Housing and Rural Environment
Online ISSN: 2588 - 6215
Homepage: https://jhre.ir

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

Majid Goodarzi[1]✉, **Zahra Soltani**[2], and **Aezam Ebrahimi**[3]

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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

مسکن و محیط روستا
شاپا الکترونیکی: ۶۲۱۵ - ۲۵۸۸
Homepage: https://jhre.ir

ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زمین‌لرزه با رویکرد GIS و مدل‌سازی فازی؛ مطالعه موردی: شهر ایذه

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

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 ایذه.

چکیده

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 ایذه به دلیل قرارگیری در پهنه زاگرس و مجاورت با گسل اصلی زاگرس، از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای دارای شرایط متفاوتی در سطح محدوده شهری است. ازاین‌رو، شناسایی و پهنه‌بندی فضایی آسیب‌پذیری می‌تواند در برنامه‌ریزی کاهش خطر و مدیریت بحران مؤثر باشد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر ایذه 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 وزن‌دهی‌شده با استفاده از عملگر گامای فازی با مقدار ۰٫۷ تلفیق شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر ایذه 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 ایذه 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 ایذه کمک کند.

استناد: گودرزی؛ مجید، سلطانی؛ زهرا، ابراهیمی؛ اعظم. (۱۴۰۵). ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زمین‌لرزه با رویکرد GIS و مدل‌سازی فازی؛ مطالعه موردی: شهر ایذه. *مسکن و محیط روستا*، ۴۵ (۱۹۴)، ۱۳۵-۱۵۲. https://doi.org/10.22034/JHRE.45.194.135

ناشر: مؤسسه پژوهشی سوانح طبیعی.

© نویسندگان.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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., 2019; 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، امدادرسانی 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 طبس، 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., 2023; Mirshekarpour et al., 2025). 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.

به‌طورکلی، مناطق مختلف تحت تأثیر شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و عوامل هیدرواقلیمی، 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–هیمالیا، 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 ایذه به‌عنوان یکی از شهرهای واقع در واحد کوهستانی زاگرس، شرایط ویژه‌ای ازنظر 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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

زمین‌لرزه با بزرگی بیش از ۳ ریشتر بوده است که بیانگر فعالیت لرزه‌ای قابل‌توجه منطقه است (Ganjaeian, 2024). رشد جمعیت شهری ایذه، همراه با گسترش کالبدی و توسعه عمودی ساختمان‌ها بدون ارزیابی دقیق خطر زمین‌لرزه، 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 زمین‌لرزه با استفاده از رویکرد GIS و مدل‌سازی 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 موردمطالعه، تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به راشد و ویکس[1] (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 یـن رویکرد مهم در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر مورداستفاده قرار گیرد. ایزکیِردو- هورنا و کاهات[2] (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 زلزلـه مورداستفاده قرار بگیرد. هوآنگ[3] و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی عوامل و سازوکارهای مؤثر بر کاهش آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زمین‌لرزه 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[4] و همکاران (۲۰۲۵) به شناسایی وضعیت آسیب‌پذیری شهر جنگدو کشور چین در برابر مخاطره زمین‌لرزه و همچنین شناسایی مناطق مستعد آن جهت ایجاد سرپناه پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر پتانسیل آسیب‌پذیری بالای این شهر در برابر زمین‌لرزه 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 زمین‌لرزه 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 زمین‌لرزه 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 زمین‌لرزه 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 زمین‌لرزه قرار دارند. گنجائیان و همکاران (۲۰۲۵) به شناسایی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای اورامان در برابر مخاطرات طبیعی ازجمله زمین‌لرزه 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 زمین‌لرزه دارند. مواساتی و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری منطقه شهری تبریز در برابر مخاطره

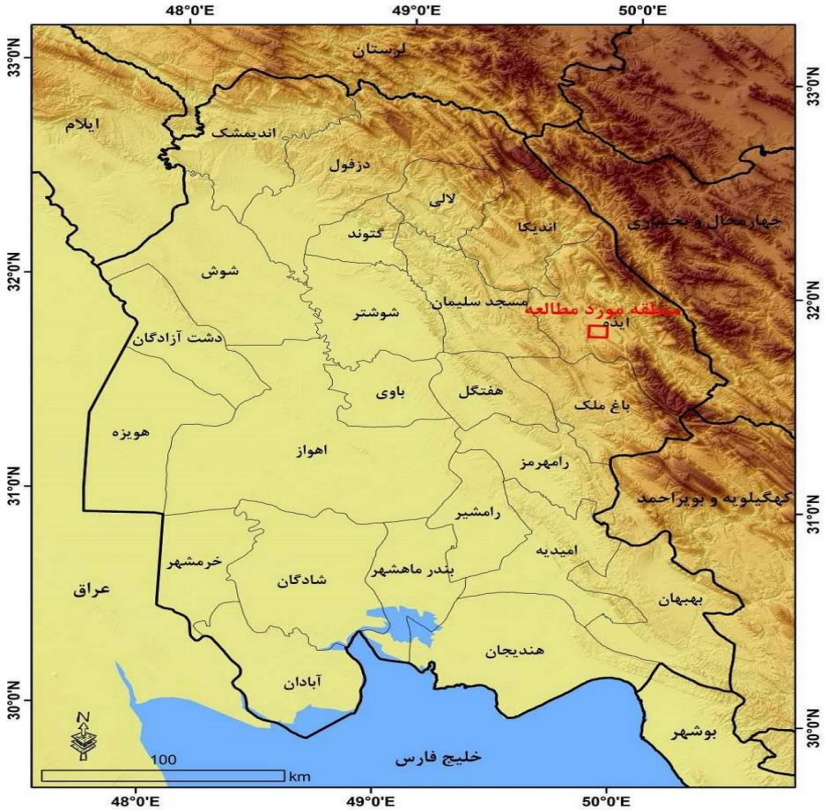
1. Rashed & Weeks
2. Izquierdo-Horna & Kahhat
3. Huang
4. Jiang

