

Identification and analysis of key drivers for improving physical resilience against earthquake risk (case study: Kermanshah metropolis)

Sohrab Amirian^{*1}, Mostafa Shahinifar²

1. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Payame Noor University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Payame Noor University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Research Paper

Article history:

Received: 2024/08/20

Accepted: 2025/08/05

Published online:
2025/08/22



Keywords: *Physical resilience, earthquake risk, future studies, Kermanshah metropolis.*

Abstract

Considering that it is not possible to prevent the occurrence of an earthquake or the time of its occurrence cannot be predicted, but with the help of the science of future studies, it is possible to prepare for an earthquake and provide solutions to deal with it or reduce its vulnerability. The current research has analyzed the variables of physical resilience in Kermanshah metropolis by using the technique of cross-effects analysis, which is one of the common and accepted methods of future studies, and by using Micmac software. For this purpose, first, by studying the available documents, all the factors affecting physical resilience against earthquake risk were analyzed and investigated, and using the Delphi method, 20 variables were extracted as primary variables influencing the promotion of physical resilience against earthquake risk. The data was analyzed using the interaction/structural effects analysis method by Micmac software. The results of the research show that Kermanshah metropolis has an unstable system according to the dispersion of variables, and five categories (influential, bimodal, regulatory, and influential and independent variables) can be identified in the dispersion plane. Finally, among the 20 identified variables, after examining the extent and how these variables affect each other and the future state of the physical resilience of Kermanshah metropolis with direct and indirect methods, 7 key factors were identified, respectively: building density; distance from the fault; population density; topography; access to main roads; The quality of buildings and the reconstruction and improvement of unstable buildings, which play the greatest role in improving physical resilience against the risk of earthquakes in Kermanshah metropolis. Following are suggestions based on these key drivers.

Citation: Amirian, S., Shahinifar, M. (2024). **Identification and analysis of key drivers for improving physical resilience against earthquake risk (case study: Kermanshah metropolis)**, Journal of Future Cities vision, 6(23), 57-76.



© The Author(s). Publisher: Iranian Geographical Association

* **Corresponding author:** Sohrab Amirian, **Email:** s_amirian@pnu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Considering the nature of natural crises and the process of managing them over time, before planning and preparing for crises, with a Futures studies perspective, a logical and practical relationship should be established between the type of future and the nature of natural crises (11). Therefore, one of the new approaches that can lead to the reduction of financial vulnerability and loss of life during natural and human crises such as earthquakes is the Futures studies approach (17). In fact, disaster response planning using Futures studies methods can be one of the best optimal management techniques in the future where a crisis may occur at any moment (42). Due to the fact that it is not possible to prevent the occurrence of an earthquake or the time of its occurrence cannot be predicted, but with the help of the science of Futures studies, it is possible to prepare for an earthquake and find ways to deal with it or reduce its vulnerability. The presentation of these solutions will increase initiatives and ideas for strengthening and resilience of the city against earthquakes. Therefore, the current research aims to identify the key drivers and the most important factors affecting the physical resilience of the Kermanshah metropolis against the risk of an earthquake with a Futures studies approach and to investigate the extent and how these factors affect each other and the future state of the Kermanshah metropolis, which in fact it provides the context for developing scenarios in the next stages, as well as developing strategies, planning and policy making to achieve the desired scenarios.

Methodology

This research method of the current research is descriptive-analytical in nature and practical in terms of purpose. The collection of information is based on the combination of documentary methods and field studies. The main source and basis of analysis data are the opinions of experts and specialists. In this research, first, with a systematic and structural view, the theoretical literature review in the field of physical resilience against earthquakes was discussed, then based on

the theoretical foundations and using the Delphi method was extracted the influential indicators and variables in the field of physical resilience against earthquakes were determined. In the analysis and analysis section of the information collected in the current research, MICMAC software was used to analyze the results related to the future study of experts' opinions, in this research, the experts included 29 urban experts and specialists, affiliated organizations, and university specialists (professors and students). PhD who have research work in the field of resilience) were in the fields of urban planning and management in Kermanshah metropolis. In this way, after selecting the experts and explaining the problem to them, a questionnaire was prepared and sent to the experts. Finally, by preparing a 20 x 20 matrix with the help of the MICMAC future-research program, the propelling forces were analyzed and in the second stage, using the technique of mutual effects of scoring, finally, the propelling and key factors of increasing physical resilience against earthquake risk were analyzed according to Impact score and direct impact were selected.

Results and Discussion

Based on the above-mentioned Delphi method, 20 variables have been identified as effective factors in improving physical resilience against the risk of earthquakes in Kermanshah metropolis, and then the structural analysis method was used by MICMAC software to extract the drivers. A key influencing the future state of the studied environment was used. The relationship between 20 items identified as effective in promoting physical resilience against earthquake hazards has been evaluated using the mutual effects matrix method and evaluated by expert experts, and their degree of influence and mutual influence has been scored. The degree of relationship between items is measured with numbers between 0 and 3. The number zero means "no effect", the number one means "weak effect", the number two means "medium effect" and the number three means "high effect". The dimensions of the matrix for the analysis of the mutual effects of the items in this research are (20 x 20). The filling degree of this matrix is 66.75%,

which indicates the high correlation and influence of the variables on each other. In the analysis of the relationships between the items in this matrix, the number 133 is filled with zero, which indicates that the corresponding variables have no relationship. Among the 66.75%, filled matrix, the number of 106 relationships was one, which means that the factors had a weak relationship with each other, the number of 107 relationships was two, which means that the factors had an average relationship with each other, and the number of 54 relationships was three and this means that there was a lot of influence between the mentioned items. It should be noted that in this research, based on the statistical indicators with 2 data rotations, the

matrix had 100% desirability and optimization, which indicates the high validity of the questionnaire and its answers.

Conclusion

Finally, among the 20 primary variables effective in promoting physical resilience in Kermanshah metropolis against earthquakes; 7 key drivers. Building Density; distance from the fault; population density; topography; access to main roads; Building quality and reconstruction and improvement of unstable buildings were selected as very influential factors. These seven key drivers are placed in two categories of influential and two-way variables.

References

1. Amanpour, S., & Hashemi Ghand Ali, F. (2023). Investigation and evaluation of the physical components of worn-out urban tissue (case study) of the worn-out tissue of Masjid Suleiman. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 3(4), 65-81. (In Persian)
2. Amirian, S. (2017). Investigating the spatial pattern of cities' vulnerability to earthquakes and proposing an optimal pattern (case example: Kermanshah city). *Scientific and research quarterly of new attitudes in human geography*. 10 (3), 284-265. (In Persian)
3. Aon plc. 2021. Weather, Climate & Catastrophe Insight 2020 Annual Report. Available online: <http://thoughtleadership.aon.com/Documents/20210125-if-annual-cat-report.pdf> (accessed on 18 March 2021).
4. Arcade, J., Godet, M., Francis, M., and Fabrice, R. 2008. Structural analysis with the MICMAC method & Actors' strategy with MACTOR method, *Futures research methodology v2*, AC/UNU Millennium project.
5. Ataollahi, F., Dehnavieh, R., & Atashbahar, O. (2017). Futures Studies using environmental scanning techniques. *Strategic Studies of public policy*, 6(21), 7-9. (In Persian)
6. Aydin, N.Y., Duzgun, H.S., Wenzel, F., and Heinemann, H.R. 2018. Integration of stress testing with graph theory to assess the resilience of urban road networks under seismic hazards. *Nat. Hazards*, 91, 37-68.
7. Badrazar, S., Hosseinzadeh Dalir, K., & Azar, A. (2021). Evaluation of vital impulses affecting earthquake resilience in Iranian metropolises (Case study: Tabriz metropolis). *Geography (Regional Planning)*, 11(42), 871-890. (In Persian)
8. Chen, J., Ma, H., Yang, S., Zhou, Z., Huang, J and Chen, L. 2023. Assessment of Urban Resilience and Detection of Impact Factors Based on Spatial Autocorrelation Analysis and Geo Detector Model: A Case of Hunan Province. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 12, 1-29.
9. Deng, H and Liu, K. 2023. Spatiotemporal Evolution of Urban Resilience and Spatial Spillover Effects in Guangdong Province, China, *Land*, 12, 1-19.
10. Dong, L and Shan, J. 2013. A comprehensive review of earthquake-induced building damage detection with remote sensing techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 84, 85-99.
11. Eshgi, A., Nazmfar, H., & Gafari, A. (2018). Assessing the physical resilience of a city against possible earthquakes (Case Study: region one of Tehran). *Physical Social Planning*, 4(4), 11-26. (In Persian)
12. Eslami, A., & Hassani, N. (2016). Application future research to manage risk by dividing earthquake return period of the future (Case

- Study: Earthquake Rey). Disaster Prev. Manag. Know. 6 (1), 47-58. (In Persian)
13. Gharakhlou, M. 2009, Crisis risk in urban slum, CAG, ETAVA, Canada, 25-31.
14. Godet, A. J., Meunier, M. F., and Roubelat, F. 2003. Structural analysis with the MICMAC method & actors' strategy with MACTOR method", AC/UNU Millennium Project: Futures Research Methodology-V2., AC/UNU, Washington, DC.
15. Gorbani, R., Farhadi, E., & doorudinia, A. (2019). Earthquake hazard zoning using Geographical Information System (Case Study: Tabriz metropolis). 12(45), 49-70. (In Persian)
16. Hashemi Karoui, S. M., motevalli, S., Janbaz Ghobadi, G., & Azimi Amoli, J. (2023). Identifying Safe Spots Against Earthquakes With A Passive Defense Approach In The Direction Of Sustainable Social Development (Case Study: Babol City). Quarterly Journal of Environmental-based Territorial Planning (JETP), 16(61), 71-96. (In Persian)
17. Heydari Sureshjani, R., Gholami, Y., & Salimi, Z. (2016). Measuring and evaluating the physical resilience of urban tissues against earthquakes (case example: Bushehr's worn-out tissue neighborhoods), Geography and Environmental Hazards, 6 (4), 63-80. (In Persian)
18. Hosseinekhah, H., & zarabi, A. (2020). The Importance of Future Studies in Planning Responses to the Disaster with planning approach Based on scenario (Case study: township of choram Kohgiluyeh and Boyerahmad Province). Geography and Development, 18(60), 59-84. (In Persian)
19. Kamali, M., Tabibian, M., & Elahi, M. (2021). Analysis of Physical Resilience of Social Housing against Earthquake Using Non-Structural Fuzzy Decision Support System (NSFDSS) Technique(Case Study: Zanjan's Mehr Housing). Urban Management Studies, 13(46), 1-19. (In Persian)
20. Kematizadeh, E. (2016). Seismic Vulnerability Assessment of Urban Buildings (Case Study: Kermanshah), MA Thesis in Civil Engineering, Earthquake Orientation, Razi University. (In Persian)
21. Lantada, N., Pujades, L. G and Barbat, A. H. 2009. Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison. Natural Hazards, 51(3), 501.
22. Latifi, A., Ziari, K., & Naderi, S. M. (2021). The key components' explanation of increasing Tehran physical resilience against earthquakes with a structural analysis approach (Case study: District 10). Journal of Geography and Environmental Hazards, 10(1), 161-182. (In Persian)
23. Lizarralde, G., Chmutina, K., Bosher, L and Dainty, A. 2015. Sustainability and resilience in the built environment: The challenges of establishing a turquoise agenda in the UK. Sustain. Cities Soc, 15, 96-104.
24. Ludwig, L. and Starr. S. 2005. Library as place: results of a Delphi study, Journal of the Medical Library Association 93(3), 315-327.
25. Ma, X., Chen, X., Du, Y., Zhu, X., Dai, Y., Li, X., Zhang, R and Wang, Y. 2022. Evaluation of Urban Spatial Resilience and Its Influencing Factors: Case Study of the Harbin-Changchun Urban Agglomeration in China. 14, 1-18.
26. Maleki, S., Razavii, S. M., & Ramazanpour Asadie, K. (2022). Measurement and Evaluation of Resilience to Earthquake Urban Areas (Case Study: Western District of Izeh City). Journal of Research and Urban Plannine, 12(47), 187-202. (In Persian)
27. Mallick, S.K., Das, P., Maity, B., Rudra, S., Pramanik, M., Pradhan, B and Sahana, M. 2021. Understanding future urban growth, urban resilience and sustainable development of small cities using prediction-adaptation-resilience (PAR) approach. Sustain. Cities Soc. 74, 1-26.
28. Meerow, S., Newell, J.P., and Stults, M. 2016. Defining urban resilience: A review. Landsc. Urban Plan, 147, 38-49.
29. Mohammadifar, Y., Azami, M., & Feizaghaei P. (2020). Designing the Crisis management model for broad natural events (Case Study: Kermanshah Earthquake). Disaster Prev. Manag. Know. 10 (2) :163-176. (In Persian)
30. Mote, S., Rivas, J., Kalnay, E., Asrar, G.R., Busalacchi, A.J, Cahalan, R.F., Cane, M.A., Colwell, R.R., Feng, K and Franklin, R. 2016.

