



Urban earthquake vulnerability assessment using GIS and fuzzy modeling; case study: Izeh city

Majid Goodarzi^{1✉}, Zahra Soltani², and Aezam Ebrahimi³

1. Corresponding author, Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: M.goodarzi@scu.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: Z.soltani@scu.ac.ir
3. PhD Student, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: ebrahimieliamm@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 6 January 2026
Received in revised form 15 February 2026
Accepted 10 March 2026
Available online 30 June 2026

Keywords:

Urban vulnerability,
Earthquake,
Fuzzy logic,
Analytic Network Process (ANP),
Izeh City.

ABSTRACT

Objective: Earthquakes are among the most significant natural hazards and pose a serious threat to urban settlements. The extent of damage caused by this hazard is influenced by the geological, environmental, and spatial characteristics of cities. Due to its location within the Zagros zone and proximity to the Main Zagros Fault, Izeh City exhibits varying levels of seismic vulnerability across its urban area. Therefore, identifying and spatially zoning vulnerability can contribute to risk reduction planning and crisis management. This study aimed to assess and spatially zone the seismic vulnerability of Izeh City.

Method: This applied study employed a descriptive-analytical approach based on spatial analysis. Six criteria were selected to assess vulnerability: distance from faults, lithology, slope, land use, distance from open spaces, and distance from major roads. The spatial data included a 30-m SRTM digital elevation model, a geological map, and digital layers of the urban area. Following data preprocessing, the criteria were standardized using fuzzy logic in ArcGIS. The criteria were then weighted using the Analytic Network Process (ANP), and the weighted layers were finally integrated using a fuzzy gamma operator with a value of 0.7.

Results: The results showed that seismic vulnerability in Izeh City has a heterogeneous spatial distribution. According to the final map, 1.9 km² (13.6%) of the urban area falls within the very high vulnerability class, while 4.8 km² (34.3%) falls within the high vulnerability class. In addition, 0.7 km² (5%) has moderate vulnerability, 1.3 km² (9.3%) has low vulnerability, and 5.3 km² (37.9%) has very low vulnerability. Analysis of the criteria showed that proximity to the Main Zagros Fault is the most important factor affecting the city's seismic vulnerability. The central parts of the city also exhibit higher vulnerability due to land-use conditions, distance from open spaces, and access to major roads.

Conclusions: The results indicate that the seismic vulnerability of Izeh City results from the interaction of tectonic, environmental, and spatial factors. The considerable proportion of the city classified as having high and very high vulnerability highlights the need to incorporate seismic considerations into urban planning. The integration of GIS, fuzzy logic, and ANP can provide an effective approach for identifying vulnerable zones and supporting spatial decision-making. Controlling development in high-risk zones, strengthening open spaces, and considering geological conditions in urban planning can contribute to reducing the seismic vulnerability of Izeh City.

Cite this article: Goodarzi, M. Soltani, Z. Ebrahimi, A. (2026). Urban earthquake vulnerability assessment using GIS and fuzzy modeling; case study: Izeh city. *Housing and Rural Environment*, 45(194), 135-152.
<https://doi.org/10.22034/JHRE.45.194.135>



© Author(s) retain the copyright.

Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).

DOI: <https://doi.org/10.22034/JHRE.45.194.135>

Introduction

Earthquakes are among the most destructive natural hazards, posing serious threats to urban areas due to their sudden occurrence and extensive physical, social, and economic impacts. Rapid urbanization, population growth, and unplanned spatial development have significantly increased urban exposure and vulnerability to seismic hazards. Urban vulnerability is a multidimensional concept that reflects the susceptibility of urban systems to damage and is influenced by physical, spatial, and environmental factors. Among these, physical and spatial characteristics such as proximity to active faults, geological structure, slope, land use patterns, and accessibility to open spaces play a decisive role in determining the severity of earthquake impacts. Iran lies within the Alpine–Himalayan seismic belt and has numerous active faults, making many cities highly vulnerable to earthquake hazards. Izeh, located in the Zagros mountainous zone and close to the Main Zagros Fault, is one of the urban areas with considerable seismic risk. Despite this exposure, comprehensive spatial assessments of seismic vulnerability in Izeh remain limited. Recent advancements in Geographic Information Systems (GIS) and fuzzy logic modeling have provided effective tools for analyzing complex spatial phenomena and managing uncertainty in vulnerability assessment. Therefore, this study aims to evaluate and map urban seismic vulnerability in Izeh using a GIS-based fuzzy modeling approach to identify high-risk areas and support informed decision-making in urban planning and disaster risk reduction.

Method

This study adopts a descriptive–analytical approach based on spatial analysis and multi-criteria decision-making techniques. We used a GIS-based framework integrating fuzzy logic and the Analytic Network Process (ANP) to assess urban vulnerability to earthquake hazards. Spatial data used in this research include a 30-meter resolution Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digital elevation model, a 1:100,000 geological map, land use data, road networks, fault lines, and open space layers. Based on a review of previous studies, expert knowledge, and regional characteristics, we selected six key criteria influencing seismic vulnerability: distance to active faults, lithology, slope, land use, distance to open spaces, and distance to main roads. All criteria were prepared as raster layers and standardized using fuzzy membership functions, assigning values between 0 and 1 to represent varying degrees of vulnerability. The ANP method determined the relative importance of the criteria, accounting for interdependencies among factors. Experts completed pairwise comparison matrices, and SuperDecisions software calculated the final weights. The weighted fuzzy layers were integrated using the fuzzy gamma operator to balance the effects of fuzzy AND and OR operators. After evaluating different gamma values, we selected $\gamma = 0.7$. The final vulnerability map was classified into five vulnerability levels.

Results

The GIS-based fuzzy modeling results indicate a heterogeneous spatial distribution of seismic vulnerability across the city of Izeh. The final vulnerability map shows that a considerable

proportion of the urban area falls within moderate to high vulnerability levels, reflecting the combined effects of tectonic, geological, and spatial factors. Highly vulnerable zones are predominantly concentrated near the Main Zagros Fault, confirming the strong influence of tectonic proximity on urban vulnerability. The ANP weighting results further demonstrate that distance to the main fault is the most influential criterion, outweighing other factors such as slope, lithology, and land use. Although slope contributes to vulnerability in certain areas, it is less dominant than fault proximity, distinguishing Izeh from mountainous rural regions such as the Oraman area, where steep slopes are the primary vulnerability factor.

Additionally, areas with unfavorable lithological conditions and limited access to open spaces exhibit higher vulnerability levels, as these factors can exacerbate structural damage and hinder evacuation and emergency response. The results are consistent with previous national and international studies that emphasize the importance of integrating multiple spatial criteria in seismic vulnerability assessment. Overall, the findings highlight the effectiveness of combining GIS, fuzzy logic, and ANP to identify high-risk urban zones and capture spatial variations in vulnerability.

Conclusions

This study shows that integrating GIS-based spatial analysis, fuzzy logic, and multi-criteria decision-making provides a robust framework for assessing urban seismic vulnerability. The Izeh case study confirms that proximity to the Main Zagros Fault is the dominant factor influencing seismic vulnerability, underscoring the critical role of tectonic conditions in earthquake risk assessment. The heterogeneous vulnerability pattern across the city highlights the need for spatially differentiated risk management strategies. These results align with previous studies in seismically active regions of Iran and elsewhere, while also emphasizing that dominant vulnerability factors may vary with local geomorphological and tectonic settings. The study underscores the importance of incorporating vulnerability maps into urban development plans, land-use regulation, and disaster preparedness strategies. By identifying high-vulnerability zones, decision-makers can prioritize mitigation measures such as enforcing seismic building codes, enhancing open spaces for emergency evacuation, and strengthening infrastructure resilience. Furthermore, the methodological framework applied in this research can be adapted to other urban areas with similar seismic conditions. Overall, the study contributes to improving earthquake risk management and enhancing urban resilience through informed, spatially explicit decision-making.

Author Contributions

All authors contributed equally to the article's conceptualization and the writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors thank all participants in the present study. In this section, you can acknowledge any support given which is not covered by the author contribution or funding sections. This may include administrative and technical support, or donations in kind (e.g., materials used for experiments).

The authors thank all participants in the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive financial support from any organization.

Conflict of interest

The authors report no conflicts of interest.

ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زمین‌لرزه با رویکرد GIS و مدل‌سازی فازی؛ مطالعه

موردی: شهر ایزه

مجید گودرزی^۱✉، زهرا سلطانی^۲، اعظم ابراهیمی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:

M.goodarzi@scu.ac.ir

۲. دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:

Z.soltani@scu.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:

ebrahimieliamm@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

هدف: زمین‌لرزه یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی و تهدیدی جدی برای سکونتگاه‌های شهری است. میزان خسارات ناشی از این مخاطره تحت تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناختی، محیطی و فضایی شهر قرار دارد. شهر ایزه به دلیل قرارگیری در پهنه زاگرس و مجاورت با گسل اصلی زاگرس، از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای دارای شرایط متفاوتی در سطح محدوده شهری است. از این‌رو، شناسایی و پهنه‌بندی فضایی آسیب‌پذیری می‌تواند در برنامه‌ریزی کاهش خطر و مدیریت بحران مؤثر باشد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر ایزه در برابر زمین‌لرزه انجام شده است.

