



Capacity Measurement in the Face of Earthquake in Tabriz Watershed

Seyed Jalalodin Khoshkanabi¹, Ahmad Nohegar²  , Mohammad Javad Amiri³

1. Department of Environment planning, Aras International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran..
E: a.seif@geo.ui.ac.ir
2. Department of Disaster Engineering, Education and Environmental Systems, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran, (Corresponding Author) E: hojat359@yahoo.com
3. Department of Disaster Engineering, Education and Environmental Systems, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E: mjamiri@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords

Resilience
Fuzzy analysis
Earthquake
Strategy
District 2 of Tabriz

In this study, according to the possibility of earthquake crisis, the level of urban resilience and the response capacity of the district 2 of Tabriz were evaluated against earthquakes. At first, the effective indicators in resilience were prepared by Delphi technique and were categorized into 12 criteria. Next, the indices were weighted by ANP, and superimposed by SUM fuzzy. Spatial pattern of the clusters was analyzed by Moran's autocorrelation model; The relationship between the indicators and the level of resilience was analyzed by the GWR model. The results showed that the indicators of access to urban open spaces, urban impermeability and quality are the most important in resilience with of 0.174, 0.137 and 0.137 weight respectively. Approximately 35% of the district 2 of Tabriz has weak resilience against earthquakes, but about 65% has moderate to almost adequate resilience. The weak neighborhoods are related to the north-western neighborhoods (Golbad, Halmeh, Qorkhaneh, Shahid Montazeri and Gol-Gasht) and the suitable neighborhoods are Tabriz University, Elahi Parast, Zafaranih, Sari Zira, Abbas Mirza and Golshahr. Moran's model shows the confirmation of the urban resilience clustering model of the region against earthquakes. The coefficients of the Geographic Weight Regression (GWR) model indicate the validity and accuracy of the model for predicting the level of resilience. The urban resilience evaluation framework and the preparation of spatial maps for resilience evaluation can be a practical guide to determine the strengths and weaknesses of a city against earthquakes. These results can help planners in spatial planning and urban environment.

Article History:

Received:
17 JU 2023
Received in revised form:
06 FE 2024
Accepted:
28 AP 2024
Available online:
20 AP 2024

Citation: Khoshkanabi, J., Nohegar, A. & Javad Amiri, M.. (2024). Capacity Measurement in the Face of Earthquake in Tabriz Watershed, Journal of Geography, 22 (81), 153-174.

 <http://doi.org/10.22034/iga.2024.2034264.1316>



© The Author (s).

Publisher: Iranian Geographical Associati

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

Extended Abstract

Introduction

Tabriz is located a short distance from the fault north of Tabriz, which is one of the areas with a very high relative risk in earthquake risk. The region of 2 municipalities of Tabriz, where many scientific and tourism centers are located, is at risk of earthquakes. In this study, according to the possibility of earthquake crisis, the level of urban resilience and the response capacity of the district 2 of Tabriz were evaluated against earthquakes.

Methodology

At first, the effective indicators in resilience were prepared by interview and nominal group method and Delphi technique and were categorized into 12 criteria. Next, the indices were weighted by ANP, the layers (indices) were superimposed with the SUM fuzzy. The neighborhoods of the region 2 were clustered by SVM, in terms of resilience and the spatial pattern of the clusters was analyzed by Moran's autocorrelation model; The relationship between the indicators and the level of resilience was analyzed by the GWR model. Finally, SWAT technique and QSPM matrix were used to develop operational strategies for poor neighborhoods.

Result and discussion

The results showed that the indicators of access to urban open spaces, urban impermeability and quality are the most important in resilience with fuzzy membership degrees of 0.174, 0.137 and 0.137 respectively. Approximately 35% of the district 2 of Tabriz has weak resilience against earthquakes, but about 65% has moderate to almost adequate resilience. The weak neighborhoods are related to the north-western neighborhoods (Golbad, Halmeh, Qorkhaneh, Shahid Montazeri and Gol-Gasht) and the suitable neighborhoods are Tabriz University, Elahi Parast, Zafaranieh, Sari Zira, Abbas Mirza and Golshahr. Moran's model shows the confirmation of the urban resilience clustering model of the region against earthquakes. The coefficients of the GWR model indicate the validity and accuracy of the model for predicting the level of resilience. The results of the SWAT technique show that the studied factors are placed in the district 2 of Tabriz and in the fifth house (V) that the residents of the neighborhoods of district 2 of Tabriz in terms of being able to deal with the earthquake in the condition is medium to low. The strategies are also aggressive (SO) and its goal is to make maximum use of external opportunities with internal strengths and in this way maintain the external factors of the current conditions and grow and strengthen these conditions in the future.

Conclusion

The urban resilience evaluation framework and the preparation of spatial maps for resilience evaluation can be a practical guide to determine the strengths and weaknesses of a city against earthquakes. These results can help planners in spatial planning and urban environment. In addition, authorities can use the results to develop disaster risk reduction programs and policies. They can use the framework introduced in this study to identify areas of vulnerability that should be prioritized during resilience efforts.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

References

- 1) Alam, M. S. & Haque, S. M. (2022). Multi-dimensional earthquake vulnerability assessment of residential neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh: A spatial multi-criteria analysis-based approach. *Journal of Urban Management*, 11(1), 37-58. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.001>
- 2) bagheri maragheh N, motamedi M, mafi E. Assessing the resilience of Shirvan city in the face of earthquakes. *jgs* 2022; 22 (64) :329-347 [Persian]. <https://doi.org/10.52547/jgs.22.64.329>
- 3) Byun, J. E., & D'Ayala, D. (2022). Urban seismic resilience mapping: a transportation network in Istanbul, Turkey. *Scientific reports*, 12(1), 8188. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11991-2>
- 4) Cong, Y. & Inazumi, S. (2024). Enhancing Urban Resilience with Smart Technologies and Predictive Analytics in Setagaya, Tokyo. 10.20944/preprints202403.0442.v1
- 5) Guo, Y. & Chen, W. Y. (2024). Monitoring tree canopy dynamics across heterogeneous urban habitats: A longitudinal study using multi-source remote sensing data. *Journal of Environmental Management*, 356, 120542. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120542>
- 6) Li, H., Wang, Y., Zhang, H., Yin, R., Liu, C., Wang, Z., ... & Zhao, J. (2024). The spatial-temporal evolution and driving mechanism of Urban resilience in the Yellow River Basin cities. *Journal of Cleaner Production*, 141614. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141614>
- 7) Mahmoudzadeh, H., Nazari, M., & Herischiyan, M. (2021). Assessing and evaluating the resilience of worn-out urban fabric against earthquakes (Case Study: Shahrekord). *Geographical Planning of Space*, 11(41), 163-182. [In Persian]. <https://doi.org/10.30488/GPS.2021.245297.3294>
- 8) maleki, S., razavii, S. M., & Ramazanpour Asadih, K. (2022). Measurement and Evaluation of Resilience to Earthquake Urban Areas (Case Study: Western District of Izeh City), 12(47), 187-202. [Persian]. <https://doi.org/10.30495/JUPM.2022.4231>
- 9) Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and urban planning*, 147, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- 10) Mohaqeqi, P., Ghadami, M., Azimi amoli, J., & Janbaz Ghobadi, G. R. (2021). An investigation of earthquake resilience with an emphasis on urban form: A case study on District 12 of Tehran. *Urban Structure and Function Studies*, 8(29), 245-273. [Persian]. <https://doi.org/10.22080/USFS.2021.3445>
- 11) Narjabadifam, P., Hoseinpour, R., Noori, M., & Altabay, W. (2021). Practical seismic resilience evaluation and crisis management planning through GIS-based vulnerability assessment of buildings. *Earthquake engineering and engineering vibration*, 20, 25-37. <https://doi.org/10.1007/s11803-021-2003-1>
- 12) Pakru N, Moosavi M S. Urban Resilience Assessment on Earthquake (Case Study: District 1 of Tabriz City). *jgs* 2023; 23 (68):7 [Persian]. <https://doi.org/10.52547/jgs.23.68.115>
- 13) Poursharifi, J., Tabibian, M., Masoud, M., & Toghyani, S. (2021). Evaluation of physical resilient of the city of Qazvin against earthquake with the approach of natural site of the city. *Geography (Regional Planning)*, 11(42), 91-114. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.22286462.1400.11.2.5.5>
- 14) Rajaei, S. A., Mansourian, H., & Soltani, M. (2021). Spatial analysis of urban resilience against earthquakes Case study: Region 1 of Tehran. *Sustainable city*, 4(1), 1-13. [Persian]. <https://doi.org/10.22034/JSC.2020.225370.1221>
- 15) Ribeiro, P. J. G., & Gonçalves, L. A. P. J. (2019). Urban resilience: A conceptual framework. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101625. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101625>
- 16) Spaans, M., & Waterhout, B. (2017). Building up resilience in cities worldwide—Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. *Cities*, 61, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.05.011>
- 17) Zhang, B., Liu, Y., Liu, Y., & Lyu, S. (2024). Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors for Urban Resilience in China: A Provincial Analysis. *Buildings*, 14(2), 502. <https://doi.org/10.3390/buildings14020502>

- 18) Gallardo, M., Otto, J. C., Gayo, E. M. & Sitzia, L. (2023). Reconstruction of Glaciers in the Western boundary of the Altiplano (18.5°-19°S): Singularities and insights on potential drivers of Quaternary Science Advances, Vol. 13, 100158. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100158>.
- 19) Höfer, H. (1879). Gletscher und Eiszeit-Studien Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch naturwissenschaftliche Klasse, Vol. 79, p. 331 - 367. https://www.zobodat.at/publikation_articles.php?id=146365.
- 20) Louis, H. (1955). Schneegrenze und Schneegrenzbestimmung, Geographisches Taschenbuch 1954, Vol. 55, 414-418.
- 21) Mark, B., Harrison, S. P., Spessa, A., New, M., Evans, D. G. A. & Helmens, K. F. (2005). Tropical Snowline changes at the last Glacial maximum: A Global assessment, Quaternary International, Vol. 138-139, 168-201. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.02.012>
- 22) Seif, A. (2015). Equilibrium-Line Altitudes of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran, Quaternary International, 2 (6), 126-143. <https://doi.org/10.22059/jgeope.2016.58674>
- 23) Seif, A. & Ali, B. (2018). Investigation of Glacial Effects and the Permanent Snow Lines on the Southern Slopes of the Hamadan Alvand Kuh, Journal of Geoscience and Environment Protection, 6 (6), 120-142. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.66010>
- 24) Seif, A. & Ebrahimi, B. (2014). Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques, Zardkuh Mountain, Iran. Quaternary International, Vol. 353, pp. 236-249. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.005>.
- 25) Schweizer, G. (1972). Klimatisch bedingte Geomorphologische und Glaziologische Züge der Hochregion vorderasiatischer Gebirge (Iran and Ostanatolien) [Climatically based geomorphological and glaciological characteristics of the high-altitude regions of Near Eastern mountains (Iran and Eastern Anatolia)] :Erdwissenschaftliche Forschung, Vol. 4, 221-236.

**ظرفیت سنجی مواجهه با زمین لرزه در حوزه آبخیز تبریز**سیدجلال الدین خشکنابی^۱، احمد نوحه گر^۲ ✉، محمدجواد امیری^۳۱. گروه برنامه ریزی محیط زیست، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، تهران، ایران. E: jalal.khoshkanabi@gmail.com۲. گروه مهندسی سوانح، آموزش و سیستم های محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران، (نویسنده مسئول) E: Nohegar@ut.ac.ir۳. گروه مهندسی سوانح، آموزش و سیستم های محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. E: mjamiri@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

برنامه ریزی جهت ارتقای سطح تاب آوری و ظرفیت پاسخگویی شهر تبریز که در این مطالعه منطقه ۲ شهر تبریز می باشد، در برابر زمین لرزه در وضع موجود به ویژه در حین وقوع زمین لرزه و تخلیه محله، مستلزم شناسایی محلات ضعیف و حساس در برابر زلزله و ارزیابی سطح تاب آوری آن است. در این مطالعه با توجه به احتمال وقوع بحران زمین لرزه، ظرفیت پاسخگویی و تاب آوری منطقه دو تبریز در برابر زمین لرزه ارزیابی شد. ابتدا شاخص های موثر در تاب آوری با تکنیک دلفی تهیه و در قالب ۱۲ شاخص دسته بندی شد. سپس با مدل تحلیل شبکه (ANP)، شاخص ها وزن دهی شده و با عملگر SUM رویهم گذاری شدند. با تکنیک SVM، محله های منطقه دو از لحاظ تاب آوری خوشه بندی شده و الگوی فضایی با مدل موران تحلیل شد. نتایج نشان داد شاخص های دسترسی به فضاهای باز، نفوذناپذیری و کیفیت بنا به ترتیب با درجه عضویت فازی ۰/۱۷۴، ۰/۱۳۷ و ۰/۱۳۷ بیشترین اهمیت را دارند. ۳۵ درصد از منطقه دو تاب آوری ضعیف در برابر زمین لرزه دارد، اما حدود ۶۵ درصد تاب آوری متوسط تا تقریباً مناسب است. محله های ضعیف در شمال غربی (کلباد، حلمه، قورخانه، شهید منتظری و گل گشت) و محله های مناسب نیز دانشگاه تبریز، الهی پرست، زعفرانیه، ساری زبیرا، عباس میرزا و گل شهر است. مدل موران نشان دهنده تأیید الگوی خوشه بندی تاب آوری در برابر زمین لرزه است. نتایج ماتریس سوات نشان می دهد ساکنین محله های منطقه دو تبریز به لحاظ توانمند بودن برای مقابله با زمین لرزه در وضعیت متوسط به پایین قرار دارد.