- Modeling Sustainability: Population, Inequality, Consumption, and Bidirectional Coupling of the Earth and Human Systems. *Natl. Sci. Rev.* 3, 470–494.
31. Nagaresh, H. (2014). Earthquake, cities and faults, *Geographical Research*, 37 (52), 110-93. (In Persian)
 32. Naimi, K., & Pourmohammadi, M. (2016). Identifying the key factors influencing the future status of urban slums regarding future study approach: the case study of Sanandaj. *Motaleate Shahri*, 5(20), 53-64. (In Persian)
 33. Nowroozi, H., mohamadidoust, S., hosseinhosseinekhah, H., & khanizadeh, M. A. (2019). Identification and Evaluation of Amazing driver in the physical Resonance of Urban Uses with Passive Defense Defense Approach (Case Study: District 1of Yasuj City). 10(36), 33-46. (In Persian)
 34. Parizi, S.M., Taleai, M., and Sharifi, A. A. 2022. GIS-Based Multi-Criteria Analysis Framework to Evaluate Urban Physical Resilience against Earthquakes. *Sustainability*, 14, 1-31.
 35. Peyvastehgar, Y., Jafari, H., & Moradi, E. (2023). Explaining the dimensions of urban physical resilience against earthquakes based on multi-criteria decision making methods studied in Yasouj. *Journal of Research and Urban Plannine* , 13(51), 73-88. (In Persian)
 36. Plan and budget organization. (2018). Statistical yearbook of Kermanshah city. (In Persian)
 37. PourAhmad, A., Ziari, K., Abdali, Y., & Sadeghi, A. (2019). Analysis of resiliency criteria in urban worn out texture of Tehran 10 municipality against earthquake with emphasis on physical resilience. *Journal of Research and Urban Planning* , 10(36), 1-21. (In Persian)
 38. Rabbani, T. (2013). Application of future research approach and strategic thinking in urban development planning (case study: Baneh city), MA thesis in geography and urban planning, University of Tehran. (In Persian)
 39. Rezaei, H., Macioszek, E., Derakhshesh, P., Houshyar, H., E.; Bakhshi Lomer, A.R., Ghanbari, R and Esmailzadeh, A. A. 2023. Spatial Decision Support System for Modeling Urban Resilience to Natural Hazards. *Sustainability*, 15, 1-18.
 40. Rezaei, M. R., & Yarahmadi, M. (2023). Assessment of physical-social resilience against earthquakes The Case study of Esfrain city. *Geographical Planning of Space*, 13(2), 167-86. (In Persian)
 41. Rezaei, M. R., Rafieian, M., & Hosseini, S. M. (2015). Measurement and evaluation of physical resilience of urban communities against earthquake (Case study: Tehran neighborhoods). *Human Geography Research*, 47(4), 609-623. (In Persian)
 42. Robinson, T. R. 2020. Scenario ensemble modelling of possible future earthquake impacts in
 43. Sarvar, H., & Kashani Asl, A. (2016). Evaluation of Ahar city's physical vulnerability against earthquake crisis. , *Quarterly Journal of Environmental-based Territorial Planning (JETP)*, 9(34), 87-108. (In Persian)
 44. Schütze, M., Robleto, G., León, C and Rodriguez, I. 2011. Modelling and scenario building of urban water and wastewater systems – Addressing water shortage in Lima. 12th International Conference on Urban Drainage, 11-16. Porto Alegre/Brasil.
 45. Shojaei, M., Zare, M., Akasheh, B., Ostadtaghizadeh, A., and Dorostian, A. 2020. Evaluating the degree of physical resilience of Babol against earthquakes. *Nexo Scientific Journal*, 33(2), 239-258.
 46. Statistics center of Iran. (2015). Detailed results of the general population and housing census of Kermanshah city. (In Persian)
 47. Talibian, H., Mowlae, M. M., & Gharari, F. (2017). Structural Analysis with Fuzzy MICMAC in Strategic Foresight. *Journal of Iran Futures Studies*, 2(1), 75-104. (In Persian)
 48. Toobchi Sani, A., Mohammadi, M., Mirzayi, M. R., & Toobchi Sani, A. H. (2023). Evaluating the importance of physical resilience criteria of run-down urban fabrics with using of Improved analytical hierarchy process (IAHP) method. *Disaster Prev. Manag. Know.* 12 (4) , 422-409. (In Persian)
 49. UNISDR. 2020. Making Cities Resilient Report 2012, Available online:

- https://www.unisdr.org/files/28240_rcreport.pdf (accessed on 10 September).
50. Veysi nab, B. (2018). Analysis of urban livability with a future research approach based on scenario writing (case study: Tabriz metropolis), Ph.D dissertation in geography and urban planning, Tabriz University. (In Persian)
 51. Wang, H., Cao, C., Ma, X and Ma, Y. 2023. Methods for Infectious Disease Risk Assessments in Megacities Using the Urban Resilience Theory, Sustainability, 15, 1-16.
 52. Wang, X., Wang, L., Zhang, X and Fan, F. 2022. The spatiotemporal evolution of COVID-19 in China and its impact on urban economic resilience. China Econ. Rev, 74, 1-18.
 53. Xiao, Y., Zhong, J., Wang, J., Zhang, L., Qian, X., Liu, W and Huang, H. 2023. Exploring the Coupling Coordination Relationship of Urban Resilience System in Ecologically Fragile Areas: Case Study of the Loess Plateau in China, Land, 12, 1-21.
 54. Xu, H and Jiao, M. 2021. City size, industrial structure and urbanization quality-A case study of the Yangtze River Delta urban agglomeration in China. Land Use Policy, 111, 1-29.
 55. Xu, H., Li, Y., Tan, Y and Deng, N. A. 2021. Scientometric Review of Urban Disaster Resilience Research. Int. J. Environ. Res. Public Health, 18, 1-27.
 56. Zali, N. (2008). Foresight of regional development with a scenario-based planning approach (case example: East Azarbaijan province). P.hD thesis in the field of geography and urban planning, Tabriz University. (In Persian)
 57. Zaremand, Z. (2018). Earthquake risk modeling and zoning using the TOPSIS fuzzy model (case: Kermanshah city), MA thesis in hydrogeomorphology, environmental planning, Mohaghegh Ardabili University. (In Persian)
 58. Zhang, X., and Li, H. 2018. Urban resilience and urban sustainability: What we know and what do not know? Cities, 72, 141-148.
 59. Zhao, R., Fang, C and Liu, H. 2020. Progress and prospect of urban resilience research, Progress Geogr, 39, 1717-1731.
 60. Ziari, Y. A., Abdalezadeh Maleki, B., & Behzadpour, E. (2017). Evaluating the level of physical resilience against earthquake hazards with the approach of achieving sustainable management (case study: Zone 1 of Tehran), Scientific and Research Quarterly of New Attitudes in Human Geography, 10 (2), 112-97. (In Persian)

شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرمانشاه)

سهراب امیریان: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه پیام نور، تهران، ایران^۱
مصطفی شاهینی فر: استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۴

چکیده

با توجه به اینکه نمی‌توان از وقوع زلزله جلوگیری کرد و یا زمان وقوع آن قابل پیش‌بینی نیست اما می‌توان با کمک علم آینده‌پژوهی به آمادگی در برابر زلزله پرداخت و راهکارهایی برای مقابله و یا کاهش آسیب‌پذیری آن ارائه داد این راهکارها باعث افزایش ابتکارات و ایده‌هایی جهت مقاوم‌سازی و تاب‌آوری شهر در برابر زلزله خواهد شد. در این راستا پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از رویکرد آینده‌پژوهی به شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر و بررسی میزان و چگونگی تأثیرگذاری این عوامل بر یکدیگر و بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه می‌پردازد. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از تکنیک تحلیل اثرات متقاطع که یکی از روش‌های متداول و مورد پذیرش آینده‌پژوهی است و با استفاده از نرم‌افزار میک‌مک به تحلیل متغیرهای تاب‌آوری کالبدی در کلان‌شهر کرمانشاه پرداخته است. بدین منظور ابتدا با مطالعه اسناد فرادست تمامی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و با استفاده از روش دلفی ۲۰ متغیر به عنوان متغیرهای اولیه اثرگذار بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله استخراج شدند، در ادامه تحلیل داده‌ها با استفاده از روش تحلیل اثرات متقابل/ساختاری به وسیله نرم‌افزار Micmac صورت گرفته است. نتایج تحقیق بیانگر آن است که کلان‌شهر کرمانشاه با توجه به پراکندگی متغیرها دارای سیستمی ناپایدار است و در صفحه پراکندگی پنج دسته (متغیرهای تأثیرگذار، دوجبهی، تنظیمی، تأثیرپذیر و مستقل) قابل شناسایی هستند. در نهایت از میان ۲۰ متغیر شناسایی شده، پس از بررسی میزان و چگونگی تأثیرگذاری این متغیرها بر هم‌دیگر و بر وضعیت آینده تاب‌آوری کالبدی کلان‌شهر کرمانشاه با روش‌های مستقیم و غیرمستقیم، به ترتیب ۷ عامل کلیدی: تراکم ساختمانی؛ فاصله از گسل؛ تراکم جمعیت؛ توپوگرافی؛ دسترسی به معابر اصلی؛ کیفیت ابنیه و بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار، که بیشترین نقش را در ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه دارند، انتخاب شدند. در ادامه با توجه به این پیشران‌های کلیدی پیشنهادهایی ارائه شده است.

واژگان کلیدی: تاب‌آوری کالبدی، مخاطره زلزله، آینده‌پژوهی، کلان‌شهر کرمانشاه.

مقدمه

بلایای شهری از جمله مخاطرات طبیعی، حوادث بهداشت عمومی و حملات تروریستی در سال‌های اخیر به‌طور تصاعدی در حال افزایش بوده‌اند که منجر به افزایش خسارات اقتصادی، انسانی و تهدید توسعه پایدار شهری شده است (Lizarralde et al, 2015: 98). در ۲۲ ژانویه ۲۰۲۱، *Aon PLC گزارشی آماری با عنوان «گزارش سالانه نگرش آب‌وهوای، آب‌وهوا و فاجعه ۲۰۲۰» منتشر کرد. بر اساس این گزارش، خسارات مستقیم اقتصادی جهانی ناشی از بلایای طبیعی در سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۲۶۸ میلیارد دلار برآورد شده است. اگرچه بسیار کمتر از سال‌های اوج زیان در سال‌های ۲۰۱۱ (۵۵۷ میلیارد دلار) و ۲۰۱۷ (۴۸۵ میلیارد دلار) است، اما بالاتر از میانگین (۲۴۴ میلیارد دلار) در قرن بیست و یکم بوده است. این در حالی است که در سال ۲۰۲۰ حدود ۸۱۰۰ نفر بر اثر حوادث طبیعی جان خود را از دست دادند (Aon plc, 2021). این خسارات و تلفات اقتصادی ناشی از بلایای چندگانه، از جمله سیل‌های فصلی، زمین‌لرزه‌ها، طوفان لورا، طوفان آمفان و غیره است. علاوه بر این، در آغاز سال ۲۰۲۰، کووید ۱۹ سراسر جهان را درنوردید و به مرگ‌بارترین بیماری همه‌گیر روی کره زمین از سال ۱۹۱۸ تبدیل شد. از این رو با وجود پیشرفت‌های علمی و فناوری، هنوز نمی‌توان به‌طور دقیق از وقوع برخی بلایا جلوگیری کرد (Xu et al, 2021: 1).

طبق آمار، تعداد بلایا در سراسر جهان در طول ۳۰ سال گذشته تقریباً چهار برابر شده است (UNISDR, 2020). بلایای شهری ویژگی‌های منحصر به فردی دارند به این معنا که شهرها در محیطی قرار دارند که حجم زیادی از جمعیت و امکانات را جذب می‌کنند. در نتیجه، مقامات و مسئولین شهری با چالش‌های ایجاد راهبردهایی برای انواع مختلف کاهش خطر بلایا و سازگاری و ترویج بیشتر توسعه پایدار شهرها مواجه هستند (Xu et al, 2021: 1)؛ بنابراین، شهرها نیاز فوری به جستجوی ایده‌های مؤثرتر برای هدایت توسعه پایدار خود دارند. به عنوان یک استراتژی مهم برای کاهش خطرات شهری، تاب‌آوری شهری مورد توجه روزافزونی قرار گرفته است (Chen et al, 2023: 2) تاب‌آوری شهری مفهومی جدید در برنامه‌ریزی شهری پایدار است که در آن شهرها و دولت‌های محلی باید توانایی خود را برای کاهش تلفات و کوتاه‌تر کردن دوره‌های بهبودی از هرگونه فاجعه بالقوه افزایش دهند (Xiao et al, 2023: 2) تاب‌آوری شهری به توانایی یک شهر یا سیستم شهری جهت تحمل و مقاومت در برابر شوک‌های خارجی، حفظ ویژگی‌ها و عملکردهای کلیدی خود بدون تأثیر قابل توجه (Wang et al, 2023: 2) و به کارگیری منطقی منابع برای بازیابی سریع آن‌ها اشاره دارد (Deng & Liu, 2023: 3). در حال حاضر، «تاب‌آوری شهری» از سوی چندین کشور و سازمان مورد توجه قرار گرفته است (Xu & Jiao, 2021; Wang et al, 2022) پروژه‌ها یا ابتکارات بین‌المللی مانند ۱۰۰ شهر تاب‌آور جهانی، اهداف توسعه پایدار ۲۰۳۰ سازمان ملل متحد (SDGs^۱) و دستور کار جدید شهری شامل ساخت شهرهای تاب‌آور و بهبود تاب‌آوری شهری به عنوان اهداف مهم است (Zhao et al, 2020: 1719) در میان آن‌ها، هدف ۱۱ از اهداف توسعه پایدار بر اهمیت ساخت شهرها و جوامع پایدار، با تمرکز بر تاب‌آوری شهری و فراگیر تأکید می‌کند. افزایش تاب‌آوری شهری یک جزء حیاتی از هدف ۱۱ در چارچوب اهداف توسعه پایدار را تشکیل می‌دهد و کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که شهرها می‌توانند به‌طور مؤثر به اهداف توسعه پایدار جهانی کمک کنند (Mallick et al, 2020).

از دیرباز زمین‌لرزه، به عنوان یکی از فاجعه‌بارترین و مخرب‌ترین انواع مخاطرات طبیعی؛ به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه مطرح بوده است (Dong & Shan, 2013: 85). به دلیل خسارت‌های وسیع و بی‌هنجاری‌های گسترده اجتماعی، زمین‌لرزه‌ها نسبت به سایر حوادث، اولویت بالاتری برای تقویت تاب‌آوری جوامع در برابر سوانح طبیعی دارند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۱۰). مهم‌ترین عاملی که زلزله را در شهر به بحران تبدیل می‌کند، آسیب‌پذیری کالبدی

*. یک شرکت مشاوره مدیریت و خدمات حرفه ای بریتانیایی-آمریکایی است که طیف وسیعی از محصولات کاهش ریسک را ارائه می دهد.

