب‌پذیری بالای زمین‌لرزه گزارش کردند و همچنین با مطالعات سو و همکاران (۲۰۲۱) که به آسیب‌پذیری بالای مناطق مستعد زمین‌لغزش در چین اشاره کردند، همخوانی دارد. با این حال، نوآوری اصلی این تحقیق در بررسی همزمان دو مخاطره زمین‌لغزش و زمین‌لرزه در نواحی روستایی کمتر مورد مطالعه بوده، که نقطه تمایز مهمی با اغلب پژوهش‌های پیشین محسوب می‌شود. مطالعاتی مانند ال دوگوم و همکاران (۲۰۱۸) و جنا و همکاران (۲۰۲۰) بیشتر تمرکز خود را بر مخاطره زمین‌لرزه در مناطق شهری گذاشته‌اند، در حالی که

تحقیق حاضر بر آسیب‌پذیری نقاط روستایی تمرکز کرده است که به دلیل ضعف زیرساخت‌ها و پراکندگی جغرافیایی، ریسک متفاوت و اغلب بالاتری دارند. این موضوع با یافته‌های آنوانا و آووچوری (۲۰۲۳) نیز همسو است که بر آسیب‌پذیری بالای سکونتگاه‌های غیررسمی و نیاز به توجه ویژه به شرایط محلی تأکید کرده‌اند. علاوه بر این، بررسی شرایط شهرستان اندیکا نشان داد که این منطقه تراکم بیشتری از روستاهای آسیب‌پذیر را در برابر هر دو مخاطره داراست، که این موضوع ضرورت اولویت‌بندی اقدامات کاهش ریسک و مقاومت‌سازی در این شهرستان را بیش از پیش برجسته می‌کند. ترکیب عوامل طبیعی مانند شیب و ارتفاع با عوامل انسانی همچون کیفیت ساخت‌وساز و مدیریت منابع، زمینه‌ساز افزایش ریسک در این مناطق شده است. این یافته‌ها تأییدی بر مطالعات مشابهی مانند شریفی و همکاران (۱۴۰۳) و عابدینی و همکاران (۱۴۰۴) است که بر اهمیت تلفیق عوامل طبیعی و انسانی در تحلیل آسیب‌پذیری تأکید دارند. در نهایت، این مطالعه نشان داد که تحلیل‌های مکانی، به ویژه با استفاده از روش WLC، ابزار مؤثری برای شناسایی مناطق پرخطر و اولویت‌بندی اقدامات کاهش ریسک است و می‌تواند راهنمایی عملی برای نهادهای تصمیم‌گیر باشد. پیشنهاد می‌شود برای کاهش آسیب‌پذیری شهرستان‌های ایذه و اندیکا، اقدامات جامعی شامل مقاومت‌سازی ساختمان‌های روستایی با استفاده از تسهیلات دولتی و مشارکت مردمی، توسعه و استقرار سیستم‌های هشدار سریع، آموزش ساکنان محلی در زمینه آمادگی و مدیریت بحران، پرهیز از گسترش ساخت‌وساز در مناطق پرخطر و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین پایش انجام شود. همچنین، تلفیق داده‌های مکانی با برنامه‌ریزی توسعه‌ای می‌تواند به تصمیم‌گیری دقیق‌تر و مؤثرتر در کاهش خطرپذیری کمک کند.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به صورت مشترک در انجام همه مراحل پژوهش مشارکت داشته‌اند.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان اعلام می‌کنند که از ابزار هوش مصنوعی (AI) برای نگارش این مقاله استفاده نکرده‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافی ندارند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌ها بنا به درخواست نویسندگان در دسترس هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان مایل هستند از تمامی افراد، سازمان‌ها و مؤسساتی که در تهیه این مقاله مشارکت داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- پیره، مهین و گنجائیان، حمید. (۱۴۰۳). تحلیل زمین‌لغزش‌های رخ داده در ارتباط با عوامل محیطی (مطالعه موردی: شهرستان سندج). *جغرافیا و روابط انسانی*، ۷(۳)، ۲۴۲-۲۷۸. <https://doi.org/10.22034/gahr.2025.458065.2135>
- تابش، سعید؛ نوری‌خان‌پوردی، میثم؛ دوستی، مرتضی و گنجائیان، حمید. (۱۳۹۹). ارائه مدل پیشنهادی برای مکان‌یابی اماکن ورزشی با استفاده از مدل تلفیقی WLC و AHP (مطالعه موردی: شهر تبریز). *مدیریت و توسعه ورزش*، ۹(۲۱)، ۲-۲۲. <https://doi.org/10.22124/jsmd.2020.4096>

- جمینی، داود؛ شهابی، هیم؛ نظری، حمید و آتش‌بهار، رامین. (۱۴۰۲). شناسایی سکونتگاه‌های روستایی در معرض خطر وقوع زمین‌لغزش در زیست‌بوم‌های عشایری (مطالعه موردی: شهرستان پاوه). *مطالعات برنامه‌ریزی قلمرو کوچ‌نشینان*، ۳(۱)، ۱۰۷-۱۲۲.