واژگان کلیدی:

تاب آوری
تحلیل فازی
زمین لرزه
راهبرد
منطقه ۲ تبریز

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۲/۱۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۶/۰۱

استناد: خشکنابی، سیدجلال الدین؛ نوحه گر، احمد و امیری، محمدجواد (۱۴۰۳). ظرفیت سنجی مواجهه با زمین لرزه در حوزه آبخیز تبریز،

فصلنامه علمی جغرافیا، (۸۱) ۲۲، ۱۷۴-۱۵۳.

doi <http://doi.org/10.22034/iga.2024.2034264.1316>

مقدمه و پیشینه

چشم‌انداز شهری در کشورهای توسعه یافته که با شهرنشینی سریع و پیشرفت‌های کالبدی مشخص می‌شود، در فاز رسیدگی به چالش‌های پیچیده در بخش‌های ساخت‌وساز و زیرساخت قرار دارد (Cong & Inazumi, 2024: 3). در کلانشهر تبریز که بزرگ‌ترین شهر در شمال غربی ایران و جزء کلان‌شهر ایران محسوب می‌شود، آسیب‌های سازه‌ای قابل توجهی که اغلب در اثر نشست یا کج شدن سازه‌ها در طی زلزله‌های بزرگ ایجاد می‌شود، از دیرباز یک نگرانی عمده در زمینه مهندسی ژئوتکنیک بوده است که می‌تواند عواقب جدی داشته باشد، همانطور که اثرات مخرب زمین لرزه بزرگ رودبار، بم، تبریز و... برجسته شد. ناپایداری ناگهانی زمین در طول چنین حوادثی می‌تواند منجر به تخریب فاجعه‌آمیز ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها و در نتیجه خسارات اقتصادی قابل توجه و همچنین تلفات غم‌انگیز جان انسان‌ها شود. این نگرانی‌ها منجر به افزایش قابل توجهی در مطالعه ظرفیت پاسخگویی شهر در برابر زمین‌لرزه و توسعه فعالیت‌هایی با هدف بهبود مقاومت شهری و توسعه سایر روش‌های تقلیل اثر شده است.

محمودزاده و همکاران (۱۴۰۰) میزان تاب‌آوری بافت فرسوده شهرکرد را در برابر زلزله ارزیابی کردند. آنها از ۴۴ شاخص تاب‌آوری در قالب ۴ شاخص اقتصادی، نهادی، اجتماعی و کالبدی استفاده کردند و نشان دادند که شاخص کالبدی (۶۷/۲ درصد)، اقتصادی (۳۸ درصد)، نهادی (۳۶/۹ درصد) و اجتماعی با ۳۶/۲ درصد بیشترین نقش را در تاب‌آوری شهرکرد دارند. رجایی و همکاران (۱۴۰۰) تحلیل فضایی تاب‌آوری منطقه یک تهران را در برابر زلزله بررسی نمودند و نتایج آنها نشان داد که منطقه یک شهرداری تهران در دو شاخص اجتماعی و زیرساختی دارای تاب‌آوری نسبتاً مناسب و در دو شاخص نهادی و اقتصادی دارای تاب‌آوری نامناسبی است. محقق و همکاران (۱۴۰۰) تاب‌آوری در برابر زلزله را با تاکید بر فرم شهری در منطقه ۱۲ شهرداری تهران بررسی نمودند و نتایج آنها نشان داد که ناحیه‌ی ۶ و ۱ رتبه‌ی اول و دوم بیشترین تاب‌آوری را دارند. نواحی ۲، ۴، ۵ و ۳ در رتبه‌های بعد قرار دارند. ملکی و همکاران (۱۴۰۰) میزان تاب‌آوری شهری ایزه را در برابر زلزله ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که متغیر اجتماعی با ۵۴ درصد، اقتصادی با ۴۲ درصد و نهادی با ۲۹ درصد توانسته بر تاب‌آوری تأثیر بگذارند. پورشریفی و همکاران (۱۴۰۰) تاب‌آوری کالبدی شهر قزوین را در برابر زلزله با رویکرد ساختگاه طبیعی شهر ارزیابی کردند. نتیجه نهایی آنها نشان داد که وسعت آسیب‌پذیری در شهر قزوین به اندازه‌ای است که عملاً راهبرد اقدام در زمان اختلال و بازگشت به حالت اولیه بی‌تأثیر است و تمرکز باید بر خود سازمان‌دهی و افزایش ظرفیت در زمان پیش از وقوع زلزله باشد. باقری مراغه و همکاران (۱۴۰۱) تاب‌آوری شهر شیروان را در مواجهه با زلزله ارزیابی کردند و نتایج آنها نشان داد که ۶۵/۴ درصد از شهر پایین و ۱۹/۲ درصد از شهر میزان تاب‌آوری بالایی دارند. در مجموع تاب‌آوری شهر شیروان در وضعیت نامناسب و نامطلوبی قرار دارد. پاکرو و موسوی (۱۴۰۲) تاب‌آوری منطقه یک شهر تبریز را با مدل FAHP و شاخص‌های فاصله از مراکز امدادی، فاصله از مراکز آسیب‌زا، مصالح ابنیه، کیفیت ابنیه، عمر بنا، فاصله از شبکه راه‌ها، فاصله از فضاهای سبز و باز و فاصله از گسل پایه تحلیل کردند. نتایج آنها نشان داد که حدود ۲۶ درصد از منطقه تاب‌آوری خیلی کم و کم دارد. در مقابل، بیش از ۲۲ درصد تاب‌آوری متوسط و ۵۱ درصد از منطقه تاب‌آوری زیاد و خیلی زیاد دارد.

ارزیابی آسیب‌پذیری‌های زلزله شهر میمنسینگ (دارای گسل‌های زیاد) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و پژوهشگران با ترکیب ۲۳ پارامتر برگرفته از چهار شاخص زمین‌شناسی، اجتماعی-اقتصادی، ساختاری و سیستماتیک، آسیب‌پذیری را ارزیابی کردند. بر اساس تجزیه و تحلیل، مهم‌ترین عواملی که شهر را به شدت در برابر زلزله آسیب‌پذیر می‌کند، نوع خاک، نزدیکی به ایستگاه آتش‌نشانی، سطح جمعیت سالمندان، شتاب اوج زمینی، سطح جمعیت کودکان و فاصله تا مراکز مراقبت‌های بهداشتی است (Alam & Haque, 2022).

مبانی نظری

در راستای ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر بحران، ابتدا بایستی سطح تاب‌آوری و پاسخگویی شهر در برابر بحران شناسایی شود. Spaans و Waterhout (۲۰۱۷) استدلال کردند که تاب‌آوری شهری، توانایی شهر برای کاهش و جلوگیری از خطر فاجعه، کاهش خطرات احتمالی و واکنش به روش‌هایی است که خسارات یا آسیب‌های جانی، معیشت، اموال، زیرساخت‌ها، فعالیت‌های اقتصادی و محیط‌زیست را به حداقل می‌رساند. تاب‌آوری به عنوان مقابله کوتاه مدت و سازگاری بلند مدت یک سیستم شهری توصیف می‌شود (Meerow et al., 2016). پژوهشگران بر این باورند تاب‌آوری شهری به سازگاری و انعطاف‌پذیری یک سیستم شهری و شبکه اکولوژیکی و فناوری اجتماعی آن برای حفظ یا بازیابی سریع به حالت ایده‌آل در مواجهه با تداخل اشاره دارد (Ribeiro and Gonçalves, 2019).

شبکه‌های حمل و نقل نقش مهمی در انجام فعالیت‌های اضطراری مانند تخلیه و امدادسانی به محل حادثه دیده دارند. بر این اساس، ارزیابی عملکرد و انعطاف‌پذیری آنها ضروری است. پژوهشگران در استانبول ترکیه، انعطاف‌پذیری لرزه‌ای شبکه حمل‌ونقل را تجزیه و تحلیل کردند و نتایج آنها نشان داد که نابرابری اختلال در سراسر منطقه مورد مطالعه وجود دارد و عوامل مهمی بر انعطاف‌پذیری سیستم تأثیر می‌گذارد (Byun & D'Ayala, 2022). اجزای فیزیکی شهری شامل ساختمان‌ها، شبکه‌های حمل و نقل، شبکه‌های ارتباطی و فضاهای باز و سبز به عنوان ستون فقرات سیستم‌های شهری در برابر بلایا آسیب‌پذیر هستند. برای افزایش ظرفیت مقابله با خطرات بلایا، افزایش تاب‌آوری شهری اخیراً به یک اولویت اساسی برای شهرها تبدیل شده است. پژوهشگران چارچوبی برای ارزیابی تاب‌آوری فیزیکی شهری بر اساس ویژگی‌های تاب‌آوری و شاخص‌های فیزیکی مرتبط ارائه دادند. نتایج نشان داد که «استحکام ساختمان»، «تراکم ساختمان»، «نسبت ابعاد» و «عرض خیابان» از بین ۲۰ شاخص فیزیکی در نظر گرفته شده در چارچوب پیشنهادی مهم‌ترین هستند (Parizi et al., 2022).

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای چگونه می‌تواند در حفاظت در برابر زلزله موثر باشد؟ یافته‌ها از مطالعه شهر تبریز در نزدیکی گسل فعال شمال تبریز، ارائه شد. تاب‌آوری لرزه‌ای به‌عنوان آسیب‌پذیری کمتر از حالت متوسط ارزیابی شد که حدود ۴۰ درصد در شدت ۶ مرکالی و کمتر از ۱۰ درصد در ۱۰ مرکالی بود. نتیجه‌گیری شد که تاب‌آوری لرزه‌ای در تبریز قابل قبول نیست، منطقه در سناریوهای مورد انتظار آسیب‌پذیر است و با توجه به لرزه‌خیزی بالای منطقه، برنامه‌ریزی مناسب مدیریت بحران به موازات تلاش برای مقاوم‌سازی ضروری است. در این راستا، یک نقشه اضطراری با اشاره به آسیب‌پذیری‌های ارزیابی شده تهیه شد (Narjabadifam et al., 2021).

گسل تبریز عمده ترین عارضه تکتونیکی قابل مطالعه در ناحیه تبریز است. آخرین حرکت این گسل از نوع راست‌گرد بوده و طول آن از جنوب ابهر تا کوه آرارات بیش از ۶۰۰ کیلومتر است. فعالیت تکتونیکی این گسل تا عهد حاضر ادامه داشته و باعث ایجاد گسله، شکستگی و برآمدگی‌هایی شده است و زمین‌لرزه‌ها نیز در تمام ناحیه به فراوانی روی می‌دهد. از سال ۸۵۸ تا ۱۹۳۰ میلادی تعداد ۲۳ زمین‌لرزه از نوشتارها و منابع مختلف گزارش شده است. با توجه به شرایط موجود در تبریز، برنامه‌ریزی جهت ارتقای سطح تاب‌آوری و ظرفیت پاسخگویی شهر تبریز که در این مطالعه منطقه ۲ شهر تبریز می‌باشد، در برابر زمین‌لرزه در وضع موجود به‌ویژه در حین وقوع زمین‌لرزه و تخلیه‌ی محله، مستلزم شناسایی محلات ضعیف و حساس در برابر زلزله و ارزیابی سطح تاب‌آوری آن است. پژوهش حاضر نیز سعی در بررسی این مسئله دارد که با ترکیب مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، ارزیابی ریسک زمین‌لرزه و طراحی مدلی برای پیش‌بینی سطح تاب‌آوری و در نهایت شناسایی نواقص و معایب موجود در سطح محلات منطقه ۲ شهر تبریز، استراتژی مناسبی برای محلات ضعیف تدوین نماید.