[†]. Sustainable Development Goals

شهرها است، در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله مخرب در نقاط مختلف کره زمین روی داده که بر اثر آن بیش از ۱/۵۰۰/۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند (Lantada, 2009: 2).

کشور ایران از کشورهای خطرپذیر در زمینه بلایای طبیعی به‌ویژه زلزله است، به‌طوری که به لحاظ جغرافیایی جزء ۱۰ کشور حادثه‌خیز و آسیب‌پذیر از بلایای طبیعی جهان به شمار می‌آید (محمدی فر و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۷۸). قرارگیری بر روی کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا و وجود فرآیندهای فعال زمین‌شناسی و صفحه‌ای، زلزله را به عنوان یک خطر بالقوه مطرح ساخته است. اکثر نقاط شهری و غیرشهری ایران در نواحی با خطرپذیری نسبی زمین‌لرزه قرار دارند. شهر کرمانشاه نهمین شهر پرجمعیت و بزرگ‌ترین شهر کردنشین و مهم‌ترین شهر در منطقه مرکزی غرب ایران است که دارای جمعیتی بالغ بر ۹۴۶۶۵۱ نفر در سرشماری سال ۱۳۹۵ و مساحت آن ۹۳،۳۸۹،۹۵۶ مترمربع است (سازمان آمار ایران، ۱۳۹۵)، گسل‌های متعددی در داخل و پیرامون شهر کرمانشاه وجود دارد که باعث لرزه‌خیزی این شهر شده است (زارعمند، ۱۳۹۸: ۱۸). شهر کرمانشاه در حد فاصل زاگرس مرتفع و چین‌خورده قرار دارد، توسط گسل‌ها از شمال و جنوب احاطه شده است، گسل سراسری زاگرس (تراست زاگرس) تقریباً از ده کیلومتری شمال و گسل رو رانده دیگری نیز از پنج کیلومتری جنوب آن می‌گذرد، احتمال رخداد زلزله به‌ویژه زمانی که شرایط رخ دادن آن از جمله وجود گسل‌های متعدد فراهم باشد، وجود دارد که وجود گسل‌های متعدد در محدوده و اطراف شهر کرمانشاه بیانگر خطر زلزله در آسیب‌پذیری آن خواهد بود. بخش زیادی از بافت‌های شهری کلان‌شهر کرمانشاه، به‌ویژه نواحی مرکزی و حاشیه‌ای، متراکم، فرسوده، فاقد دسترسی مناسب و مستعد فروپاشی در برابر زلزله هستند. وجود این بافت‌ها در کنار توسعه نامتوازن و رشد بی‌رویه شهری، آسیب‌پذیری کالبدی کرمانشاه را به یک تهدید جدی برای امنیت انسانی و پایداری توسعه شهری مبدل ساخته است.

بررسی زلزله‌های تاریخی منطقه کرمانشاه مؤید وقوع زمین‌لرزه‌هایی با شدت و تخریب زیاد می‌باشد. به عنوان نمونه در سال ۱۰۰۸ میلادی در شهرهای دینور، کرمانشاه، کنگاور و اسدآباد زلزله مخربی به وقوع پیوست که ۱۶ هزار نفر کشته داشت و تخریب فراوانی برجای گذاشت. در جدیدترین مورد نیز در استان کرمانشاه (کانون زمین‌لرزه ۵ کیلومتری شهر ازگله) در سال ۱۳۹۶ زمین‌لرزه شدیدی به بزرگی ۷/۳ در مقیاس بزرگای گشتاوری روی داد که خسارت‌های زیادی را در چند شهرستان استان به بار آورد؛ بنابراین با توجه به قرارگیری شهر کرمانشاه در منطقه جغرافیایی با ریسک بالای زمین‌لرزه، شناخت محدوده‌های آسیب‌پذیر و مقاوم و برنامه‌ریزی صحیح و مناسب برای پیش‌گیری و یا کاهش خطر احتمالی در این شهر ضروری است (امیریان، ۱۳۹۷: ۲۶۷).

سیستم کالبدی شهر کرمانشاه که شامل سازه‌ها، شبکه‌های زیرساختی، معابر، و سایر اجزای فیزیکی شهر است، نقش کلیدی در کاهش آسیب‌ها و افزایش مقاومت در برابر زمین‌لرزه دارد. بافت‌های فرسوده و کم‌کیفیت موجود در بسیاری از مناطق شهری کرمانشاه، همراه با ضعف در کیفیت ساخت و ساز و نبود استانداردهای لازم، تاب‌آوری کالبدی شهر را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. این موضوع نه تنها موجب آسیب‌پذیری بالای سازه‌ها و زیرساخت‌ها می‌شود، بلکه فرایند بازسازی پس از زلزله را نیز با چالش‌های فراوانی مواجه می‌سازد. از سوی دیگر، آسیب‌های وارد شده به سیستم کالبدی شهر، به سرعت می‌توانند اختلالات گسترده‌ای در عملکردهای کلیدی شهری ایجاد کرده و زندگی روزمره مردم را مختل کنند. بنابراین، افزایش تاب‌آوری کالبدی نیازمند برنامه‌ریزی دقیق، به‌روزرسانی طرح‌های توسعه شهری، مقاوم‌سازی سازه‌ها و زیرساخت‌ها، و بهبود استانداردهای ساخت و ساز است. به ویژه، توجه به توزیع عادلانه خدمات شهری و دسترسی مناسب به راه‌های امدادسانی از جمله موارد حیاتی در تقویت تاب‌آوری کالبدی محسوب می‌شوند. با توجه به روند رو به رشد جمعیت و توسعه شهری در کرمانشاه، تقویت تاب‌آوری کالبدی می‌تواند به عنوان یکی از ارکان اصلی مدیریت ریسک زلزله و تضمین امنیت پایدار شهر مورد توجه قرار گیرد. در این راستا، بهره‌گیری از رویکردهای نوین آینده‌پژوهی به منظور شناسایی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی شهر، امکان تدوین سناریوهای مختلف

توسعه و استراتژی‌های مقاوم‌سازی را فراهم می‌آورد و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا بتوانند برنامه‌های بلندمدت و موثر برای کاهش آسیب‌های زلزله طراحی کنند.

از این رو با توجه به ماهیت بحران‌های طبیعی و روند مدیریت آن‌ها در طول زمان قبل از برنامه‌ریزی و داشتن آمادگی برای بحران‌ها با نگاه آینده‌پژوهانه بین نوع آینده و ماهیت بحران‌های طبیعی باید یک ارتباط منطقی و کاربردی در بستر زمان برقرار کرد (اسلامی و حسینی، ۱۳۹۵: ۴۸)، از این رو یکی از رویکردهای نوینی که در هنگام بحران‌های طبیعی و انسانی مانند زلزله می‌تواند منجر به کاهش آسیب‌پذیری مالی و خسارات جانی شود رویکرد آینده‌پژوهی است (حسینی خواه و ضرابی، ۱۳۹۹: ۵۹). در واقع برنامه‌ریزی پاسخ به سانحه با استفاده از روش‌های آینده‌پژوهی می‌تواند یکی از بهترین فن‌های مدیریت بهینه در آینده‌ای باشد که ممکن است در آن هر لحظه بحرانی رخ دهد (Schütze et al, 2011: 8). آینده‌پژوهی در واقع دانش و معرفتی است که دید مردم را نسبت به رویدادها، فرصت‌ها و چالش‌های احتمالی آینده باز می‌کند و از طریق کاهش ابهام‌ها و تردیدهای فرساینده، توانایی انتخاب‌های هوشمندانه مردم و جامعه را افزایش داده و به همگان اجازه می‌دهد تا بدانند که به کجاها می‌توانند بروند و به کجاها باید بروند (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۴). با توجه به اینکه نمی‌توان از وقوع زلزله جلوگیری کرد و یا زمان وقوع آن قابل پیش‌بینی نیست اما می‌توان با کمک علم آینده‌پژوهی به آمادگی در برابر زلزله پرداخت و راهکارهایی برای مقابله و یا کاهش آسیب‌پذیری آن ارائه داد این راهکارها باعث افزایش ابتکارات و ایده‌هایی در برابر مقاوم‌سازی و تاب‌آوری شهر در برابر زلزله خواهد شد. از این رو پژوهش حاضر قصد دارد با رویکرد آینده‌پژوهانه به شناسایی پیشران‌های کلیدی و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی کلان‌شهر کرمانشاه در برابر مخاطره زلزله و بررسی میزان و چگونگی تأثیرگذاری این عوامل بر یکدیگر و بر وضعیت آینده کلان‌شهر کرمانشاه بپردازد که در واقع زمینه تدوین سناریوها در مراحل بعدی و همچنین تدوین راهبردها، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری برای رسیدن به سناریوهای مطلوب را فراهم می‌کند. به طور کلی رویکرد آینده‌پژوهی رویکردی مؤثر و کارآمد در بررسی ابعاد مختلفی تاب‌آوری (نهادی، اجتماعی، کالبدی و ...) می‌باشد. با این وجود در پژوهش حاضر به دلیل آنکه اثرات زیان‌بار حادث شده زلزله بیشتر شامل آسیب‌های کالبدی و اختلالات عملکردی می‌باشد. سیستم‌های کالبدی - ساختاری شهر به عنوان جسم، استخوان‌ها، شاه‌رگ‌ها و ماهیچه‌های شهری، در طول یک بحران سیستم‌های کالبدی - ساختاری باید قادر باشند تا فشار زیادی را تحمل کرده و کارکرد خوبی داشته باشند. اگر این سیستم‌ها دچار نقص‌های زیادی شده که قابل تعمیر نباشند، فرآیند بازگشت پس از بحران به کندی صورت خواهد پذیرفت و در واقع یک شهر بدون سیستم کالبدی - ساختاری تاب‌آور به شدت در مقابل بحران‌ها آسیب‌پذیر می‌باشد (پیوسته‌گر و همکاران، ۱۴۰۱: ۷۹). از این رو در پژوهش حاضر با توجه به این موارد بعد کالبدی تاب‌آوری با رویکرد آینده‌پژوهی مورد تأکید قرار گرفته است.

بنابراین سؤال اساسی که در این پژوهش مورد بررسی می‌باشد عبارت است از: الف) مهم‌ترین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر وضعیت تاب‌آوری کالبدی کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله کدامند؟

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

تحقیقات تاب‌آوری برای اولین بار در رشته‌های مهندسی، فیزیک و بوم‌شناسی به کار گرفته شد، اما در سال ۲۰۰۲، شورای بین‌المللی حمایت از توسعه پایدار منطقه‌ای* برای اولین بار مفهوم تاب‌آوری شهری را در رابطه با پیشگیری و کاهش بلایای شهری پیشنهاد کرد و تحقیقات تاب‌آوری را در حوزه شهری گسترش داد (Ma et al, 2022: 2, Mote et al, 2016: 472). در اواخر دهه ۱۹۹۰، تئوری تاب‌آوری در برنامه‌ریزی معرفی شد تا با ایجاد هماهنگی جهت تخصیص بهینه منابع کالبدی - فضایی برای مقابله با عدم قطعیت‌های خارجی (حوادث و مخاطرات و ...)، چشم‌اندازی تازه از نظریه برنامه‌ریزی را ارائه نماید. در زمینه تاب‌آوری کالبدی مطالعات ارزشمندی توسط سرور و کاشانی

* International Council for Advocating Regional Sustainable Development (ICLEI)

(۱۳۹۵)، زیاری و همکاران (۱۳۹۶)، پوراحمد و همکاران (۱۳۹۸)، پیوسته گر و همکاران (۱۴۰۱)، دلشاد و همکاران (۱۴۰۲)، امانپور و هاشمی قندعلی (۱۴۰۳) انجام گرفته است. که این مطالعات انجام شده مهم‌ترین راهنمایی پژوهشگر برای شناسایی متغیرهای مربوط به تاب‌آوری کالبدی و تدوین مبانی نظری پژوهش بوده‌اند، با این وصف مهم‌ترین جنبه نوآوری پژوهش حاضر استفاده از رویکرد آینده‌پژوهی به عنوان یک رویکرد نوین در زمینه شناسایی پیشران‌ها اثرگذار بر تاب‌آوری کالبدی کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله می‌باشد که این مورد در پژوهشی مستقل انجام نگرفته است و پژوهش حاضر اولین مورد در این زمینه می‌باشد.

