Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.14, Issue 45, September 2025

GIS-based multi-criteria decision-making for seismic vulnerability modeling using OWA conceptual quantifiers

Yasaman Asadi[1], Meysam Argany[2*], Keyvan Ezimand[3]

1. PhD student in Remote Sensing and Geographic Information System Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University Tehran, Tehran, Iran
2. *Corresponding Author*, , Assistant Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran
3. PhD student in Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Earth Sciences, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 30 January 2022
Revised: 30 March 2024
Accepted: 13 May 2024

Keywords:
Modeling, seismic vulnerability, urban buildings, liquefaction.

ABSTRACT

Earthquake is one of the most destructive disasters that cause a lot of damage to structures and humans. Many factors play a role in the vulnerability of urban areas to earthquakes. In Tehran, the presence of old buildings, high population density, and the existence of numerous faults have caused the city to be significantly vulnerable to earthquakes and on the other hand the phenomenon of liquefaction during earthquakes. The high level of groundwater and the type of alluvial and sandy soils in some areas increases vulnerability in Tehran. In this research, a map of the physical vulnerability of Tehran to earthquakes has been prepared in two different scenarios (considering the depth of groundwater level and not considering the depth of groundwater level) and the weighted average operator arranged to provide a wide range. Some of the answers from pessimistic to optimistic solutions have been used based on multi-criteria analysis and the results in different scenarios have been divided into five categories: very high, high, medium, low, and very low. The results show that considering the fuzzy concept quantifier "at least one" in the 6-parameter scenario 67% and in the 7-parameter scenario 85% of the buildings in the three zones 20, 16, and 11 are classified in the "very vulnerable" class. Comparison of the results of the two scenarios Due to the variability of groundwater depth in the study areas shows that in the 7-parameter scenario (taking into account the groundwater depth) in almost all decision-making strategies, the vulnerability increased from north to south of the study area. The study areas are in high and very high vulnerability classes.

Cite this article: Asadi, Y. , Argany, M. and Ezimand, K. (2025). GIS-based multi-criteria decision-making for seismic vulnerability modeling using OWA conceptual quantifiers. Journal of Natural Environmental Hazards, 14(45), 1-4. DOI: 10.22111/jneh.2024.41473.1873

© Meysam Argany Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.41473.1873

* Corresponding Author Email: argany@ut.ac.ir

INTRODUCTION

Earthquakes are among the most destructive and costly natural disasters, causing significant damage to human life and infrastructure. Urban areas worldwide are particularly vulnerable to earthquakes due to high population density and non-compliance with construction standards. Tehran, the capital of Iran, with a population exceeding 10 million and proximity to active faults, is considered one of the regions highly prone to seismic risks. The combination of human factors, such as high population density and outdated buildings, with natural factors, including shallow groundwater levels and soil types, significantly increases the city's vulnerability.

Estimating the vulnerability of urban areas and devising plans to mitigate risks are essential aspects of disaster management. Multi-criteria decision-making (MCDA) methods and Geographic Information Systems (GIS) are powerful tools for analyzing data and modelling vulnerability. This study employs a combination of these methods to assess seismic vulnerability in Tehran's urban areas, focusing on two scenarios: one excluding the groundwater factor and another including it.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted in three urban districts of Tehran (districts 11, 16, and 20), selected due to their longitudinal extension from north to south and significant variations in groundwater levels. Data required for modelling were collected from credible sources, including the Geological Survey of Iran, the National Cartographic Center, and Tehran Municipality. Seven primary criteria were considered: building density, population density, building age, construction materials, distance to faults, soil type, and groundwater level.

The criteria were weighted using the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Expert Choice software. Sequential weights were calculated using fuzzy linguistic quantifiers and integrated through the Ordered Weighted Averaging (OWA) operator to produce final vulnerability maps. The OWA method allowed the analysis of various decision-making scenarios ranging from optimistic to pessimistic strategies. The two main scenarios analyzed were: 1) a six-criterion scenario (excluding groundwater level) and 2) a seven-criterion scenario (including groundwater level).

RESULTS AND DISCUSSION

The findings revealed that in the six-criterion scenario, 67% of buildings in the studied districts fell into the "very high vulnerability" class. This proportion increased to 85% in the seven-criterion scenario, underscoring the significant impact of groundwater levels on seismic vulnerability. Specifically, southern districts exhibited the highest vulnerability due to their dense population, outdated buildings, shallow groundwater levels, and sandy and clayey soils.