روش پژوهش

استخراج معیارها و زیرمعیارها: به منظور بررسی و ارزیابی ظرفیت پاسخگویی منطقه دو شهر تبریز در برابر زمین لرزه، ابتدا شاخص‌های تاب‌آوری شهری مربوط به زمین لرزه استخراج گردید. بدین منظور از روش اسمی و تکنیک دلفی استفاده شد. پژوهش از نوع اکتشافی و توصیفی-تحلیلی می‌باشد که عمدتاً از منابع کتابخانه‌ای، پژوهش‌های معتبر علمی و همچنین مصاحبه، مشاهده و برداشت‌های میدانی برای انجام آن استفاده شد. پژوهش از آن جهت اکتشافی است که هدف آن، آزمون یک فرضیه نیست، بلکه به دنبال شناسایی عوامل موثر در تاب‌آوری است. بنابراین، بر اساس مطالعه تجارب و منابع پیشین و شناخت کلی وضع موجود، مجموعه‌ای از مولفه‌ها، فهرست‌بندی شد و این فهرست طی مرحله دلفی به بحث گذاشته شد تا با نظر متخصصین رد، تأیید یا تکمیل شود. پرسشنامه مرحله اول دلفی تدوین شد. پس از مصاحبه و بازبینی دقیق، پرسشنامه‌ها کدگذاری شده و نتایج حاصل در چندین دسته طبقه‌بندی شد. سپس بر اساس نتایج مصاحبه، پرسشنامه دوم برای بررسی میزان اهمیت مولفه‌های موثر بر تاب‌آوری در برابر زمین لرزه تدوین شد. در پرسشنامه مرحله دوم، هر یک از مولفه‌های شناسایی شده در مرحله قبل در چندین دسته طبقه‌بندی و کدگذاری شد و از مصاحبه شوندگان خواسته شد تا میزان اهمیت مولفه‌های دور اول دلفی را در قالب طیف لیکرت از خیلی کم تا خیلی زیاد مشخص کنند. بعد از جمع‌آوری پرسشنامه‌های مرحله دوم و بررسی تحلیل آنها، پرسشنامه‌ای ساختاریافته تدوین شد. بدین ترتیب که مولفه‌هایی که در مرحله قبل دارای بیشترین امتیاز هستند، فهرست‌بندی شد تا متخصصان در این مرحله آنها را بار دیگر امتیازدهی کنند. در این پرسشنامه نیز میزان اهمیت مولفه‌ها بر اساس طیف لیکرت و در پنج امتیاز مورد سوال واقع شد. پس از اینکه پاسخ نهایی از اعضای پانل دریافت شد، تعداد ۱۲ مولفه (شاخص) برای بررسی و ارزیابی ظرفیت پاسخ‌گویی منطقه ۲ تبریز در برابر زمین لرزه شناسایی شد.

هر یک از زیرمعیارهای تهیه شده، شاخصی است که از پارامترهای شهری به دست آمده است و به شرح ذیل به تفصیل بررسی شده است (جدول ۱).

تراکم کلی مسکونی (TRD): حاصل تقسیم تعداد واحدهای مسکونی در محله مورد نظر بر مساحت جغرافیایی همان محله می‌باشد (Guo and Chen, 2024).

تراکم ساختمانی (FAR): برابر است با نسبت سطح زیربنای ساختمان (در تمام طبقات) به مساحت قطعه زمین.

تراکم بلوک: تعداد بلوک‌های شمارش شده در هر هکتار می‌باشد که هر چه تعداد بلوک‌های شمارش شده در محله بیشتر باشد، اتصال پذیری بالاتر است.

تراکم خیابان: نسبت مساحت شبکه ارتباطی محله مورد نظر به کل مساحت محله می‌باشد.

نسبت شبکه ارتباطی کل: مساحت خیابان محله به کل مساحت خیابان‌های محله است.

کاربری‌های ویژه: از میان کاربری‌های غیرمسکونی، تعدادی از کاربری‌ها نقش بسیار حساس و مهمی در آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله دارند. این کاربری‌ها کاربری‌های ویژه نامیده می‌شوند که شامل مراکز آموزش، مراکز اداری، تجاری، بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، مراکز انتظامی و امداد و همچنین مراکز مدیریت شهری می‌باشند. این کاربری‌ها به دلیل تجمع بیش از حد جمعیت در ساعات فعالیت یا به دلیل نقش بسیار مهمی که در کاهش تلفات پس از وقوع زمین لرزه و مدیریت بهینه بحران دارند و یا هر دو عامل مذکور به عنوان کاربری‌های ویژه تعریف می‌شوند.

نفوذناپذیری شهری: بلوک‌هایی که بیش از ۵۰ درصد معابر آن عرض کمتر از ۶ متر دارند، نفوذناپذیر محسوب می‌شوند. در این پژوهش نیز با توجه به موارد فوق‌الذکر، جهت استخراج مقادیر مربوط به شاخص نفوذناپذیری، ابتدا نقشه محور

تقارن (اکس) کلیه معابر منطقه ۲ شهر تبریز به صورت ترسیم دستی استخراج شد و پس از وارد کردن نقشه مذکور در محیط GIS به صورت نقشه خطی، عرض معابر به صورت اطلاعات توصیفی روی هر کدام از خطوط وارد شده است. این نقشه به عنوان نقشه پایه تحلیل و استخراج مقادیر شاخص "میزان نفوذناپذیری بافت‌های شهری" قرار گرفته است.

مراکز امداد رسانی: مراکز مهم امدادی و درمانی در هنگام وقوع زلزله را می‌توان طبق تعریف آئین‌نامه ۲۸۰۰ مرکزی نامید که قابل استفاده بودن آنها پس از وقوع زلزله اهمیت خاصی دارد و وقفه در بهره‌برداری آنها بطور غیر مستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می‌شود. مراکزی که در این مطالعه به عنوان مراکز امداد رسانی برای زمین لرزه در نظر گرفته شد شامل: مرکز آتش‌نشانی، پایگاه‌های اجتماعی- فرهنگی، مراکز مذهبی و مراکز مردمی باشد.

فضاهای باز شهری: فضاهای باز نقش مهمی در کاهش وسعت میزان عمل و نتایج اکثر حوادث طبیعی و مصنوعی دارند. از عمده‌ترین عملکردهای آن در هنگام بروز زلزله، جدا ساختن یک منطقه دارای پتانسیل خطر از دیگری و بدین ترتیب متمرکز کردن فعالیت نیروهای مخرب و جلوگیری از توسعه زنجیره‌ای وقایع می‌شود. از جمله این فضاها پارک‌ها و بوستان‌های شهری می‌باشند که در مقیاس‌های مختلف از نظر اندازه و عملکرد ساخته می‌شوند. سایر فضاهای باز شهری، نظیر میادین، شبکه‌های دسترسی، محیط باز ساختمان‌های عمومی و باغات نیز در این راستا قرار می‌گیرند.

مراکز خطرزا: در هر شرایط بحرانی نقاطی وجود دارند که به‌عنوان نقاط حساس و خطرزا شناخته می‌شوند. اگرچه این نقاط در شرایط عادی و به‌خودی خود خطری ندارند اما به‌واسطه ویژگی‌هایی که دارند هریک به نوعی سبب تشدید شرایط بحرانی گشته و چه بسا خسارات و تلفات را تا چندین برابر افزایش دهند. در شرایط بحرانی که به سبب وقوع زلزله ایجاد می‌شود نیز این نقاط خطرزا می‌توانند با ایجاد انفجار، آتش‌سوزی، سیل و سبب تشدید اثرات بحران و خسارات و تلفات جانی ناشی از آن گردند. در منطقه ۲ شهر تبریز با توجه به بررسی‌های میدانی، جایگاه‌های سوخت، خطوط لوله آب و برق و کارخانه‌های صنعتی به عنوان مراکز خطرزا شناخته شدند.

کیفیت بنا: کیفیت بنا بر اساس مصالح به کار رفته در ساختمان‌های منطقه ۲ شهر تبریز شامل ساختمان‌های آجری، اسکلت فلزی، خشتی و همچنین عمر بنا و ساختار آن تعریف شد.

شیب زمین: شیب زمین که ناهمواری و توپولوژی سطحی در شهر را نشان می‌دهد، از روی تصویر DEM منطقه به دست آمد.

پس از ایجاد پایگاه اطلاعاتی مشتمل بر شاخص‌های تاب‌آوری و ترسیم نقشه (ایجاد لایه) برای هر یک از شاخص‌ها در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌ها در گام بعدی فازی شد؛ به‌این معنی که با استفاده از عملگرهای فازی Small، Near، Large، Gaussian، Linear و Near، میزان عددی هر نقشه به بازه صفر و یک تبدیل شد تا بتوان مدل‌های بعدی را بر روی آن پیاده‌سازی کرد.

جدول ۱. درجه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه

ردیف	معیار	زیرمعیار	تابع فازی	درجه‌بندی
۱	سکونتگاهی	تراکم کلی مسکونی	MS Small	✓ تراکم کلی مسکونی زیاد به معنای تاب‌آوری کم ✓ تراکم کلی مسکونی کم به معنای تاب‌آوری زیاد
۲	سکونتگاهی	تراکم ساختمانی	MS Small	✓ تراکم ساختمانی زیاد به معنای تاب‌آوری کم ✓ تراکم ساختمانی کم به معنای تاب‌آوری زیاد
۳	سکونتگاهی	تراکم بلوک	MS Small	✓ تراکم بلوک زیاد به معنای تاب‌آوری کم ✓ تراکم بلوک کم به معنای تاب‌آوری زیاد
۴	کالبد فیزیکی	کیفیت بنا	MS Large	✓ کیفیت بالاتر بنا، به معنای تاب‌آوری زیاد
۵	کالبد فیزیکی	دسترسی به کاربری ویژه	MS Small	✓ نزدیکی به کاربری‌های ویژه، به معنای تاب‌آوری زیاد ✓ دور شدن از کاربری‌های ویژه، به معنای تاب‌آوری کم
۶	کالبد فیزیکی	فضاهای باز شهری	MS Small	✓ نزدیکی به فضاهای باز، به معنای تاب‌آوری زیاد ✓ دور شدن از فضاهای باز، به معنای تاب‌آوری کم
۷	کالبد فیزیکی	نفوذناپذیری بافت‌های شهری	MS Small	✓ نفوذناپذیری زیاد، به معنای تاب‌آوری کم
۸	کالبد فیزیکی	مراکز امدادسانی	MS Small	✓ نزدیکی به مراکز امدادی، به معنای تاب‌آوری زیاد ✓ دور شدن از مراکز امدادی، به معنای تاب‌آوری کم
۹	کالبد فیزیکی	فاصله از مراکز خطرزا	MS Small	✓ نزدیکی به مراکز خطرزا، به معنای تاب‌آوری کم ✓ دور شدن از مراکز خطرزا، به معنای تاب‌آوری زیاد
۱۰	کالبد فیزیکی	طبقات شیب زمین	MS Small	✓ شیب کم، به معنای تاب‌آوری زیاد ✓ شیب زیاد، به معنای تاب‌آوری کم
۱۱	شریان جاده‌ای	تراکم خیابان	MS Large	✓ تراکم بالای خیابان، به معنای تاب‌آوری زیاد ✓ تراکم کم خیابان، به معنای تاب‌آوری کم
۱۲	شریان جاده‌ای	نسبت شبکه ارتباطی کل	MS Large	✓ نسبت زیاد، به معنای تاب‌آوری زیاد ✓ نسبت کم، به معنای تاب‌آوری کم

وزن‌دهی به شاخص‌ها و رویهم‌گذاری

- ❖ پس از اینکه نقشه‌های هر شاخص فازی شد، وزن هر شاخص نیز باید محاسبه شود. این وزن درجه اهمیت آن شاخص در ظرفیت پاسخگویی منطقه ۲ تبریز در برابر زمین‌لرزه است که در نقشه فازی شده ضرب شد.
- ❖ برای پیدا کردن میزان وزن هر شاخص، از تکنیک تحلیل شبکه فازی (FANP) استفاده شد. برای اطمینان از نتیجه مرحله سوم دلفی و شناسایی با اهمیت‌ترین عوامل موثر بر تاب‌آوری منطقه ۲ تبریز در برابر زمین‌لرزه و ارزش هر زیرمعیار در تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه، از روش گروه اسمی بهره گرفته شد. به این ترتیب که پس از شناسایی عوامل و مولفه‌های مهم به روش دلفی، به روش گروه اسمی هم مورد سوال قرار گرفت. طی فرایند روش گروه اسمی، از اعضای پانل خواسته شد هر یک از مولفه‌ها را از ۱ تا ۱۰ برحسب میزان اهمیت هر یک از مولفه‌ها در تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه از کمترین تا بیشترین میزان اهمیت امتیازدهی کنند. مجموع امتیاز هر یک از مولفه‌ها نشان داد که هر کدام دارای چه میزان اهمیت هستند. پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه، پاسخ‌ها وارد تکنیک FANP شد. پس از اجرای این تکنیک، وزن هر یک از شاخص‌ها، میزان تاب‌آوری و ظرفیت پاسخگویی منطقه ۲ تبریز در برابر زمین‌لرزه را نشان داد. روش تحلیل شبکه در نرم‌افزار Super decision انجام شد.
- ❖ وزن به‌دست آمده از FANP برای هر لایه (نقشه) در نقشه ترسیم شده مربوط به خود در ArcGIS ضرب شد. با این روش، نقشه نهایی برای هر شاخص ترسیم شد و میزان اهمیت هر شاخص نیز در یک توزیع فضایی در شهر تبریز نشان داده شد.

❖ پس از این که نقشه وزن دار هر شاخص ترسیم شد، نقشه‌ها رویهم گذاری شدند. رویهم گذاری در نرم افزار ArcGIS با استفاده از عملگرهای فازی شامل AND، OR، SUM، Product، گامای ۰/۹، ۰/۷ و ۰/۵ انجام شد.

❖ برای هر عملگر فازی، یک نقشه حاصل از رویهم گذاری زیرمعیارها در ارزیابی سطح تاب آوری در برابر زمین لرزه در توزیع فضایی منطقه ۲ تبریز به دست آمد.