<https://doi.org/10.22034/jsnap.2023.410697.1066>
- خزائی، جهانگیر و قائمی، مهدی. (۱۳۹۴). مقایسه و ارزیابی روش‌های پایداری‌سازی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: زمین‌لغزش ۱۹۴ کیلومتر راه‌آهن ملایر- کرمانشاه). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۵(۳)، ۳۹-۵۳.
https://ges.razi.ac.ir/article_380.html
- رضاپور، علی؛ جباری، ایرج و بهرامی، کاظم. (۱۴۰۲). تأثیر آب‌های زیرزمینی بر زمین‌لغزش دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۵(۳)، ۱۹-۳۶.
<https://doi.org/10.22059/jphgr.2023.364630.1007788>
- زندمقدم، محمدرضا. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی شهر بر اساس میزان آسیب‌پذیری در مقابل مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: نسیم‌شهر). *جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۱۲(۴۶)، ۶۰-۷۷.
https://journals.iau.ir/article_697723.html
- سالاری، ممند؛ نیری، هادی؛ گنجائیان، حمید و امانی، خبات. (۱۳۹۶). مکان‌گزینی جهت مناسب توسعه شهری کامیاران با رویکرد مخاطره‌شناسی مبتنی بر اعمال مناطق ممنوع ژئومورفولوژیکی. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۴(۴)، ۴۱۹-۴۳۶.
<https://doi.org/10.22059/jhsci.2018.252694.341>
- سالاری، ممند؛ نیری، هادی؛ گنجائیان، حمید و امانی، خبات. (۱۳۹۹). ارزیابی و پیش‌بینی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی با تأکید بر رویکرد ژئومورفولوژیک و مدیریت محیط (مطالعه موردی: شهر پاوه). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۹(۱)، ۸۶-۱۰۱.
<https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.109536>
- شریفی، حسین؛ رضائی‌پور، مهرداد و ابراهیمی، لیلا. (۱۴۰۳). بررسی توسعه فضای شهری در راستای مواجهه با مخاطرات محیطی (مطالعه موردی: شهرستان نور). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۴(۷۵)، ۳۵۴-۳۷۷.
<https://doi.org/10.61186/jgs.24.75.4>
- صفایی‌پور، مسعود؛ ملکی، سعید؛ قائدی، سهراب و ابراهیمی، اعظم. (۱۴۰۳). تحلیل و پیشنهاد الگوی توسعه فیزیکی شهر ایزه با تأکید بر مخاطرات طبیعی. *مدیریت بحران*، ۱۳(۴)، ۲۱-۳۵.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1403.13.4.2.9>
- صفری نامیوندی، مهدی؛ گنجائیان، حمید؛ نصرتی، مژگان و محمدیان، کلثوم. (۱۴۰۳). شناسایی مناطق سیل‌زده و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن (مطالعه موردی: جنوب شرق استان سیستان و بلوچستان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۳(۲)، ۱۸۱-۱۹۴.
<https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.449586.1494>
- عابدینی، موسی؛ آزادی، فریبا و بابایی اولم، طیه. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نوران‌چای با استفاده از مدل ANP. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۸(۲۹)، ۸۵-۱۰۵.
<https://doi.org/10.22034/gahr.2024.448417.2072>
- کیانی، شکراله؛ کریمخانی، اکرم و مزیدی، احمد. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و آنفیس در حوضه آبریز هشتجین استان اردبیل. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱(۲)، ۵۵-۷۳.