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

زمین‌لرزه 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 آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زمین‌لرزه است.

معرفی منطقه موردمطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق شامل محدوده شهری ایذه است. شهر ایذه، مرکز شهرستان ایذه است. شهرستان ایذه ازنظر 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 ازنظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در واحد زاگرس قرار دارد که از سمت شرق به زاگرس چین‌خورده و از سمت غرب به جلگه خوزستان منتهی می‌شود. ازنظر ژئومورفولوژی، شهر ایذه در واحد دشت قرار دارد و از اطراف به ارتفاعات زاگرس و همچنین تالاب میانگران محدود می‌شود (Goodarzi & Ebrahimi, 2023).



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

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زمین‌لرزه، از مجموعه‌ای از داده‌های مکانی و توصیفی استفاده شده است. مهم‌ترین داده‌های مورداستفاده شامل مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر حاصل از داده‌های SRTM، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ منطقه و لایه‌های رقومی مربوط به محدوده موردمطالعه بوده است. این داده‌ها مبنای اصلی تحلیل‌های فضایی و مدل‌سازی در تحقیق حاضر را تشکیل می‌دهند. ابزارهای اصلی مورداستفاده در این پژوهش نرم‌افزارهای ArcGIS و Super Decisions بوده‌اند؛ به‌گونه‌ای که نرم‌افزار ArcGIS به‌منظور فازی‌سازی لایه‌ها، انجام تحلیل‌های مکانی و تهیه نقشه‌های نهایی، و نرم‌افزار Super Decisions برای وزن‌دهی به پارامترها به کار گرفته شده است. باتوجه‌به اهداف تحقیق، فرایند پژوهش در چند مرحله انجام شده که در ادامه تشریح می‌شود.

مرحله اول (تهیه لایه‌های اطلاعاتی و استانداردسازی آن‌ها): در این مرحله، به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

برابر مخاطره زمین‌لرزه، از شش پارامتر اصلی شامل فاصله از گسل، نوع لیتولوژی، شیب، نوع کاربری اراضی، فاصله از فضاهای باز و فاصله از جاده‌های اصلی استفاده شده است. انتخاب این پارامترها بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی پیشینه پژوهش، نظرات کارشناسان (۵ کارشناس ژئومورفولوژی و ۵ کارشناس جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری) و همچنین شرایط و ویژگی‌های منطقه موردمطالعه صورت گرفته است. لازم به ذکر است که یکی از پارامترهای مؤثر در تعیین میزان آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زمین‌لرزه، کیفیت ساختمان‌ها است ولی باتوجه‌به اینکه اطلاعات موردنیاز در مورد کیفیت مصالح و مقاومت ساختمان‌های شهر ایذه در دسترس نیست، بنابراین از این پارامتر استفاده نشده است و این به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت تحقیق حاضر محسوب می‌شود.

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از پارامترها، به‌منظور تلفیق آن‌ها و تهیه نقشه نهایی، لایه‌ها با استفاده از منطق فازی استانداردسازی شدند. در فرایند فازی‌سازی، به نواحی سکونتگاهی، مناطق دور از فضاهای باز، مناطق دور از جاده‌های اصلی، مناطق نزدیک به خطوط گسلی، نواحی دارای شیب زیاد و مناطق با لیتولوژی آبرفتی، مقادیر فازی نزدیک به یک اختصاص داده شد که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالاتر است. در مقابل، به مناطق دارای کاربری فضای باز، نواحی نزدیک به فضاهای باز، مناطق نزدیک به جاده‌های اصلی، مناطق دور از خطوط گسلی، نواحی با شیب کم و مناطق دارای لیتولوژی آهکی، مقادیر فازی نزدیک به صفر تخصیص یافت که بیانگر آسیب‌پذیری کمتر این مناطق است.