Analysis of fuzzy linguistic quantifiers provided diverse decision-making strategies. In the optimistic scenario (using the "at least one" quantifier), a larger proportion of buildings were classified as having "low vulnerability." Conversely, in the pessimistic scenario (using the "all" quantifier), a higher percentage of buildings were placed in the "very high vulnerability" class. These results highlight the value of employing multiple decision-making strategies to identify critical areas and manage risks effectively.

A comparative analysis of the two scenarios demonstrated that incorporating groundwater levels not only enhanced the accuracy of the analysis but also altered the spatial distribution of vulnerability. In the seven-criterion scenario, southern areas of the city (districts 20 and 16), characterized by shallower groundwater levels, were classified as "very high vulnerability." This underscores the importance of subsurface factors like groundwater levels in urban planning and disaster management.

Additionally, the integration of fuzzy methods and the OWA operator enabled the creation of a wide range of decision-making scenarios. This flexibility can assist urban managers in devising tailored strategies for risk mitigation and earthquake crisis management. The final analysis revealed that buildings classified as "very high vulnerability" were predominantly located in areas with high

population density, outdated structures, and shallow groundwater levels. These buildings require reconstruction, retrofitting, and the use of standardized materials.

CONCLUSION

This study demonstrates that combining MCDA and GIS methods with the OWA model provides a robust framework for evaluating seismic vulnerability. The results emphasize that groundwater levels are a critical factor in increasing urban vulnerability and should be prioritized in urban planning and disaster management. Future research should consider human vulnerability alongside physical vulnerability. Furthermore, employing group decision-making models could improve the accuracy of analyses and enhance the reliability of results.

The study's findings offer valuable insights for formulating strategies to reduce earthquake risks. These strategies include reconstructing and retrofitting outdated buildings, controlling population density in critical areas, and enforcing stricter regulations on construction materials. Utilizing these results can improve urban management and enhance the safety of residents against earthquakes. Additionally, the findings can inform urban disaster management plans and post-earthquake search and rescue operations. Future studies could explore the development of early warning systems, risk maps, and simulation models for broader applications.

REFERENCES

References (in English)

Asadi, Y., Samany, N. N., & Ezimand, K. 2019. Seismic vulnerability assessment of urban buildings and traffic networks using a fuzzy ordered weighted average. Journal of Mountain Science, 16(3), 677-688.

Asadi, Y., Neysani Samany, N., Kiavarz Moqadam, M., Abdollahi Kakroodi, A., & Argany, M. 2022. Seismic vulnerability assessment of urban buildings using the rough set theory and weighted linear combination. Journal of Mountain Science, 19(3), 849-861

Ashrafi, Kh., Shafiepour, M. Ghasemi, L. and B. NajarAraabi. 2012. Prediction of Climate Change Induced Temperature Rise in Regional Scale Using Neural Network, International Journal of Environmental Research 6 (3), 677-688

Belkhiri, L., Boudoukha, A., and L. Mouni. 2011. A multivariate Statistical Analysis of 250 Groundwater Chemistry Data, International Journal of Environmental Research 5 (2), 537- 544.

Boroushaki, S., and J. Malczewski. 2010. "Using the Fuzzy Majority Approach for GIS-Based Multicriteria Group Decision-Making." Computers & Geosciences 36 (3): 302– 312. doi:10.1016/j.cageo.2009.05.011.

Boroushaki, S., Malczewski, J., 2008. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. Comput. Geosci. 34, 399–410.

Cheraghi, A., Wang, Y., Marković, N., & Ou, G. 2024. Efficient post-earthquake reconnaissance planning using adaptive batch-mode active learning. Advanced Engineering Informatics, 60, 102414.

Chini, M., N. Pierdicca, and W. J. Emery. 2009. "Exploiting SAR and VHR Optical Images to Quantify Damage Caused by the 2003 Bam Earthquake." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 47 (1): 145–152. doi:10.1109/TGRS.2008.2002695.

Duzgun, H. S. B., M. S. Yucemen, H. S. Kalaycioglu, K. Celik, S. Kemec, K. Ertugay, and A. Deniz. 2011. "An Integrated Earthquake Vulnerability Assessment Framework for Urban Areas." Natural Hazards 59 (2): 917–947. doi:10.1007/ s11069-011-9808-6.