واژه تاب‌آوری برگرفته از واژه لاتین Resilio است؛ و اولین تعریف آن توسط هولینگ* در سال ۱۹۷۳ به این صورت ارائه گردید: یک سیستم تاب‌آور، اختلالات را بدون تنظیم مجدد، با ساختار و عملکرد جدید تجربه می‌کند. تاب‌آوری به معنای میزان مقاومت ماهوی و عملکردی یک سیستم یا نظام در برابر شوک‌ها یا حوادثی است که از بیرون بر آن تحمیل شده یا به‌صورت غیرمترقبه با آن درگیر می‌شود (Zhang & Li, 2018: 142). در ادبیات سوانح و مدیریت بحران، تاب‌آوری در ابعاد مختلفی مطرح می‌شود، مانند تاب‌آوری اقتصادی، اجتماعی، کالبدی و نهادی که جنبه‌های مشترک در همه آن‌ها «توانایی ایستادگی، مقاومت و واکنش مثبت به فشار یا تغییر» است. تاب‌آوری دارای چهار بعد اصلی یعنی اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و نهادی، می‌باشد که در این میان به بعد کالبدی و استحکام ساختاری شهرها توجه کمتری شده است (Aydin et al, 2018: 39). همچنین، ویژگی‌های کالبد شهری که پیامدهای قابل توجهی برای پتانسیل مقابله با مخاطرات طبیعی مختلف دارند، در ادبیات تاب‌آوری شهری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Meerow et al, 2016: 40). این در حالی است که اجزای کالبدی نقش مهمی در جذب شوک‌های اولیه بلایا دارند و همچنین برای حفظ عملکرد شهری پس از زلزله ضروری هستند. بعد کالبدی را می‌توان به عنوان محسوس‌ترین نقش شهرسازی در کاهش اثرات زلزله دانست فرم، شکل و کالبد شهر شامل عناصر مختلفی می‌شوند که سازمان‌دهی آن‌ها از طریق برنامه‌ریزی شهری و طراحی شهری صورت می‌گیرد در این میان برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری به عنوان هسته اصلی برنامه‌ریزی شهری است که با وارد کردن موضوع ایمنی در برابر خطر زلزله در آن می‌تواند، تاب‌آوری مناطق شهری را در برابر خطر زلزله افزایش دهد (کمالی و همکاران، ۱۴۰۰: ۵). تاب‌آوری کالبدی به واکنش جامعه و ظرفیت بازیابی پس از سانحه نظیر پناهگاه‌ها، واحدهای مسکونی، تسهیلات سلامتی و زیرساختی مانند خط لوله، جاده‌ها و وابستگی آن‌ها به زیرساخت‌های دیگر اشاره دارد (ملکی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹۳-۱۹۲). همچنین در بعد کالبدی تاب‌آوری علاوه بر تأمین سرپناه‌هایی برای آسیب‌دیدگان بعد از وقوع بحران، به اصولی برای طراحی کالبد قبل از وقوع بحران و مخاطره پرداخته می‌شود به طور کلی عوامل بسیاری همانند نزدیکی به گسل‌ها، وضعیت توپوگرافی و شیب؛ عدم رعایت اصول ساخت‌وساز در حریم گسل‌ها و مناطق مستعد زلزله، فرسوده بودن بافت‌های موجود در شهر به دلیل استفاده از مصالح کم‌دوام، وجود بافت‌های آسیب‌پذیری با تراکم بالای جمعیتی، وجود معابر تنگ و باریک، نبود ایستگاه‌های آتش‌نشانی و دسترسی مناسب به این مراکز، تراکم ساختمانی بالا؛ نبود برنامه‌ریزی و توانمندی عملیاتی لازم برای مدیریت سوانح در سطح مناطق و ... باعث کاهش تاب‌آوری کالبدی منطقه در برابر آسیب‌های ناشی از زلزله می‌شود (لطیفی و همکاران، ۱۴۰۰؛ بدرآذر و همکاران، ۱۴۰۰؛ عشقی و همکاران، ۱۳۹۸).

تاب‌آوری کالبدی، یکی از ابعاد چهارگانه تاب‌آوری شهری (اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی) است که بر ظرفیت زیرساخت‌ها، فضاهای فیزیکی، سازه‌ها و شبکه‌های عملکردی شهر در برابر بحران‌ها تمرکز دارد (Aydin et al., 2018: 39). این مفهوم برگرفته از نظریه تاب‌آوری در اکولوژی است که نخستین بار توسط هولینگ (۱۹۷۳) مطرح شد و سپس در دهه ۱۹۹۰ با نظریه (تاب‌آوری در برنامه‌ریزی شهری) گسترش یافت (Mote et al., 2016: 472). رویکردهای نوین در این حوزه تأکید دارند که شهرها به عنوان سیستم‌های پیچیده، باید قادر به جذب، انطباق و بازیابی در برابر شوک‌های ناگهانی مانند زلزله باشند (Chen et al., 2023: 2).

*. Holling

در این راستا، تاب‌آوری کالبدی نه تنها به کیفیت ساخت و مصالح، بلکه به ساختار فضایی شهر، توزیع کاربری‌ها، تراکم جمعیت و میزان دسترسی به خدمات اضطراری نیز وابسته است (Meerow et al., 2016: 40)؛ ملکی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹۳). همچنین، برنامه‌ریزی ایمن کاربری زمین و طراحی مقاوم‌سازانه زیرساخت‌ها می‌تواند نقش کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری کالبدی ایفا کند (کمالی و همکاران، ۱۴۰۰: ۵). از این منظر، رویکرد سیستمی و آینده‌پژوهانه در ارزیابی وضعیت تاب‌آوری کالبدی می‌تواند ابزاری کارآمد برای مدیریت ریسک شهری باشد.

مطالعات حاکی از آن است که در سال‌های اخیر، آینده‌پژوهی سبب ظهور بسیاری از موضوعات مرتبط با تاب‌آوری شده است. این موضوعات شامل تحلیل ریسک مخاطرات طبیعی و انسانی، ظرفیت‌سازی در کاهش تأثیرات مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی پابرجا و راهبردی افزایش تاب‌آوری کالبدی است. اهمیت بحث آینده‌پژوهی در موضوعات فضایی و کالبدی باعث شده است که در دهه اخیر از برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو به‌منزله ستون فقرات برنامه‌ریزی ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی یاد کنند (Robinson, 2020: 3459). بیش از یک دهه است که رویکردها و نظریه‌های آینده‌پژوهی تاب‌آوری در موضوعات مرتبط با مخاطرات محیطی، پارادایم خود را از مدل کاهش تلفات و خسارت به یک مدل جامع‌تر تاب‌آوری تغییر داده‌اند. مهم‌ترین رویکردهای تاب‌آوری به چهار گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول شامل رویکرد کنشگر، کنش‌پذیر و رویکرد سازگار و گسترده است؛ گروه دوم نیز شامل سه رویکرد تاب‌آوری به‌عنوان آمادگی، تاب‌آوری به‌عنوان عملکرد و تاب‌آوری بی‌اثر است؛ گروه سوم رویکردهای تاب‌آوری را به دو رویکرد بخشی و کلی تقسیم می‌کند؛ و گروه چهارم نیز شامل رویکردهای تاب‌آوری و تعادل جهانی، تاب‌آوری و تعادل چندبعدی است. آنچه مسلم است این است که تاب‌آوری معیارهای بلندمدتی را برای برنامه‌ریزی به کار می‌گیرد و این خود یکی از مصادیق آینده‌پژوهی است. لذا پر واضح است که در دهه اخیر، نظریه تاب‌آوری از یک شاخص قابل اندازه‌گیری و قابل توصیف به یک «شیوه تفکر» تحول‌یافته است و در تلفیق با آینده‌پژوهی این امکان را فراهم ساخته تا بشر بتواند تغییرات را پیش‌بینی و جهت تغییرات را مدیریت کند (لطیفی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۹۰).

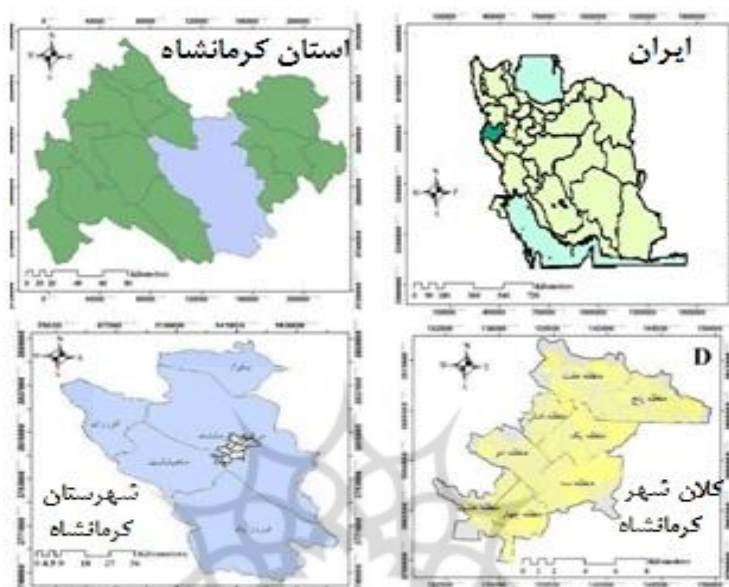
جمع بندی پیشینه: مرور پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اغلب مطالعات پیشین، تمرکز خود را بر شناسایی شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی در سطح محلات یا مناطق شهری محدود با استفاده از روش‌های ارزیابی چندمعیاره مانند AHP و SWOT معطوف کرده‌اند. این پژوهش‌ها بیشتر به وضعیت موجود پرداخته و کمتر به تحلیل روابط علی بین عوامل مؤثر یا پیش‌بینی آینده توجه داشته‌اند. همچنین، تاب‌آوری کالبدی در بسیاری از آن‌ها صرفاً معادل مقاومت سازه‌ای تلقی شده، در حالی که مفهوم نوین آن شامل پیوستگی فضایی، انعطاف‌پذیری عملکردی و دسترسی اضطراری نیز هست. از منظر مقیاس مکانی، مطالعات اندکی با تمرکز بر کلان‌شهرها و به‌ویژه شهرهای پرخطر لرزه‌ای مانند کرمانشاه انجام شده‌اند. علاوه بر این، در ادبیات پژوهشی، استفاده از رویکرد آینده‌پژوهی برای شناسایی پیشران‌های کالبدی تاب‌آوری کالبدی تقریباً مغفول مانده است. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکردهای ترکیبی دلفی و MICMAC و تمرکز بر سطح کلان‌شهری، گامی نوین در جهت رفع این کاستی‌ها محسوب می‌شود.

روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر کرمانشاه در منطقه‌ای با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه‌ی عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۳۲۲ متر از سطح آب‌های آزاد برآورد گردیده است. شهر کرمانشاه از نظر جایگاه طبیعی در مکانی بین نواحی زیست‌محیطی رشد و گسترش‌یافته است. این شهر از شمال به ارتفاعات طاق‌بستان و پرآو و از جنوب به ارتفاعات کوه سفید محدود می‌گردد (شکل شماره ۱). شهر کرمانشاه بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ با ۹۴۶۶۵۱ نفر جمعیت نهمین شهر پرجمعیت کشور است؛ اما در سال ۱۳۹۶ با الحاق چند روستا جمعیت این شهر به بیش از یک میلیون نفر رسید و در سال

۱۳۹۷ از طرف وزارت کشور به عنوان کلان‌شهر اعلام گردید. کلان‌شهر کرمانشاه دارای ۸ منطقه شهری است. این شهر که ۸۷/۳ درصد از جمعیت شهرستان کرمانشاه، معادل با ۴۸/۵ درصد از جمعیت کل استان کرمانشاه را در خود جای داده است (سازمان آمار ایران، ۱۳۹۵). کرمانشاه در منطقه جغرافیایی با ریسک بالای زمین‌لرزه واقع شده است (امیریان، ۱۳۹۷: ۲۶۷) و دارای چندین گسل فعال و نیمه فعال است که می‌تواند در شکل‌گیری زلزله و آسیب‌پذیری بالای شهر مؤثر واقع شود.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه پژوهش، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

داده و روش کار

روش تحقیق پژوهش حاضر به لحاظ ماهیت توصیفی - تحلیلی بوده و به لحاظ هدف کاربردی می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات بر اساس تلفیق روش‌های اسنادی و مطالعات میدانی انجام گرفته است. منبع و مبنای اصلی داده‌های تجزیه و تحلیل، نظرات کارشناسان و متخصصان می‌باشد. در این پژوهش ابتدا با دیدی سیستماتیک و ساختاری به مرور ادبیات نظری در حوزه تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله، پرداخته شد، سپس بر پایه مبانی نظری حاصل شده و با استفاده از روش دلفی شاخص‌ها و متغیرهای تأثیرگذار در زمینه تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله استخراج گردید. در بخش تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده در قالب پژوهش حاضر از نرم‌افزار MICMAC جهت تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به آینده‌پژوهی نظرات کارشناسان استفاده گردید، در این پژوهش متخصصان شامل ۲۹ نفر از کارشناسان و متخصصان شهری و سازمان‌های وابسته و متخصصان دانشگاهی (اساتید و دانشجویان دکتری که دارای کار پژوهشی در زمینه تاب‌آوری بوده‌اند) در زمینه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در کلان‌شهر کرمانشاه بودند. به این صورت که پس از انتخاب خبرگان و تشریح مسئله برای آن‌ها به تهیه پرسشنامه و ارسال آن به خبرگان اقدام شد سپس با دریافت نظر خبرگان (در دو مرحله) به تجزیه و تحلیل آن‌ها و طبقه‌بندی پرسش‌ها و اعلام توافقات پرداخته شد و در نهایت با تهیه ماتریسی ۲۰ در ۲۰ به کمک برنامه آینده‌پژوهی MICMAC به بررسی نیروهای پیشران و در مرحله دوم با استفاده از تکنیک تأثیرات متقابل امتیازدهی مورد تحلیل قرار گرفت، در نهایت عوامل پیشران و کلیدی افزایش تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله با توجه به امتیاز تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مستقیم انتخاب شدند (شکل ۲).



شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

روش پویش محیطی*: سازمان‌ها به منظور درک نیروهای خارجی مسبب تغییرات، محیط را پیمایش می‌کنند تا در صورت لزوم واکنشی کارا و زود هنگام نسبت به تغییرات از خود نشان دهند. با توجه به این که قابلیت و توانایی سازمان برای سازگار شدن با محیط خارجی، به فهم و تفسیر تغییرات آن محیط وابسته است، پویش محیطی ابتدایی‌ترین روش برای فهم و تفسیر این تغییرات هشدار دهنده سریع و زود هنگام نسبت به تغییرات مهم و کشف نقطه ضعف‌ها و نشانه لزوم اصلاح طرح است (نعیمی و پورمحمدی، ۱۳۹۵: ۵۶). پویش محیطی از چهار گام یا مرحله اصلی تشکیل شده است. در گام اول، حیطه و عمق پویش محیطی مشخص می‌گردد. تعیین حیطه و عمق پویش محیطی با مراجعه به دو عامل، مراجعه به امر واقع و مراجعه به خبرگان قابل پاسخگویی است. در گام دوم، منابع دانشی و ابزارهای بهره‌برداری کشف و خلق می‌شوند. این گام، به مثابه پاشنه آشیل پویش محیطی است و بزرگ‌ترین مشکل آینده‌پژوهی نیز همین نکته است که گاهی به دلیل گستردگی موضوع پویش، راه‌اندازی یک سیستم اجتماعی - تکنیکی ضرورت خواهد یافت. در گام سوم، از منابع دانشی بهره‌برداری می‌شود. پس از شناسایی و خلق منابع دانشی، بهره‌برداری از آن‌ها با استفاده از ابزارهای مختلف امکان‌پذیر می‌شود و در نهایت در گام چهارم، داده‌ها مورد تحلیل قرار گرفته و مدیریت مبانی شناختی - هنجاری صورت می‌پذیرد در این مرحله، دغدغه اصلی پویشگر، مدیریت مبانی شناختی - هنجاری خواهد بود و اما روش‌های مختلفی برای دیده‌بانی و پویش محیطی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش سامانه پویش محیط کسب‌وکار، روش کوئست، روش سازوکارهای پویش محیطی، روش چارچوب درک علائم آینده (اف اس اس اف) اشاره نمود (عطاللهی و همکاران، ۱۳۹۵: ۸).