مرحله دوم (وزن‌دهی به پارامترها): پس از تهیه و فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، به‌منظور تعیین میزان اهمیت نسبی هر یک از پارامترها، از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. در این مرحله، ابتدا ساختار شبکه‌ای 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 ازطریق تدوین پرسش‌نامه و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان و متخصصان حوزه‌های مرتبط انجام شده است. محاسبات مربوط به وزن‌دهی با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions صورت گرفت و پس از استخراج وزن‌های نهایی هر یک از معیارها، این وزن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS بر روی لایه‌های فازی‌شده اعمال شدند.

مرحله سوم (شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه): در این مرحله، لایه‌های فازی‌شده با اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل ANP، با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه نهایی آسیب‌پذیری استخراج گردید. برای تلفیق لایه‌ها در مدل فازی، از عملگر گامای فازی استفاده شده است. این عملگر به‌منظور 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 ۰/۷ به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب گردید. درنهایت، با هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی، نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه در پنج کلاس آسیب‌پذیری تهیه شد.

یافته‌های پژوهش

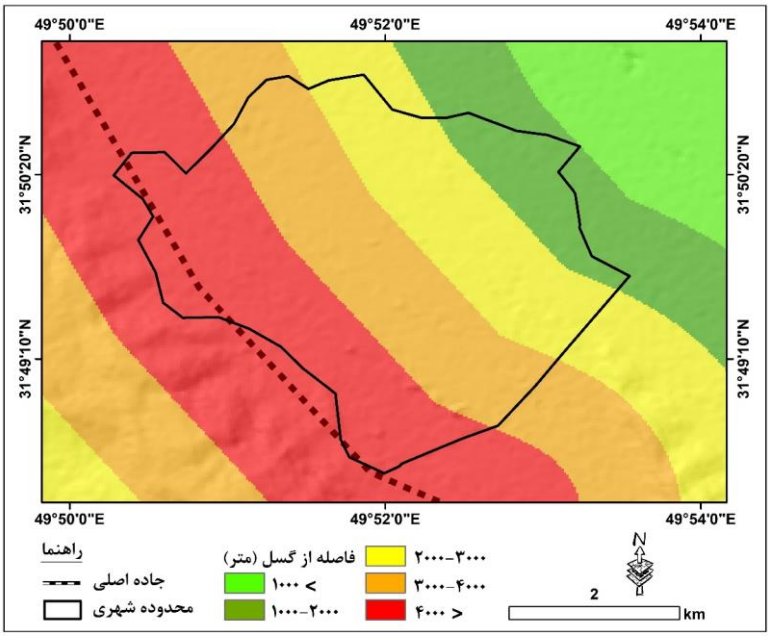
تشریح پارامترهای مورداستفاده

در این تحقیق به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین‌لرزه از ۶ پارامتر فاصله از گسل، نوع لیتولوژی، شیب، نوع کاربری اراضی، فاصله از فضاهای باز و فاصله از جاده‌های اصلی استفاده شده است. لازم به ذکر است که انتخاب پارامترها بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای، نظرات کارشناسان و وضعیت منطقه بوده است. در ادامه به تشریح پارامترهای موردنظر پرداخته شده است.

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

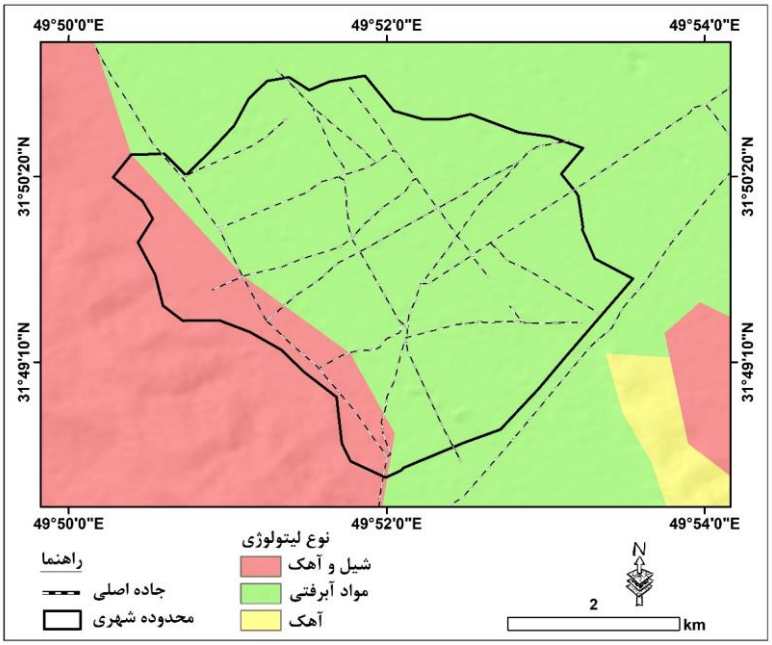
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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



شکل ۲. نقشه وضعیت فاصله از گسل محدوده شهری ایذه

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 ایذه بیانگر این است که بخش زیادی از این محدوده را مواد آبرفتی در برگرفته است که مقاومت کمی در برابر زمین‌لرزه دارد. همچنین بخش‌هایی از نواحی غربی محدوده شهری ایذه بر روی سازندهای آهکی قرار دارند که نسبت به مواد آبرفتی، دارای مقاومت بیشتری هستند (شکل ۳).