روش پژوهش: پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر تحلیل‌های مکانی است. برای ارزیابی آسیب‌پذیری، شش معیار شامل فاصله از گسل، لیتولوژی، شیب، کاربری اراضی، فاصله از فضاهای باز و فاصله از جاده‌های اصلی انتخاب شد. داده‌های مکانی شامل مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری SRTM، نقشه زمین‌شناسی و لایه‌های رقومی محدوده شهری بود. معیارها پس از آماده‌سازی، با استفاده از منطق فازی در محیط ArcGIS استانداردسازی شدند. سپس وزن معیارها با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) تعیین و در نهایت لایه‌های وزن‌دهی شده با استفاده از عملگر گامای فازی با مقدار ۰.۷ تلفیق شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر ایزه دارای توزیع فضایی ناهمگون است. بر اساس نقشه نهایی، ۱/۹ کیلومترمربع (۱۳/۶ درصد) از محدوده شهری در طبقه آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۴/۸ کیلومترمربع (۳۴/۳ درصد) در طبقه آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. همچنین ۰/۷ کیلومترمربع (۵ درصد) دارای آسیب‌پذیری متوسط، ۱/۳ کیلومترمربع (۹/۳ درصد) آسیب‌پذیری کم و ۵/۳ کیلومترمربع (۳۷/۹ درصد) آسیب‌پذیری خیلی کم است. نتایج تحلیل معیارها نشان داد نزدیکی به گسل اصلی زاگرس مهم‌ترین عامل مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر است. همچنین بخش‌های مرکزی شهر به دلیل شرایط کاربری، فاصله از فضاهای باز و وضعیت دسترسی به جاده‌های اصلی، آسیب‌پذیری بیشتری دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج بیانگر آن است که آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایزه حاصل برهم‌کنش عوامل زمین‌ساختی، محیطی و فضایی است. قرارگیری بخش قابل‌توجهی از شهر در طبقات آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد، ضرورت توجه به ملاحظات لرزه‌ای در برنامه‌ریزی شهری را نشان می‌دهد. تلفیق GIS، منطق فازی و ANP می‌تواند روشی کارآمد برای شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر و پشتیبانی از تصمیم‌گیری فضایی باشد. کنترل توسعه در پهنه‌های پرخطر، تقویت فضاهای باز و توجه به شرایط زمین‌شناختی در برنامه‌ریزی شهری می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری شهر ایزه کمک کند.

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

کلیدواژه‌ها:

آسیب‌پذیری شهری،

زمین‌لرزه،

منطق فازی،

تحلیل شبکه‌ای،

شهر ایزه.

استناد: گودرزی، مجید، سلطانی، زهرا، ابراهیمی، اعظم. (۱۴۰۵). ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زمین‌لرزه با رویکرد GIS و مدل‌سازی فازی؛ مطالعه موردی:

شهر ایزه. *مسکن و محیط روستا*، ۴۵ (۱۹۴)، ۱۳۵-۱۵۲. <https://doi.org/10.22034/JHRE.45.194.135>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه پژوهشی سوانح طبیعی.

مقدمه

زمین‌لرزه به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی، همواره تهدیدی جدی برای سکونتگاه‌های انسانی، به‌ویژه شهرها به شمار می‌رود (Blaikie et al., 1994; Qadri et al., 2023; Usta Evci et al., 2025). ماهیت ناگهانی، گستره وسیع اثرگذاری و پیامدهای انسانی، اقتصادی و کالبدی آن موجب شده است که ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر این مخاطره به یکی از محورهای اساسی مطالعات برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران تبدیل شود (Aydinoglu & Demir, 2016; Li et al., 2021; Alizadeh et al., 2021). آسیب‌پذیری شهری مفهومی چندبعدی است که شامل ابعاد کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی بوده و میزان تأثیرپذیری یک سیستم شهری از مخاطرات طبیعی را نشان می‌دهد (Coburn et al., 1994; Cutter et al., 2003; Alizadeh et al., 2018; Koutsoupakis et al., 2021). در این میان، آسیب‌پذیری کالبدی و به‌ویژه آسیب‌پذیری عمودی شهرها، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ساختاری، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان خسارات ناشی از زمین‌لرزه ایفا می‌کند (Panahi et al., 2014; Banica et al., 2017; Ganjaeian, 2021; Wang et al., 2022).

با گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت شهری، فشار بر فضاهای شهری و تقاضا برای مسکن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (Mohammadkhan et al., 2019; Negahban et al., 2019; Salari et al., 2020; Goodarzi et al., 2024). این روند در بسیاری از موارد منجر به ساخت‌وسازهای شتاب‌زده، غیرمجاز یا فاقد استانداردهای لازم مقاوم‌سازی شده و به افزایش تراکم ساختمانی و کاهش کیفیت سازه‌ها انجامیده است (Mohammad et al., 2022; Afsari et al., 2023; Koren & Rus, 2023). تمرکز جمعیت در فضاهای محدود شهری، به‌ویژه در ساختمان‌های چندطبقه و بلندمرتبه، سبب افزایش تعداد افراد در معرض خطر در زمان وقوع زمین‌لرزه شده و فرایند مدیریت بحران، امدادسانی و تخلیه اضطراری را با چالش‌های جدی مواجه می‌سازد (Patane et al., 2022; Albulescu, 2023). بنابراین، افزایش جمعیت و توسعه نامتوازن شهری را می‌توان از عوامل کلیدی تشدید آسیب‌پذیری شهرها در برابر زمین‌لرزه دانست (Pitidis et al., 2018; Quiñones-Bustos et al., 2021).

تجربه زمین‌لرزه‌های ویرانگر در ایران، ازجمله زمین‌لرزه‌های طبرس، رودبار، بم و سرپل ذهاب، به‌خوبی نشان می‌دهد که علاوه بر شدت زمین‌لرزه، میزان آسیب‌پذیری شهری نقش اساسی در ابعاد خسارات جانی و مالی دارد (Ghasemi et al., 2021). ضعف در رعایت مقررات ملی ساختمان، فرسودگی بافت‌های شهری، استفاده از مصالح نامناسب و توسعه عمودی کنترل‌نشده، ازجمله عواملی هستند که آسیب‌پذیری شهرهای کشور را در برابر مخاطره زمین‌لرزه افزایش داده‌اند (Goodarzi et al., 2025; Mirshekarpour et al., 2023). افزون بر این، در بسیاری از شهرهای ایران، توسعه شهری بدون توجه کافی به پهنه‌بندی خطر زلزله و ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی صورت گرفته است که خود بر افزایش سطح ریسک لرزه‌ای می‌افزاید. ازاین‌رو، شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر و ارزیابی دقیق وضعیت شهرها، گامی اساسی در جهت کاهش خطرپذیری و ارتقای تاب‌آوری شهری به شمار می‌رود.

به‌طور کلی، مناطق مختلف تحت تأثیر شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و عوامل هیدرواقليمی، از پتانسیل‌های متفاوتی در بروز مخاطرات طبیعی، ازجمله زمین‌لرزه، برخوردارند (Negahban et al., 2021; Asadi et al., 2024). ایران به دلیل موقعیت زمین‌ساختی خاص خود و قرارگیری در کمربند لرزه‌خیز آلپ-همیالیا، یکی از زلزله‌خیزترین کشورهای جهان محسوب می‌شود. وجود گسل‌های فعال متعدد سبب شده است که بخش قابل‌توجهی از شهرها و سکونتگاه‌های کشور همواره در معرض خطر زمین‌لرزه‌های مخرب قرار داشته باشند (Ganjaeian et al., 2021).

در این میان، شهر ایزه به‌عنوان یکی از شهرهای واقع در واحد کوهستانی زاگرس، شرایط ویژه‌ای از نظر خطر زمین‌لرزه دارد. این شهر در نزدیکی گسل اصلی زاگرس، که از مهم‌ترین و فعال‌ترین گسل‌های ایران به شمار می‌رود، قرار گرفته و ازاین‌رو دارای پتانسیل بالای آسیب‌پذیری لرزه‌ای است. همچنین، استان خوزستان در بازه زمانی ۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳ شاهد وقوع ۵۸۰

زمین لرزه با بزرگی بیش از ۳ ریشتر بوده است که بیانگر فعالیت لرزه‌ای قابل توجه منطقه است (Ganjaean, 2024). رشد جمعیت شهری ایذه، همراه با گسترش کالبدی و توسعه عمودی ساختمان‌ها بدون ارزیابی دقیق خطر زمین لرزه، می‌تواند پیامدهای ناگواری در زمان وقوع زلزله به دنبال داشته باشد. وجود بافت‌های مسکونی متراکم، تفاوت در کیفیت سازه‌های ساختمانی و محدودیت دسترسی در برخی محلات، ضرورت انجام مطالعات جامع و دقیق آسیب‌پذیری را دوچندان می‌کند. بر این اساس، مسئله اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ایذه در برابر زمین لرزه با استفاده از رویکرد GIS و مدل سازی فازی است. این پژوهش می‌کوشد با تلفیق شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری و تحلیل فضایی آن‌ها، مناطق پرخطر شهری را شناسایی کرده و زمینه‌ای علمی برای برنامه‌ریزی کاهش خطر، مدیریت بحران و ارتقای تاب‌آوری شهری فراهم آورد.