*. Invernonmental Scanning

روش تحلیل اثرات متقابل/ساختاری*: تحلیل ساختاری ابزاری برای نظم بخشیدن به تعداد زیادی از ایده‌هاست. این تحلیل با استفاده از ماتریسی که مؤلفه‌های اصلی یک سیستم را با یکدیگر ترکیب می‌کند، آن را توصیف می‌کند. با استفاده از این روش می‌توانیم متغیرهای اصلی یک سیستم را شناسایی کنیم که هم بیشترین نفوذ بر دیگر متغیرها را دارند و هم بیشترین وابستگی به متغیرهای دیگر را دارند (طالبیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۹). تحلیل ساختاری، برای بررسی کیفی سیستم‌های بسیار متفاوت به کار می‌رود. سیستم تحت بررسی، به شکل گروهی از عناصر (متغیرها عوامل) وابسته به هم در می‌آید (Arcade, 2008: 6).

به‌طور کلی تحلیل ساختاری در ۴ مرحله: مرحله ۱: شناسایی پارامترهای و متغیرهای اولیه (روش پویش محیطی)؛ مرحله ۲: واردکردن عوامل و اطلاعات به نرم‌افزار میک مک؛ مرحله ۳: بررسی میزان و چگونگی روابط بین متغیرها و مرحله آخر: شناسایی عوامل و پیشران‌های کلیدی است.

یافته‌های تحقیق

شناسایی عوامل مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه

در پژوهش حاضر جهت شناسایی متغیرهای اولیه مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه پس از مطالعه تحقیقات انجام شده در این حوزه و گزارش‌های مربوطه، از روش دلفی دو مرحله‌ای، استفاده شده است. روش دلفی عمدتاً با هدف کشف ایده‌های نوآورانه و قابل اطمینان و یا تهیه اطلاعاتی مناسب برای تصمیم‌گیری است. اساس و پایه تکنیک دلفی بر این است که نظر متخصصان هر قلمرو علمی صائب‌ترین نظر است و در زمینه‌هایی از علوم نادقیق که در آن هنوز قوانین علمی توسعه نیافته، اتکا به آرای خبرگان مجاز است (Ludwig & Starr, 2005: 316). ۲۹ نفر از خبرگان و کارشناسان از بین اساتید دانشگاه، دانشجویان دکتری، پژوهشگران، مدیران و شاغلین بخش دولتی و خصوصی دخیل در امر برنامه‌ریزی و توسعه شهری از طریق نمونه‌گیری گلوله‌برفی انتخاب شدند. پس از انتخاب کارشناسان، پرسشنامه دور اول تنظیم و برای خبرگان ارسال شد سپس با تجزیه و تحلیل پاسخ‌های رسیده در دور اول و بازنگری مؤلفه‌های مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله پرسشنامه دور دوم آماده و ارسال گردید. نهایتاً با تجزیه و تحلیل پرسشنامه‌های دور دوم و پایش متغیرها، ۲۰ متغیر (جدول شماره ۲) به عنوان متغیرهای اولیه مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه انتخاب شدند.

جدول ۲. متغیرهای اولیه مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه

متغیرهای اولیه مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله	توپوگرافی (V1)؛ فاصله از گسل (V2)؛ فاصله از رودخانه (V3)؛ دسترسی به فضای سبز و باز (V4)؛ فاصله از جایگاه‌های سوخت (گاز و بنزین) (V5)؛ بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار (V6)؛ دسترسی به کاربری بهداشتی - درمانی (V7)؛ دسترسی به مراکز آتش‌نشانی (V8)؛ دسترسی به معابر اصلی (V9)؛ دسترسی به تأسیسات و تجهیزات شهری (V10)؛ فاصله از کاربری‌های صنعتی (V11)؛ دسترسی به کاربری حمل‌ونقل و انبار (V12)؛ دسترسی به کاربری نظامی و انتظامی (V13)؛ تراکم جمعیت (V14)؛ تراکم ساختمان‌ها با اسکلت بتونی (V15)؛ تراکم ساختمان‌ها با اسکلت فلزی (V16)؛ تراکم ساختمانی (V17)؛ کیفیت ابنیه (V18)؛ تعداد طبقات ساختمانی (V19)؛ قدمت بنا (V20)
---	--

مأخذ: برگرفته از منابع مختلف، ۱۴۰۲

تحلیل ساختاری عوامل مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه

بر اساس روش دلفی که در بالا اشاره شد، ۲۰ متغیر به عنوان عوامل مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه شناسایی شده است و سپس روش تحلیل ساختاری توسط نرم‌افزار میک مک جهت استخراج پیشران‌های کلیدی تأثیرگذار بر وضعیت آینده محیط مورد مطالعه بکار گرفته شد. ارتباط میان ۲۰ گویه شناسایی شده مؤثر

*. Cross-Impact Analysis

بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله با استفاده از روش ماتریس تأثیرات متقابل و توسط کارشناسان خبره بررسی و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل آن‌ها امتیازدهی شده است. میزان ارتباط گویه‌ها با اعداد بین ۰ تا ۳ سنجیده شده است. عدد صفر به منزله «عدم تأثیر»، عدد یک به منزله «تأثیر ضعیف»، عدد دو به منزله «تأثیر متوسط» و عدد سه به منزله «تأثیر زیاد» است. ابعاد ماتریس تحلیل اثرات متقابل گویه‌ها در این پژوهش دارای ابعاد (۲۰×۲۰) است. درجه پرشدگی این ماتریس ۶۶/۷۵ درصد است که نشان‌دهنده ارتباط و تأثیرگذاری بالای متغیرها بر هم‌دیگر می‌باشد. در تحلیل روابط بین گویه‌های در این ماتریس تعداد ۱۳۳ با عدد صفر پر شده است که نشان‌دهنده آن است که متغیرهای متناظر با هم رابطه‌ای نداشته‌اند. از میان ۶۶/۷۵ درصد پر شده‌ی ماتریس، تعداد ۱۰۶ رابطه یک بوده است یعنی عوامل رابطه‌ی ضعیفی با هم داشته‌اند، تعداد ۱۰۷ رابطه دو بوده است یعنی عوامل رابطه متوسطی با هم داشته‌اند و تعداد ۵۴ رابطه سه بوده است و این بدین معنی است که تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بین گویه‌های مذکور زیاد بوده است. در کل تعداد ۲۶۷ رابطه‌ی غیر صفر و معنی‌دار در ماتریس مشاهده شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش بر اساس شاخص‌های آماری با ۲ بار چرخش داده‌ای، ماتریس از مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۱۰۰ درصد برخوردار بوده است که این نشان‌دهنده روایی بالای پرسشنامه و پاسخ‌های آن است. ماتریس تحلیل آثار متقابل گویه‌ها در این پژوهش با ابعاد (۲۰×۲۰) و دارای ویژگی‌های عمومی زیر است (جدول شماره ۳):

جدول ۳. مشخصات ماتریس اثرات متقابل

مقدار	اندازه ماتریس	تعداد تکرار	تعداد صفر	تعداد یک	تعداد دو	تعداد سه	جمع	درجه پرشدگی
شاخص	۲۰	۲	۱۳۳	۱۰۶	۱۰۷	۵۴	۲۶۷	۶۶/۷۵

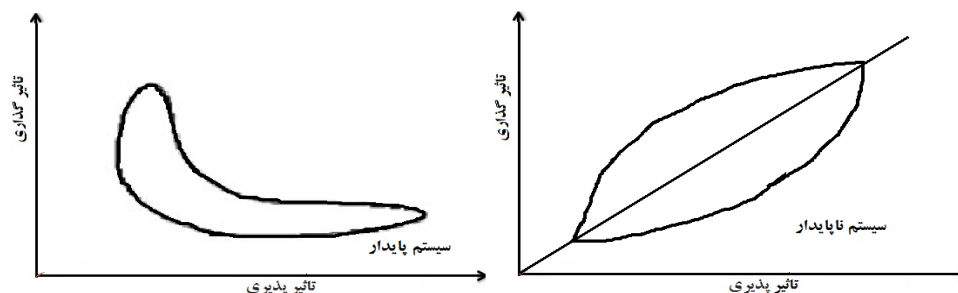
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲

تحلیل وضعیت کلی سیستم از نظر پایداری و ناپایداری

نحوه توزیع و پراکنش متغیرها در صفحه‌ی پراکندگی، حاکی از میزان پایداری و یا ناپایداری سیستم است. دو نوع از پراکنش در تحلیل میک مک قابل‌شناسایی است که مربوط به سیستم‌های پایدار و سیستم‌های ناپایدار است. در سیستم‌های پایدار پراکنش متغیرها به صورت L انگلیسی است (مهدوی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۲)، یعنی برخی متغیرها دارای تأثیرگذاری بالا و برخی دارای تأثیرپذیری بالا هستند. در سیستم‌های پایدار مجموعاً سه دسته متغیر قابل مشاهده است: الف- متغیرهای بسیار تأثیرگذار بر سیستم (عوامل کلیدی)، ب- متغیرهای مستقل ج- متغیرهای خروجی سیستم (متغیرهای نتیجه). در مقابل در سیستم‌های ناپایدار وضعیت پیچیده‌تر از سیستم‌های پایدار است. در این سیستم، متغیرها در حول محور قطری صفحه پراکنده هستند و متغیرها در اکثر مواقع حالت بینابینی از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری را نشان می‌دهند که ارزیابی و شناسایی عوامل کلیدی را بسیار مشکل می‌نماید. در سیستم‌های ناپایدار، کمبود متغیرهای تأثیرگذار، سیستم را تهدید می‌کند (Rabbani, 2013: 10) (شکل شماره ۳). در سیستم ناپایدار نیز متغیرهای زیر قابل مشاهده است: الف- متغیرهای تأثیرگذار: این متغیرها بیشتر تأثیرگذار بوده و کم‌تر تأثیرپذیر می‌باشند، بنابراین سیستم بیشتر به این متغیرها بستگی دارد. ب- متغیرهای دووجهی (متغیرهای ریسک و متغیرهای هدف): این متغیرها دارای دو ویژگی مشترک تأثیرگذاری بالا و تأثیرپذیری بالا هستند و هر عملی روی آن‌ها در متغیرهای دیگر نیز تغییر ایجاد خواهد کرد. ج- متغیرهای تنظیمی: این متغیرها در نزدیک مرکز شکل قرار گرفته‌اند. این متغیر قابلیت ارتقاء به متغیرهای تأثیرگذار، تعیین‌کننده یا متغیرهای هدف و ریسک را دارد. د- متغیرهای تأثیرپذیر یا نتیجه سیستم: این متغیرها از تأثیرپذیری بسیار بالا از سیستم و تأثیرگذاری بسیار پایین در سیستم برخوردار هستند. ه- متغیرهای مستقل: این متغیرها دارای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پایینی هستند و گویا اصلاً ارتباطی با سیستم ندارند زیرا آن‌ها نه باعث توقف یک متغیر اصلی و نه باعث تکامل و پیشرفت آن در سیستم می‌شوند (زالی، ۱۳۸۸: ۹۴).

وضعیت صفحه پراکندگی متغیرهای مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه، بیانگر وضعیت ناپایدار این سیستم است. به طور کلی بیشتر متغیرها مربوط به ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه در سطح کل صفحه پراکنده شده‌اند. تحلیل وضعیت صفحه پراکندگی متغیرها بیانگر آن است که متغیرهای موجود در قسمت شمالی غربی نمودار تأثیرگذارترین متغیرها و متغیرهای قرار گرفته در قسمت جنوبی شرقی نمودار تأثیرپذیرترین هستند.

متغیرها دارای دو نوع تأثیرند، تأثیرات مستقیم و تأثیرات غیرمستقیم که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود.



شکل شماره ۳. پایداری و ناپایداری سیستم (Godet, et al, 2003: 22)

ارزیابی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مستقیم و غیر مستقیم متغیرها

در حالت کلی متغیرها دارای دو نوع تأثیر بر هم هستند. تأثیرات مستقیم و تأثیرات غیر مستقیم. تأثیرات مستقیم متغیرها توسط کارشناسان و خبرگان تعیین شده است و تأثیرات غیرمستقیم متغیرها توسط نرم‌افزار شناسایی و محاسبه می‌شود. جهت تحلیل نتایج در نخستین قدم با یک روش ساده می‌توان دریافت که تأثیر متغیرها با در نظر گرفتن تعداد گروه‌های ارتباطی در ماتریس تشکیل شده، قابل سنجش است. به طور کلی، در ماتریس تأثیرات متقابل مجموع عددهای هر سطر نشان‌دهنده تأثیرگذاری متغیر مربوطه و مجموع عددهای هر ستون، نشان‌دهنده تأثیرپذیری متغیر مربوطه است (جدول شماره ۴). با توجه به سیستم ناپایدار توزیع و پراکنش متغیرها مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه، پنج دسته متغیر الف- متغیرهای تأثیرگذار. ب- متغیرهای دووجهی ج- متغیرهای تنظیمی. د- متغیرهای تأثیرپذیر یا نتیجه سیستم. ه- متغیرهای مستقل قابل شناسایی هستند که در جدول شماره ۵ تشریح شده‌اند؛ بنابراین می‌توان تأثیرات بین گویه‌های مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی کلان‌شهر کرمانشاه در برابر مخاطره زلزله را به صورت جدول ۵ ارائه کرد (شکل شماره ۴).