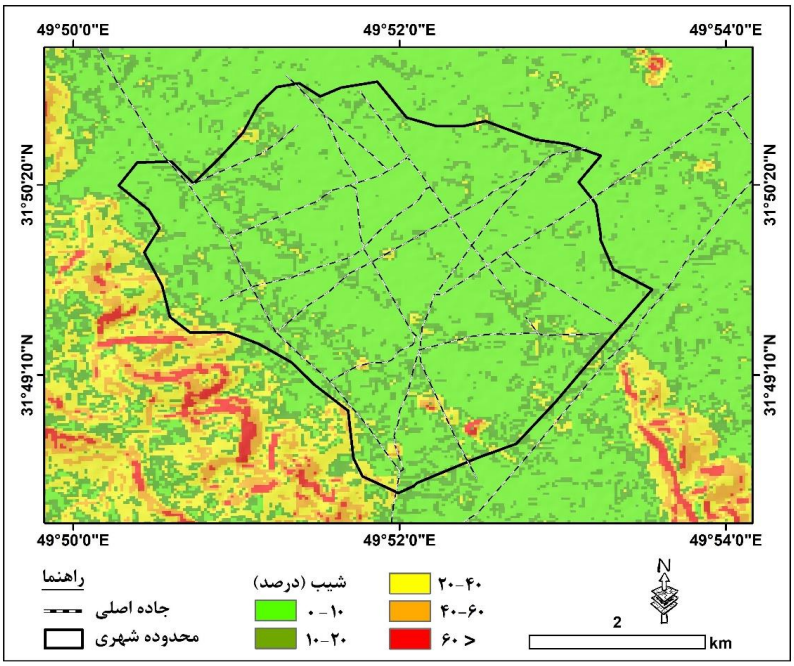


شکل ۳. نقشه وضعیت لیتولوژی محدوده شهری ایذه

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

۳. شیب: یکی از پارامترهای مهمی که در برنامه‌ریزی‌های شهری ازجمله توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری آن‌ها باید موردتوجه قرار گیرد، شیب زمین است (Nayyeri et al., 2017; Salari et al., 2017). باتوجه‌به تأثیر زیاد شیب زمین در تعیین میزان پایداری، این پارامتر نیز نقش مهمی در تعیین میزان آسیب‌پذیری مناطق در برابر زمین‌لرزه دارد. درواقع، مناطق پرشیب پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند. بررسی وضعیت شیب محدوده شهری ایذه بیانگر این است که بخش زیادی از آن را مناطق با شیب کمتر از ۱۰ درصد در برگرفته است و تنها بخش‌های کمی از این شهر را طبقات با شیب بیش از ۲۰ درصد در برگرفته است (شکل ۴)، بنابراین ازنظر پارامتر شیب، بخش‌های کمی از محدوده شهری ایذه، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارند.