پیشینه پژوهش

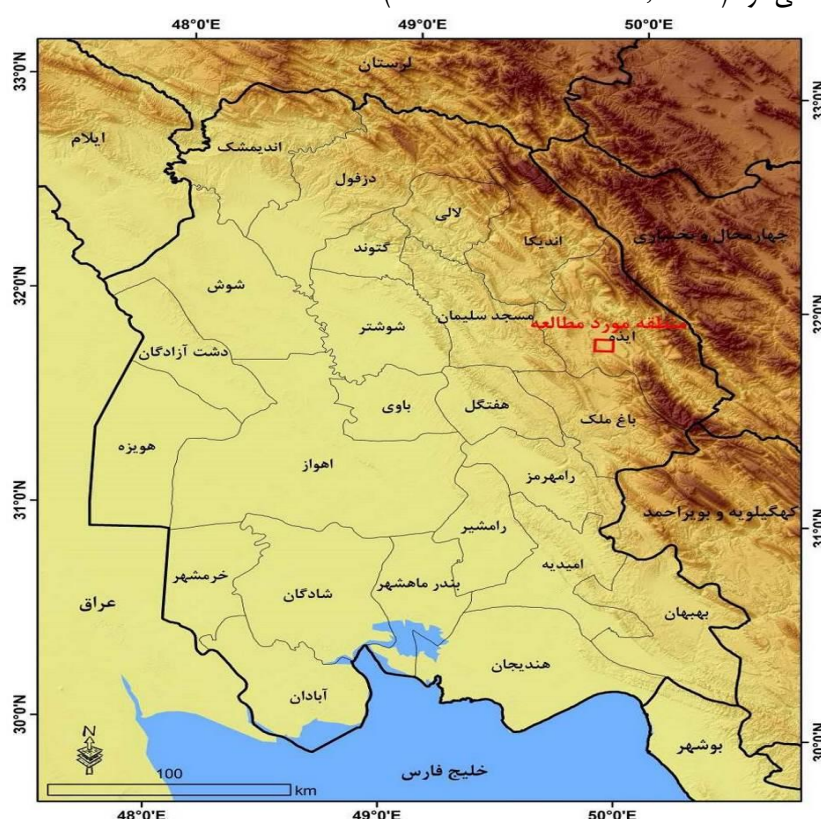
در ارتباط با موضوع مورد مطالعه، تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به راشد و ویکس^۱ (۲۰۰۳) اشاره کرد که به ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر خطرات زلزله در مناطق شهری با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره پرداختند. نتایج آن تحقیق نشان داده است که تحلیل چند معیاره و منطق فازی در GIS می‌تواند به‌عنوان ین رویکرد مهم در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر مورد استفاده قرار گیرد. ایزکیردو-هورنا و کاهات^۲ (۲۰۲۰) در پژوهش خود تحت عنوان رویکردی میان‌رشته‌ای برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زلزله، به این نتیجه رسیده‌اند که ابعاد اجتماعی و فیزیکی در تلاقی با هم به‌عنوان یک سناریو برای شناسایی مناطق مستعد زلزله مورد استفاده قرار بگیرد. هوآنگ^۳ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی عوامل و سازوکارهای مؤثر بر کاهش آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زمین لرزه در چین پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نظام سیاست‌گذاری به‌عنوان مهم‌ترین عامل، و نحوه تخصیص منابع به‌عنوان اثرگذارترین مؤلفه، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر بحران‌ها ایفا می‌کنند. جیانگ^۴ و همکاران (۲۰۲۵) به شناسایی وضعیت آسیب‌پذیری شهر جنگدو کشور چین در برابر مخاطره زمین لرزه و همچنین شناسایی مناطق مستعد آن جهت ایجاد سرپناه پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر پتانسیل آسیب‌پذیری بالای این شهر در برابر زمین لرزه و نیاز ویژه به ایجاد سرپناه است. در ایران نیز پرویزیان و ملکی (۲۰۲۲) به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری منطقه ۶ کلان‌شهر اهواز در برابر مخاطره زمین لرزه پرداختند. در این تحقیق از مدل IHWP استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که ویژگی‌های کالبدی ساختمان به‌اندازه عواملی مانند کاربری زمین، تراکم جمعیت، و زمان وقوع زلزله اهمیت دارد که در میزان آسیب‌پذیری و فعالیت‌های امداد و نجات نقش مؤثری دارد. اجتماعی و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان خنج در برابر مخاطره زمین لرزه پرداختند. در این تحقیق از روش‌های توصیفی-تحلیلی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که ۱۴ روستای ایران در طبقه با پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد در برابر مخاطره زمین لرزه قرار دارند. عابدینی و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان آبدانان در مقابل خطر زلزله پرداختند. در این تحقیق از روش‌های تحلیل چندمعیاره استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که ۴۰ روستای منطقه، در طبقه پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیاد در برابر مخاطره زمین لرزه قرار دارند. گنجائیان و همکاران (۲۰۲۵) به شناسایی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای اورامان در برابر مخاطرات طبیعی از جمله زمین لرزه پرداختند. در این تحقیق از روش منطق فازی و AHP استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که بخش زیادی از روستاهای این منطقه، به دلیل شیب زیاد و نزدیکی به گسل، پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر مخاطره زمین لرزه دارند. مواساتی و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری منطقه شهری تبریز در برابر مخاطره

1. Rashed & Weeks
2. Izquierdo-Horna & Kahhat
3. Huang
4. Jiang

زمین لرزه پرداختند. در این تحقیق از روش منطق فازی و AHP استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که مناطق ۱ و ۱۰ شهر تبریز، دارای بالاترین پتانسیل آسیب پذیری در برابر مخاطره زمین لرزه است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق شامل محدوده شهری ایذه است. شهر ایذه، مرکز شهرستان ایذه است. شهرستان ایذه از نظر تقسیمات سیاسی در شمال شرق استان خوزستان قرار دارد (شکل ۱). بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، شهر ایذه حدود ۱۵۵۰۰۰ نفر جمعیت داشته است. شهر ایذه با طول حدود ۴/۵ و عرض حدود ۳/۵ کیلومتر، در ارتفاع ۸۴۰ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهر از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در واحد زاگرس قرار دارد که از سمت شرق به زاگرس چین خورده و از سمت غرب به جلگه خوزستان منتهی می شود. از نظر ژئومورفولوژی، شهر ایذه در واحد دشت قرار دارد و از اطراف به ارتفاعات زاگرس و همچنین تالاب میانگران محدود می شود (Goodarzi & Ebrahimi, 2023).



شکل ۱. نقشه موقعیت شهر ایذه؛ منبع: استانداری خوزستان، ۱۴۰۴؛ ترسیم: نگارندگان

روش شناسی پژوهش

در این پژوهش، به منظور ارزیابی آسیب پذیری شهری در برابر مخاطره زمین لرزه، از مجموعه ای از داده های مکانی و توصیفی استفاده شده است. مهم ترین داده های مورد استفاده شامل مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر حاصل از داده های SRTM، نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و لایه های رقومی مربوط به محدوده مورد مطالعه بوده است. این داده ها مبنای اصلی تحلیل های فضایی و مدل سازی در تحقیق حاضر را تشکیل می دهند. ابزارهای اصلی مورد استفاده در این پژوهش نرم افزارهای ArcGIS و Super Decisions بوده اند؛ به گونه ای که نرم افزار ArcGIS به منظور فازی سازی لایه ها، انجام تحلیل های مکانی و تهیه نقشه های نهایی، و نرم افزار Super Decisions برای وزن دهی به پارامترها به کار گرفته شده است. باتوجه به اهداف تحقیق، فرایند پژوهش در چند مرحله انجام شده که در ادامه تشریح می شود.

مرحله اول (تهیه لایه های اطلاعاتی و استاندارد سازی آن ها): در این مرحله، به منظور شناسایی مناطق آسیب پذیر در

برابر مخاطره زمین لرزه، از شش پارامتر اصلی شامل فاصله از گسل، نوع لیتولوژی، شیب، نوع کاربری اراضی، فاصله از فضاهای باز و فاصله از جاده های اصلی استفاده شده است. انتخاب این پارامترها بر اساس مطالعات کتابخانه ای، بررسی پیشینه پژوهش، نظرات کارشناسان (۵ کارشناس ژئومورفولوژی و ۵ کارشناس جغرافیا و برنامه ریزی شهری) و همچنین شرایط و ویژگی های منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است. لازم به ذکر است که یکی از پارامترهای مؤثر در تعیین میزان آسیب پذیری در برابر مخاطره زمین لرزه، کیفیت ساختمان ها است ولی باتوجه به اینکه اطلاعات مورد نیاز در مورد کیفیت مصالح و مقاومت ساختمان های شهر ایزه در دسترس نیست، بنابراین از این پارامتر استفاده نشده است و این به عنوان مهم ترین محدودیت تحقیق حاضر محسوب می شود.

پس از تهیه لایه های اطلاعاتی مربوط به هر یک از پارامترها، به منظور تلفیق آن ها و تهیه نقشه نهایی، لایه ها با استفاده از منطق فازی استاندارد سازی شدند. در فرایند فازی سازی، به نواحی سکونتگاهی، مناطق دور از فضاهای باز، مناطق دور از جاده های اصلی، مناطق نزدیک به خطوط گسلی، نواحی دارای شیب زیاد و مناطق با لیتولوژی آبرفتی، مقادیر فازی نزدیک به یک اختصاص داده شد که نشان دهنده آسیب پذیری بالاتر است. در مقابل، به مناطق دارای کاربری فضای باز، نواحی نزدیک به فضاهای باز، مناطق نزدیک به جاده های اصلی، مناطق دور از خطوط گسلی، نواحی با شیب کم و مناطق دارای لیتولوژی آهکی، مقادیر فازی نزدیک به صفر تخصیص یافت که بیانگر آسیب پذیری کمتر این مناطق است.