در ادامه روابط مستقیم و غیرمستقیم بین متغیرها در اشکال شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است.

جدول ۴. میزان تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر

متغیر	اثرات مستقیم		اثرات غیر مستقیم	
	میزان تأثیرگذاری	میزان تأثیرپذیری	میزان تأثیرگذاری	میزان تأثیرپذیری
V 1	۳۶	۸	۱۷۴۳۱	۳۴۹۴
V 2	۴۰	۸	۱۸۸۴۳	۳۸۹۲
V 3	۹	۲۰	۳۷۴۰	۹۸۴۶
V 4	۲۵	۲۷	۱۳۲۶۴	۱۳۰۴۹
V 5	۱۱	۳۰	۴۴۴۸	۱۶۲۳۷
V 6	۲۹	۲۸	۱۱۹۲۱	۱۳۲۱۱
V 7	۱۵	۲۸	۷۲۲۳	۱۳۷۷۴
V 8	۲۰	۲۶	۹۶۴۳	۱۴۲۶۶

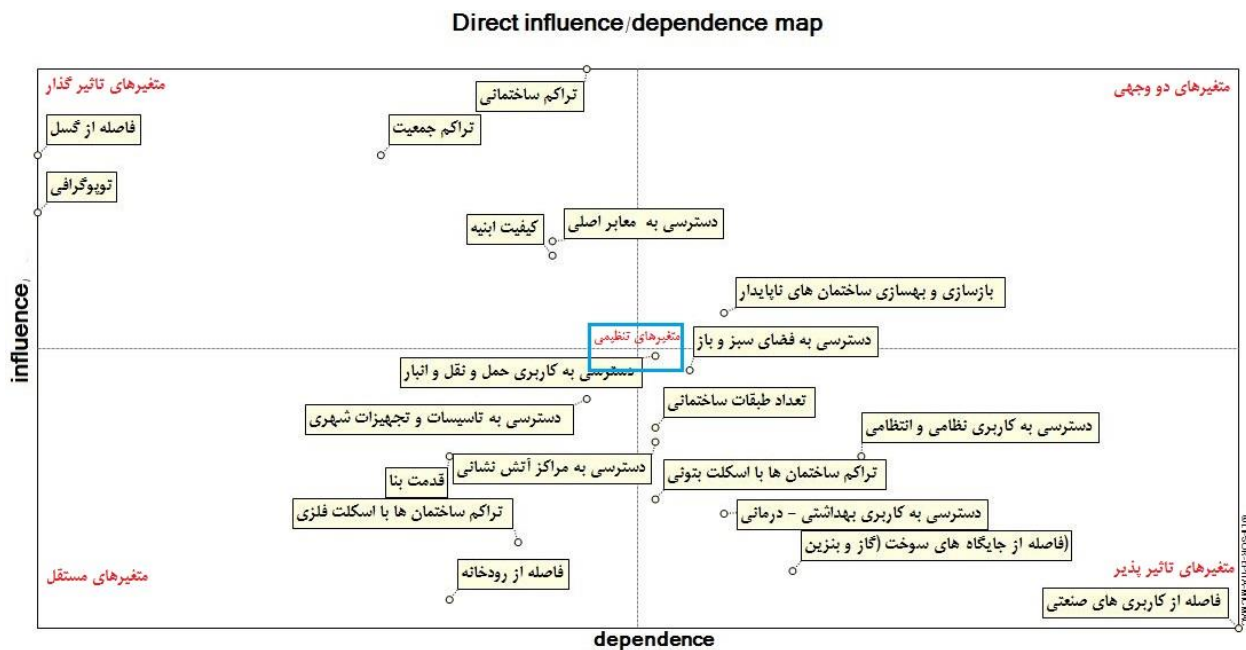
۱۱۶۹۳	۱۶۳۵۵	۲۳	۳۴	V 9
۱۱۷۵۰	۹۹۶۷	۲۴	۲۳	V 10
۲۱۲۹۶	۲۶۸۶	۴۳	۷	V 11
۱۲۳۷۳	۱۳۰۵۶	۲۶	۲۶	V 12
۱۵۹۹۹	۹۸۶۴	۳۲	۱۹	V 13
۹۲۷۶	۲۱۲۲۳	۱۸	۴۰	V 14
۱۲۲۷۵	۸۷۵۲	۲۶	۱۶	V 15
۱۰۲۸۴	۶۳۳۰	۲۲	۱۳	V 16
۱۲۴۰۶	۲۲۶۹۶	۲۴	۴۶	V 17
۱۰۶۲۵	۱۷۸۴۱	۲۳	۳۳	V 18
۱۱۳۶۹	۱۲۴۳۵	۲۶	۲۱	V 19
۹۲۹۲	۸۶۸۵	۲۰	۱۹	V 20

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲

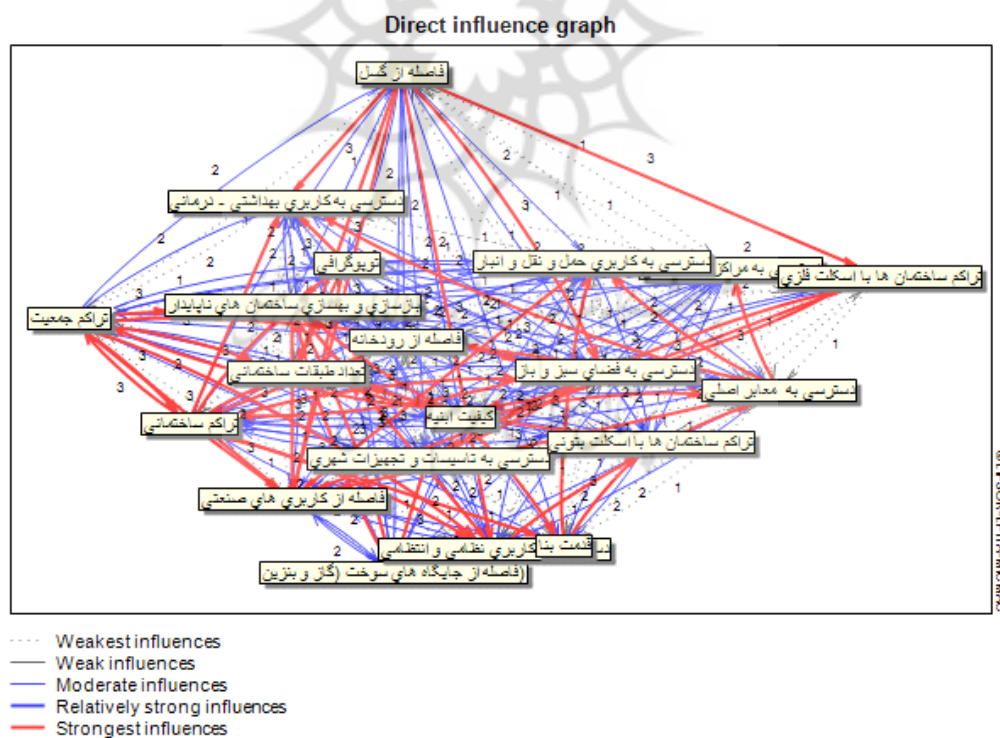
جدول ۵. نحوه توزیع انواع متغیرهای مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه

نوع متغیر	نام متغیر
متغیرهای تأثیرگذار	تراکم ساختمانی (V17)؛ فاصله از گسل (V2)؛ تراکم جمعیت (V14)؛ توپوگرافی (V1)؛ دسترسی به معابر اصلی (V9)؛ کیفیت ابنیه (V18)؛
متغیرهای دووجهی	بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار (V6)؛
متغیرهای تأثیرپذیر	دسترسی به فضای سبز و باز (V4)؛ فاصله از جایگاه‌های سوخت (گاز و بنزین) (V5)؛ دسترسی به کاربری بهداشتی - درمانی (V7)؛ دسترسی به مراکز آتش‌نشانی (V8)؛ فاصله از کاربری‌های صنعتی (V11)؛ دسترسی به کاربری نظامی و انتظامی (V13)؛ تراکم ساختمان‌ها با اسکلت بتونی (V15)؛ تعداد طبقات ساختمانی - (V19)؛
متغیرهای تنظیمی	دسترسی به کاربری حمل‌ونقل و انبار (V12)؛
متغیرهای مستقل	دسترسی به تأسیسات و تجهیزات شهری (V10)؛ قدمت بنا (V20) تراکم ساختمان‌ها با اسکلت فلزی (V16)؛ فاصله از رودخانه (V3)؛

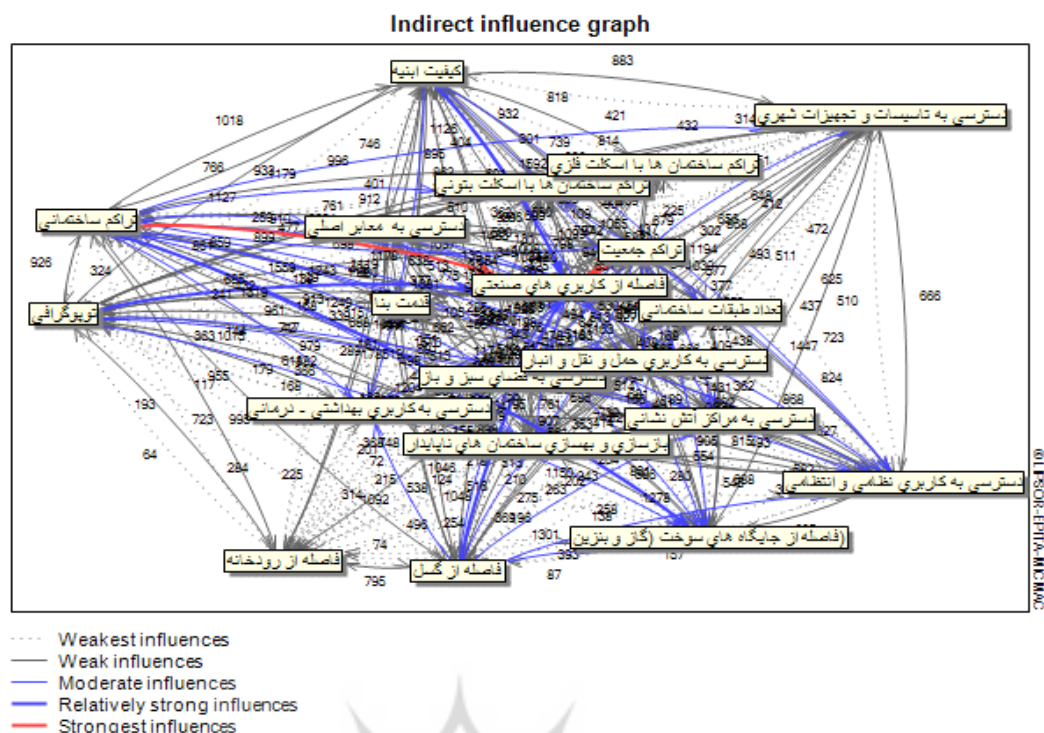
منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲



شکل ۴. نمودار پراکندگی متغیرهای اثرگذار بر ارتقای تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲



شکل ۵. نمودار روابط مستقیم بین متغیرها (تأثیرات خیلی ضعیف تا بسیار قوی) منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲



شکل شماره ۶. نمودار روابط غیر مستقیم بین متغیرها (تأثیرات خیلی ضعیف تا بسیار قوی) منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲

در ادامه روابط مستقیم و غیرمستقیم بین متغیرها در اشکال شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است.

بر اساس تحلیل‌های حاصل از جدول شماره ۵ و شکل شماره ۳، تأثیرگذارترین گویه‌های پژوهش عبارت‌اند از: تراکم ساختمانی (V17)؛ فاصله از گل (V2)؛ تراکم جمعیت (V14)؛ توپوگرافی (V1)؛ دسترسی به معابر اصلی (V9)؛ کیفیت ابنیه (V18)؛ همچنین تأثیرپذیرترین گویه‌های پژوهش عبارت‌اند از: دسترسی به فضای سبز و باز (V4)؛ فاصله از جایگاه‌های سوخت (گاز و بنزین) (V5)؛ دسترسی به کاربری بهداشتی - درمانی (V7)؛ دسترسی به مراکز آتش‌نشانی (V8)؛ فاصله از کاربری‌های صنعتی (V11)؛ دسترسی به کاربری نظامی و انتظامی (V13)؛ تراکم ساختمان‌ها با اسکلت بتونی (V15)؛ تعداد طبقات ساختمانی (V19).

رتبه‌بندی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها و شناسایی متغیرهای کلیدی نهایی

با توجه به اعداد پرسشنامه که به صورت ماتریس تکمیل شده است. نرم‌افزار رابطه آن‌ها را محاسبه کرده و در نهایت برای هر عامل یک امتیاز عددی در نظر می‌گیرد. سپس بر اساس این امتیاز عوامل را بر اساس تأثیرگذاری و تأثیرپذیری به صورت مستقیم و غیرمستقیم رتبه‌بندی می‌کند؛ که در این حالت عواملی که بیشترین امتیاز را کسب کنند میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها نیز بر این اساس تغییر می‌کند.

همان‌طوری که در بالا نشان داده شد، ابتدا به ارتقای تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه در چارچوب آینده‌پژوهی به تحلیل کلی محیط سیستم پرداخته شد که طبق نتایج به دست آمده، ۲۰ عامل در مرحله نخست شناسایی و میزان و چگونگی تأثیرگذاری این عوامل بر یکدیگر و بر وضعیت آینده تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه با توجه به روش مستقیم و غیرمستقیم بررسی و در نهایت از میان ۲۰ عامل بررسی شده، ۷ عامل اصلی به عنوان پیشران‌های کلیدی مؤثر بر وضعیت آینده تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه انتخاب شده‌اند.

که همه ۷ عامل در هر دو روش مستقیم و غیرمستقیم تکرار شده‌اند. ۷ پیشران تأثیرگذار مهم از میان ۲۰ عامل مورد بررسی در روش مستقیم و غیرمستقیم به شرح جدول شماره ۶ هستند.