Eldrandaly, K. A. 2013. "Exploring Multi-Criteria Decision Strategies in GIS with Linguistic Quantifiers: An Extension of the Analytical Network Process Using Ordered Weighted Averaging Operators." International Journal of Geographical

Greene, R., R. Devillers, J. E. Luther, and B. G. Eddy. 2011. "GIS- Based Multiple-Criteria Decision Analysis." Geography Compass 5 (6): 412–432. doi:10.1111/j.1749-8198.2011. 00431.

Jiang, H., and J. Ronald Eastman. 2000. "Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation in GIS." International Journal of Geographical Information Science 14 (2): 173– 184. doi:10.1080/136588100240903.

Hosseinpour, V., Saeidi, A., Nollet, M. J., & Nastev, M. 2021. Seismic loss estimation software: a comprehensive review of risk assessment steps, software development and limitations. Engineering structures, 232, 111866.

Kanokporn, K. and V. Iamaram. 2011. Ecological Impact Assessment; Conceptual Approach for Better Outcomes, Int. J. Environ. Res., 5 (2), 435-446.

Kolat, C., R. Ulusay, and M. Lutfi Suzen. 2012. "Development of Geotechnical Microzonation Model for Yenisehir (Bursa, Turkey) Located at a Seismically Active Region." Engineering Geology 127: 36–53. doi:10.1016/j.enggeo. 2011.12.014.

Malakar, S., Rai, A. K., & Gupta, A. K. 2023. Earthquake risk mapping in the Himalayas by integrated analytical hierarchy process, entropy with neural network. Natural Hazards, 116(1), 951-975.

Malczewski,J.,et al .(2003). GIS multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): a case study of developing watershed management strategies. Environment and Planning A 35 (10), 1769–1784

Malczewski, J. 2006. “Ordered Weighted Averaging with Fuzzy Quantifiers: GIS-Based Multicriteria Evaluation for LandUse Suitability Analysis.” International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8 (4): 270–277. doi:10.1016/j.jag.2006.01.003.

Mohanty, W. K., M. Yanger Walling, S. K. Nath, and I. Pal. 2007. “First Order Seismic Microzonation of Delhi, India Using Geographic Information System (GIS).” Natural Hazards 40 (2): 245–260. doi:10.1007/s11069-006-0011-0.

Moustra, M., Avraamides, M., & Christodoulou, C. 2011. Artificial neural networks for earthquake prediction using time series magnitude data or seismic electric signals. Expert systems with applications, 38(12), 15032-15039.

Moradi, M., Delavar, M. R., & Moshiri, B. (2015). A GIS-based multi-criteria decision-making approach for seismic vulnerability assessment using quantifier-guided OWA operator: a case study of Tehran, Iran. Annals of GIS, 21(3), 209-222.

Rahman, N., Ansary, M. A., & Islam, I. (2015). GIS-based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city, Bangladesh. International journal of disaster risk reduction, 13, 291-300.

Rashed, T., and J. Weeks. 2003. “Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas.” International Journal of Geographical Information Science 17 (6): 547–576. doi:10.1080/ 1365881031000114071

Samadi Alinia, H., and M. R. Delavar. 2011. “Tehran’s Seismic Vulnerability Classification Using Granular Computing Approach.” Applied Geomatics 3 (4): 229–240. doi:10.1007/s12518-011-0068-7.

Salehi, E., Zebardast, L. and A. R. Yavri. 2012. Detecting Forest Fragmentation with Morphological Image Processing in Golestan National Park in Northeast of Iran, International Journal of Environmental Research 6 (2), 531-536

Shadmaan, M. S., & Popy, S. (2023). An assessment of earthquake vulnerability by multi-criteria decision-making method. Geohazard Mechanics, 1(1), 94-102

Srikanth, Terala and others. (2010). Earthquake Vulnerability Assessment of Existing Buildings in Gandhidham and AdipurCities Kachchh, Gujarat, India.

Silavi, T., M. R. Delavar, M. R. Malek, N. Kamalian, and K. Karimizand. 2006. “An Integrated Strategy for GIS-Based Fuzzy Improved Earthquake Vulnerability Assessment.” Proceedings of Conference, ISPRS, The Second International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM), Goa, September 25–26, 6p

Zadeh, L.A. 1983. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. Computers and Mathematics with Applications 9, 149–184.