مرحله دوم (وزن دهی به پارامترها): پس از تهیه و فازی سازی لایه های اطلاعاتی، به منظور تعیین میزان اهمیت نسبی هر یک از پارامترها، از مدل تحلیل شبکه ای (ANP) استفاده شده است. در این مرحله، ابتدا ساختار شبکه ای مدل با در نظر گرفتن روابط درونی و بیرونی میان معیارها طراحی شد. سپس، با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی شامل ۶ سطر و ۶ ستون، میزان اهمیت و تأثیر هر یک از معیارها نسبت به یکدیگر تعیین گردید. امتیازدهی به معیارها از طریق تدوین پرسش نامه و بهره گیری از نظرات کارشناسان و متخصصان حوزه های مرتبط انجام شده است. محاسبات مربوط به وزن دهی با استفاده از نرم افزار Super Decisions صورت گرفت و پس از استخراج وزن های نهایی هر یک از معیارها، این وزن ها در محیط نرم افزار ArcGIS بر روی لایه های فازی شده اعمال شدند.

مرحله سوم (شناسایی مناطق آسیب پذیر در برابر زمین لرزه): در این مرحله، لایه های فازی شده با اعمال وزن های به دست آمده از مدل ANP، با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه نهایی آسیب پذیری استخراج گردید. برای تلفیق لایه ها در مدل فازی، از عملگر گامای فازی استفاده شده است. این عملگر به منظور تعدیل حساسیت بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت پایین عملگر فازی جمع به کار گرفته شده است. پس از بررسی و ارزیابی مقادیر مختلف گاما، مقدار 0.7 به عنوان مقدار بهینه انتخاب گردید. در نهایت، با هم پوشانی لایه های اطلاعاتی، نقشه نهایی مناطق آسیب پذیر در برابر زمین لرزه در پنج کلاس آسیب پذیری تهیه شد.

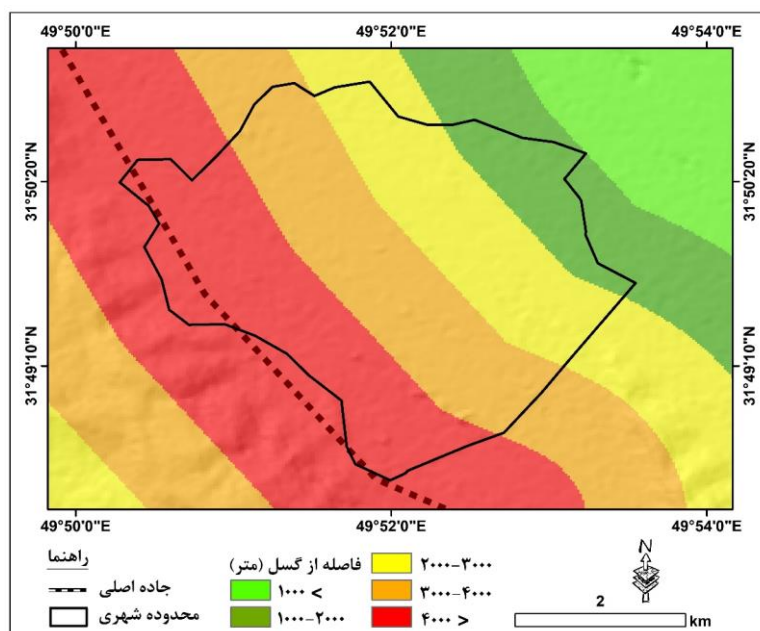
یافته های پژوهش

تشریح پارامترهای مورد استفاده

در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق آسیب پذیر در برابر مخاطره زمین لرزه از ۶ پارامتر فاصله از گسل، نوع لیتولوژی، شیب، نوع کاربری اراضی، فاصله از فضاهای باز و فاصله از جاده های اصلی استفاده شده است. لازم به ذکر است که انتخاب پارامترها بر مبنای مطالعات کتابخانه ای، نظرات کارشناسان و وضعیت منطقه بوده است. در ادامه به تشریح پارامترهای مورد نظر پرداخته شده است.

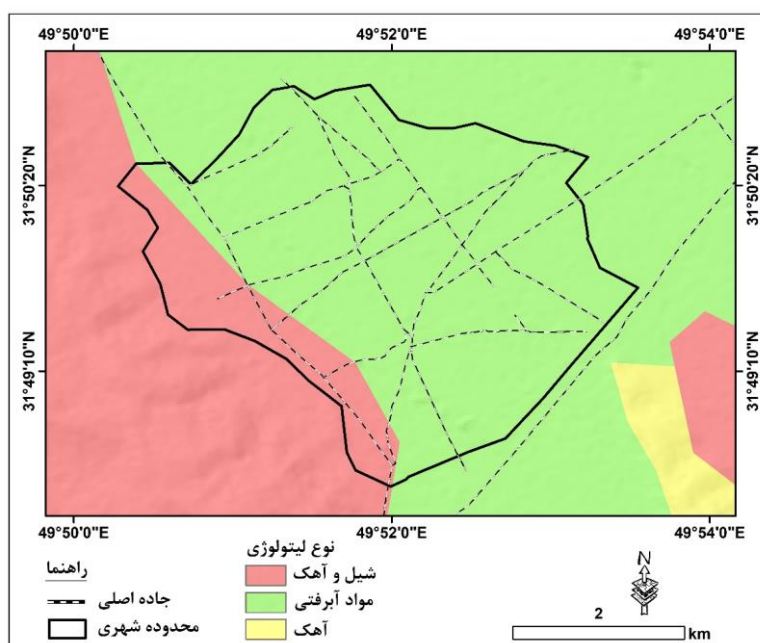
۱. فاصله از گسل: عامل اصلی وقوع زمین لرزه گسل است. مناطق نزدیک به خطوط گسلی، دارای پتانسیل لرزه خیزی بالایی هستند و همچنین این مناطق پتانسیل آسیب پذیری بیشتری در برابر زمین لرزه دارند. وجود گسل ایزه در بخش غربی شهر ایزه سبب شده است تا این شهر در معرض خسارات ناشی از این گسل باشد. در شکل ۲، نقشه طبقات فاصله از خطوط گسل تهیه

شده است که بر اساس آن، مناطق غربی شهر ایزده به دلیل نزدیکی به خطوط گسل، پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند.



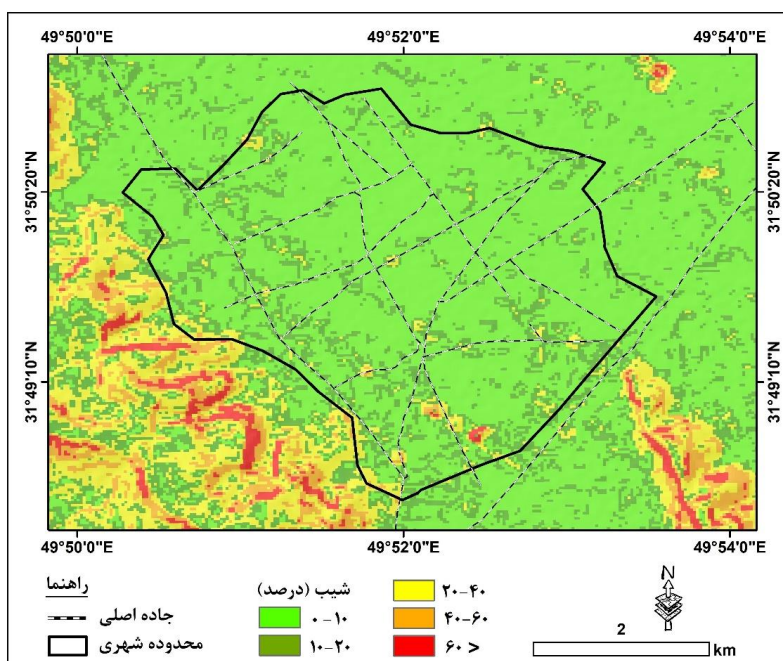
شکل ۲. نقشه وضعیت فاصله از گسل محدوده شهری ایزده

۲. نوع لیتولوژی: یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در تعیین میزان آسیب‌پذیری، نوع لیتولوژی است. در بعضی از مناطق، قرار گرفتن سازه‌ها بر روی سازندهای سست، زمینه را برای تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر در برابر زمین‌لرزه فراهم کرده است (Nayyeri et al., 2018). بررسی وضعیت لیتولوژی محدوده شهری ایزده بیانگر این است که بخش زیادی از این محدوده را مواد آبرفتی در بر گرفته است که مقاومت کمی در برابر زمین‌لرزه دارد. همچنین بخش‌هایی از نواحی غربی محدوده شهری ایزده بر روی سازندهای آهکی قرار دارند که نسبت به مواد آبرفتی، دارای مقاومت بیشتری هستند (شکل ۳).