<https://doi.org/10.22126/ges.2021.6461.2391>
- گنجائیان، حمید. (۱۴۰۳). ارزیابی استعداد لرزه‌خیزی کلان‌شهرهای ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۳۳(۱۳۲)، ۱۷۳-۱۸۸.
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2024.2019284.3047>
- گنجائیان، حمید. (۱۴۰۳). تحلیل مکانی و زمانی زمین‌لرزه‌های ایران در طی سال‌های ۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۳(۴)، ۲۲۲-۲۴۳.
<https://doi.org/10.22067/geoch.2024.87246.1470>
- گنجائیان، حمید؛ شاه‌جمالی، مینا؛ ابراهیمی، اعظم و اکبریان، مرتضی. (۱۴۰۴). شناسایی مناطق مستعد دفن و دیوی زباله در شهرستان کامیاران با اعمال مناطق ممنوعه. *محیط زیست و توسعه فرابخشی*، ۱۰(۸۷)، ۱-۱۵.
<https://doi.org/10.22034/envj.2025.500751.1458>
- گنجائیان، حمید؛ نصرتی، مژگان؛ ابراهیمی، عطرن و قیصریان، سیدسعدی. (۱۴۰۴). ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای مناطق کوهستانی در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: روستاهای منطقه اورامان). *پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی*، ۲(۱)، ۵۷-۷۰.
<https://doi.org/10.22034/ermr.2024.63510>
- محمدخان، شیرین؛ گنجائیان، حمید؛ شهری، سمیه و عباس‌زاده، امیرعلی. (۱۳۹۸). پیش‌بینی روند توسعه شهری به سمت مناطق مخاطره‌آمیز با استفاده از تصاویر چندزمانه؛ مطالعه موردی: شهر مریوان. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۸(۱۱۰)، ۱۰۷-۱۱۷.
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36615>
- معاوی، مهشید؛ علم‌زاده، هیوا و انتظاری، مژگان. (۱۴۰۴). مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی: مطالعه موردی حوضه آبریز سد شهید عباسپور، شمال‌شرق خوزستان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۴(۳)، ۱۱۴-۱۲۳.
<https://doi.org/10.22067/geoch.2025.92634.1557>
- مواساتی، مصطفی؛ احمدزاده، حسن و پناهی، علی. (۱۴۰۴). تحلیلی بر سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر مخاطرات طبیعی «زلزله» با تأکید بر رویکرد مدیریت بحران (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹(۹۱)، ۲۱۸-۲۴۳.
<https://doi.org/10.22034/gp.2024.59712.3218>
- نگهبان، سعید؛ پی‌سوزی، تینا؛ گنجائیان، حمید و نوروزی، میلاد. (۱۴۰۰). شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و جابه‌جایی 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/geoch.2021.71728.1094>

- نگهبان، سعید؛ گنجائیان، حمید؛ ابراهیمی، عطربین و امامی، کامیار. (۱۳۹۸). پایش و پیش‌بینی روند تغییرات نواحی سکونتگاهی با استفاده از تصاویر چندزمانه (مطالعه موردی: شهر سنقر). *فیزیک زمین و فضا*، ۴۵(۲)، ۳۴۳-۳۵۴.
<https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.275076.1007084>
- نگهبان، سعید؛ گنجائیان، حمید؛ ابراهیمی، عطربین و قیصریان، سیدسعدی. (۱۴۰۳). تحلیل نقش عوامل محیطی در وقوع سیلاب‌ها با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: غرب استان گلستان). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵(۴)، ۱-۱۸.
<https://doi.org/10.22108/gep.2024.142342.1659>
- نگهبان، سعید؛ گنجائیان، حمید؛ فریدونی کردستانی، مزده و چشمه‌سفیدی، زیبا. (۱۳۹۸). ارزیابی توسعه فیزیکی شهرها و گسترش به سمت مناطق ممنوعه ژئومورفولوژیکی با استفاده از LCM (مطالعه موردی: شهر سنندج). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۸(۲۰)، ۳۹-۵۲.
<https://doi.org/10.22111/jneh.2018.21943.1317>
- نیری، هادی؛ گنجائیان، حمید و امانی، خبات. (۱۳۹۷). ارزیابی شاخص‌های محیطی تناسب زمین برای گسترش کالبدی شهر سروآباد با تلفیق دو مدل تحلیل شبکه‌ای و منطق فازی. *جغرافیای اجتماعی شهری*، ۵(۱)، ۴۹-۶۲.