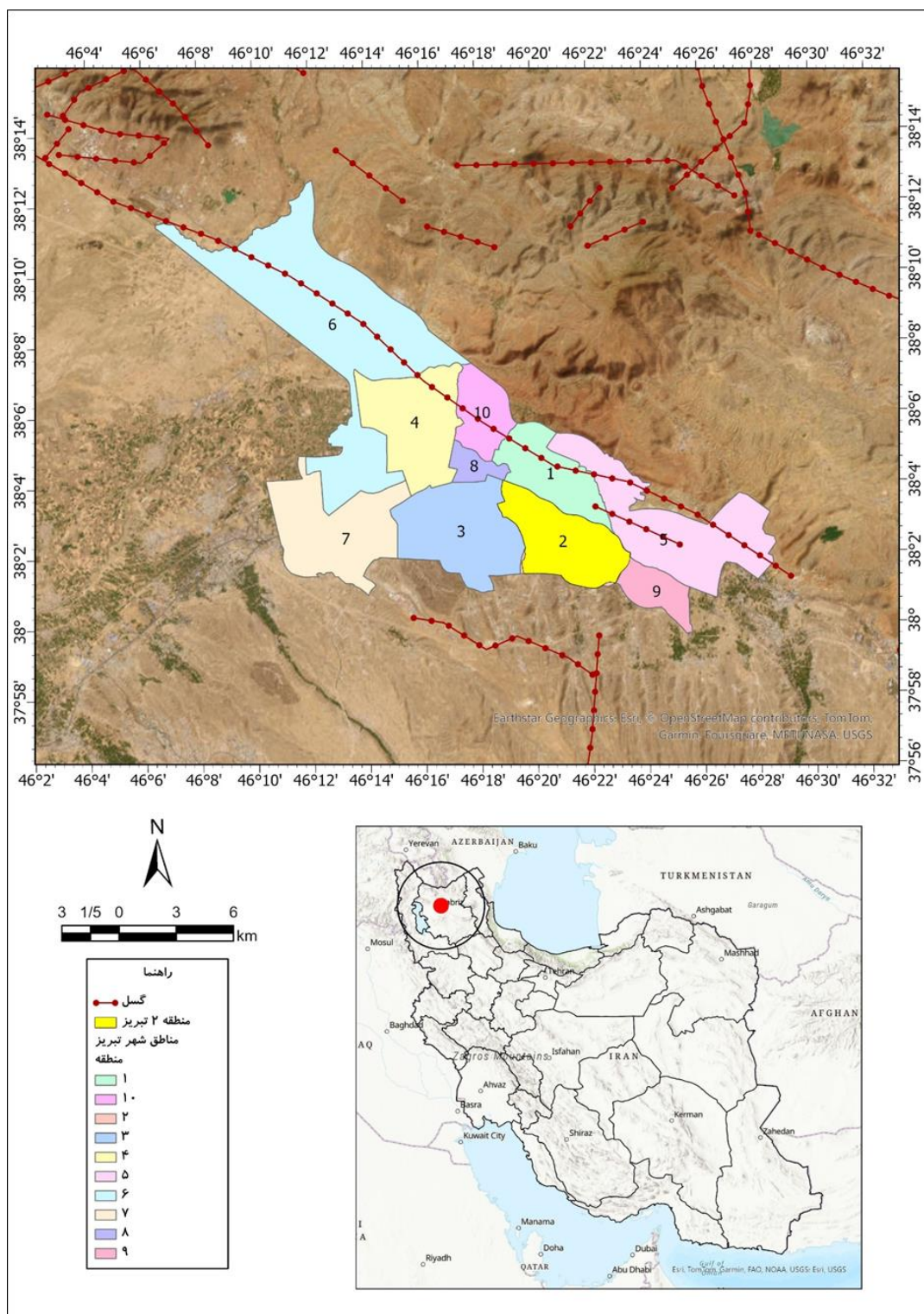
الگوسازی توزیع تاب آوری

به منظور بررسی الگوی توزیع سطح تاب آوری در برابر زمین لرزه در منطقه ۲ تبریز از آمار فضایی بهره گرفته شد. بدین ترتیب ابتدا از مدل موران استفاده شد. در خروجی مدل موران، اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد مثبت یک (+۱) باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد منفی یک (-۱) باشد، داده‌ها از هم گسسته و توزیع یافته‌اند؛ همچنین برای بررسی خوشه‌بندی داده‌ها از مدل تحلیل لکه‌های داغ (آماره GI) استفاده شده است. آماره GI بر اساس امتیاز Z تحلیل می‌شود. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری، هرچه امتیاز Z بزرگتر باشد، مقادیر زیاد به میزان چشمگیری خوشه‌بندی می‌شوند و لکه داغ (تاب آوری زیاد) تشکیل می‌دهند. برای امتیاز Z منفی و معنادار از نظر آماری، هرچه امتیاز Z کوچکتر باشد، خوشه‌بندی شدیدتری در مقادیر کم صورت می‌گیرد و این خوشه‌ها در حقیقت لکه‌های سرد (تاب آوری کم) را نشان می‌دهند (Zhang et al., 2024). پس از این مرحله، محله‌های منطقه ۲ تبریز از نقشه نهایی جدا و میزان تاب آوری در هر کدام از محله‌ها به صورت جداگانه محاسبه شد.

پس از این که با عملگرهای رویهم گذاری شاخص‌های مورد مطالعه، توزیع فضایی سطح تاب آوری منطقه ۲ تبریز به دست آمد، خوشه‌بندی در مقیاس محله‌ای صورت گرفت و محلات ضعیف و حساس به زمین لرزه شناسایی شد. خوشه‌بندی با روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام شد. در نهایت، به منظور شناسایی خطرات ناشی از زمین لرزه و رتبه‌بندی تصمیمات جهت کاهش ریسک به یک سطح قابل قبول در محلات ضعیف، از روش تحلیلی سوات و ماتریس QSPM استفاده شد.

محدوده مورد مطالعه

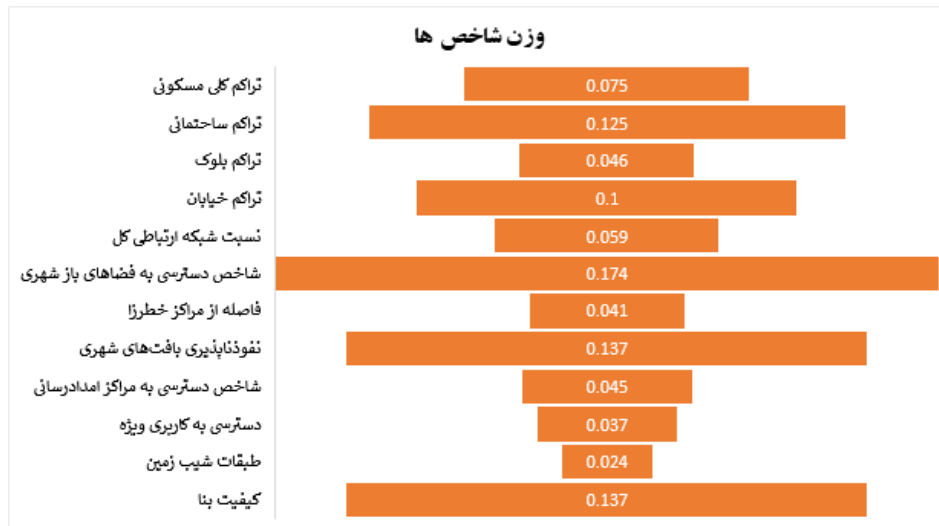
محدوده مورد مطالعه جهت ارزیابی تاب آوری شهری در برابر زمین لرزه، منطقه ۲ شهرداری در محدوده شهر تبریز است. جمعیت آن در سرشماری ۱۳۹۵، ۱۹۶ هزار و ۵۰۷ نفر و مساحت آن حدود ۲۰/۸ کیلومترمربع است (شکل ۱). این منطقه دارای ۱۷ محله است. گسل تبریز عمده‌ترین عارضه تکتونیکی در تبریز است که با شروع از جنوب غربی میانه با جهتی جنوب شرقی - شمال غربی با یک انحنای قوی در ارتباط با سه‌پند به سمت مرنده-خوی پیش می‌رود. فعالیت تکتونیکی این گسل ادامه داشته و باعث ایجاد گسله، شکستگی و برآمدگی‌هایی شده است و زلزله‌ها نیز در تمامی ناحیه به فراوانی رخ می‌دهد. شهر تبریز به فاصله اندکی از گسل معروف شمال تبریز قرار گرفته و در برخی مناطق بر روی گسل بنا شده است. تبریز تنها شهر کشور است که از نظر خطر زلزله در موقعیتی قرار دارد که در تقسیم‌بندی پهنه‌های خطر جزء مناطق با خطر نسبی خیلی بالاست. زمین‌های مارنی در حوالی گسل و روی خط گسل تبریز گستردگی دارند که این مسئله شدت خطر زلزله را چندین برابر افزایش می‌دهد. همچنین شیب‌های تند در شمال و جنوب شهر بدون توجه به جنس زمین امکان ناپایداری دامنه وجود دارد که در خطر مضاعف زلزله قرار دارد.



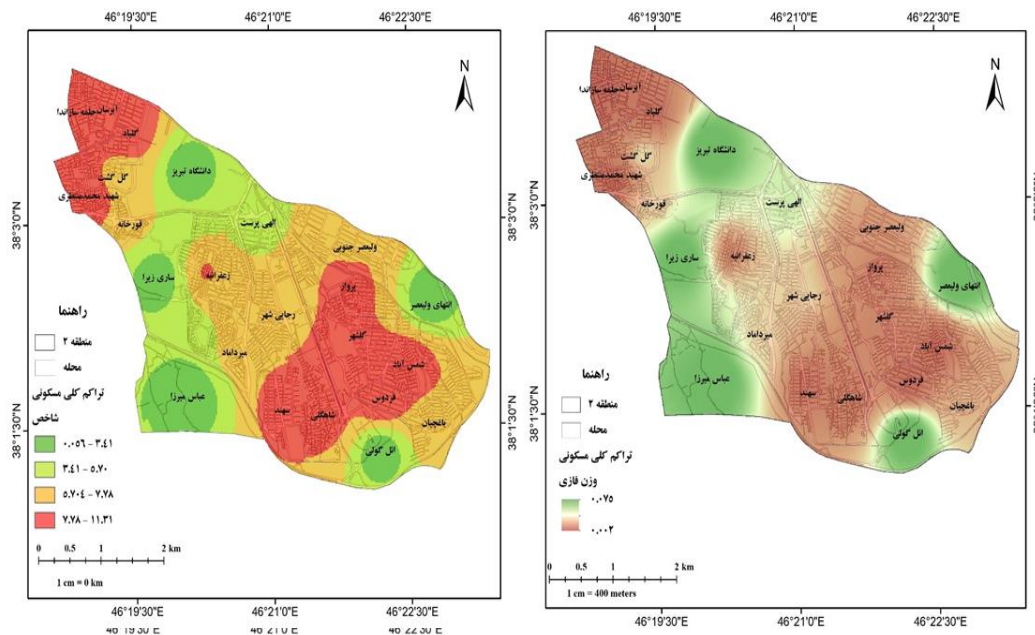
شکل ۱. موقعیت قرارگیری منطقه دو تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)

بحث و یافته‌ها

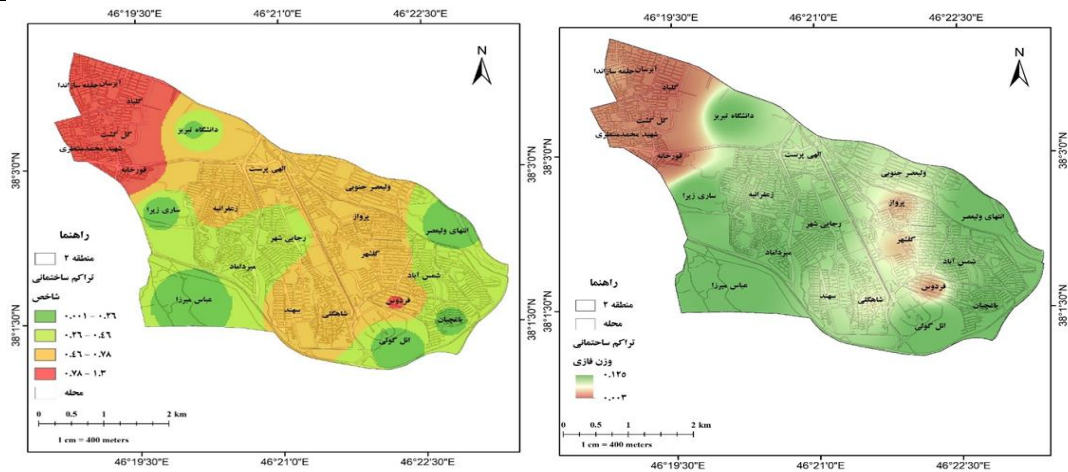
نتایج مدل تحلیل شبکه فازی که وزن و درجه عضویت فازی هر یک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد، بیان‌گر این است که شاخص دسترسی به فضاهای باز شهری، شاخص نفوذناپذیری شهری و شاخص کیفیت بنا به ترتیب بیشترین اهمیت و ارزش را در ارزیابی تاب‌آوری شهری منطقه ۲ شهرداری تبریز دارند (شکل ۲). پس از آن نیز برای هر شاخص، دو نقشه (نقشه شاخص و نقشه فازی) ترسیم شده است که توزیع فضایی و پراکنش ارزش تاب‌آوری در سطح منطقه ۲ تبریز را نشان می‌دهد (به دلیل محدودیت صفحات، از ذکر توضیح صرف‌نظر می‌گردد).