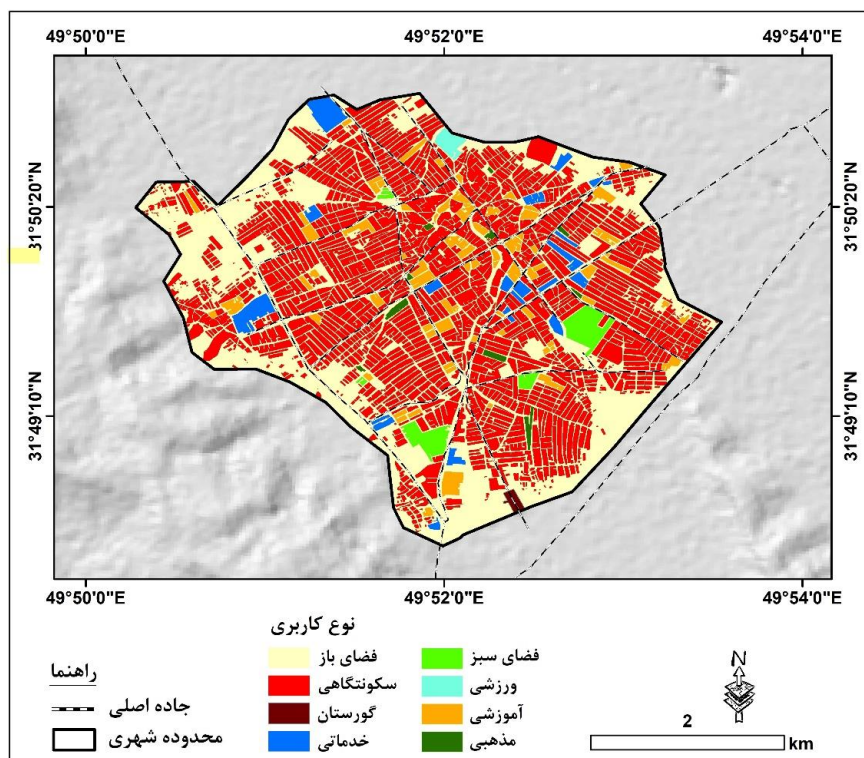
شکل ۳. نقشه وضعیت لیتولوژی محدوده شهری ایزده

۳. شیب: یکی از پارامترهای مهمی که در برنامه ریزی های شهری از جمله توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و ارزیابی وضعیت آسیب پذیری آن ها باید مورد توجه قرار گیرد، شیب زمین است (Nayyeri et al., 2017; Salari et al., 2017). باتوجه به تأثیر زیاد شیب زمین در تعیین میزان پایداری، این پارامتر نیز نقش مهمی در تعیین میزان آسیب پذیری مناطق در برابر زمین لرزه دارد. درواقع، مناطق پرشیب پتانسیل آسیب پذیری بیشتری در برابر مخاطره زمین لرزه دارند. بررسی وضعیت شیب محدوده شهری ایذه بیانگر این است که بخش زیادی از آن را مناطق با شیب کمتر از ۱۰ درصد در بر گرفته است و تنها بخش های کمی از این شهر را طبقات با شیب بیش از ۲۰ درصد در بر گرفته است (شکل ۴)، بنابراین از نظر پارامتر شیب، بخش های کمی از محدوده شهری ایذه، پتانسیل آسیب پذیری بالایی دارند.



شکل ۴. نقشه طبقات شیب محدوده شهری ایذه

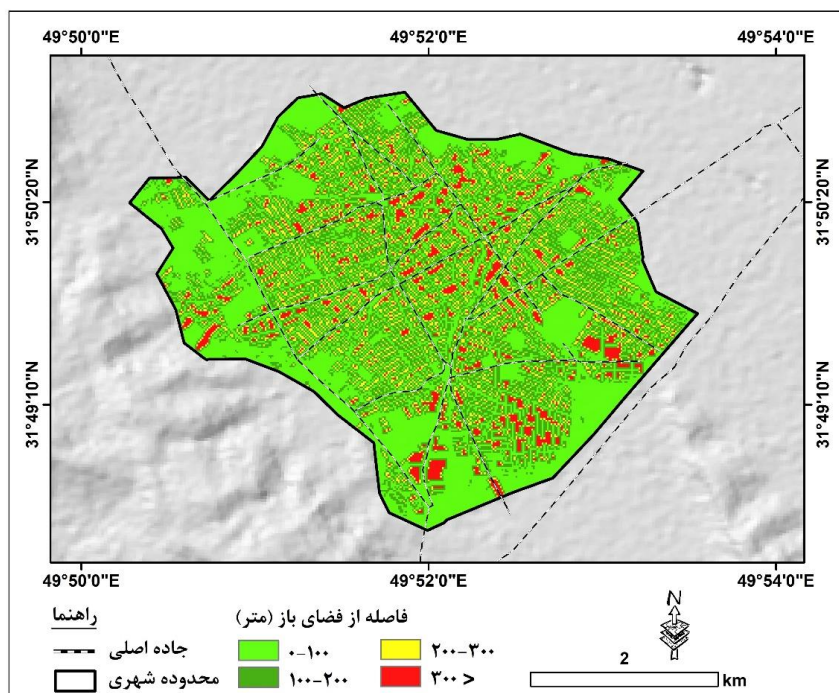
۴. نوع کاربری اراضی: یکی از مهم ترین عوامل در تعیین میزان آسیب پذیری در برابر زلزله، نوع کاربری شهری است. بسیاری از کاربری ها از جمله کاربری نواحی سکونتگاهی با آسیب پذیری بالایی مواجه هستند و در مقابل کاربری هایی مانند فضاهای سبز و فضاهای باز نیز با آسیب پذیری کمتری مواجه خواهند شد (Nosrati, 2022). درواقع، به دلیل تراکم ساختمانی و تراکم جمعیت در نواحی سکونتگاهی نسبت به فضاهای باز، این مناطق پتانسیل آسیب پذیری بالایی دارند. باتوجه به تفاوت در میزان آسیب پذیری، نوع کاربری شهری به عنوان یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین مناطق آسیب پذیر در برابر زلزله در نظر گرفته شده است. در شکل ۵، نقشه کاربری های محدوده شهری ایذه نشان داده شده است که بر اساس آن بخش زیادی از این محدوده را کاربری نواحی سکونتگاهی، فضاهای باز و فضاهای سبز در بر گرفته است.



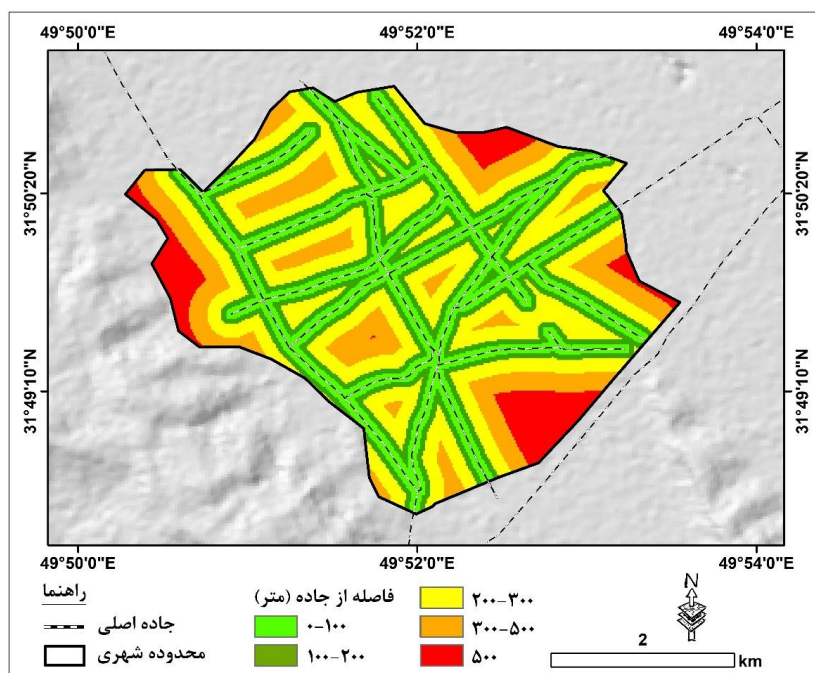
شکل ۵. نقشه نوع کاربری محدوده شهری ایذه

۵. **فاصله از فضاهای باز:** یکی دیگر از معیارهایی که در میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله مؤثر خواهد بود، فشردگی نواحی سکونتگاهی و کمبود فضای باز است. درواقع، در هنگام وقوع زلزله، فضاهای باز به دلیل خالی بودن از ساختمان و سایر تأسیسات و ابزارآلات، می‌توانند به عنوان محلی برای اسکان موقت و پناهگاهی در برابر زلزله باشد. بنابراین دسترسی به فضاهای باز بسیار حائز اهمیت خواهد بود (Nosrati, 2022). باتوجه به اینکه بخش‌های مرکزی شهر ایذه، تراکم بسیار بالایی دارد و دسترسی به فضای باز در این مناطق بسیار کم است، این مناطق پتانسیل آسیب‌پذیری بالاتری نسبت به مناطق حاشیه‌ای شهر دارند. در شکل ۶، نقشه طبقات فاصله از فضاهای باز در محدوده شهری ایذه نشان داده شده است.