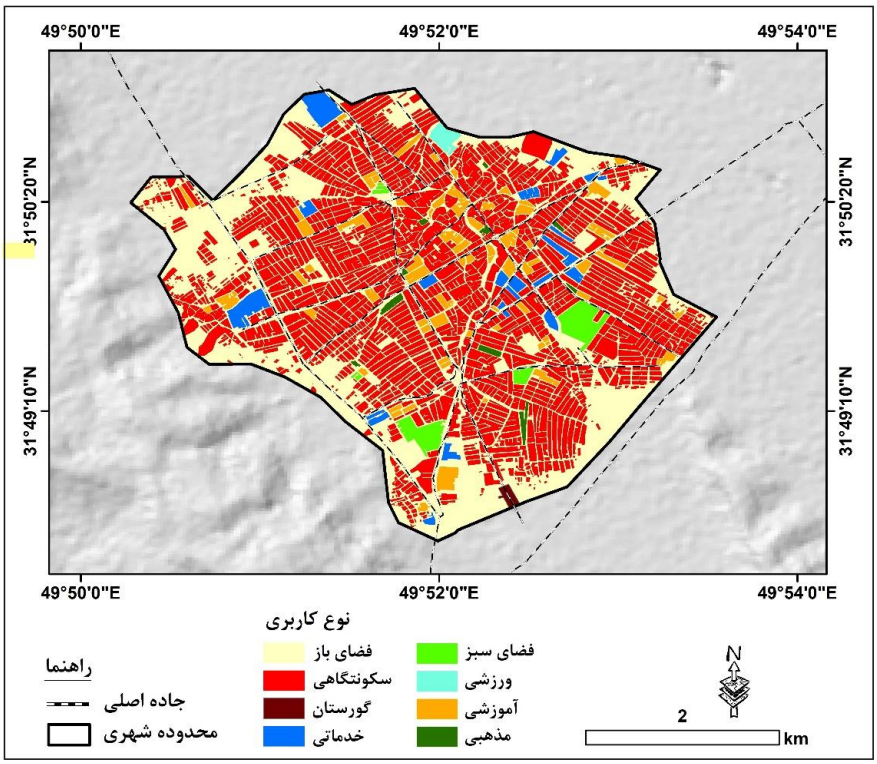


شکل ٤. نقشه طبقات شیب محدوده شهری ایذه

٤. نوع کاربری اراضی: یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله، نوع کاربری شهری است. بسیاری از کاربری‌ها ازجمله کاربری نواحی سکونتگاهی با آسیب‌پذیری بالایی مواجه هستند و در مقابل کاربری‌هایی مانند فضاهای سبز و فضاهای باز نیز با آسیب‌پذیری کمتری مواجه خواهند شد (Nosrati, 2022). درواقع، به دلیل تراکم ساختمانی و تراکم جمعیت در نواحی سکونتگاهی نسبت به فضاهای باز، این مناطق پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارند. باتوجه‌به تفاوت در میزان آسیب‌پذیری، نوع کاربری شهری به‌عنوان یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین مناطق آسیب‌پذیر در برابر زلزله در نظر گرفته شده است. در شکل ۵، نقشه کاربری‌های 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 برگرفته است.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

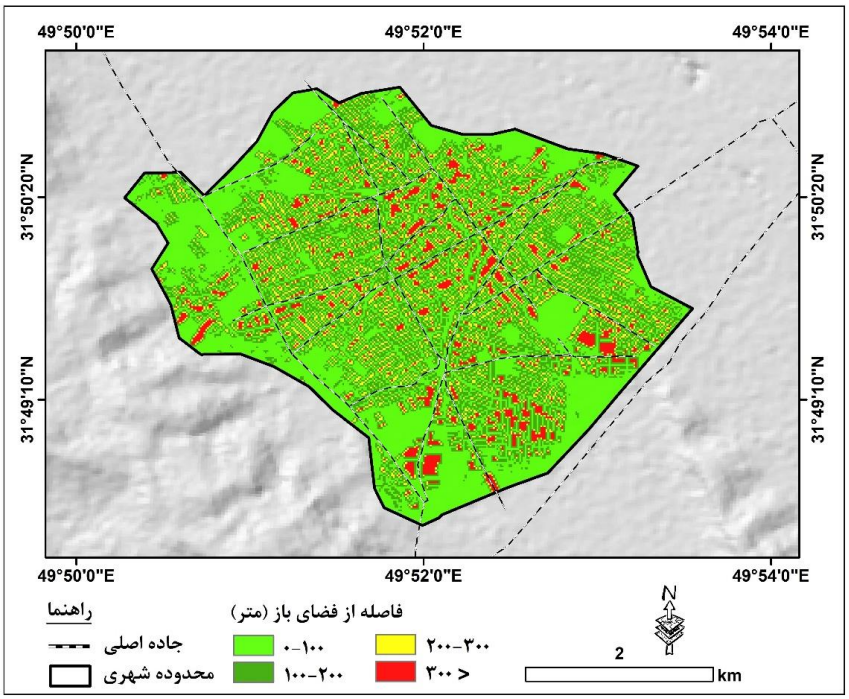


شکل ۵. نقشه نوع کاربری محدوده شهری ایذه

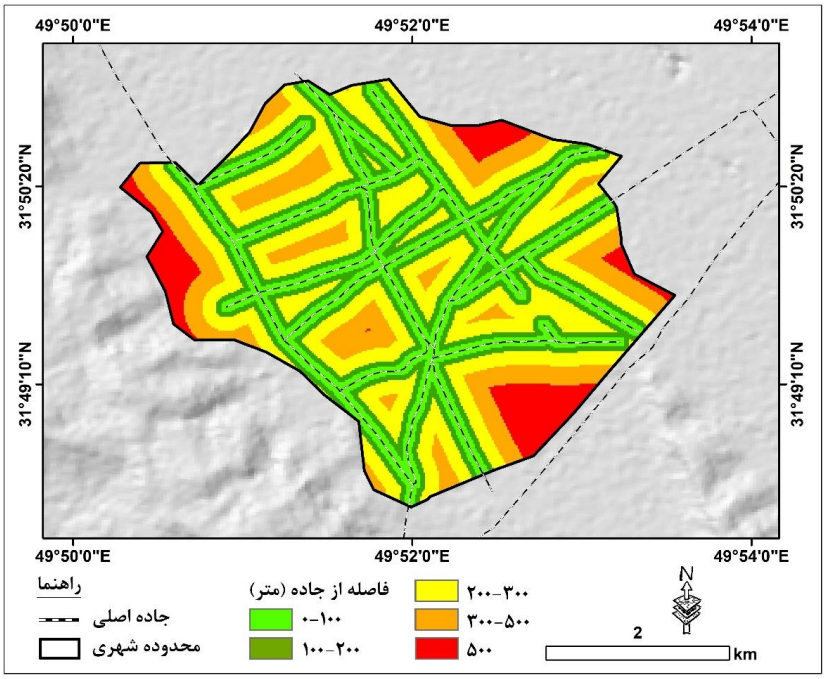
۵. فاصله از فضاهای باز: یکی دیگر از معیارهایی که در میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله مؤثر خواهد بود، فشردگی نواحی سکونتگاهی و کمبود فضای باز است. درواقع، در هنگام وقوع زلزله، فضاهای باز به دلیل خالی بودن از ساختمان و سایر تأسیسات و ابزارآلات، می‌توانند به‌عنوان محلی برای اسکان موقت و پناهگاهی در برابر زلزله باشد. بنابراین دسترسی به فضاهای باز بسیار حائز اهمیت خواهد بود (Nosrati, 2022). باتوجه‌به 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.