Yager RR 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 18 (1): 183-190. https://doi.org 10.1109/21.87068.

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۵، شماره پیاپی۳، مهر ۱۴۰۴

تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS برای مدلسازی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از کمیت‌سنج‌های مفهومی OWA

یاسمن اسدی[۱]، میثم ارگانی[۲*]، کیوان عزی مند[۳]

۱. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
۲. استادیار گروه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)
۳. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۱

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۲/۲۴

واژه‌های کلیدی:
مدل‌سازی، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، ساختمان‌های شهری، روان‌گرایی.

چکیده

زلزله یکی از مخرب‌ترین بلایایی است که خسارت‌های زیادی به سازه‌ها و انسان وارد می‌کند. عوامل زیادی در آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله نقش دارند. در تهران وجود ساختمان‌های قدیمی، تراکم بالای جمعیت، وجود گسل‌های متعدد، تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی و نوع خاک سبب شده که این شهر به میزان قابل‌توجهی در برابر خطر زلزله آسیب‌پذیر باشد. به همین منظور در این مطالعه نقشه آسیب‌پذیری فیزیکی شهر تهران در برابر زلزله در دو سناریوی متفاوت (با درنظرگرفتن سطح آب زیرزمینی و بدون درنظرگرفتن سطح آب زیرزمینی) تهیه شده است. در این مطالعه از عملگر میانگین وزنی مرتب‌شده برای ارائه طیف گسترده‌ای از راه‌حل‌های بدبینانه تا خوش‌بینانه بر اساس تحلیل چندمعیاره استفاده شده است و نتایج آن در سناریوهای مختلف ارائه شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد با درنظرگرفتن کمیت‌سنج مفهومی فازی "حداقل یکی" در سناریوی ۶ پارامتری ۶۷ درصد و در سناریوی ۷ پارامتری ۸۵ درصد ساختمان‌های سه منطقه ۲۰ و ۱۶ و ۱۱ در کلاس «آسیب‌پذیری بسیار زیاد» طبقه‌بندی شده‌اند. مقایسه نتایج دو سناریو با توجه به متغیر بودن سطح آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که در سناریوی ۷ پارامتری (با درنظرگرفتن سطح آب زیرزمینی) تقریباً در تمام استراتژی‌های تصمیم‌گیری میزان آسیب‌پذیری از شمال به جنوب منطقه موردمطالعه افزایش یافته و مناطق موردمطالعه در کلاس آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد قرارگرفته‌اند.

استناد: اسدی، یاسمن ، ارگانی، میثم و عزی مند، کیوان . (۱۴۰۴). تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS برای مدلسازی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از کمیت سنج های مفهومی OWA. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۵)، ۶-۱. DOI: 10.22111/jneh.2024.41473.1873

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© یاسمن اسدی، میثم ارگانی*، کیوان عزی مند.

*- میثم ارگانی (نویسنده مسئول)
Email: argany@ut.ac.ir

مقدمه

زلزله به‌عنوان یکی از پرهزینه‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی شناخته می‌شود که تأثیرات جبران‌ناپذیری بر انسان و زیرساخت‌های شهری دارد. در بسیاری از مناطق جهان، شهرها به دلیل تراکم جمعیت بالا و عدم رعایت استانداردهای ساخت‌وساز، در برابر خطرات زلزله بسیار آسیب‌پذیر هستند. تهران به‌عنوان پایتخت ایران، با جمعیتی بالغ بر ۱۰ میلیون نفر و وجود گسل‌های فعال، یکی از مناطق مستعد وقوع زلزله محسوب می‌شود. ترکیب عوامل انسانی مانند تراکم جمعیت و ساختمان‌های فرسوده با عوامل طبیعی مانند سطح آب زیرزمینی کم‌عمق و نوع خاک، خطر آسیب‌پذیری این شهر را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده است.

برآورد میزان آسیب‌پذیری مناطق شهری و تدوین برنامه‌هایی برای کاهش خطرات، یکی از موضوعات کلیدی در مدیریت بحران‌های طبیعی است. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزارهای قدرتمندی هستند که می‌توانند در این زمینه به کار گرفته شوند. این پژوهش با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شهری تهران، ترکیبی از این روش‌ها را برای تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی آسیب‌پذیری به کار گرفته است. در این راستا، دو سناریوی اصلی بدون در نظر گرفتن آب زیرزمینی و دیگری با لحاظ کردن آن برای بررسی نقش سطح آب زیرزمینی طراحی شده است.