جدول ۶. عوامل کلیدی مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه

متغیر	امتیاز نهایی به دست آمده		رتبه به دست آمده	
	تأثیرگذاری مستقیم	تأثیرگذاری غیرمستقیم	تأثیرگذاری مستقیم	تأثیرگذاری غیرمستقیم
تراکم ساختمانی	۹۵۴	۹۶۰	۱	۱
فاصله از گسل	۸۲۹	۷۹۷	۲	۳
تراکم جمعیت	۸۲۹	۸۹۷	۳	۲
توپوگرافی	۷۴۶	۷۳۷	۴	۵
دسترسی به معابر اصلی	۷۰۵	۶۹۱	۵	۶
کیفیت ابنیه	۶۸۴	۷۵۴	۶	۴
بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار	۶۰۱	۵۶۱	۷	۷

منبع: بافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲

طبق جدول شماره ۶؛ هفت پیشران کلیدی که بر ارتقای تاب‌آوری در برابر مخاطره زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه بسیار تأثیرگذار هستند مشخص شده است. تراکم ساختمانی (V17)؛ فاصله از گسل (V2)؛ تراکم جمعیت (V14)؛ توپوگرافی (V1)؛ دسترسی به معابر اصلی (V9)؛ کیفیت ابنیه (V18) و بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار (V6). این هفت پیشران کلیدی در دو دسته متغیرهای تأثیرگذار و دوجویی قرار می‌گیرند.

به طور کلی افزایش تراکم ساختمانی باعث افزایش جمعیت ساکن در هر قطعه زمین، کاهش نسبی فضاهای باز، دشواری تخلیه در حین وقوع سانحه، تشدید اثر زلزله به دلیل افزایش ارتفاع و ضربات ساختمان‌های مجاور به هم دیگر و همچنین افزایش حجم آوار پس از زمین‌لرزه و دشواری عملیات امداد و نجات پس از سانحه خواهد شد وضعیت تراکم ساختمانی در سطح شهر کرمانشاه بیانگر تراکم ساختمانی بالا در مناطق ۳ و ۴ است.

گسل‌ها می‌توانند نقش عمده‌ای در افزایش شدت و حتی در به وجود آوردن زلزله‌ها داشته باشند. بدیهی است تأسیس پدیده‌های انسان‌ساخت در حوالی گسل‌ها می‌تواند مقدار آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر زلزله را افزایش دهد. لذا با نزدیک شدن به محدوده گسل انتظار بالا رفتن مقدار آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. در این رابطه مناطق ۲، ۳، ۶ و ۱ در وضعیت مطلوب و مساعدتری قرار دارند اما مناطق ۸، ۴، ۷ و ۵ وضعیت نامطلوبی دارند.

از آنجا که ترتیب زمانی آثار زلزله به صورت لرزش‌های شدید زمین - تحریک - تلفات است، اهمیت تراکم جمعیت در آخرین مرحله از بحران زلزله می‌تواند تعیین کننده باشد. این شاخص مشخص‌کننده بار جمعیتی در موقع زلزله است و با افزایش میزان این شاخص، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله افزایش خواهد یافت. کلیه مناطق کلان‌شهر کرمانشاه از نظر تراکم جمعیتی در وضعیت مساعدی قرار دارند، اما مناطق ۳ و ۲ شهرداری به واسطه ساخت آپارتمان و مجتمع‌های مسکونی تراکم در برخی شهرک‌ها و محلات این مناطق بالا می‌باشد.

تجربیات به دست آمده از تخریب زلزله‌های اخیر نشان‌دهنده اهمیت شکل و هندسه توپوگرافی سطحی بر وسعت و شدت خرابی ساختمان‌ها و توزیع مکانی آن‌ها حین دارد. بخش اعظم شهر کرمانشاه بر روی طبقه ارتفاعی ۱۲۸۶ تا ۱۳۶۶ متر واقع شده است؛ که این سطوح ارتفاعی منطبق بر دشت ناودیسی کرمانشاه می‌باشد. همین عامل باعث شده که بخش اعظم شهر، به استثنای بخش‌های شمال شرق و جنوب غرب شهر (مخصوصاً منطقه ۴) دارای شیب کمتر از ۵ درصد باشد؛ که در این میان مناطق ۱، ۶ و ۲ شهرداری به ترتیب با میانگین شیب ۴/۲، ۴/۷ و ۴/۹ بیشترین برخورداری از اراضی هموار و کم شیب شهر را به خود اختصاص داده‌اند.

وجود بزرگراه‌ها و شریانی اصلی بیشتر در منطقه و امکان برقراری ارتباط با مناطق مجاور، امکان تاب‌آوری منطقه را افزایش می‌دهد. شبکه‌ی حمل‌ونقل سریع و روان در سطح منطقه با میزان تاب‌آوری آن رابطه‌ی مستقیم دارد. هر چه راه‌های اصلی و شریان‌های عریض در منطقه زیاد باشد، و امکان دسترسی مناسب به آن‌ها وجود داشته باشد، تاب‌آوری منطقه افزایش خواهد یافت. ارزیابی شبکه ارتباطی کرمانشاه نشان می‌دهد که با وجود محدودیت‌هایی در شبکه ارتباطی مانند کم‌عرض بودن معابر در حالت کلی می‌توان شبکه ارتباطی اصلی شهر را در شرایط بحرانی متعاقب رخداد زلزله احتمالی به سه نوع مناسب، متوسط و نامناسب تقسیم‌بندی نمود. شهرک‌هایی که در طی سال‌های اخیر در شمال و جنوب شهر مانند شهرک‌های تعاون معلم و آناهیتا در شمال و شهرک شهرداری در جنوب توسعه‌یافته‌اند به دلیل ساختار جدید و نظم هندسی از شبکه‌ای مطلوب برخوردار می‌باشند، هرچند مکان‌گزینی این شهرک‌ها در حریم گسل‌های منطقه صورت گرفته است. شبکه ارتباطی حاشیه و پیرامون نواحی مرکزی یا هسته اولیه شهر از شبکه ارتباطی متوسطی برخوردار می‌باشند این امر به دلیل توسعه این مناطق در طی دهه‌های اخیر می‌باشد. بخش مرکزی شهر کرمانشاه (هسته اولیه شهر) با وجود شبکه ارتباطی نسبتاً مناسب به دلیل کم‌عرض بودن تعداد زیاد تقاطع، کمبود فضاهای باز، تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی و در نتیجه ترافیک سنگین جزو مناطق با شبکه ارتباطی نامناسب به شمار می‌آید.

کیفیت بناها تأثیر بسیار مهمی بر میزان تاب‌آوری منطقه در برابر زلزله دارد، ساختمان‌هایی که کیفیت ساخت پایین‌تری دارند در برابر بحران بیشتر آسیب‌پذیر هستند. هرچه ساختمان‌های تخریبی در سطح منطقه بیشتر باشد، تاب‌آوری منطقه کاهش خواهد یافت. با توجه به اینکه کلان‌شهر کرمانشاه با تأیید کمیسیون ماده ۵ دارای ۱۲۲۸ هکتار بافت فرسوده می‌باشد، بیشتر این بافت‌ها در مناطق ۳ (محله فیض‌آباد، خیابان مدرس و حداد عادل) و منطقه ۴ (شریعتی) قرار دارند که متأسفانه در بیشتر این محلات و مناطق که مملو از ساختمان‌های ناپایدار و ناایمن هستند بازسازی و بهسازی این ساختمان‌های به دلیل مناسب نبودن وضعیت مالی ساکنین و نبود برنامه بلندمدت از سوی شهرداری انجام نمی‌گیرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل اثرگذار و بررسی میزان و چگونگی تأثیرگذاری این عوامل در ارتقای تاب‌آوری کالبدی کلان‌شهر کرمانشاه در برابر مخاطره زلزله، با بهره‌گیری از رویکرد آینده‌پژوهی انجام شده است. در پژوهش حاضر برای شناسایی متغیرهای اولیه اثرگذار بر ارتقای تاب‌آوری در کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله از روش پویا محیطی و از روش تحلیل اثرات متقابل/ ساختاری برای بررسی میزان و چگونگی تأثیرگذاری عوامل و در نهایت شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله استفاده شده است؛ همچنین تحلیل نهایی داده‌ها از طریق نرم‌افزار کاربردی MICMAC انجام گرفته است.

با توجه به شناسایی ۲۰ متغیر مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی در کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله بر مبنای روش دلفی، یک ماتریس با ابعاد (۲۰×۲۰) در نرم‌افزار میک مک تشکیل شده است. درجه پرشدگی این ماتریس حدود ۶۶/۷۵ درصد است که نشان‌دهنده ارتباط و تأثیرگذاری بالای متغیرها بر هم‌دیگر می‌باشد. در تحلیل روابط بین گویه‌های در این ماتریس تعداد ۱۳۳ با عدد صفر پر شده است که نشان‌دهنده آن است که متغیرهای متناظر با هم رابطه‌ای نداشته‌اند. از میان ۶۶/۷۵ درصد پر شده‌ی ماتریس، تعداد ۱۰۶ رابطه یک بوده است یعنی عوامل رابطه‌ی ضعیفی با هم داشته‌اند، تعداد ۱۰۷ رابطه دو بوده است یعنی عوامل رابطه متوسطی با هم داشته‌اند و تعداد ۵۴ رابطه سه بوده است و این بدین معنی است که تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بین گویه‌های مذکور زیاد بوده است. در کل تعداد ۳۵۱ رابطه‌ی غیر صفر و معنی‌دار در ماتریس مشاهده شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش بر اساس شاخص‌های آماری با ۲ بار چرخش داده‌ای، ماتریس از مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۱۰۰ درصد برخوردار بوده است که این نشان‌دهنده روایی بالای پرسشنامه و پاسخ‌های آن است. همچنین وضعیت تحلیل کلی پراکندگی متغیرها مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری کالبدی مناطق کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله بیانگر وضعیت ناپایداری سیستم می‌باشد زیرا ما دارای ۵ نوع متغیر (الف- متغیرهای تأثیرگذار. ب- متغیرهای دووجهی.

ج- متغیرهای تنظیمی. د- متغیرهای تأثیرپذیر یا نتیجه سیستم. ه- متغیرهای مستقل) هستیم. در نهایت از میان ۲۰ متغیر اولیه مؤثر در ارتقای تاب‌آوری کالبدی در کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله؛ ۷ پیشران کلیدی. تراکم ساختمانی؛ فاصله از گسل؛ تراکم جمعیت؛ توپوگرافی؛ دسترسی به معابر اصلی؛ کیفیت ابنیه و بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار به عنوان عوامل بسیار تأثیرگذار انتخاب شدند. این هفت پیشران کلیدی در دو دسته متغیرهای تأثیرگذار و دووجهی قرار می‌گیرند.

در مقایسه با مطالعات پیشین، پژوهش حاضر از جهاتی دارای تمایزات بنیادین است که آن را از سایر تحقیقات مشابه متمایز می‌سازد. در حالی که اغلب پژوهش‌ها، از جمله مطالعه رضایی و همکاران (۱۳۹۴)، صرفاً به بررسی آسیب‌پذیری کالبدی با تأکید بر بافت‌های فرسوده و استفاده از شاخص‌های متعارف پرداخته‌اند، پژوهش حاضر با اتخاذ رویکرد آینده‌پژوهانه و بهره‌گیری از روش‌های دلفی و تحلیل ساختاری اثرات متقابل (MICMAC)، به شناسایی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله پرداخته و گامی فراتر از ارزیابی وضع موجود نهاده است. همچنین در مقایسه با پژوهش مشهدی و همکاران (۱۳۹۸) که تمرکز آن بیشتر بر ارزیابی وضعیت تاب‌آوری کالبدی در سطح محلات شهری با بهره‌گیری از روش AHP بود، مطالعه حاضر با نگاهی کلان‌نگر به سطح کلان‌شهر کرمانشاه، تلاش کرده است با ترسیم روابط میان متغیرهای مؤثر، مسیرهای آینده را شناسایی و پایه‌ای برای سناریونویسی در مراحل بعدی فراهم آورد. در حوزه مطالعات بین‌المللی نیز، مطالعه Parizi et al, 2022 عمدتاً به ابعاد کلی تاب‌آوری شهری مانند نهادی و زیست‌محیطی توجه دارد و به‌صورت محدود به بعد کالبدی پرداخته است. در حالی که پژوهش حاضر با تمرکز اختصاصی بر تاب‌آوری کالبدی، تلاش کرده است این مفهوم را در بستر محلی و با در نظر گرفتن ویژگی‌های لرزه‌خیزی، ساختار فضایی و شرایط خاص شهر کرمانشاه بومی‌سازی نماید. در مجموع، نوآوری پژوهش حاضر در تمرکز ویژه بر شناسایی پیشران‌های کلیدی کالبدی در مقیاس کلان‌شهر، با رویکرد آینده‌پژوهانه و به‌کارگیری تلفیقی از روش‌های کیفی و ساختاری است؛ رویکردی که زمینه را برای طراحی سناریوهای آینده و تدوین سیاست‌های مؤثر برای کاهش آسیب‌پذیری کالبدی در برابر زلزله فراهم می‌سازد. در نهایت با توجه به مطرح شدن این ۷ پیشران کلیدی مؤثر در ارتقای تاب‌آوری کالبدی مناطق کلان‌شهر کرمانشاه در برابر زلزله موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ کاهش تراکم ساختمانی در مناطق پرخطر: با توجه به رتبه اول «تراکم ساختمانی» در میان پیشران‌های مؤثر، لازم است سیاست‌های کنترلی برای جلوگیری از ساخت‌وسازهای متراکم در نواحی با لرزه‌خیزی بالا اجرا شود. همچنین، ضوابط ارتفاع ساختمان‌ها در پهنه‌های پر ریسک بازنگری گردد.
- ✓ ایجاد حریم گسلی و کنترل ساخت‌وساز در اطراف آن: «فاصله از گسل» به‌عنوان دومین عامل مهم، نیازمند تعیین دقیق حریم گسل‌های فعال و ممنوعیت یا محدودیت ساخت در این محدوده‌هاست. این اقدام موجب کاهش مستقیم آسیب‌پذیری کالبدی خواهد شد.
- ✓ مدیریت جمعیت و تراکم انسانی در نواحی حساس: «تراکم جمعیت» نیز از عوامل مهم است. توصیه می‌شود با اتخاذ سیاست‌های توزیع عادلانه خدمات و کنترل رشد جمعیتی، از تمرکز بیش‌ازحد جمعیت در مناطق پرخطر جلوگیری شود.
- ✓ توجه به شرایط توپوگرافی در برنامه‌ریزی توسعه شهری: مکان‌یابی کاربری‌ها و زیرساخت‌ها باید با در نظر گرفتن شیب زمین و خطرپذیری‌های طبیعی ناشی از آن انجام شود. ساخت‌وساز در دامنه‌های شیب‌دار نیاز به بررسی دقیق ژئوتکنیکی دارد.
- ✓ بهسازی و ارتقای دسترسی به معابر اصلی و راه‌های اضطراری: شبکه معابر باید طوری طراحی و تقویت شود که در زمان بحران امکان دسترسی سریع برای نیروهای امدادی فراهم باشد. ایجاد راه‌های جایگزین در محلات پرتراکم پیشنهاد می‌شود.