<https://doi.org/10.22103/JUSG.2018.1961>
- Al-Dogom, D., Schuckma, K., & Al-Ruzouq, R. (2018). Geostatistical Seismic Analysis and Analysis Hazard Assessment UNITED ARAB EMIRATES. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3(4), 29-36. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-29-2018>
- Anwana, E. O., & Owojori, O. M. (2023). Analysis of Flooding Vulnerability in Informal Settlements Literature: Mapping and Research Agenda. *Social Sciences*, 12(1), 40. <http://dx.doi.org/10.3390/socsci12010040>
- Chen, W., Zhao, X., & Shahabi, H. (2019). Spatial prediction of landslide susceptibility by combining evidential belief function, logistic regression, and logistic model tree. *Geocarto International*, 34, 1177-1201. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1588393>
- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). *Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions*. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.2202/1547-7355.1732>
- Erden, T., & Karaman, H. (2012). Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for K"uc"ukc,ekmece region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 475-483. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-475-2012>
- Gaillard, J. C., Wisner, B., & Kelman, I. (2012). The Routledge handbook of hazards and disaster risk reduction. Routledge. <https://www.routledge.com/Handbook-of-Hazards-and-Disaster-Risk-Reduction>
- Ganjaeian, H., Rezaei Arefi, M., Peysoozi, T., & Emami, K. (2021). Zonning susceptible areas of landslide using WLC and OWA methods -A case study in Mountain cliff Khan, Iran. *Sustainable Earth Trends*, 1(2), 35-43. <https://doi.org/10.52547/sustaineearth.1.2.43>
- Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi, M., & Maghsoudi, M. (2024). Evaluating the Impacts of Earthquake in Ezgele, Kermanshah (Iran) (Occurred on 2017/11/12). *Current Research in Environmental Science and Ecology Letters*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.33140/CRESEL.01.01.06>
- Jena, R., Pradhan, B., & Beydoun, G. (2020). Earthquake vulnerability assessment northera sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (46), 1-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101518>
- Kanamori, H. (2008). Earthquake physics and real-time seismology. *Nature* 451, 271-273. <https://doi.org/10.1038/nature06585>
- Li, S.Q., Qin, P.F., & Li, Y.R. (2024). Seismic vulnerability analysis of hospitals and school buildings considering the Gaussian regression algorithm. *Journal of Building Engineering*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110799>
- Pan, S. T., Cheng, Y.Y & Lin, C.H. (2019). Extrication time and earthquake-related mortality in the 2016 Taiwan earthquake. *Formosan Medical Association*, 11, <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2019.07.013>
- Sarris, A., Loupasakis, C., Souprios, P., Trigkas, V., & Vallianatos, F. (2010). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: Application to chania city, crete island, greece. *Natural Hazards*, 54 (2), 395-412. <https://doi.org/10.1007/S11069-009-9475-Z>
- Su, Q., Weiheng, T., Shiguang, M., Xiaoyuan, Zh., Kaixin, L., Xiaoye, S., Jianli, G., & Yonggang, Y. (2021). Landslide Susceptibility Zoning Using C5. 0 Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine and Comparison of Their Performance in a Coal Mine Area. *Frontiers in Earth Science*, 9. <http://dx.doi.org/10.3389/feart.2022.918386>
- Vahdat, K., Smith, N. J., & Amiri, G. G. (2014). Fuzzy multicriteria for developing a risk management system in seismically prone areas. *Socio-economic Planning Sciences*, 48 (4), 235-248. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2014.05.002>
- Wang, W., Zhang, W., & Xia, Q. (2012). Landslide Risk Zoning Based on Contribution Rate Weight Stack Method. *International Conference on Future Energy, Environment, and Materials*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.030>

- Yariyan, P., Rezaei, M., & Alavi Panah, S. K. (2020). A spatial multi-criteria evaluation model to seismic vulnerability assessment using GIS: A case study. *Environmental Earth Sciences*, 79(2), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8820-1>
- Zhang, X., Xie, H., Xu, Z., Li, Z., & Chen, B. (2024). Evaluating landslide susceptibility: an AHP method-based approach enhanced with optimized random forest modeling. *Natural Hazards*, 120, 8153–8207. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06306-1>