داده‌ها و روش‌ها

این مطالعه در سه منطقه شهری تهران شامل مناطق ۱۱، ۱۶ و ۲۰ انجام شده است. این مناطق به دلیل گسترش طولی از شمال به جنوب و تفاوت‌های محسوس در سطح آب زیرزمینی انتخاب شدند. داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی از منابع مختلفی شامل سازمان زمین‌شناسی، سازمان نقشه‌برداری کشور و شهرداری تهران گردآوری شدند. هفت شاخص اصلی تراکم ساختمان، تراکم جمعیت، قدمت بنا، نوع مصالح، فاصله از گسل، جنس خاک و سطح آب زیرزمینی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند.

برای وزن‌دهی به شاخص‌ها، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. سپس وزن‌های ترتیبی با بهره‌گیری از کمیت سنج‌های مفهومی فازی محاسبه شدند. این وزن‌ها در عملگر میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA) ادغام شدند تا نقشه‌های آسیب‌پذیری نهایی تولید شوند. استفاده از OWA امکان تحلیل سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری از خوش‌بینانه‌ترین تا بدبینانه‌ترین حالت‌ها را فراهم کرد. دو سناریوی مورد نظر شامل: ۱) سناریوی شش‌معیاری (بدون لحاظ کردن سطح آب زیرزمینی) و ۲) سناریوی هفت‌معیاری (با لحاظ کردن سطح آب زیرزمینی) بودند.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان داد که در سناریوی شش‌معیاری، ۶۷ درصد از ساختمان‌های مناطق مورد مطالعه در کلاس "آسیب‌پذیری بسیار زیاد" قرار گرفتند. این مقدار در سناریوی هفت‌معیاری به ۸۵ درصد افزایش یافت که بیانگر تأثیر قابل‌توجه سطح آب زیرزمینی بر میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای است. به‌طور خاص، مناطق جنوبی تهران

به‌دلیل تراکم بالای ساختمان‌های قدیمی، عمق کم سطح آب زیرزمینی و خاک‌های ماسه‌ای و رسی، بیشترین میزان آسیب‌پذیری را نشان دادند.

تحلیل کمیت سنج‌های مفهومی فازی، استراتژی‌های مختلفی را برای تصمیم‌گیری ارائه داد. در حالت خوش‌بینانه (با استفاده از کمیت سنج "حداقل یکی")، بخش بیشتری از ساختمان‌ها در کلاس "آسیب‌پذیری کم" قرار گرفتند. از سوی دیگر، در حالت بدبینانه (با استفاده از کمیت سنج "همگی")، درصد بیشتری از ساختمان‌ها به کلاس "آسیب‌پذیری بسیار زیاد" منتقل شدند. نتایج نشان دادند که استفاده از استراتژی‌های مختلف تصمیم‌گیری می‌تواند دیدگاه‌های متنوعی در مورد میزان آسیب‌پذیری ارائه دهد و در شناسایی مناطق بحرانی مؤثر باشد.

بررسی مقایسه‌ای دو سناریو نشان داد که لحاظ کردن سطح آب زیرزمینی در ارزیابی آسیب‌پذیری، نه‌تنها دقت تحلیل را افزایش می‌دهد، بلکه توزیع فضایی آسیب‌پذیری را نیز تغییر می‌دهد. در سناریوی هفت‌معیاری، مناطق جنوبی شهر (مناطق ۲۰ و ۱۶) که دارای سطح آب زیرزمینی کم‌عمق‌تر هستند، در کلاس "آسیب‌پذیری بسیار زیاد" قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که عوامل زیرسطحی مانند سطح آب زیرزمینی باید به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران مورد توجه قرار گیرند.