٦. فاصله از جاده‌های اصلی: یکی از موارد مهمی که در زمان وقوع زلزله موردنیاز است، دسترسی به جاده و راه عبور برای خروج مردم و ورود نیروهای امدادی است. باتوجه‌به 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.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]



شکل ٦. نقشه طبقات فاصله از فضاهای باز در محدوده شهری ایذه



شکل ۷. نقشه طبقات فاصله از جاده‌های اصلی در محدوده شهری ایذه

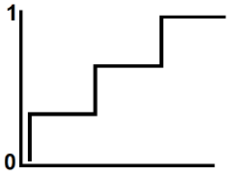
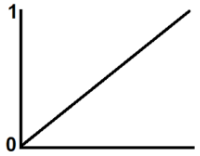
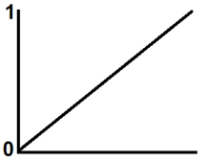
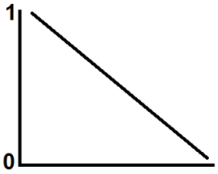
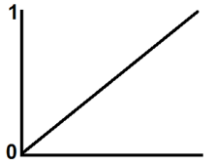
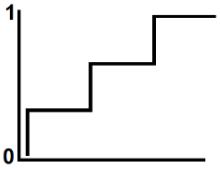
فازی‌سازی پارامترها

در این تحقیق پس از تهیه لایه اطلاعاتی مربوط به پارامترهای موردنظر، به‌منظور تهیه نقشه نهایی، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی فازی‌سازی شده است. به‌منظور فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، به کاربری نواحی سکونتگاهی، مناطق دور از فضاهای باز، مناطق دور از جاده‌های 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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

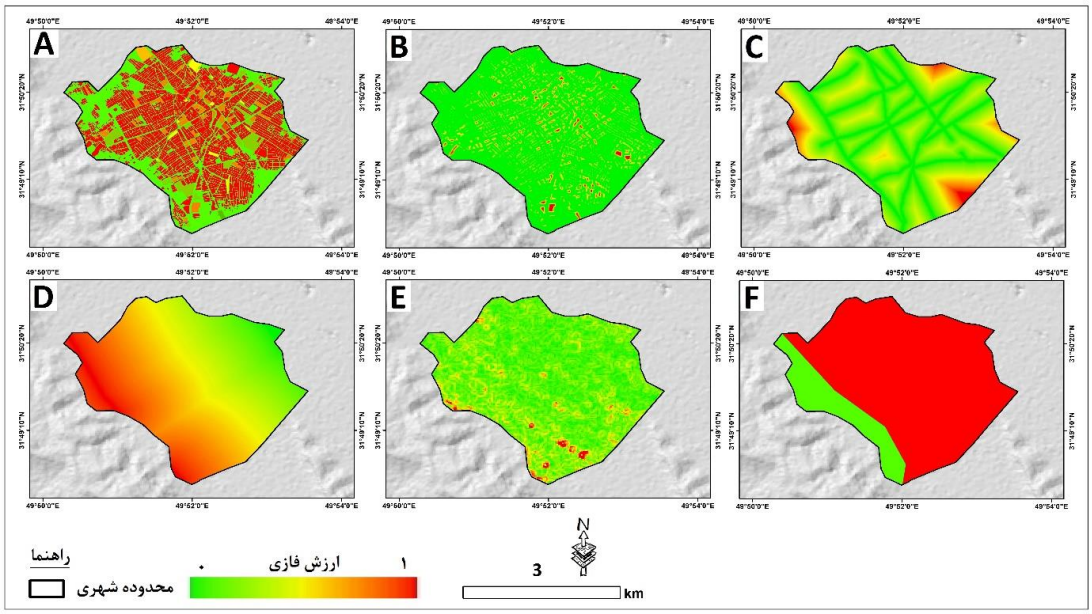
گسلی، مناطق دارای شیب کم و همچنین مناطق دارای لیتولوژی آهکی، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (جدول ۱ و شکل ۸).