- Zheng, D., Fang, Q., Lei, D., Wang, Z., Yan, C., & Rong, Z. (2024). Large-scale geohazards risk of submarine landslides considering the subsea cables vulnerability: A case study from the northern continental slopes of South China Sea. *Engineering Geology*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107788>
- Zhou, J., Tan, Sh., Li, J., Xu, J., Wang, Ch., & Ye, H. (2023). Landslide Susceptibility Assessment Using the Analytic Hierarchy Process (AHP): A Case Study of a Construction Site for Photovoltaic Power Generation in Yunxian County, Southwest China. *Sustainability*, 15(6), 51–81. <http://dx.doi.org/10.3390/su15065281>

References

- Abedini, M., Azadi, F., & Babaei Olom, T. (2025). Zoning of landslide occurrence risk in the Nouranchay watershed using the ANP model. *Geography and Human Relations*, 8(29), 85–105. <https://doi.org/10.22034/gahr.2024.448417.2072> (In Persian)
- Al-Dogom, D., Schuckma, K., & Al-Ruzouq, R. (2018). Geostatistical Seismic Analysis and Analysis Hazard Assessment UNITED ARAB EMIRATES. *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3(4), 29–36. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-29-2018>
- Anwana, E. O., & Owojori, O. M. (2023). Analysis of Flooding Vulnerability in Informal Settlements Literature: Mapping and Research Agenda. *Social Sciences*, 12(1), 40. <http://dx.doi.org/10.3390/socsci12010040>
- Chen, W., Zhao, X., & Shahabi, H. (2019). Spatial prediction of landslide susceptibility by combining evidential belief function, logistic regression, and logistic model tree. *Geocarto International*, 34, 1177–1201. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1588393>
- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). *Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions*. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.2202/1547-7355.1732>
- Erden, T., & Karaman, H. (2012). Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for K“uc“ukmece region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 475–483. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-475-2012>
- Gaillard, J. C., Wisner, B., & Kelman, I. (2012). The Routledge handbook of hazards and disaster risk reduction. Routledge. <https://www.routledge.com/Handbook-of-Hazards-and-Disaster-Risk-Reduction>
- Ganjaeian, H. (2024). Assessment of seismicity potential of Iranian metropolises. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information (SEPEHR)*, 33(132), 173–188. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2024.2019284.3047> (In Persian)
- Ganjaeian, H. (2024). Spatial and temporal analysis of earthquakes in Iran during 1907–2023. *Geography and Environmental Hazards*, 13(4), 222–243. <https://doi.org/10.22067/geoh.2024.87246.1470> (In Persian)
- Ganjaeian, H., Nosrati, M., Ebrahimi, A., & Gheisarian, S. S. (2025). Assessment of the vulnerability of mountainous rural areas to natural hazards (Case study: Rural settlements of the Hawraman region). *Environmental Research in Mountain Territories*, 1(2), 57–70. <https://doi.org/10.22034/ermr.2024.63510> (In Persian)
- Ganjaeian, H., Rezaei Arefi, M., Peysoozi, T., & Emami, K. (2021). Zonning susceptible areas of landslide using WLC and OWA methods -A case study in Mountain cliff Khan, Iran. *Sustainable Earth Trends*, 1(2), 35–43. <https://doi.org/10.52547/sustaineearth.1.2.43>
- Ganjaeian, H., Shahjamali, M., Ebrahimi, A., & Akbarian, M. (2025). Identification of suitable areas for waste burial and disposal in Kamyaran County by applying prohibited zones. *Cross-Sectoral Environment and Development*, 10(87), 1–15. <https://doi.org/10.22034/envj.2025.500751.1458> (In Persian)
- Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi, M., & Maghsoudi, M. (2024). Evaluating the Impacts of Earthquake in Ezgele, Kermanshah (Iran) (Occurred on 2017/11/12). *Current Research in Environmental Science and Ecology Letters*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.33140/CRESEL.01.01.06>
- Jamini, D., Shahabi, H., Nazari, H., & Atashbahar, R. (2023). Identification of rural settlements exposed to landslide hazards 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)
- Jena, R., Pradhan, B., & Beydoun, G. (2020). Earthquake vulnerability assessment northera sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (46), 1–28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101518>