- ✓ بهسازی و نوسازی ابنیه کم‌دوام و فرسوده: ساختمان‌هایی با کیفیت پایین، به‌ویژه در بافت‌های قدیمی شهر، باید در اولویت طرح‌های نوسازی و مقاوم‌سازی قرار گیرند. مشارکت مردمی و تسهیل‌گری نهادهای محلی در این فرآیند مؤثر خواهد بود.
- ✓ تدوین برنامه جامع بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار: پیشنهاد می‌شود شهرداری و نهادهای مرتبط با همکاری دانشگاه‌ها و بخش خصوصی، یک برنامه عملیاتی برای بازسازی سازه‌های ناپایدار در محلات پرخطر تدوین و اجرا کنند.
- ✓ تجمیع قطعات با مساحت پایین (دویست مترمربع و کمتر) به خصوص در بافت‌های فرسوده شهر کرمانشاه که تعدادشان زیاد می‌باشد، به منظور کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله زیرا هر چه قدر قطعات بزرگ‌تر باشد آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود و برعکس.

منابع:

- اسلامی، عاطفه، حسنی، نعمت. (۱۳۹۵). کاربرد آینده‌پژوهی در مدیریت ریسک زلزله با تقسیم دوره بازگشت به انواع آینده (مطالعه موردی: زلزله شهر ری)، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۶، شماره ۱، صص: ۵۸-۴۷.
- امیریان، سهراب. (۱۳۹۷). بررسی الگوی فضایی آسیب‌پذیری شهرها از زلزله و پیشنهاد الگوی بهینه (نمونه موردی: شهر کرمانشاه)، نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص: ۲۸۴-۲۶۵.
- بدرآذر، شیفته، حسین زاده دلیر، کریم، آذر، علی. (۱۴۰۰). ارزیابی پیشران‌های حیاتی مؤثر بر تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه در کلان‌شهرهای ایران (نمونه موردی: کلان‌شهر تبریز)، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، دوره ۱۱، شماره ۴۲، صص: ۸۹۰-۸۷۱.
- پیوسته گر، یعقوب، جعفری، حمیده، مرادی، الهه. (۱۴۰۱). تبیین ابعاد تاب‌آوری کالبدی شهری در برابر زلزله مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد پژوهی شهر یاسوج، فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۱۳، شماره ۵۱، صص: ۷۳-۸۸.
- حسینی خواه، حسین، ضرابی، اصغر. (۱۳۹۹). کاربرد آینده‌پژوهی در برنامه‌ریزی پاسخ به بحران زلزله با رویکرد برنامه‌ریزی بر پایه سناریو (پژوهش موردی: شهرستان چرام استان کهگیلویه و بویراحمد)، نشریه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۸، شماره ۶۰، صص: ۸۴-۵۹.
- دلشاد، مهدیه، بحرانی، حمیدرضا، زارع، بهمن، کمالی، ماندانا، جعفری، معصومه. (۱۴۰۲). تبیین مدل آینده محور برنامه‌ریزی فضایی تاب‌آور در برابر زلزله (SRPF) و تدقیق آن با روش فراتحلیل و FAHP، فصلنامه چشم‌انداز شهرهای آینده، دوره ۴، شماره ۱، ۱-۲۳.
- رضایی، محمدرضا، رفیعیان، مجتبی، حسینی، سید مصطفی. (۱۳۹۴). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی اجتماع‌های شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله‌های شهر تهران)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۷، شماره ۴، صص: ۶۲۳-۶۰۹.
- زارعمند، زهرا. (۱۳۹۸). مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از مدل تاپسیس فازی مورد مطالعه شهر کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی.
- زالی، نادر. (۱۳۸۸). آینده‌نگری توسعه منطقه‌ای با رویکرد برنامه‌ریزی بر پایه سناریو (نمونه موردی: استان آذربایجان شرقی)، پایان‌نامه دکتری در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز.
- سازمان آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج عمومی سرشماری نفوس و مسکن شهرستان کرمانشاه.
- طالبیان، حامد، مولایی، محمد مهدی، قراری، فریما. (۱۳۹۶). تحلیل ساختاری به روش میک‌مک فازی در آینده‌نگاری راهبردی (مطالعه موردی آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴)، آینده‌پژوهی ایران، دوره ۲، شماره ۱، صص: ۷۵-۱۰۴.

- عطااللهی، فاطمه، دهنویه، رضا، آتشبهار، ام البنین. (۱۳۹۵). آینده‌پژوهی با استفاده از تکنیک پویش محیطی، مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، دوره ۱۶، شماره ۵، صص: ۷-۹.
- کمالی، ماندانا، طبیبیان، منوچهر، الهی، مسعود. (۱۴۰۰). تحلیلی بر تاب‌آوری کالبدی مسکن اجتماعی در برابر زلزله با استفاده از فن سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری فازی غیر ساختاری (NSFDSS) نمونه موردی مسکن مهر زنجان، مطالعات مدیریت شهری، دوره ۱۳، شماره ۴۶، صص: ۱۹-۱.
- کمری زاده، اسماعیل. (۱۳۹۵). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهری (مطالعه موردی: کرمانشاه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش زلزله، دانشگاه رازی.
- لطیفی، امین، زیاری، کرامت اله، نادری، سید مجید. (۱۴۰۰). تبیین مؤلفه‌های کلیدی افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با رویکرد تحلیل ساختاری (مطالعه موردی: منطقه ۱۰)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱۰، شماره ۱، صص: ۱۶۱-۱۸۲.
- محمدی فر، یوسف، اعظمی، محسن، فیض آقایی، پریا. (۱۳۹۹). طراحی مدل بومی مدیریت بحران سوانح گسترده طبیعی (مورد مطالعه: زلزله کرمانشاه)، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۱۰، شماره ۲، صص: ۱۷۶-۱۶۳.
- ملکی، سعید، رضوی، سیده معصومه، رمضان پور اسعدیه، خاطره. (۱۴۰۰). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری نواحی شهری در برابر زلزله (موردی: ناحیه غربی شهر ایزده)، فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۱۲، شماره ۴۷، صص: ۲۰۲-۱۸۷.
- مهدوی، افسون، جلال آبادی، لیلا، مبشر، سارا. (۱۴۰۱). شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه پایدار منظومه‌های روستایی-شهری با تکنیک آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: منظومه فهرج)، فصلنامه چشم‌انداز شهرهای آینده، دوره ۳، شماره ۳، صص: ۲۲-۱.
- نعمی، کیومرث، پورمحمدی، محمدرضا. (۱۳۹۵). شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر وضعیت آینده سکونتگاه‌های فرودست شهری سندج با تأکید بر کاربرد آینده‌پژوهی، فصلنامه مطالعات شهری، دوره ۵، شماره ۲۰، صص: ۶۴-۵۳.
- نوروزی، حسن، محمدی دوست، سید سلیمان، حسینی خواه، حسین، خانی زاده، محمد علی. (۱۳۹۸). شناسایی و ارزیابی پیشران‌های شگفت‌انگیز در تاب‌آوری کالبدی کاربری‌های شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مورد پژوهی: ناحیه یک شهر یاسوج)، فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۱۰، شماره ۳۶، صص: ۴۶-۳۳.
- Aon plc. 2021. Weather, Climate & Catastrophe Insight 2020 Annual Report. Available online: <http://thoughtleadership.aon.com/Documents/20210125-if-annual-cat-report.pdf> (accessed on 18 March 2021).
- Arcade, J., Godet, M., Francis, M., and Fabrice, R. 2008. Structural analysis with the MICMAC method & Actors' strategy with MACTOR method, Futures research methodology v2, AC/UNU Millennium project.
- Aydin, N.Y., Duzgun, H.S., Wenzel, F., and Heinimann, H.R. 2018. Integration of stress testing with graph theory to assess the resilience of urban road networks under seismic hazards. Nat. Hazards, 91, 37-68.
- Chen, J., Ma, H., Yang, S., Zhou, Z., Huang, J and Chen, L. 2023. Assessment of Urban Resilience and Detection of Impact Factors Based on Spatial Autocorrelation Analysis and Geo Detector Model: A Case of Hunan Province. ISPRS Int. J. Geo-Inf, 12, 1-29.
- Deng, H and Liu, K. 2023. Spatiotemporal Evolution of Urban Resilience and Spatial Spillover Effects in Guangdong Province, China, Land, 12, 1-19.
- Dong, L and Shan, J. 2013. A comprehensive review of earthquake-induced building damage detection with remote sensing techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 84, 85-99.
- Gharakhlou, M. 2009, Crisis risk in urban slum, CAG, ETAVA, Canada, 25-31.
- Godet, A. J., Meunier, M. F., and Roubelat, F. 2003. Structural analysis with the MICMAC method & actors' strategy with MACTOR method", AC/UNU Millennium Project: Futures Research Methodology-V2., AC/UNU, Washington, DC.

- Lantada, N., Pujades, L. G and Barbat, A. H. 2009. Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison. *Natural Hazards*, 51(3), 501.
- Lizarralde, G., Chmutina, K., Bosher, L and Dainty, A. 2015. Sustainability and resilience in the built environment: The challenges of establishing a turquoise agenda in the UK. *Sustain. Cities Soc*, 15, 96–104.
- Ludwig, L. and Starr. S. 2005. Library as place: results of a Delphi study, *Journal of the Medical Library Association* 93(3), 315-327.
- Ma, X., Chen, X., Du, Y., Zhu, X., Dai, Y., Li, X., Zhang, R and Wang, Y. 2022. Evaluation of Urban Spatial Resilience and Its Influencing Factors: Case Study of the Harbin–Changchun Urban Agglomeration in China. 14, 1-18.
- Mallick, S.K., Das, P., Maity, B., Rudra, S., Pramanik, M., Pradhan, B and Sahana, M. 2021. Understanding future urban growth, urban resilience and sustainable development of small cities using prediction-adaptation-resilience (PAR) approach. *Sustain. Cities Soc*. 74, 1-26.
- Meerow, S., Newell, J.P., and Stults, M. 2016. Defining urban resilience: A review. *Landsc. Urban Plan*, 147, 38–49.
- Parizi, S.M., Taleai, M., and Sharifi, A. A. 2022. GIS-Based Multi-Criteria Analysis Framework to Evaluate Urban Physical Resilience against Earthquakes. *Sustainability*, 14, 1-31.
- Rezaei, H., Macioszek, E., Derakhshesh, P., Houshyar, H., E.; Bakhshi Lomer, A.R., Ghanbari, R and Esmailzadeh, A. A. 2023. Spatial Decision Support System for Modeling Urban Resilience to Natural Hazards. *Sustainability*, 15, 1-18.
- Schütze, M., Robleto, G., León, C and Rodriguez, I. 2011. Modelling and scenario building of urban water and wastewater systems – Addressing water shortage in Lima. 12th International Conference on Urban Drainage, 11-16. Porto Alegre/Brasil.
- Shojaei, M., Zare, M., Akasheh, B., Ostadtaghizadeh, A., and Dorostian, A. 2020. Evaluating the degree of physical resilience of Babol against earthquakes. *Nexo Scientific Journal*, 33(2), 239-258.
- UNISDR. 2020. Making Cities Resilient Report 2012, Available online: https://www.unisdr.org/files/28240_rcreport.pdf (accessed on 10 September).
- Wang, H., Cao, C., Ma, X and Ma, Y. 2023. Methods for Infectious Disease Risk Assessments in Megacities Using the Urban Resilience Theory, *Sustainability*, 15, 1-16.
- Wang, X., Wang, L., Zhang, X and Fan, F. 2022. The spatiotemporal evolution of COVID-19 in China and its impact on urban economic resilience. *China Econ. Rev*, 74, 1-18.
- Xiao, Y., Zhong, J., Wang, J., Zhang, L., Qian, X., Liu, W and Huang, H. 2023. Exploring the Coupling Coordination Relationship of Urban Resilience System in Ecologically Fragile Areas: Case Study of the Loess Plateau in China, *Land*, 12, 1-21.
- Xu, H and Jiao, M. 2021. City size, industrial structure and urbanization quality-A case study of the Yangtze River Delta urban agglomeration in China. *Land Use Policy*, 111, 1-29.
- Xu, H., Li, Y., Tan, Y and Deng, N. A. 2021. Scientometric Review of Urban Disaster Resilience Research. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 1-27.
- Zhang, X., and Li, H. 2018. Urban resilience and urban sustainability: What we know and what do not know? *Cities*, 72, 141-148.
- Zhao, R., Fang, C and Liu, H. 2020. Progress and prospect of urban resilience research, *Progress Geogr*, 39, 1717–1731.