علاوه بر این، استفاده از روش‌های فازی و عملگر OWA امکان ایجاد طیف وسیعی از سناریوهای تصمیم‌گیری را فراهم کرد. این انعطاف‌پذیری می‌تواند به مدیران شهری کمک کند تا استراتژی‌های مختلفی برای کاهش خطرات و مدیریت بحران‌های زلزله تدوین کنند. در تحلیل نهایی، مشخص شد که ساختمان‌هایی که در کلاس "آسیب‌پذیری بسیار زیاد" قرار دارند، عمدتاً در مناطقی با تراکم بالای جمعیت، ساختمان‌های فرسوده و عمق کم سطح آب زیرزمینی واقع شده‌اند. این ساختمان‌ها نیازمند بازسازی، مقاوم‌سازی و استفاده از مصالح استاندارد هستند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ترکیب روش‌های MCDA و GIS در کنار استفاده از مدلOWA ، ابزاری قدرتمند برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ارائه می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که سطح آب زیرزمینی یکی از عوامل کلیدی در افزایش آسیب‌پذیری مناطق شهری است و باید در برنامه‌ریزی‌های شهری و مدیریت بحران مد نظر قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده، جنبه‌های انسانی آسیب‌پذیری نیز مورد بررسی قرار گیرند. همچنین، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری گروهی می‌تواند به بهبود دقت تحلیل‌ها و ارتقای قابلیت اطمینان نتایج کمک کند.

از دیگر نتایج این پژوهش، می‌توان به تدوین استراتژی‌های کاهش خطر زلزله اشاره کرد. این استراتژی‌ها شامل بازسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های فرسوده، کنترل تراکم جمعیت در مناطق بحرانی و تدوین قوانین سختگیرانه‌تر در مورد مصالح ساختمانی است. استفاده از این نتایج می‌تواند به بهبود مدیریت شهری و افزایش ایمنی شهروندان در برابر زلزله کمک کند. علاوه بر این، نتایج این پژوهش می‌توانند در برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران و جستجو و نجات پس از زلزله مورد استفاده قرار گیرند. ایجاد سیستم‌های هشداردهنده، نقشه‌های ریسک و مدل‌های شبیه‌سازی از دیگر پیشنهاداتی است که می‌تواند در تحقیقات آینده دنبال شود.

منابع

Asadi, Y., Samany, N. N., & Ezimand, K. 2019. Seismic vulnerability assessment of urban buildings and traffic networks using a fuzzy ordered weighted average. Journal of Mountain Science, 16(3), 677-688.

Asadi, Y., Neysani Samany, N., Kiavarz Moqadam, M., Abdollahi Kakroodi, A., & Argany, M. 2022. Seismic vulnerability assessment of urban buildings using the rough set theory and weighted linear combination. Journal of Mountain Science, 19(3), 849-861

Ashrafi, Kh., Shafiepour, M. Ghasemi, L. and B. NajarAraabi. 2012. Prediction of Climate Change Induced Temperature Rise in Regional Scale Using Neural Network, International Journal of Environmental Research 6 (3), 677-688

Belkhiri, L., Boudoukha, A., and L. Mouni. 2011. A multivariate Statistical Analysis of 250 Groundwater Chemistry Data, International Journal of Environmental Research 5 (2), 537- 544.

Boroushaki, S., and J. Malczewski. 2010. "Using the Fuzzy Majority Approach for GIS-Based Multicriteria Group Decision-Making." Computers & Geosciences 36 (3): 302– 312. doi:10.1016/j.cageo.2009.05.011.

Boroushaki, S., Malczewski, J., 2008. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. Comput. Geosci. 34, 399–410.

Cheraghi, A., Wang, Y., Marković, N., & Ou, G. 2024. Efficient post-earthquake reconnaissance planning using adaptive batch-mode active learning. Advanced Engineering Informatics, 60, 102414.

Chini, M., N. Pierdicca, and W. J. Emery. 2009. "Exploiting SAR and VHR Optical Images to Quantify Damage Caused by the 2003 Bam Earthquake." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 47 (1): 145–152. doi:10.1109/TGRS.2008.2002695.

Duzgun, H. S. B., M. S. Yucemen, H. S. Kalaycioglu, K. Celik, S. Kemec, K. Ertugay, and A. Deniz. 2011. "An Integrated Earthquake Vulnerability Assessment Framework for Urban Areas." Natural Hazards 59 (2): 917–947. doi:10.1007/ s11069-011-9808-6.