جدول ۱. نحوه فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

معیار	نحوه استانداردسازی	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 آسیب‌پذیری بیشتری در برابر زمین‌لرزه دارند.		B
جاده اصلی	مناطق دور از جاده‌های اصلی، پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری در برابر زمین‌لرزه دارند.		C
گسل	مناطق نزدیک به خطوط گسلی، پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری در برابر زمین‌لرزه دارند.		D
شیب	مناطق پرشیب، پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری در برابر زمین‌لرزه دارند.		E
لیتولوژی	–مواد آبرفتی دارای ارزش ۰/۹ –آهک و شیل دارای ارزش ۰/۷ –آهک دارای ارزش ۰/۵		F

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

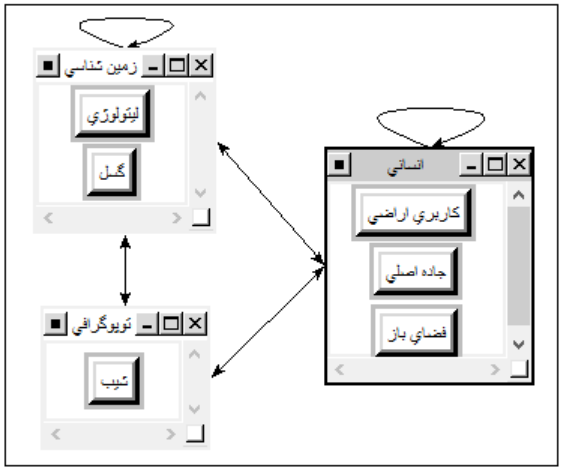
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]



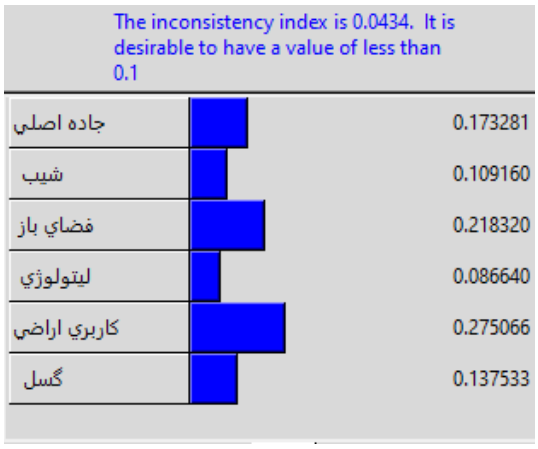
شکل ۸. نقشه فازی‌سازی‌شده پارامترها

وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، برای وزن‌دهی به آن‌ها از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. برای این منظور، پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای (شکل ۹) و باتوجه‌به رابطه درونی و بیرونی معیارها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل ۶ سطر و ۶ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. به‌منظور امتیازدهی به معیارها ازطریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان امر استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شده و پس از به دست آوردن وزن‌های نهایی هرکدام از معیارها (شکل ۱۰)، در نرم‌افزار Arc GIS بر روی لایه‌های فازی‌شده، اعمال شده است.



شکل ۹. ساختار شبکه‌ای ANP



شکل ۱۰. وزن نهایی معیارها بر اساس مدل ANP

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، وزن به‌دست‌آمده از طریق مدل ANP، بر روی تمامی معیارها اعمال شد و نتیجه نهایی حاصل گردید. همچنین برای مدل فازی با استفاده از عملگر گامای فازی نقشه‌های فازی‌شده 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

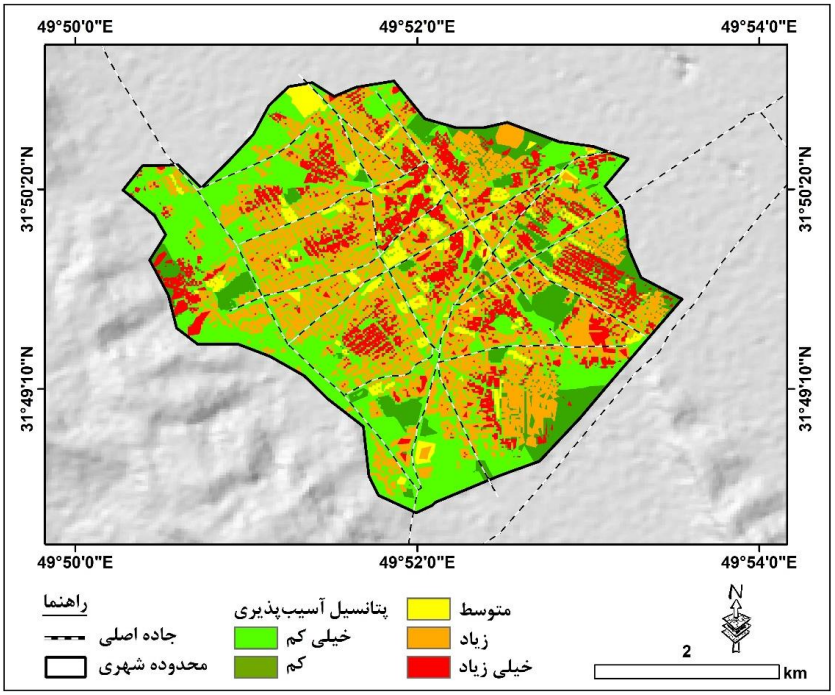
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

(رابطه ۱).