۶. **فاصله از جاده‌های اصلی:** یکی از موارد مهمی که در زمان وقوع زلزله مورد نیاز است، دسترسی به جاده و راه عبور برای خروج مردم و ورود نیروهای امدادی است. باتوجه به اینکه بسیاری از آسیب‌های زلزله مربوط به حوادث بعد از وقوع زلزله است، بنابراین مناطقی که به راه ارتباطی، خصوصاً راه‌های اصلی دسترسی دارند، آسیب‌پذیری کمتری نسبت به سایر مناطق دارند. در شکل ۷، نقشه طبقات فاصله از جاده‌های اصلی نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشه طبقات فاصله از فضاهای باز در محدوده شهری ایده



شکل ۷. نقشه طبقات فاصله از جاده های اصلی در محدوده شهری ایده

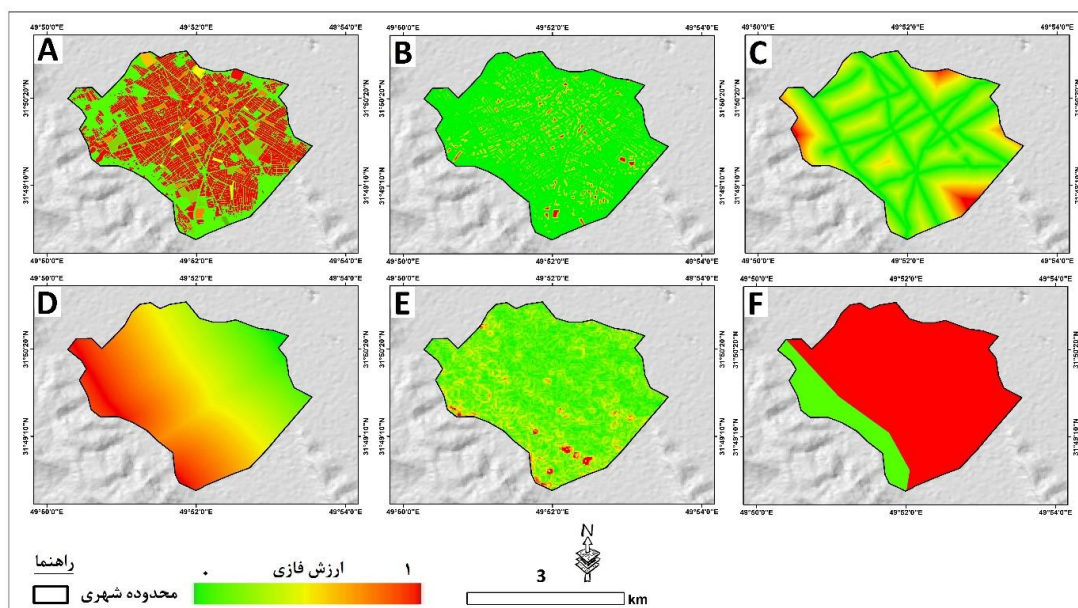
فازی سازی پارامترها

در این تحقیق پس از تهیه لایه اطلاعاتی مربوط به پارامترهای موردنظر، به منظور تهیه نقشه نهایی، ابتدا لایه های اطلاعاتی فازی سازی شده است. به منظور فازی سازی لایه های اطلاعاتی، به کاربری نواحی سکونتگاهی، مناطق دور از فضاهای باز، مناطق دور از جاده های اصلی، مناطق نزدیک به خطوط گسلی، مناطق دارای شیب زیاد و مناطق دارای لیتولوژی آبرفتی، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دارای کاربری فضای باز، مناطق نزدیک به فضاهای باز، مناطق نزدیک به جاده اصلی، مناطق دور از خطوط

گسلی، مناطق دارای شیب کم و همچنین مناطق دارای لیتولوژی آهکی، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (جدول ۱ و شکل ۸).

جدول ۱. نحوه فازی سازی لایه های اطلاعاتی

معیار	نحوه استاندارد سازی	تابع عضویت	شماره شکل
کاربری اراضی	- سکونتگاهی دارای ارزش ۰/۹ - آموزشی و مذهبی دارای ارزش ۰/۷ - صنعتی دارای ارزش ۰/۵ - خدماتی دارای ارزش ۰/۴ - ورزشی دارای ارزش ۰/۳ - فضاهای سبز دارای ارزش ۰/۲ - فضاهای باز دارای ارزش ۰/۱		A
فضاهای باز	مناطق دور از فضاهای باز، پتانسیل آسیب پذیری بیشتری در برابر زمین لرزه دارند.		B
جاده اصلی	مناطق دور از جاده های اصلی، پتانسیل آسیب پذیری بیشتری در برابر زمین لرزه دارند.		C
گسل	مناطق نزدیک به خطوط گسلی، پتانسیل آسیب پذیری بیشتری در برابر زمین لرزه دارند.		D
شیب	مناطق پرشیب، پتانسیل آسیب پذیری بیشتری در برابر زمین لرزه دارند.		E
لیتولوژی	- مواد آبرفتی دارای ارزش ۰/۹ - آهک و شیل دارای ارزش ۰/۷ - آهک دارای ارزش ۰/۵		F



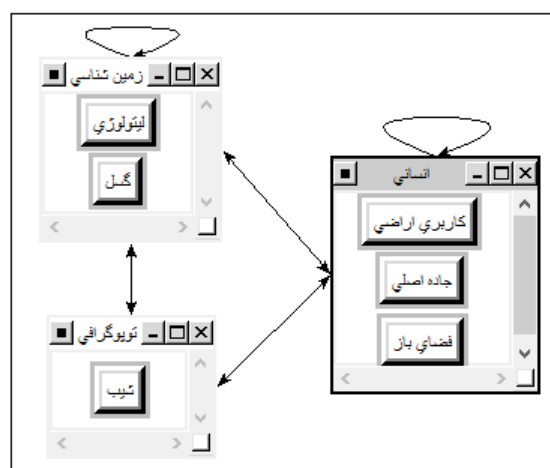
شکل ۸. نقشه فازی سازی شده پارامترها

وزن دهی به لایه های اطلاعاتی

پس از تهیه لایه های اطلاعاتی، برای وزن دهی به آن ها از مدل تحلیل شبکه ای (ANP) استفاده شده است. برای این منظور، پس از تشکیل ساختار شبکه ای (شکل ۹) و باتوجه به رابطه درونی و بیرونی معیارها، از ماتریس مقایسه ای شامل ۶ سطر و ۶ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. به منظور امتیازدهی به معیارها از طریق پرسش نامه و دیدگاه های کارشناسان امر استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم افزار Super Decisions استفاده شده و پس از به دست آوردن وزن های نهایی هر کدام از معیارها (شکل ۱۰)، در نرم افزار Arc GIS بر روی لایه های فازی شده، اعمال شده است.

The inconsistency index is 0.0434. It is desirable to have a value of less than 0.1		
جاده اصلی		0.173281
شیب		0.109160
فضای باز		0.218320
لیتولوژی		0.086640
کاربری اراضی		0.275066
گسل		0.137533

شکل ۱۰. وزن نهایی معیارها بر اساس مدل ANP



شکل ۹. ساختار شبکه ای ANP

تلفیق لایه های اطلاعاتی

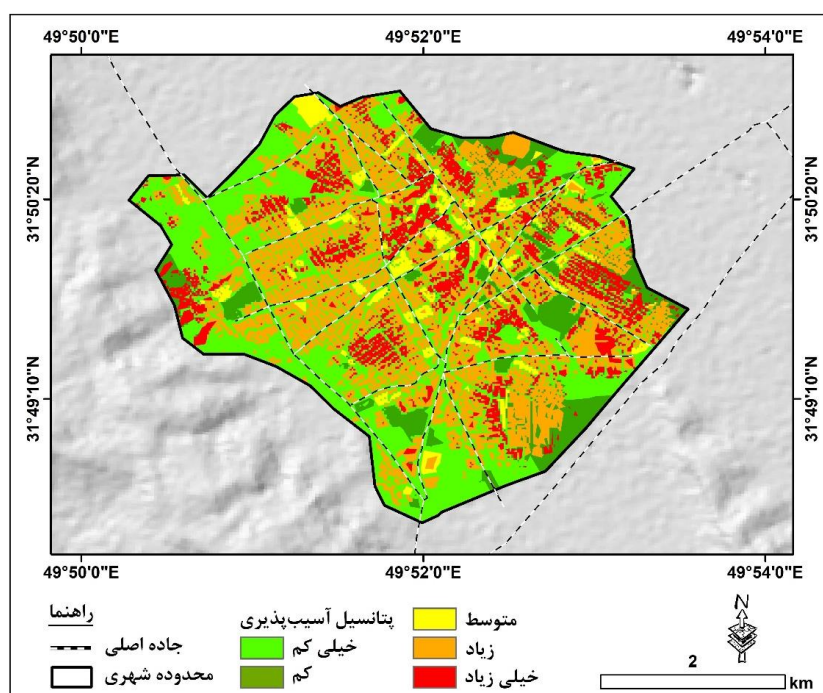
پس از فازی سازی لایه های اطلاعاتی، وزن به دست آمده از طریق مدل ANP، بر روی تمامی معیارها اعمال شد و نتیجه نهایی حاصل گردید. همچنین برای مدل فازی با استفاده از عملگر گامی فازی نقشه های فازی شده با هم تلفیق شدند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و همچنین حساسیت خیلی کم فازی جمع، از عملگر فازی گاما استفاده شده است

(رابطه ۱).

$$\mu = (\mu \text{ fuzzy sum})^y \times (\mu \text{ fuzzy product})^{1-y}$$

رابطه ۱:

برای عملگر گاما پس از تلفیق و ارزیابی هر کدام، در نهایت از گامای ۰/۷ استفاده گردیده است. پس از هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی، نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه در ۵ طبقه تهیه شده است (شکل ۱۱). بر اساس نقشه تهیه‌شده، بخش‌های مرکزی شهر ایزه به دلیل نوع کاربری، دور بودن از فضاهای باز و جاده‌های اصلی، پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند.