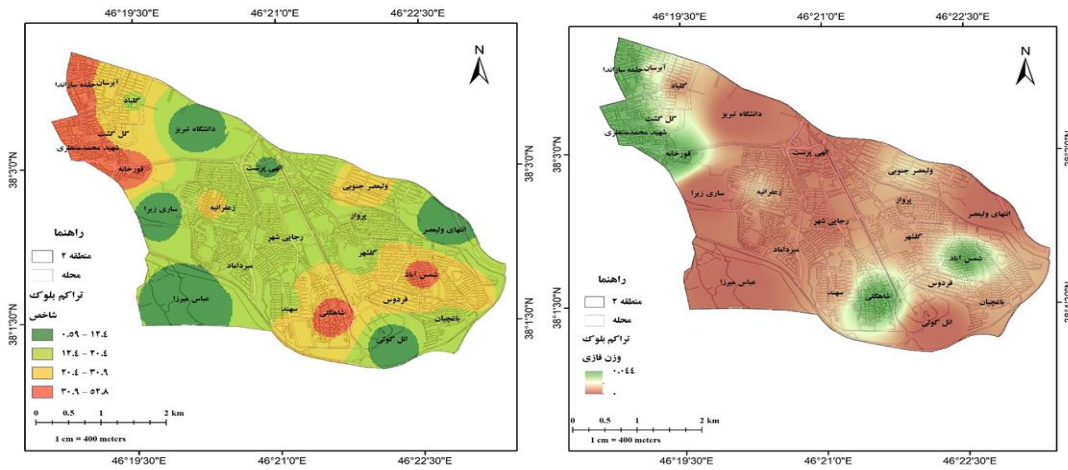
شکل ۲. درجه عضویت فازی (وزن) شاخص‌ها در بررسی تاب‌آوری منطقه ۲ تبریز در برابر زمین‌لرزه
منبع: (ترسیم نگارندگان)



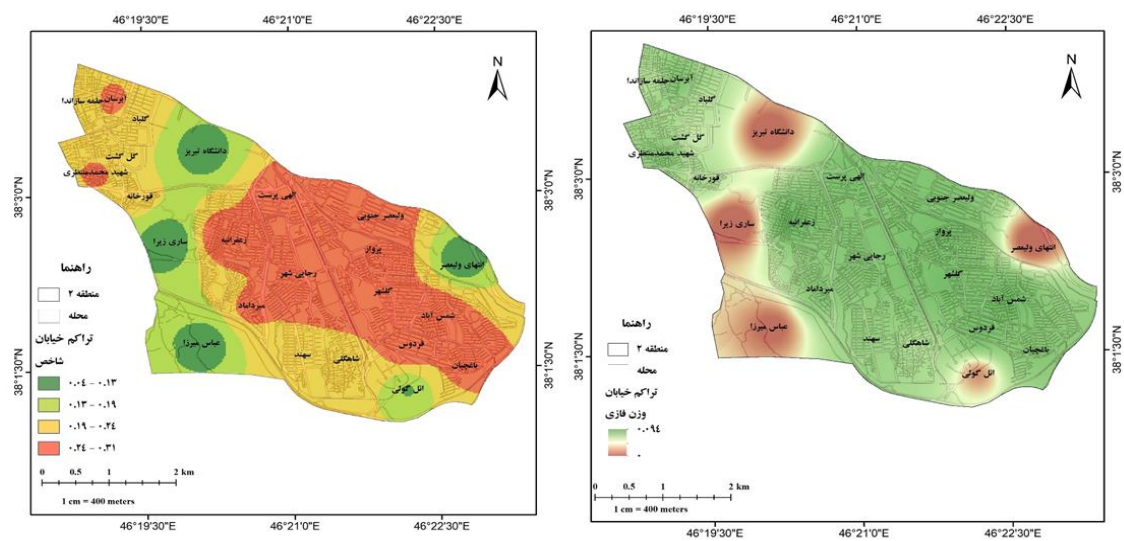
شکل ۳: الگوی پراکنش شاخص تراکم کلی مسکونی و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



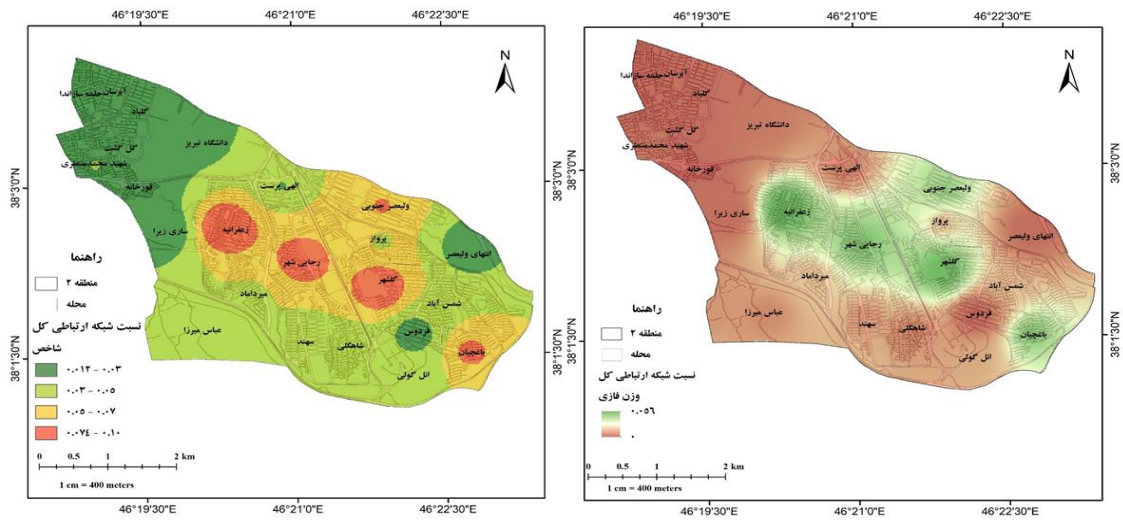
شکل ۴: الگوی پراکنش شاخص تراکم ساختمانی و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



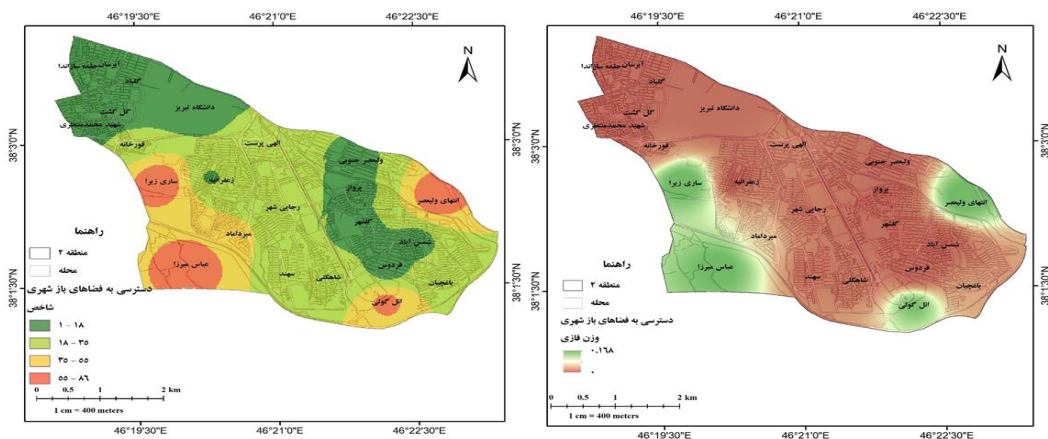
شکل ۵: الگوی پراکنش شاخص تراکم بلوک و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



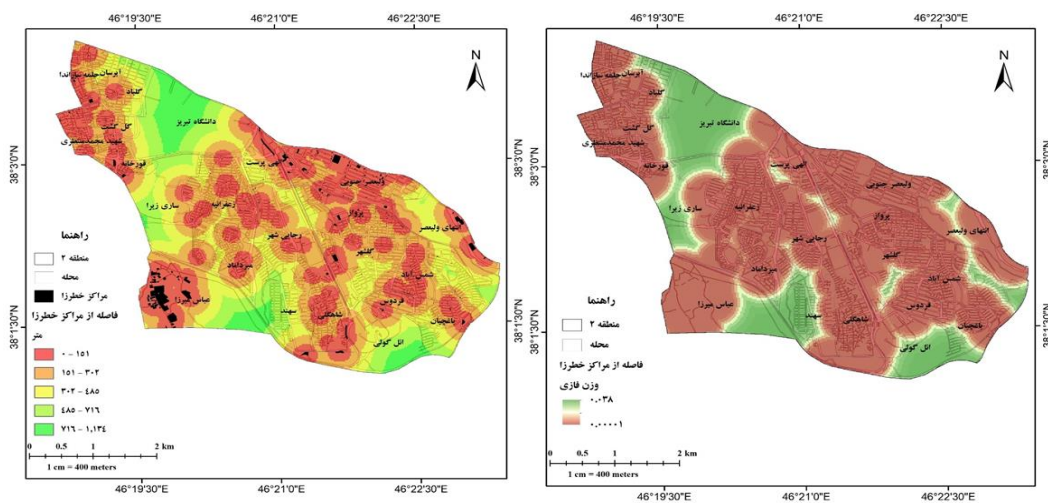
شکل ۶: الگوی پراکنش شاخص تراکم خیابان و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



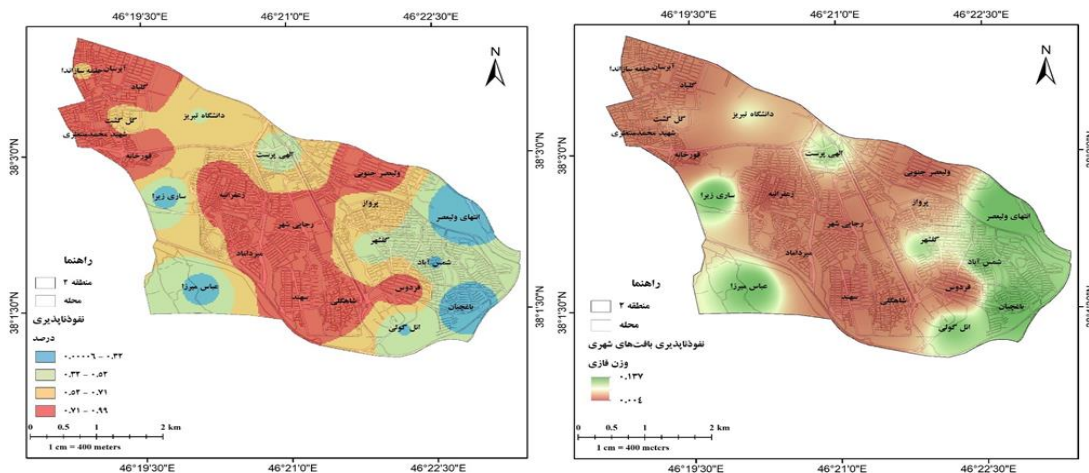
شکل ۷. الگوی پراکنش شاخص شبکه ارتباطی و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



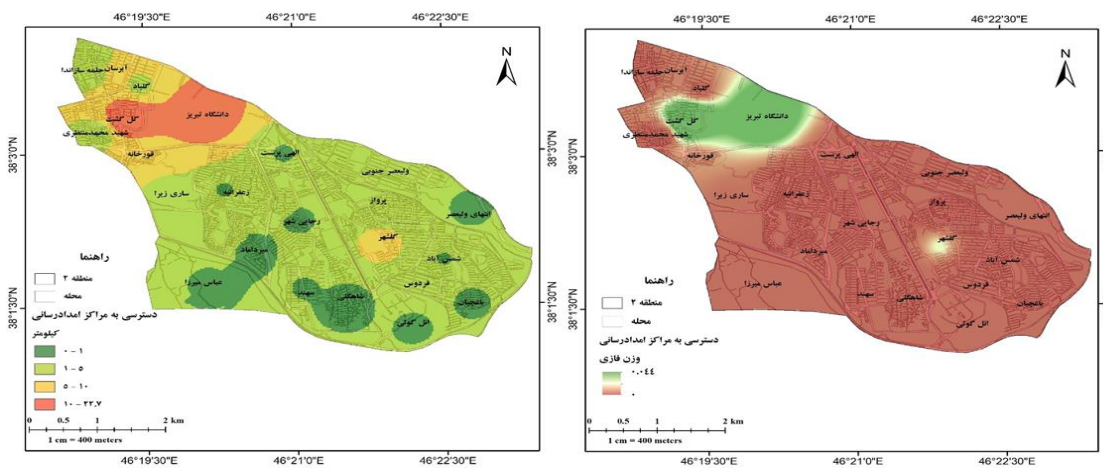
شکل ۸. الگوی پراکنش شاخص دسترسی به فضاهای باز و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