رابطه ۱:

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

برای عملگر گاما پس از تلفیق و ارزیابی هرکدام، درنهایت 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 ایذه 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 ایذه در برابر مخاطره زمین‌لرزه

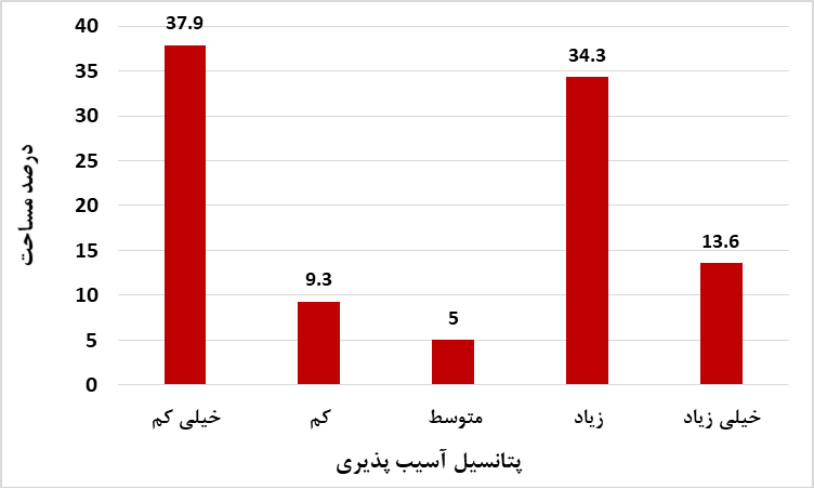
در جدول ۲ و شکل ۱۲، مساحت و درصد مساحت طبقات نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل‌شده، ۱/۹ کیلومترمربع از محدوده شهری ایذه (معادل ۱۳/۶ درصد از کل محدوده شهری) به دلیل تراکم نواحی سکونتگاهی و دور بودن از فضاهای باز و جاده‌های اصلی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیادی در برابر مخاطره زمین‌لرزه هستند.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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]



شکل ۱۲. نمودار درصد مساحت طبقات

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زمین‌لرزه با بهره‌گیری از رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌سازی فازی انجام شد. نتایج حاصل از تلفیق معیارهای مؤثر و اعمال وزن‌دهی به آن‌ها نشان داد که الگوی فضایی آسیب‌پذیری در شهر ایذه به‌صورت ناهمگون توزیع شده و بخش قابل‌توجهی از محدوده شهری در طبقات آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد قرار دارد. این امر بیانگر آن است که شهر ایذه به دلیل ویژگی‌های زمین‌ساختی و کالبدی خود، از تاب‌آوری مناسبی در برابر مخاطره زمین‌لرزه برخوردار نیست و در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای شدید، با خسارات قابل‌توجهی مواجه خواهد شد.

بررسی میزان تأثیرگذاری معیارهای مورداستفاده نشان داد که نزدیکی به گسل اصلی زاگرس مهم‌ترین عامل مؤثر در افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایذه است. این عامل در مقایسه با سایر پارامترها نظیر شیب، نوع لیتولوژی و فاصله از فضاهای باز، وزن و نقش تعیین‌کننده‌تری در شکل‌گیری پهنه‌های پرخطر داشته است.

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، تدوین و اجرای سیاست‌های مدیریت شهری مبتنی بر پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود نتایج این تحقیق به‌عنوان یکی از اسناد پشتیبان در طرح‌های توسعه شهری، به‌ویژه طرح جامع و تفصیلی شهر ایذه، مورداستفاده قرار گیرد تا از گسترش ساخت‌وساز در پهنه‌های با آسیب‌پذیری زیاد جلوگیری شود. همچنین، رعایت دقیق مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، به‌ویژه در مناطق نزدیک به گسل‌ها و نواحی دارای شیب زیاد، باید در اولویت برنامه‌های نظارتی قرار گیرد. ایجاد و تقویت فضاهای باز شهری در محلات پرتراکم، به‌منظور استفاده به‌عنوان فضاهای امن در زمان وقوع زمین‌لرزه، از دیگر اقدامات پیشنهادی است. علاوه بر این، مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود، به‌ویژه در بافت‌های فرسوده و مناطق با لیتولوژی نامناسب، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خسارات احتمالی داشته باشد. پیشنهاد می‌شود مدیریت شهری با همکاری نهادهای مرتبط، برنامه‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی عمومی را برای ساکنان مناطق پرخطر اجرا کند تا آمادگی جامعه در برابر زلزله افزایش یابد. درنهایت، برای مطالعات آینده، تلفیق شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی با شاخص‌های کالبدی و استفاده از سناریوهای مختلف وقوع زمین‌لرزه می‌تواند به ارائه نتایج جامع‌تر و کاربردی‌تر منجر شود و زمینه‌ساز تصمیم‌گیری مؤثرتر در حوزه مدیریت بحران و کاهش خطرپذیری شهری گردد.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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., Homaee, 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 Kotenaee, 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/geoeh.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*

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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/geoeh.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/geoeh.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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]

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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JHRE.45.194.135]