Eldrandaly, K. A. 2013. "Exploring Multi-Criteria Decision Strategies in GIS with Linguistic Quantifiers: An Extension of the Analytical Network Process Using Ordered Weighted Averaging Operators." International Journal of Geographical

Greene, R., R. Devillers, J. E. Luther, and B. G. Eddy. 2011. "GIS- Based Multiple-Criteria Decision Analysis." Geography Compass 5 (6): 412–432. doi:10.1111/j.1749-8198.2011. 00431.

Jiang, H., and J. Ronald Eastman. 2000. "Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation in GIS." International Journal of Geographical Information Science 14 (2): 173– 184. doi:10.1080/136588100240903.

Hosseinpour, V., Saeidi, A., Nollet, M. J., & Nastev, M. 2021. Seismic loss estimation software: a comprehensive review of risk assessment steps, software development and limitations. Engineering structures, 232, 111866.

Kanokporn, K. and V. Iamaram. 2011. Ecological Impact Assessment; Conceptual Approach for Better Outcomes, Int. J. Environ. Res., 5 (2), 435-446.

Kolat, C., R. Ulusay, and M. Lutfi Suzen. 2012. "Development of Geotechnical Microzonation Model for Yenisehir (Bursa, Turkey) Located at a Seismically Active Region." Engineering Geology 127: 36–53. doi:10.1016/j.enggeo. 2011.12.014.

Malakar, S., Rai, A. K., & Gupta, A. K. 2023. Earthquake risk mapping in the Himalayas by integrated analytical hierarchy process, entropy with neural network. Natural Hazards, 116(1), 951-975.

Malczewski,J.,et al .(2003). GIS multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): a case study of developing watershed management strategies. Environment and Planning A 35 (10), 1769–1784

Malczewski, J. 2006. "Ordered Weighted Averaging with Fuzzy Quantifiers: GIS-Based Multicriteria Evaluation for LandUse Suitability Analysis." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8 (4): 270–277. doi:10.1016/j.jag.2006.01.003.

Mohanty, W. K., M. Yanger Walling, S. K. Nath, and I. Pal. 2007. "First Order Seismic Microzonation of Delhi, India Using Geographic Information System (GIS)." Natural Hazards 40 (2): 245–260. doi:10.1007/s11069-006-0011-0.

Moustra, M., Avraamides, M., & Christodoulou, C. 2011. Artificial neural networks for earthquake prediction using time series magnitude data or seismic electric signals. Expert systems with applications, 38(12), 15032-15039.

Moradi, M., Delavar, M. R., & Moshiri, B. (2015). A GIS-based multi-criteria decision-making approach for seismic vulnerability assessment using quantifier-guided OWA operator: a case study of Tehran, Iran. Annals of GIS, 21(3), 209-222.

Rahman, N., Ansary, M. A., & Islam, I. (2015). GIS-based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city, Bangladesh. International journal of disaster risk reduction, 13, 291-300.

Rashed, T., and J. Weeks. 2003. "Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas." International Journal of Geographical Information Science 17 (6): 547–576. doi:10.1080/ 1365881031000114071

Samadi Alinia, H., and M. R. Delavar. 2011. "Tehran's Seismic Vulnerability Classification Using Granular Computing Approach." Applied Geomatics 3 (4): 229–240. doi:10.1007/s12518-011-0068-7.

Salehi, E., Zebardast, L. and A. R. Yavri. 2012. Detecting Forest Fragmentation with Morphological Image Processing in Golestan National Park in Northeast of Iran, International Journal of Environmental Research 6 (2), 531-536

Shadmaan, M. S., & Popy, S. (2023). An assessment of earthquake vulnerability by multi-criteria decision-making method. Geohazard Mechanics, 1(1), 94-102

Srikanth, Terala and others. (2010). Earthquake Vulnerability Assessment of Existing Buildings in Gandhidham and AdipurCities Kachchh, Gujarat, India.

Silavi, T., M. R. Delavar, M. R. Malek, N. Kamalian, and K. Karimizand. 2006. “An Integrated Strategy for GIS-Based Fuzzy Improved Earthquake Vulnerability Assessment.” Proceedings of Conference, ISPRS, The Second International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM), Goa, September 25–26, 6p

Zadeh, L.A. 1983. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. Computers and Mathematics with Applications 9, 149–184.

Yager RR 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking, IEEE Trans. Syst.

Man Cybern. 18 (1): 183-190. https://doi.org 10.1109/21.87068.