



University of
Sistan and Baluchestan



Association of Geography
and Planning
of Border Areas of Iran

Futures Studies: The Role of Smart Urban Transportation on the Resilience of Communication Networks (Case Study: Kermanshah City)

Nesa Hashemi¹, Moslem Rostami^{2✉}, Naji Pezhman Ziaei³, Maryam Ansari Manesh⁴

1. PhD Student, Department of Architecture and Urbanism, Islamic Azad University, Ker.C., Kermanshah, Iran.
E-mail: nesa.hashemi@iau.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Ker.C., Kermanshah, Iran.
✉ E-mail: moslem.rostami@iau.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, IsG.C., Islamabad Gharb, Iran.
E-mail: Najipezhman.Ziaei@iau.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Ker.C., Kermanshah, Iran
E-mail: m.ansarimanesh@iau.ac.ir

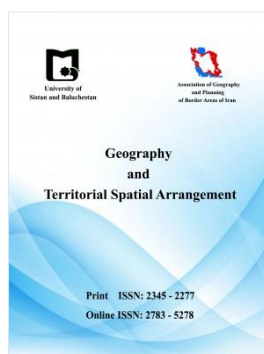


How to Cite: Hashemi, N; Rostami, M; Ziaei, N.P & Ansari Manesh, M. (2026). Futures Studies: The Role of Smart Urban Transportation on the Resilience of Communication Networks (Case Study: Kermanshah City). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 16 (58), 119-126.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/gaaj.2025.53427.3308>

Article type:
Research Article

Received:
02/10/2025
Received in revised form:
17/11/2025
Accepted:
15/12/2025
Publisher online:
20/12/2025



ABSTRACT

The growth of urbanization and increasing complexity have increased the importance of the resilience of communication networks against crises. In these circumstances, smart urban transportation using new technologies is considered as a key strategy for proactive management and rapid response in emergency situations. In this regard, the aim of the present study is to evaluate the role of smart urban transportation on the resilience of communication networks in Kermanshah city. The present study is descriptive-analytical in nature, in terms of its applied purpose, and in terms of its method, it is a combination of library and survey methods and is based on a futures research approach. The research area was Kermanshah city. The statistical population of this study is 50 urban transportation, road and urban development experts and municipal experts. The Delphi method and the cross-effects matrix (MicMac) were used to analyze the data. The research findings indicated that among the 46 main influential factors on the role of smart urban transportation in the resilience of communication networks, 27 variables were identified as key and influential. These variables have the greatest influence and the least susceptibility (influenceability) on the future development of the role of smart urban transportation in the resilience of communication networks in Kermanshah city. Furthermore, the results showed that environmental and pedestrian resilience factors, such as covered sidewalks, are the main drivers (precursors) of the system and have the greatest influential force. Conversely, smartization indicators, particularly smart parking, are primarily susceptible (influenceable); therefore, future success depends on prioritizing physical resilience infrastructure to create a suitable platform for the implementation of smart technologies.

Keywords:

Smartization, urban transportation, resilience, futures studies, MicMac, Kermanshah city.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

Today, cities are the driving force of the global economy and the main centers of population gathering, the focus of vital activities. However, the rapid growth of urbanization in recent decades has created complex challenges in urban management, especially in the transportation sector. The increase in population density and the physical expansion of cities have led to problems such as heavy traffic, air pollution, energy waste and reduced safety. This acute situation has made the improvement of transportation infrastructure a national priority, as these networks are the main foundation for the growth and prosperity of societies at all local and international levels. In response to these challenges and with the advent of the digital revolution, the concept of intelligent transportation systems (ITS) has been proposed as a fundamental solution. By utilizing information and communication technologies and real-time data management, these systems not only improve network efficiency and safety, but also transform traditional transportation models into modern and efficient systems. Since traffic and transportation are an integral part of modern cities and have a direct impact on environmental and social sustainability, smartization has become an undeniable necessity to reduce negative consequences and manage congestion in the 21st century. The ultimate goal of smartization goes beyond reducing traffic, namely achieving “resilience” in communication networks. Resilience is defined as the ability of a system to absorb, adapt, and quickly recover its performance in the face of shocks such as natural disasters, cyberattacks, or major accidents. In fact, resilience and sustainability are two intertwined concepts; a system that can withstand disruptions and quickly return to normal will ensure the long-term viability and sustainability of future cities, avoiding costly delays.

Meanwhile, Kermanshah, as the economic hub of the west of the country with a population of nearly one million, is in critical need of resilient communication infrastructure due to its earthquake-prone nature and traffic challenges. Smartening networks in this city can be a key tool for dynamic resource management and traffic flow optimization. The development of these infrastructures is not only a driving force for business prosperity and improving the quality of life of citizens, but also prevents irreparable damage to the physical structure and social norms of the city in the future. Finally, proper and forward-looking management in Kermanshah requires accurate identification of key drivers that affect smartening and network resilience. The present study aims to explain the status of smartening components in different areas of this city and measure their impact on each other. The main focus is to look to the future and determine which factors will play the greatest role in strengthening the resilience of Kermanshah's communication networks in order to chart a sustainable path for urban development based on the real needs of the people.