- Kanamori, H. (2008). Earthquake physics and real-time seismology. *Nature* 451, 271–273. <https://doi.org/10.1038/nature06585>

- Khazaei, J., & Ghaemi, M. (2015). Comparison and evaluation of landslide stabilization methods (Case study: Landslide at kilometer 194 of the Malayer–Kermanshah railway). *Geography and Environmental Sustainability*, 5(3), 39–53. https://ges.razi.ac.ir/article_380.html (In Persian)
- Kiani, S., Karimkhani, A., & Mazidi, A. (2021). Landslide hazard zoning using logistic regression and ANFIS models in the Hashtjin watershed, Ardabil Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(2), 55–73. <https://doi.org/10.22126/ges.2021.6461.2391> (In Persian)
- Li, S.Q., Qin, P.F., & Li, Y.R. (2024). Seismic vulnerability analysis of hospitals and school buildings considering the Gaussian regression algorithm. *Journal of Building Engineering*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110799>
- Mavasati, M., Ahmadzadeh, H., & Panahi, A. (2025). Analysis of the vulnerability level of urban areas to natural hazards (earthquakes) with emphasis on the crisis management approach (Case study: Tabriz Metropolis). *Geography and Planning*, 29(91), 218–243. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.59712.3218> (In Persian)
- Moavi, M., Alamizadeh, H., & Entezari, M. (2025). Landslide susceptibility modeling using an artificial neural network algorithm: Case study of the Shahid Abbaspour Dam watershed, northeastern Khuzestan. *Geography and Environmental Hazards*, 14(3). <https://doi.org/10.22067/geoh.2025.92634.1557> (In Persian)
- Mohammadkhan, S., Ganjaeian, H., Shahri, S., & Abbaszadeh, A. A. (2019). Prediction of urban development trends toward hazardous areas using multitemporal imagery: Case study of Marivan City. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information (SEPEHR)*, 28(110), 107–117. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36615> (In Persian)
- Negahban, S., Ganjaeian, H., Ebrahimi, A., & Emami, K. (2019). Monitoring and prediction of settlement area changes using multitemporal imagery (Case study: Sonqor City). *Earth and Space Physics*, 45(2), 343–354. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.275076.1007084> (In Persian)
- Negahban, S., Ganjaeian, H., Ebrahimi, A., & Gheisarian, S. S. (2024). Analysis of the role of environmental factors in flood occurrence using the Google Earth Engine system (Case study: Western Golestan Province). *Geography and Environmental Planning*, 35(4), 1–18. <https://doi.org/10.22108/gep.2024.142342.1659> (In Persian)
- Negahban, S., Ganjaeian, H., Faridouni-Kurdistani, M., & Cheshmeh-Safidi, Z. (2019). Assessment of urban physical development and expansion toward geomorphologically prohibited areas using LCM (Case study: Sanandaj City). *Natural Environmental Hazards*, 8(20), 39–52. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.21943.1317> (In Persian)
- Negahban, S., Pisoozi, T., Ganjaeian, H., & Norouzi, M. (2021). Identification of areas susceptible to landslides and vertical displacement using radar imagery (Case study: Urban and peri-urban areas of Lavasan). *Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 1–18. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.71728.1094> (In Persian)
- Neyri, H., Ganjaeian, H., & Amani, K. (2018). Assessment of environmental land suitability indices for the physical expansion of Sarvabad City by integrating network analysis and fuzzy logic models. *Urban Social Geography*, 5(1), 49–62. <https://doi.org/10.22103/JUSG.2018.1961> (In Persian)
- Pan, S. T., Cheng, Y.Y & Lin, C.H. (2019). Extrication time and earthquake-related mortality in the 2016 Taiwan earthquake. *Formosan Medical Association*, 11, <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2019.07.013>
- Pireh, M., & Ganjaeian, H. (2024). Analysis of landslides occurring in relation to environmental factors (Case study: Sanandaj County). *Geography and Human Relations*, 7(3), 242–278. <https://doi.org/10.22034/gahr.2025.458065.2135> (In Persian)
- Rezapour, A., Jabbari, I., & Bahrami, K. (2023). The effect of groundwater on the landslide of the southern slope of Shahneshin Mountain. *Physical Geography Research*, 55(3), 19–36. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2023.364630.1007788> (In Persian)