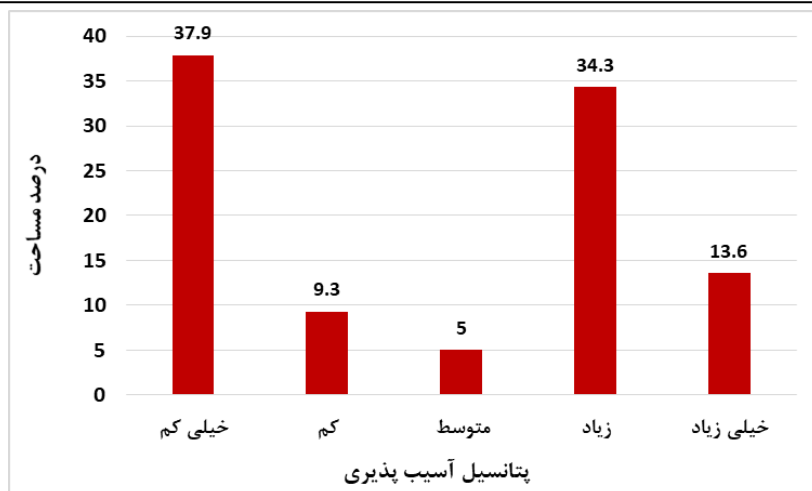


شکل ۱۱. نقشه پتانسیل آسیب‌پذیری شهر ایزه در برابر مخاطره زمین‌لرزه

در جدول ۲ و شکل ۱۲، مساحت و درصد مساحت طبقات نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل‌شده، ۱/۹ کیلومترمربع از محدوده شهری ایزه (معادل ۱۳/۶ درصد از کل محدوده شهری) به دلیل تراکم نواحی سکونتگاهی و دور بودن از فضاهای باز و جاده‌های اصلی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیادی در برابر مخاطره زمین‌لرزه هستند. ۴/۸ کیلومترمربع از محدوده شهری ایزه (معادل ۳۴/۳ درصد از کل محدوده شهری) دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر زمین‌لرزه هستند. این مناطق از نظر اکثر پارامترها، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی هستند. همچنین ۶/۶ کیلومترمربع از محدوده شهری ایزه (معادل ۴۷/۲ درصد از کل محدوده شهری) به دلیل دور بودن از نواحی سکونتگاهی، نزدیکی به فضاهای باز و جاده‌های اصلی، شیب کم و نوع لیتولوژی، پتانسیل آسیب‌پذیری کمی در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند.

جدول ۲. مساحت و درصد مساحت طبقات

ردیف	پتانسیل آسیب‌پذیری	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۱	خیلی کم	۵/۳	۳۷/۹
۲	کم	۱/۳	۹/۳
۳	متوسط	۰/۷	۵
۴	زیاد	۴/۸	۳۴/۳
۵	خیلی زیاد	۱/۹	۱۳/۶



شکل ۱۲. نمودار درصد مساحت طبقات

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و پهنه بندی آسیب پذیری شهری در برابر مخاطره زمین لرزه با بهره گیری از رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سازی فازی انجام شد. نتایج حاصل از تلفیق معیارهای مؤثر و اعمال وزن دهی به آن ها نشان داد که الگوی فضایی آسیب پذیری در شهر ایزده به صورت ناهمگون توزیع شده و بخش قابل توجهی از محدوده شهری در طبقات آسیب پذیری متوسط تا زیاد قرار دارد. این امر بیانگر آن است که شهر ایزده به دلیل ویژگی های زمین ساختی و کالبدی خود، از تاب آوری مناسبی در برابر مخاطره زمین لرزه برخوردار نیست و در صورت وقوع زمین لرزه ای شدید، با خسارات قابل توجهی مواجه خواهد شد.

بررسی میزان تأثیرگذاری معیارهای مورد استفاده نشان داد که نزدیکی به گسل اصلی زاگرس مهم ترین عامل مؤثر در افزایش آسیب پذیری لرزه ای شهر ایزده است. این عامل در مقایسه با سایر پارامترها نظیر شیب، نوع لیتولوژی و فاصله از فضاها، وزن و نقش تعیین کننده تری در شکل گیری پهنه های پرخطر داشته است.

باتوجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، تدوین و اجرای سیاست های مدیریت شهری مبتنی بر پهنه بندی آسیب پذیری لرزه ای ضروری به نظر می رسد. پیشنهاد می شود نتایج این تحقیق به عنوان یکی از اسناد پشتیبان در طرح های توسعه شهری، به ویژه طرح جامع و تفصیلی شهر ایزده، مورد استفاده قرار گیرد تا از گسترش ساخت و ساز در پهنه های با آسیب پذیری زیاد جلوگیری شود. همچنین، رعایت دقیق مقررات ملی ساختمان و آیین نامه های لرزه ای، به ویژه در مناطق نزدیک به گسل ها و نواحی دارای شیب زیاد، باید در اولویت برنامه های نظارتی قرار گیرد. ایجاد و تقویت فضاها، باز شهری در محلات پرتراکم، به منظور استفاده به عنوان فضاها، امن در زمان وقوع زمین لرزه، از دیگر اقدامات پیشنهادی است. علاوه بر این، مقاوم سازی ساختمان های موجود، به ویژه در بافت های فرسوده و مناطق با لیتولوژی نامناسب، می تواند نقش مؤثری در کاهش خسارات احتمالی داشته باشد. پیشنهاد می شود مدیریت شهری با همکاری نهادهای مرتبط، برنامه های آموزشی و آگاهی بخشی عمومی را برای ساکنان مناطق پرخطر اجرا کند تا آمادگی جامعه در برابر زلزله افزایش یابد. در نهایت، برای مطالعات آینده، تلفیق شاخص های اجتماعی و اقتصادی با شاخص های کالبدی و استفاده از سناریوهای مختلف وقوع زمین لرزه می تواند به ارائه نتایج جامع تر و کاربردی تر منجر شود و زمینه ساز تصمیم گیری مؤثرتر در حوزه مدیریت بحران و کاهش خطرپذیری شهری گردد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان به‌طور مساوی در مفهوم‌پردازی مقاله و نگارش نسخه اولیه و نسخه‌های بعدی مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- Abedini, M., Leila, A., & Piroozi, E. (2025). Vulnerability Zoning of Abdanan County against Earthquake Risk. *Geography and Environmental Planning*, 36(1), 1-22. <https://doi.org/10.22108/gep.2025.143524.1690> (In Persian)
- Afsari, R., Nadizadeh Shorabeh, S., Bakhshi Lomer, A. R., Homaei, M., & Arsanjani, J. J. (2023). Using Artificial Neural Networks to Assess Earthquake Vulnerability in Urban Blocks of Tehran. *Remote Sensing*, 15(5), 1248. <https://doi.org/10.3390/rs15051248>
- Albulescu, A.-C. (2023). Open Source Data-Based Solutions for Identifying Patterns of Urban Earthquake Systemic Vulnerability in High-Seismicity Areas. *Remote Sensing*, 15(5), 1453. <https://doi.org/10.3390/rs15051453>
- Alizadeh, M., Alizadeh, E., Asadollahpour Kotenaei, S., Shahabi, H., Beiranvand Pour, A., Panahi, M., Bin Ahmad, B., & Saro, L. (2018). Social Vulnerability Assessment Using Artificial Neural Network (ANN) Model for Earthquake Hazard in Tabriz City, Iran. *Sustainability*, 10(10), 3376. <https://doi.org/10.3390/su10103376>
- Alizadeh, M., Zabihi, H., Rezaie, F., Asadzadeh, A., Wolf, I. D., Langat, P. K., Khosravi, I., Beiranvand Pour, A., Mohammad Nataj, M., & Pradhan, B. (2021). Earthquake Vulnerability Assessment for Urban Areas Using an ANN and Hybrid SWOT-QSPM Model. *Remote Sensing*, 13(22), 4519. <https://doi.org/10.3390/rs13224519>
- Asadi, M., Ganjaeian, H., & Javedani, M. (2024). Analysis of Tectonic Status of Lavasan Sub-Basins Using Geomorphic Indicators and Radar Images. *Geography and Environmental Planning*, 35(1), 73-88. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.133365.1518> (In Persian)
- Aydinoglu, A. C., & Demir, N. (2016). A spatial multi-criteria decision-making approach for seismic vulnerability assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1-2016>
- Banica, A., Rosu, L., Muntele, I., & Grozavu, A. (2017). Towards Urban Resilience: A Multi-Criteria Analysis of Seismic Vulnerability in Iasi City (Romania). *Sustainability*, 9(2), 270. <https://doi.org/10.3390/su9020270>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/030913339702100110>
- Coburn, A., Spence, R., & Pomonis, A. (1994). *Vulnerability and risk assessment*. United Nations Development Programme. <https://www.researchgate.net/publication/209803485>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Ejtemaei, B., Gholami, M., & Nazari, V. (2024). Assessment of Vulnerability of Rural Settlements to Natural Hazards with Emphasis on Earthquakes (Case Study: Villages of Khonj County). *Geography*, 22(81), 69-93. <https://doi.org/10.22034/iga.2024.2027611.1301> (In Persian)
- Ganjaeian, H. (2020). Geomorphological hazards of urban areas, study methods and control strategies (p. 144). Entekhab Publication. <https://www.gisoom.com/book/11628118> (In Persian)
- Ganjaeian, H. (2024). Spatial and temporal analysis of earthquakes in Iran During the years 1907 to 2023. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4), 222-243. <https://doi.org/10.22067/geoh.2024.87246.1470> (In Persian)
- Ganjaeian, H. (2024). Evaluating the seismic potential of megacities in Iran. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 33(132), 173-188. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2024.2019284.3047> (In Persian)
- Ganjaeian, H., Nosrati, M., Ebrahimi, A., & Ghisarian, S. S. (2024). Assessing the vulnerability of rural areas against natural hazards (Case study: Villages of Oraman Region). *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(2), 57–70. <https://doi.org/10.22034/ermr.2024.63510> (In Persian)
- Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi, A., & Maghsoudi, M. (2021). Adaptation of morphotectonic indices with seismic centers in Zagros Northwest (Sirvan and Qarahsu Basins). *Geography and*