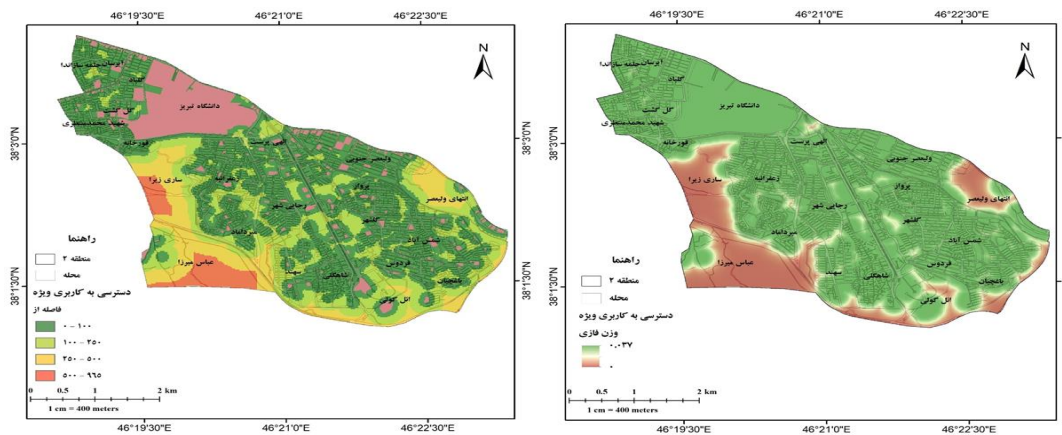
شکل ۹. الگوی پراکنش شاخص فاصله از مراکز خطرزا و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



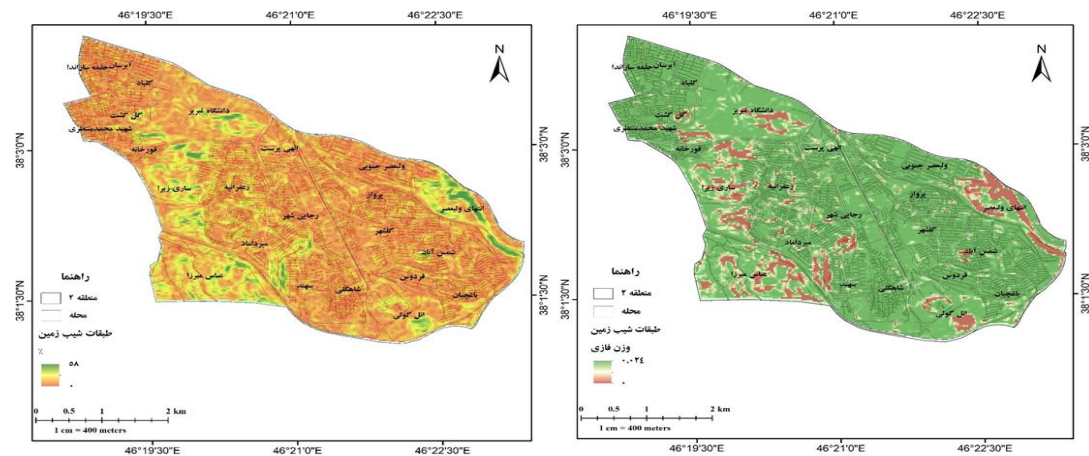
شکل ۱۰. الگوی پراکنش شاخص نفوذناپذیری و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



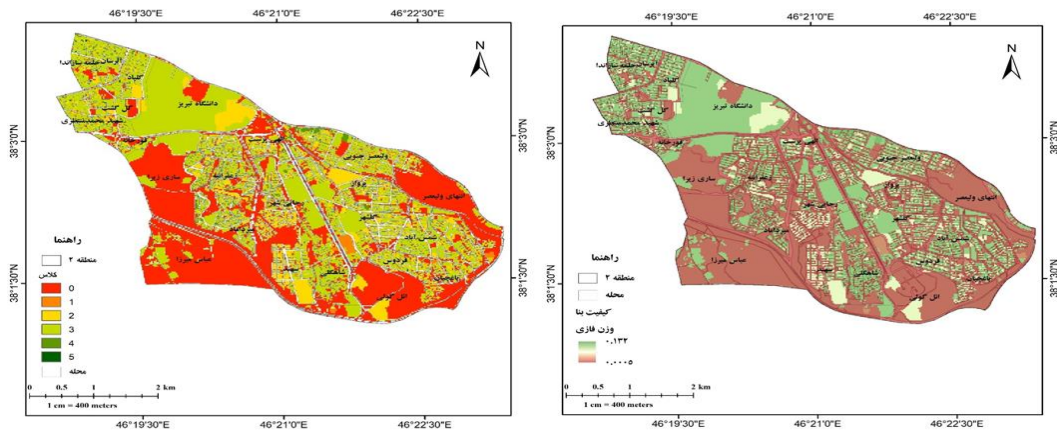
شکل ۱۱. الگوی پراکنش شاخص دسترسی به مراکز امداددرسانی و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



شکل ۱۲. الگوی پراکنش شاخص دسترسی به کاربری‌های ویژه و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



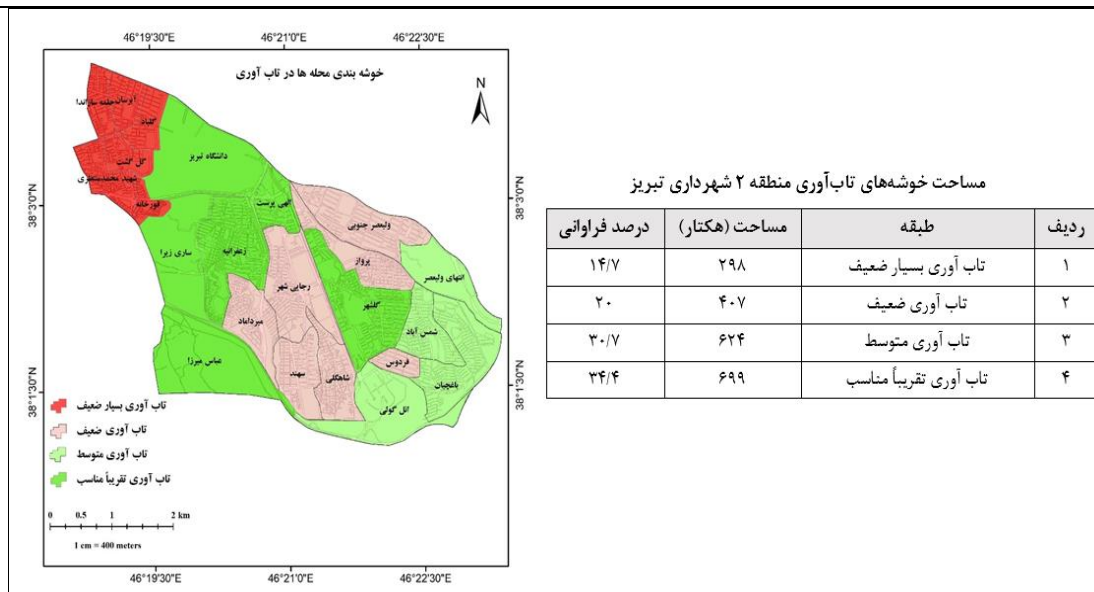
شکل ۱۳. الگوی پراکنش شاخص طبقات شیب زمین و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)



شکل ۱۴. الگوی پراکنش شاخص کیفیت بنا و وزن فازی آن در سطح منطقه ۲ تبریز
منبع: (ترسیم نگارندگان)

خوشه بندی

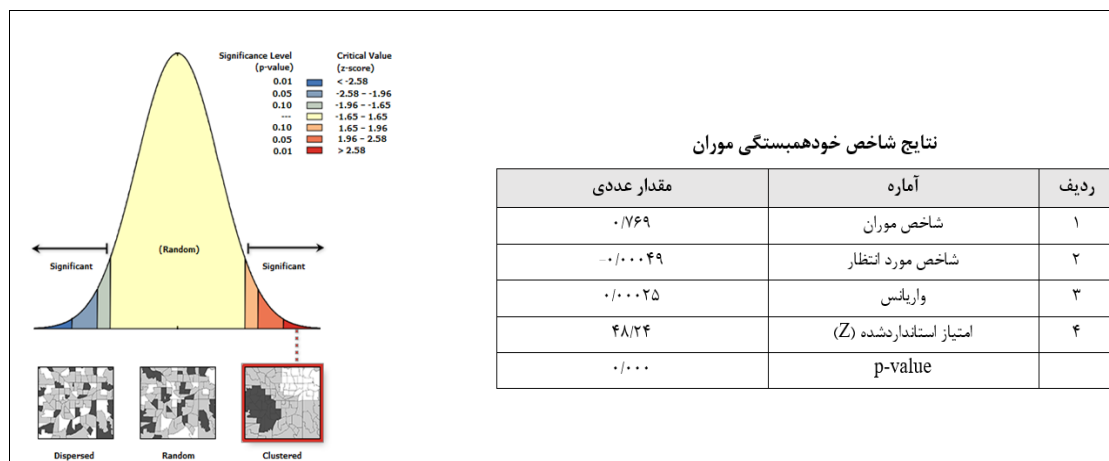
پس از بررسی شاخص‌ها و نقشه‌های فازی، با تابع فازی SUM، نقشه‌ها رویهم‌گذاری شده و با روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)، محله‌های منطقه ۲ تبریز از لحاظ سطح تاب‌آوری خوشه‌بندی شدند که نشان می‌دهد محله‌های کم-تراکم ساختمانی دانشگاه تبریز، الهی‌پرست، زعفرانیه، ساری‌زیرا، عباس میرزا و گلشهر دارای تاب‌آوری تقریباً مناسب هستند، اما محله‌های پُرتراکم غربی منطقه ۲ (رنگ قرمز در نقشه شماره ۲)، دارای تاب‌آوری بسیار ضعیفی در برابر زمین‌لرزه هستند. به‌طورکلی، حدود ۳۵ درصد از منطقه ۲ تبریز دارای تاب‌آوری ضعیف، ۳۰ درصد تاب‌آوری متوسط و حدود ۳۵ درصد نیز تاب‌آوری تقریباً مناسب هستند (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. خوشه‌بندی محله‌های منطقه ۲ تبریز از لحاظ تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه
منبع: (ترسیم نگارندگان)

الگوسازی توزیع فضایی تاب‌آوری

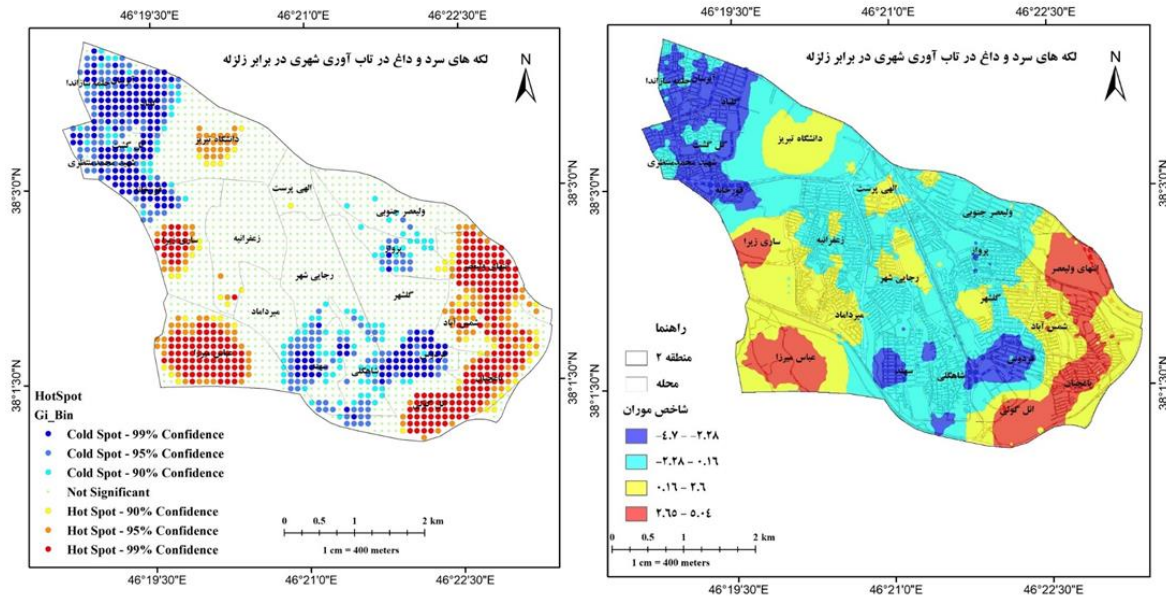
نتیجه بررسی الگوهای پراکنش فضایی سطح تاب‌آوری منطقه ۲ شهرداری تبریز در برابر زمین‌لرزه، از آمار فضایی (مدل موران و هات اسپات) به این شرح می‌باشد که بر اساس شکل (۱۶) شاخص موران $0/769$ به دست آمده است. گفتنی است داده‌ها خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌بندی دارند. مقدار Z و پایین بودن p -value ($0/000$) نشان دهنده تأیید الگوی خوشه‌بندی تاب‌آوری شهری منطقه ۲ تبریز در برابر زمین‌لرزه است.