- Safaipour, M., Maleki, S., Ghaedi, S., & Ebrahimi, A. (2024). Analysis and proposal of a physical development pattern for Izeh City with emphasis on natural hazards. *Crisis Management*, 13(4), 21–35. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1403.13.4.2.9> (In Persian)
- Safarinamivandi, M., Ganjaeian, H., Nosrati, M., & Mohammadian, K. (2024). Identification of flooded areas and analysis of factors affecting their occurrence (Case study: Southeastern Sistan and Baluchestan Province). *Quantitative Geomorphological Research*, 13(2), 181–194. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.449586.1494> (In Persian)
- Salari, M., Neyri, H., Ganjaeian, H., & Amani, K. (2018). Site selection of suitable directions for the urban development of Kamyaran using a hazard-oriented approach based on the application of geomorphological prohibited zones. *Environmental Hazards Management*, 4(4), 419–436. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2018.252694.341> (In Persian)
- Salari, M., Neyri, H., Ganjaeian, H., & Amani, K. (2020). Assessment and prediction of the physical development trend of settlements with emphasis on the geomorphological approach and environmental management (Case

- study: Paveh City). *Quantitative Geomorphological Research*, 9(1), 86–101. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.109536> (In Persian)
- Sarris, A., Loupasakis, C., Soupios, P., Trigkas, V., & Vallianatos, F. (2010). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: Application to chania city, crete island, greece. *Natural Hazards*, 54 (2), 395-412. <https://doi.org/10.1007/S11069-009-9475-Z>
- Sharifi, H., Ramezanipour, M., & Ebrahimi, L. (2024). Investigation of urban spatial development in response to environmental hazards (Case study: Noor County). *Applied Research in Geographical Sciences*, 24(75), 354–377. <https://doi.org/10.61186/jgs.24.75.4> (In Persian)
- Su, Q., Weiheng, T., Shiguang, M., Xiaoyuan, Zh., Kaixin, L., Xiaoye, S., Jianli, G., & Yonggang, Y. (2021). Landslide Susceptibility Zoning Using C5. 0 Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine and Comparison of Their Performance in a Coal Mine Area. *Frontiers in Earth Science*, 9. <http://dx.doi.org/10.3389/feart.2022.918386>
- Tabesh, S., Nouri Khanyordi, M., Dousti, M., & Ganjaeian, H. (2020). Presenting a proposed model for locating sports facilities using an integrated WLC and AHP model (Case study: Tabriz City). *Sport Management and Development*, 9(21), 2–22. <https://doi.org/10.22124/jsmd.2020.4096> (In Persian)
- Vahdat, K., Smith, N. J., & Amiri, G. G. (2014). Fuzzy multicriteria for developing a risk management system in seismically prone areas. *Socio-economic Planning Sciences*, 48 (4), 235-248. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2014.05.002>
- Wang, W., Zhang, W., & Xia, Q. (2012). Landslide Risk Zoning Based on Contribution Rate Weight Stack Method. *International Conference on Future Energy. Environment, and Materials*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.030>
- Yariyan, P., Rezaei, M., & Alavi Panah, S. K. (2020). A spatial multi-criteria evaluation model to seismic vulnerability assessment using GIS: A case study. *Environmental Earth Sciences*, 79(2), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8820-1>
- Zandmoghadam, M. R. (2023). Zoning the city based on vulnerability to natural hazards (Case study: Nasim Shahr). *Geography and Environmental Studies*, 12(46), 60–77. https://journals.iau.ir/article_697723.html (In Persian)
- Zhang, X., Xie, H., Xu, Z, Li, Z., & Chen, B. (2024). Evaluating landslide susceptibility: an AHP method-based approach enhanced with optimized random forest modeling. *Natural Hazards*, 120, 8153–8207. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06306-1>
- Zheng, D., Fang, Q., Lei, D., Wang, Z., Yan, C., & Rong, Z. (2024). Large-scale geohazards risk of submarine landslides considering the subsea cables vulnerability: A case study from the northern continental slopes of South China Sea. *Engineering Geology*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107788>
- Zhou, J., Tan, Sh., Li, J., Xu, J., Wang, Ch., & Ye, H. (2023). Landslide Susceptibility Assessment Using the Analytic Hierarchy Process (AHP): A Case Study of a Construction Site for Photovoltaic Power Generation in Yunxian County, Southwest China. *Sustainability*, 15(6), 51-81. <http://dx.doi.org/10.3390/su15065281>