- Environmental Planning*, 31(4), 113–130. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.124247.1335> (In Persian)
- Ghasemi, M., Karimzadeh, S., Matsuoka, M., & Feizizadeh, B. (2021). What Would Happen If the M 7.3 (1721) and M 7.4 (1780) Historical Earthquakes of Tabriz City (NW Iran) Occurred Again in 2021? *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(10), 657. <https://doi.org/10.3390/ijgi10100657>
- Goodarzi, M., & Ebrahimi, A. (2023). Assessing the physical development process of Izeh city using LCM model. *Geography and Human Relationships*, 6(2), 411-424. <https://doi.org/10.22034/gahr.2023.387212.1823>
- Goodarzi, M., Soltani, Z., & Ebrahimi, A. (2024). Evaluation and analysis of the physical development process of Gotvand City toward flood-prone areas. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(42), 15-30. <https://doi.org/10.22111/jneh.2024.47298.2004>
- Goodarzi, M., Soltani, Z., & Rashidi, E. (2023). The Evaluation Of Implementation Effects Of Renovation Plans Of Urban Blighted Using Formative Approach Of Urban Sustainable Landscape The Case Study Of the Central Core Of Ahvaz Metropolis. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 11(3), 197-212. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2024.366607.1869>
- Huang, G., Li, D., Zhu, X., & Zhu, J. (2021). Influencing factors and their influencing mechanisms on urban resilience in China. *Sustainable Cities and Society*, 74, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103210>
- Izquierdo-Horna, L., & Kahhat, R. (2020). An interdisciplinary approach to identify zones vulnerable to earthquakes. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101592. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101592>
- Jiang, B., Zhang, H., Yang, B., & Yu, X. (2025). Equity-Constrained, Demand-Responsive Shelter Location–Allocation for Sustainable Urban Earthquake Resilience: A GIS-Integrated Two-Stage Framework with a Fast Heuristic. *Sustainability*, 17(23), 10747. <https://doi.org/10.3390/su172310747>
- Koren, D., & Rus, K. (2023). Framework for a City's Performance Assessment in the Case of an Earthquake. *Buildings*, 13(7), 1795. <https://doi.org/10.3390/buildings13071795>
- Koutsoupakis, I., Tsompanakis, Y., Soupios, P., Kirmizakis, P., Kaka, S., & Providakis, C. (2021). Seismic Risk Assessment of Chania, Greece, Using an Integrated Computational Approach. *Applied Sciences*, 11(23), 11249. <https://doi.org/10.3390/app112311249>
- Li, T., Du, Y., & Yuan, Y. (2019). Use of Variable Fuzzy Clustering to Quantify the Vulnerability of a Power Grid to Earthquake Damage. *Sustainability*, 11(20), 5633. <https://doi.org/10.3390/su11205633>
- Mirshekarpour, M., Hassanzadeh, R., & Hossinpour, A. (2025). Evaluation of seismic risk and structural and population vulnerability a case study of Haji Abad city - Hormozgan Province. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 33(132), 45-64. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2024.2020908.3052> (In Persian)
- Mohammad, A. F., Khan, R. A., Siddiqui, M. A., & Hammad, M. (2022). Case Study: Rapid Seismic Assessment of Existing Hospitals in Karachi. *Engineering Proceedings*, 22(1), 8. <https://doi.org/10.3390/engproc2022022008>
- Mohammadkhan, S., Ganjaeian, H., Shahri, S., & Abbaszade, A. (2019). Predicting the trend of urban development toward hazardous areas using multi-temporal images (Case study: Marivan City). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(110), 107–117. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36615> (In Persian)
- Movasati, M., Ahmadzadeh, H., & Panahi, A. (2025). An analysis of the level of vulnerability of urban areas against the natural hazards of "earthquake" with an emphasis on the crisis management approach (case study: Tabriz metropolis). *Journal of Geography and Planning*, 29(91), 243-218. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.59712.3218> (In Persian)
- Nayyeri, H., Ganjaeian, H., & Amani, K. (2018). Evaluation of Environmental Indicator of Perimeters of the Land Suitability for the Development of the Sarvabad City by Combining Two Models of

- Network Analysis and Fuzzy Logic. *Journal of Urban Social Geography*, 5(1), 49-62. <https://doi.org/10.22103/JUSG.2018.1961> (In Persian)
- Nayyeri, H., Salari, M., Ganjaeian, H., Amani, K. (2017). Geomorphological Assessment of Land Suitability for the Physical Expansion of Sanandaj City Applying Restricted Areas. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 5(1), 127-145. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2017.63213> (In Persian)
- Negahban, S., Ganjaeian, H., Ebrahimi, A., & Emami, K. (2019). Monitoring and predicting the trend of changes in residential areas using multi-timed images (Case study: Songhor city). *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(2), 343–354. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.275076.1007084> (In Persian)
- Negahban, S., Peysoozi, T., Ganjaeian, H., & Norozi, M. (2021). Identifying areas prone to landslide and vertical displacement using radar images (Case study: Lavasan urban area and urban margin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 1–18. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.71728.1094> (In Persian)
- Nosrati, M., Khezri, S., & Kazemi, A. (2022). The Investigation and Analysis of Natural Hazards and Human and Environmental Issues in Sanandaj for Providing Appropriate Solutions. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(1), 99-115. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.71620.1092> (In Persian)
- Panahi, M., Rezaie, F., & Meshkani, S. A. (2014). Seismic vulnerability assessment of urban areas using GIS-based hybrid multi-criteria decision-making approach. *Natural Hazards*, 72(2), 1397–1420. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1067-y>
- Parvizian, A., & Maleki, S. (2022). Examining the Vulnerability of Urban Areas to Earthquake Risk Based on the IHWP Model: The Case Study of District 6 of Ahvaz Metropolis. *Town and Country Planning*, 14(2), 571-594. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2022.335903.670284> (In Persian)
- Patanè, D., Tusa, G., Yang, W., Astuti, A., Colino, A., Costanza, A., D'Anna, G., Di Prima, S., Fertitta, G., Mangiagli, S., Martino, C., & Torrisi, O. (2022). The Urban Seismic Observatory of Catania (Italy): A Real-Time Seismic Monitoring at Urban Scale. *Remote Sensing*, 14(11), 2583. <https://doi.org/10.3390/rs14112583>
- Pitidis, V., Tapete, D., Coaffee, J., Kapetas, L., & Porto de Albuquerque, J. (2018). Understanding the Implementation Challenges of Urban Resilience Policies: Investigating the Influence of Urban Geological Risk in Thessaloniki, Greece. *Sustainability*, 10(10), 3573. <https://doi.org/10.3390/su101035>
- Qadri, S. M. T., Mirza, M. Q., Raja, A., Yaghmaei-Sabegh, S., Hakimi, M. H., Ali, S. H., & Khan, M. Y. (2023). Application of Probabilistic Seismic Hazard Assessment to Understand the Earthquake Hazard in Attock City, Pakistan: A Step towards Linking Hazards and Sustainability. *Sustainability*, 15(2), 1023. <https://doi.org/10.3390/su15021023>
- Quiñones-Bustos, C., Bull, M. T., & Oyarzo-Vera, C. (2021). Seismic and Coastal Vulnerability Assessment Model for Buildings in Chile. *Buildings*, 11(3), 107. <https://doi.org/10.3390/buildings11030107>
- Rashed, T., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576. <http://doi.org/10.1080/136588103100011.4071>
- Salari, M., Nayeri, H., Amani, K. & Ganjaeian, H. (2017). Locating Suitable Directions for Kamyaran Urban Development through a Hazardology Approach based on the Application of Geomorphologically Restricted Areas. *Environmental Management Hazards*, 4(4), 419-436. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2018.252694.341> (In Persian)
- Salari, M., Nayyeri, H., Ganjaeian, H., & Amani, K. (2020). Assessment and prediction of the process of expansion of residential areas with a 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)
- Usta Evci, P., Sever, A. E., Şakalak, E., Karimzadeh, S., & Lourenço, P. B. (2025). Seismic Damage

- Assessment of Minarets: Insights from the 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Türkiye. *Buildings*, 15(23), 4358. <https://doi.org/10.3390/buildings15234358>
- Wang, D., Zhao, X., & Liu, Y. (2022). Effect of Spatial Variation of Earthquake Ground Motions on Seismic Vulnerability of Urban Road Network Considering Building Environment. *Buildings*, 12(3), 308. <https://doi.org/10.3390/buildings12030308>

DOI: <https://doi.org/10.22034/JHRE.45.194.135>