شکل ۱۶: نمودار استاندارد Z و خودهمبستگی مدل موران
منبع: (ترسیم نگارندگان)

در شکل (۱۷) لکه‌های آبی رنگ (لکه‌های سرد) محدوده‌ای را نشان می‌دهند که در آن شاخص‌های تاب‌آوری پایینی دارند و لکه‌های قرمز رنگ (لکه‌های داغ) محدوده‌هایی را مشخص می‌کنند که در آنها شاخص‌های تاب‌آوری تراکم زیادی دارند. این خروجی نشان از الگوی خوشه‌ای سطح تاب‌آوری نیز دارد. همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود، لکه‌های قرمز در محله‌های شرقی و جنوب‌غربی و دانشگاه تبریز قرار گرفته‌اند و لکه‌های آبی که شرایط بد تاب‌آوری را نشان می‌دهند، در بخش‌های شمال‌غربی و مرکزی قرار گرفته‌اند. نتیجه فضایی مدل هات اسپات، نتیجه مدل موران را تأیید می‌کند. مدل

موران نشان می‌دهد که تاب‌آوری به صورت خوشه‌ای توزیع شده است. نتایج محاسبات بر نتایج مدل‌های آمار فضایی که خوشه‌بندی فضایی را مشخص کرده‌اند، صحت می‌گذارد.



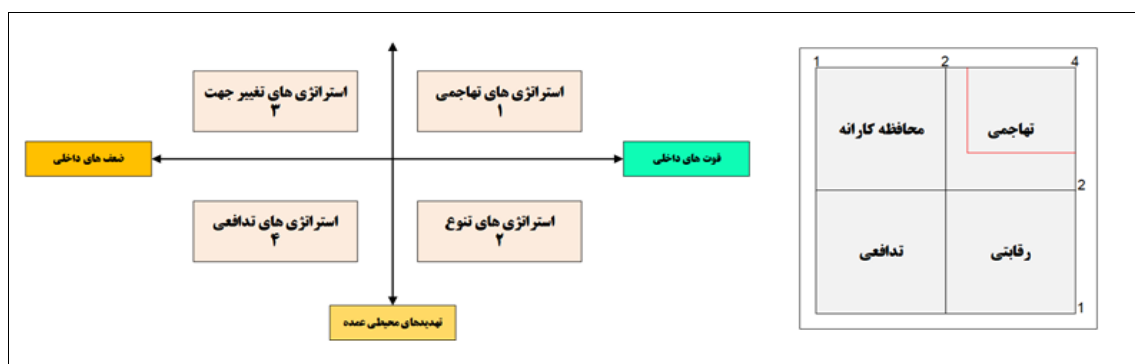
شکل ۱۷: نقشه پهنه بندی لکه های داغ و سرد در تاب آوری منطقه دو تبریز در برابر زمین لرزه
منبع: (ترسیم نگارندگان)

محله‌های ضعیف و شکننده در برابر زمین لرزه

نتایج این پژوهش نشان داد که ۱۳ محله از منطقه ۲ شهرداری تبریز در برابر زمین لرزه، تاب‌آوری ضعیف و بسیار ضعیفی دارند که نشان می‌دهد ظرفیت مناسبی برای پاسخگویی در برابر حادثه ندارند. نقاط ضعف این محله‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

- ❖ تراکم کلی مسکونی و ساختمانی این محله‌ها بسیار زیاد است. در مواقع زمین لرزه، خارج شدن از این محله‌ها و یا امدادسانی به آنها به دلیل تراکم بالای ساختمان‌ها، بسیار سخت است. بنابراین در زمان وقوع زمین لرزه، پاسخگویی مدیریت بحران و حادثه در این محله‌ها پایین است.
- ❖ تراکم بلوک‌ها نیز در این محله‌ها بسیار زیاد است و قطعات ریز هستند. هر چه وسعت قطعات بیشتر باشد و تعداد آنها کمتر، تراکم نیز کاهش می‌یابد و امدادسانی به آنها راحت‌تر است، ولی در این محله‌ها، تراکم بلوک‌ها به واسطه ریزدانی بلوک‌ها، زیاد است که باعث ترافیک سنگین و عدم رسیدگی به این محله‌ها در زمان وقوع بحران می‌گردد.
- ❖ فضاهای باز و سبز شهری یکی از مناسب‌ترین کاربری‌های شهری در زمان وقوع زمین لرزه است تا جان افراد را نجات داد. اما در محله‌های ضعیف منطقه ۲ تبریز، تراکم و دسترسی به فضاهای باز به دلیل ساختمان‌سازی متراکم، بسیار کم است و تمام زمین‌های شهری در این محله‌ها توسط ساختمان‌ها اشغال شده است و عملاً زمین خالی و یا سبز در این محله‌ها وجود ندارد؛ تنها چند پارک محله‌ای و همسایگی وجود دارد. اگر فضاهای باز بیشتر باشد، فرار از حادثه افزایش یافته و احتمال خسارت جانی کاهش می‌یابد.
- ❖ نفوذناپذیری در این محله‌های ضعیف بسیار زیاد است، چون که بیش از ۵۰ درصد معابر این محله‌ها عرضی کمتر از ۶ متر دارند و درواقع کوچه‌های محله‌ای هستند. این تراکم بالای ساختمانی و نفوذناپذیری باعث می‌شود که در زمان وقوع بحران، عملاً کوچه‌ها قفل شده و فرار از حادثه و یا امدادسانی به شدت کاهش می‌یابد.

برای مدیریت، هدایت و کنترل محله‌هایی که تاب‌آوری ضعیفی در برابر زمین‌لرزه دارند، نیاز است که پس از بررسی و شناخت فرصت‌ها و تهدیدها و نقاط قوت و ضعف محله، راهبردهایی برای افزایش تاب‌آوری ارائه شود که در این بخش از مطالعه، پس از شناسایی محله‌های ضعیف در منطقه ۲ تبریز، از تکنیک تحلیل سوات، راهبردها ارائه شد. ابتدا ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (نقاط ضعف و قدرت) و عوامل خارجی (تهدیدها و فرصت‌ها) تهیه شد. سپس با محاسبه نمره و امتیاز عوامل داخلی و خارجی، امتیاز نهایی آنها نیز محاسبه گردید. در مدل SWOT پس از لیست کردن هر یک از عوامل قوت و ضعف و فرصت‌ها و تهدیدها و نوشتن آنها در سلول‌های مربوط به خود، از محل تلاقی هر یک از آنها استراتژی‌های مورد نظر حاصل می‌شود، بنابراین همواره این ماتریس منجر به چهار دسته استراتژی WO، SO، WT و ST می‌شود. با توجه به اعداد حاصل از جمع امتیازهای نهایی ماتریس ارزیابی عوامل درونی و بیرونی که به ترتیب ۲/۶۹ و ۲/۵۱ می‌باشد، شکل (۱۸) نشان می‌دهد که عوامل مورد مطالعه در ناحیه دوم و در خانه پنجم (V) قرار می‌گیرد؛ موقعیت قرارگیری عوامل نشان می‌دهد که ساکنین محله‌های منطقه ۲ تبریز به لحاظ توانمند بودن برای مقابله با زمین‌لرزه در وضعیت متوسط به پایین قرار دارد.



شکل ۱۸. ماتریس تعیین راهبردهای اولویت دار در تاب‌آوری شهری منطقه دو تبریز در برابر زمین‌لرزه
منبع: (ترسیم نگارندگان)

با ترسیم ماتریس چهارخانه‌ای مشخص شد که راهبردهای اولویت‌دار برای تاب‌آوری محله‌های ضعیف در منطقه ۲ شهرداری تبریز برای مقابله با زمین‌لرزه، راهبردهای تهاجمی (SO) هستند. هدف اینگونه راهبردها این است که با استفاده از نقاط قوت داخلی از فرصت‌های خارجی حداکثر بهره‌برداری را نماید و از این طریق موجب حفظ نمره نهایی ماتریس عوامل خارجی شرایط موجود در حال حاضر و رشد و تقویت این شرایط در آینده شوند. این راهبردها شامل موارد زیر می‌شوند (جدول ۲ تا ۴).

جدول ۲: ماتریس عوامل داخلی همراه با امتیاز بر اساس نظر کارشناسان

ردیف	عوامل داخلی (IFE)			
	نمره	وزن	رتبه	امتیاز وزنی
نقاط قوت (S)				
S1	۵	۰/۰۶۹	۳	۰/۲۰۸
S2	۶	۰/۰۸۳	۳	۰/۲۵۰
S3	۵	۰/۰۶۹	۴	۰/۲۷۸
S4	۷	۰/۰۹۷	۳	۰/۲۹۲
نقاط ضعف (W)				
W1	۶	۰/۰۸۳	۲	۰/۱۶۷
W2	۸	۰/۱۱۱	۲	۰/۲۲۲
W3	۶	۰/۰۸۳	۲	۰/۱۶۷
W4	۷	۰/۰۹۷	۳	۰/۲۹۲
W5	۶	۰/۰۸۳	۲	۰/۱۶۷
W6	۵	۰/۰۶۹	۴	۰/۲۷۸

۱۷۰	فصلنامه جغرافیا، دوره ۲۲، شماره ۸۱، تابستان ۱۴۰۳
T6	فاضلاب شهری به جریان بیفتند
T7	✓ آماده کردن کانکس های مناسب قبل از حادثه برای افراد و خانوارهای
T8	حادثه دیده
T9	
T10	
T11	

در مرحله آخر از ماتریس ارزیابی کمی با مقایسه جمع مجموعه نمره‌های جذابیت هر یک از راهبردها آنها را بر مبنای اولویت به ترتیب از نمره جذابیت بالا به نمره جذابیت پایین و با توجه به یک بازه زمانی قابل تعریف، برای میزان تاب آوری محله‌های منطقه ۲ شهرداری تبریز برای مقابله با زمین‌لرزه به ترتیب ذیل رتبه‌بندی شد و بایستی هر راهبرد را با توجه به تقدم اولویت به اجرا درآورد. بدین ترتیب راهبردهای کلان به ترتیب اولویت به شرح جدول (۵) می‌باشد.

جدول ۵. رتبه‌بندی راهبردهای تاب‌آوری شهری در برابر زمین‌لرزه در منطقه ۲ تبریز

رتبه	راهبرد	ردیف
۵/۹۳	WO1	تهیه بانک اطلاعات مدیریت بحران در سطح محله و منطقه
۵/۴۱	WO6	اجرای ضوابط ساختمان سازی در محله ها
۵/۲۰	WO3	ممنوعیت ساخت و ساز در مناطق حادثه خیز
۴/۸۹	WO5	جلوگیری از تبدیل باغات و فضای سبز به ساختمان سازی فشرده و ریزدانه
۴/۷۱	WT1	شناسایی مراکز آسیب پذیر در سطح محله
۴/۶۲	ST1	افزایش میزان آمادگی مراکز امداد رسانی
۴/۶۲	SO2	ایجاد انگیزه، حس مشارکت مردمی با ایجاد کارگاه های آموزشی
۴/۳۷	ST3	تهیه دستورالعملی دقیق برای هماهنگی بین افراد محله و سازمان های دولتی
۴/۰۵	WO4	طراحی کانکس های مناسب برای افزایش ایمنی
۴/۰۱	WO2	مکان یابی پایگاه های موقت جهت استقرار افراد حادثه دیده
۳/۹۵	SO1	گسترش آموزش های همگانی برای امداد و نجات در سطح محله
۳/۷۳	WT2	اصلاح و تعریض خیابان ها
۳/۴۹	ST2	تهیه تیم تخصصی روان شناسی برای جلوگیری از مشکلات روحی افراد آسیب دیده
۲/۵۱	SO3	تعیین تیم مدیریت بحران با مشارکت افراد تحصیل کرده و اساتید دانشگاه تبریز
۱/۹۷	WT4	احداث مسیل اضطراری برای فاضلابی که از احتمال شکستن لوله فاضلاب شهری
۱/۷۶	WT5	آماده کردن کانکس های مناسب قبل از حادثه برای افراد و خانوارهای حادثه دیده
۱/۷۳	WT3	قطع سریع جریان گاز و برق در حین وقوع حادثه

نتیجه گیری

مطالعه حاضر در راستای مدل‌های مفهومی و عملیاتی در منطقه ۲ شهرداری تبریز انجام شد؛ به گونه‌ای که آسیب‌پذیری محله‌ها و حتی ساختمان‌ها نیز در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت؛ در حالی که بیشتر مطالعات به ابعاد منطقه‌ای در مقیاس شهری پرداخته‌اند (محقق و همکاران، ۱۴۰۰). مدل‌سازی بلوک‌ها و تراکم‌های ساختمانی و خیابان‌های شهری در محیط رقومی GIS کمک قابل توجهی به محاسبات در مقیاس خرد شهری کرده است. در این مطالعه سطح تاب‌آوری محله‌های منطقه ۲ تبریز با ابزار GIS مورد بحث و بررسی محاسباتی قرار گرفت و نتایج آن قابلیت اجرا در برنامه‌های مدیریت بحران شهر تبریز را دارد.

مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری، آسیب‌پذیری و ظرفیت پاسخ‌گویی شهر در برابر زمین‌لرزه، شاخص‌های ساختمانی و خیابان‌های شهری است که می‌توان به تراکم‌های مسکونی، ساختمانی، بلوک و خیابان اشاره نمود که در این مطالعه نیز توجه ویژه‌ای به این شاخص‌ها شده است. فضاهای باز شهری در زمان وقوع بحران (زمین‌لرزه) نقش زیادی در نجات جان انسان‌ها دارد که در این مطالعه نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که دسترسی به فضاهای باز و سبز شهری به همراه کیفیت بناهای شهری، بیشترین اهمیت را در سطح تاب‌آوری محله در برابر زمین‌لرزه دارند؛ فضاهای

کالبدی به‌ویژه فضاهای باز شهری بیشترین اهمیت را در سطح تاب‌آوری محله‌های بخش مرکزی شهر تبریز دارد. محمود زاده و همکاران (۱۴۰۰) نیز نشان دادند که در بافت فرسوده شهرکزد، فضاهای باز شهری و تراکم مسکونی در معیار کالبدی، بیشترین اهمیت را در تاب‌آوری دارند.

محاسبه شاخص‌های ساختمانی، مسکونی، بلوک‌ها و نفوذناپذیری به همراه تراکم خیابان‌های شهری که از ترکیب چند پارامتر به دست می‌آید، یکی از امتیازهای ویژه این مطالعه در ارزیابی تاب‌آوری است؛ در حالی که پژوهشگران اغلب از زیرمعیارهای منفرد شامل مساحت ساختمان، شیب زمین، فاصله از مراکز تجاری، خدماتی، اداری، آموزشی و... برای ارزیابی تاب‌آوری استفاده می‌کنند که در نتایج پژوهشگران نمایان است (رجایی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Li et al., 2024)؛ اما در این مطالعه، این پارامترها ترکیب شده و شاخص‌های مهم در برنامه‌ریزی محیط‌زیست شهری به دست آمد و ارزیابی سطح تاب‌آوری در محله‌های منطقه ۲ تبریز با این شاخص‌ها انجام شد.

بر اساس نتایج، شاخص دسترسی به فضاهای باز و سبز شهری، کیفیت بنا، تراکم ساختمان نفوذناپذیری بافت شهری بیشترین تأثیر را در تاب‌آوری شهری دارند. با توجه به اهمیت شاخص‌های محیط‌زیست شهری، استحکام زیرساخت‌های جدید شهری و مقاوم‌سازی سازه‌ها و ساختمان‌های موجود و شبکه‌های خیابانی شهری باید در مرکز همه اقدامات برای افزایش تاب‌آوری شهری در برابر زلزله باشد. تراکم ساختمان، نسبت ابعاد و عرض خیابان سه شاخص مهم بعدی هستند. اطمینان از سطوح تراکم مطلوب، به ویژه در مناطق با خیابان‌های باریک، برای بهبود انعطاف‌پذیری فیزیکی ضروری است. علاوه بر این، هنگامی که خیابان‌ها باریک هستند و می‌تواند منجر به افزایش محصور شدن ساختمان‌ها شود، باید از تراکم شدید اجتناب شود. علاوه بر این، اتصال خیابان‌ها با عرض‌های مختلف از طریق یک سلسله مراتب خوب می‌تواند راه‌حلی مؤثر برای به حداقل رساندن احتمال بسته شدن خیابان‌ها در هنگام زلزله باشد. مساحت کل قطعات تفکیک شده یکی از مهمترین شاخص‌ها با وزن بالا می‌باشد. از نظر کاربری زمین، قطعات کوچک می‌توانند آسیب‌پذیری بیشتری در برابر زلزله داشته باشند.

محله‌های ضعیف و قوی در منطقه ۲ شهرداری تبریز در برابر زمین‌لرزه شناسایی شد که در آن، محله‌های متراکم ساختمانی در شمال غربی منطقه ۲ که به مرکز شهر تبریز نزدیک می‌شوند، شامل محله‌های آبرسان، گلباد، حلمه سازاندا، قورخانه، شهید محمد منتظری و گل‌گشت، ضعیف‌ترین محله‌ها در برابر بحران زمین‌لرزه هستند.

محله‌هایی مانند دانشگاه تبریز، ساری زیرا، عباس میرزا، الهی پرست، زعفرانیه و گلشهر که دارای فضاهای باز و سبز مناسب، تراکم مطلوب خیابان‌های شهری و همچنین تراکم متوسط ساختمانی و بلوک به همراه کیفیت بنای مناسب هستند، دارای تاب‌آوری تقریباً مناسبی در برابر زمین‌لرزه هستند؛ اما بازهم نواقصی دارند که بایستی برطرف شود.

چارچوب ارزیابی تاب‌آوری شهری و تهیه نقشه‌های فضایی برای ارزیابی تاب‌آوری می‌تواند راهنمای عملی برای تعیین نقاط قوت و ضعف یک شهر در برابر زلزله باشد. این نتایج می‌تواند به برنامه‌ریزان در برنامه‌ریزی فضایی و برنامه‌ریزی محیط‌زیست شهری کمک کند. علاوه بر این، مقامات می‌توانند از نتایج برای توسعه برنامه‌ها و سیاست‌های کاهش خطر بلایا استفاده کنند. برای مثال، آن‌ها می‌توانند از چارچوب معرفی شده در این مطالعه برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیری که باید در طول تلاش‌های تاب‌آوری اولویت‌بندی شوند، استفاده کنند. با توجه به مطالعه انجام شده، پیشنهادهایی به شرح ذیل ارائه می‌شود:

❖ پژوهشگران می‌توانند مطالعات خود را بر روی اجرای راهکارهای پیشنهاد شده از این پژوهش متمرکز کنند. با اجرای مدل‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی، میزان اثربخشی هر راهکار قابل اندازه‌گیری است.

- ❖ اگرچه مدیریت بحران استان و شهرستان تبریز، مطالعات طرح جامع را انجام داده است، اما به‌روزرسانی آن به‌ویژه در خصوص تراکم‌های ساختمانی، مسکونی و کاربری‌های شهری می‌تواند دستورالعمل‌های مدیریت بحران را تغییر دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود، طرح جامع بر اساس آخرین تغییرات صورت گرفته در کالبد شهری و انسانی تبریز انجام شود.
- ❖ در این مطالعه، سطح آسیب‌پذیری هر محله از هر شاخص محاسبه شد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که مدیریت بحران تبریز بر روی محله‌های تعیین شده برای افزایش تاب‌آوری تمرکز کند.
- ❖ احداث پارک‌های سبز شهری در محله‌های ضعیف می‌تواند حداقل برای فرار از حادثه و نجات جان انسان‌ها موثر باشد. بنابراین توصیه می‌شود که پس از جانمایی دقیق، پارک‌ها در محله‌های ضعیف احداث شوند.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان

نویسندگان در انجام این پژوهش سهم برابر دارند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند، هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از افرادی که در انجام این پژوهش همکاری داشتند، تشکر می‌کنند.

منابع

- ۱) باقری مراغه، ناهید؛ معتمدی، محمد؛ مافی، عزت الله (۱۴۰۱). ارزیابی تاب آوری شهر شیروان در مواجهه با زلزله. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲(۶۴)، ۳۳۹-۳۴۷. <https://doi.org/10.52547/jgs.22.64.329>
 - ۲) پاکرو، نازلی؛ موسوی، میرسعید (۱۴۰۲). ارزیابی تاب آوری شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه یک شهر تبریز). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳(۶۸)، ۱۱۵-۱۳۵. <https://doi.org/10.52547/jgs.23.68.115>
 - ۳) پورشریفی، جواد؛ طیبیان، منوچهر؛ مسعود، محمد؛ طغیانی، شیرین (۱۴۰۰). سنجش تاب آوری کالبدی شهر قزوین در برابر زلزله با رویکرد ساختگاه طبیعی شهر. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، ۱۱(۴۲)، ۹۱-۱۱۴. <https://doi.org/20.1001.1.22286462.1400.11.2.5.5>
 - ۴) رجایی، سیدعباس؛ منصوریان، حسین؛ سلطانی، مرضیه (۱۴۰۰). تحلیل فضایی تاب آوری شهری در برابر زلزله، مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران. فصلنامه شهر پایدار، ۴(۱)، ۱۳-۱. <https://doi.org/10.22034/JSC.2020.225370.1221>
 - ۵) محقق، پریسا؛ قدمی، مصطفی؛ عظیمی آملی، جلال؛ جانباز قبادی، غلامرضا (۱۴۰۰). بررسی تاب آوری در برابر زلزله با تکیه بر فرم شهری (مطالعه موردی: منطقه دوازده شهر تهران). فصلنامه مطالعات ساختار و کارکرد شهری، ۸(۲۹)، ۲۴۵-۲۷۳. <https://doi.org/10.22080/USFS.2021.3445>
 - ۶) محمودزاده، حسن؛ نظری، معصومه؛ هریسچیان، مهدی (۱۴۰۰). سنجش و ارزیابی میزان تاب آوری بافت فرسوده شهری در برابر زلزله، نمونه مورد مطالعه: شهرکرد. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۱(۴۱)، ۱۸۲-۱۶۳. <https://doi.org/10.30488/GPS.2021.245297.3294>
 - ۷) ملکی، سعید؛ رضوی، سیده معصومه؛ رمضان پور اسعدیه، خاطره (۱۴۰۰). سنجش و ارزیابی میزان تاب آوری نواحی شهری در برابر زلزله (مزالعه موردی: ناحیه غربی شهر ایذه). پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۱۲(۴۷)، ۱۸۷-۲۰۲. <https://doi.org/10.30495/JUPM.2022.4231>
- 1) Alam, M. S., & Haque, S. M. (2022). Multi-dimensional earthquake vulnerability assessment of residential neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh: A spatial multi-criteria analysis-based approach. *Journal of Urban Management*, 11(1), 37-58. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.001>
 - 2) bagheri maragheh N, motamedi M, mafi E. Assessing the resilience of Shirvan city in the face of earthquakes. *jgs 2022*; 22 (64) :329-347. [Persian]. <https://doi.org/10.52547/jgs.22.64.329>
 - 3) Byun, J. E., & D'Ayala, D. (2022). Urban seismic resilience mapping: a transportation network in Istanbul, Turkey. *Scientific reports*, 12(1), 8188. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11991-2>
 - 4) Cong, Y., & Inazumi, S. (2024). Enhancing Urban Resilience with Smart Technologies and Predictive Analytics in Setagaya, Tokyo. <http://doi.org/10.20944/preprints202403.0442.v1>
 - 5) Guo, Y., & Chen, W. Y. (2024). Monitoring tree canopy dynamics across heterogeneous urban habitats: A longitudinal study using multi-source remote sensing data. *Journal of Environmental Management*, 356, 120542. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120542>
 - 6) Li, H., Wang, Y., Zhang, H., Yin, R., Liu, C., Wang, Z., ... & Zhao, J. (2024). The spatial-temporal evolution and driving mechanism of Urban resilience in the Yellow River Basin cities. *Journal of Cleaner Production*, 141614. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141614>
 - 7) Mahmoudzadeh, H., Nazari, M., & Herischiyan, M. (2021). Assessing and evaluating the resilience of worn-out urban fabric against earthquakes (Case Study: Shahrekord). *Geographical Planning of Space*, 11(41), 163-182. [Persian]. <https://doi.org/10.30488/GPS.2021.245297.3294>
 - 8) Mmaleki, S., razavii, S. M., & Ramazanpour Asadih, K. (2022). Measurement and Evaluation of Resilience to Earthquake Urban Areas (Case Study: Western District of Izeh City), 12(47), 187-202. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/JUPM.2022.4231>
 - 9) Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and urban planning*, 147, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
 - 10) Mohaqeqi, P., Ghadami, M., Azimi amoli, J., & Janbaz Ghobadi, G. R. (2021). An investigation of earthquake resilience with an emphasis on urban form: A case study on District 12 of Tehran. *Urban Structure and Function Studies*, 8(29), 245-273. [Persian]. <https://doi.org/10.22080/USFS.2021.3445>
 - 11) Narjabadifam, P., Hoseinpour, R., Noori, M., & Altabay, W. (2021). Practical seismic resilience evaluation and crisis management planning through GIS-based vulnerability assessment of buildings. *Earthquake engineering and engineering vibration*, 20, 25-37. <https://doi.org/10.1007/s11803-021-2003-1>
 - 12) Pakru, N. & Moosavi M. S. (2013). Urban Resilience Assessment on Earthquake (Case Study: District 1 of Tabriz City), 23 (68), 7. [Persian]. <https://doi.org/10.52547/jgs.23.68.115>

- 13) Poursharifi, J., Tabibian, M., Masoud, M., & Toghyani, S. (2021). Evaluation of physical resilient of the city of Qazvin against earthquake with the approach of natural site of the city. *Geography (Regional Planning)*, 11(42), 91-114. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.22286462.1400.11.2.5.5>
- 14) Rajaei, S. A., Mansourian, H., & Soltani, M. (2021). Spatial analysis of urban resilience against earthquakes Case study: Region 1 of Tehran. *Sustainable city*, 4(1), 1-13. [Persian]. <https://doi.org/10.22034/JSC.2020.225370.1221>
- 15) Ribeiro, P. J. G., & Gonçalves, L. A. P. J. (2019). Urban resilience: A conceptual framework. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101625. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101625>
- 16) Spaans, M., & Waterhout, B. (2017). Building up resilience in cities worldwide–Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. *Cities*, 61, 109-116.
- 17) <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.05.011>
- 26) Zhang, B., Liu, Y., Liu, Y. & Lyu, S. (2024). Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors for Urban Resilience in China: A Provincial Analysis. *Buildings*, 14(2), 502. <https://doi.org/10.3390/buildings14020502>