Study Area

The study area is Kermanshah city, which, according to the 2016 population and housing census, has a population of 946,651 people.

Material and Methods

This applied research was conducted with a descriptive-analytical approach and aimed to identify the key drivers of smart transportation and resilience of communication networks in Kermanshah. After extracting 46 indicators from scientific sources and confirming their validity by 50 experts (selected using the snowball method), data were collected through a cross-effects matrix questionnaire and paired scoring based on a range of zero to three in order to determine the strategic variables and key drivers affecting the future of the city's transportation system and resilience by analyzing the interactions.

Result and Discussion

The dynamic analysis of the intelligent transportation system and urban resilience of Kermanshah shows a highly interconnected and unstable structure. The 73% filling index of the cross-effects matrix and the distribution of variables around the diagonal axis in the scatterplot indicate that the system is in a complex situation in which most variables play a “bimodal” role; that is, any change in them causes chain reactions in the entire network. The 100% validity of the matrix in data rotations confirms the reliability of the 1548 identified relationships. An important point in this section is the dominance of relationships with medium and strong intensity (1128 relationships), which indicates that the selected drivers affect the future of the city not in isolation, but in a united front. The high density of lines in the direct relationship diagram (100% coverage) and the concentration of the strongest links around physical indicators such as “design of bicycle paths” and “covered sidewalks” prove that in the city of Kermanshah, resilient physical infrastructure continues to act as

the main backbone and provide the necessary platform for implementing smart layers. In prioritizing key drivers, the results of the MDI and MII matrix rankings reveal an important structural pattern: resilience variables (R) often appear as “influential drivers” and smartization variables (T) mainly appear as “influential factors.” Indicators such as “consideration of covered sidewalks” (ranked 1 in net impact) and “design of a special cycling path” with the highest impact score are the driving engines of change in the system. In contrast, technologies such as “smart parking” or “electronic payment” show the greatest dependence on the sustainability of the entire system. This finding means that smartization in Kermanshah should not be viewed solely as a technical tool, but rather its success depends on strengthening physical and human infrastructure. On the other hand, the identification of 27 key factors in direct and indirect overlap outlines the city’s future-oriented path; A path where “citizen education” and “smart public transportation management” as bimodal variables have the greatest potential to become levers of resilience leap. Therefore, the desired strategy for Kermanshah is a hybrid approach in which intelligent layers (such as artificial intelligence in traffic control) are mounted on a modified physical base (such as low confinement and appropriate width of passages) to ensure the network’s resilience against disruptions.

Conclusion

The research findings showed that out of 46 main factors affecting the role of smart urban transportation on the resilience of communication networks, 27 variables were identified as key and influential. These variables have the greatest and least impact on the future development of the role of smart urban transportation on the resilience of communication networks in Kermanshah. The results also showed that environmental and pedestrian resilience factors, such as covered sidewalks, are the main drivers of the system and have the greatest impact. This is while smart indicators, especially smart parking lots, are mainly affected; therefore, future success depends on prioritizing resilient physical infrastructure to create a suitable platform for the deployment of smart technologies.

Key words: Smartization, urban transportation, resilience, futures studies, MicMac, Kermanshah city.

References

- Abenayake, C., Jayasinghe, A., Kalpana, H. N., Wijegunaratna, E. E., & Mahanama, P. K. S. (2022). An innovative approach to assess the impact of urban flooding: Modeling transportation system failure due to urban flooding. *Applied geography*, 147, 102772.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102772>
- Ahmadipour A, Pejhan A, Sharifi M. Future Study of the Elderly Population of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province Up to the Horizon of 2050 and their Health Costs. *armaghanj* 2022; 27 (2) :207-222. (In Persian).
<http://armaghanj.yums.ac.ir/article-1-3129-fa.html>.
- Ali Mohammadi, A.; Motavali, S.; & Rajabi, A. (2022). Investigating the managerial dimension of urban transportation network resilience with an approach to sustainable environmental development in District One of Tehran, Thematic Areas, Urban Futures, 2, 3, 1-23. (In Persian) .
<https://doi.org/10.30495/uf.2023.1972734.1056>.
- Almatar, K. M. (2024). Smart transportation planning and its challenges in the Kingdom of Saudi Arabia. *Sustainable Futures*, 8, 100238.
<https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100238>
- Anari, F., Eghbali, N. and Moayedfar, R. (2019). Analysis and evaluation of effective variables on improving the urban road network resilience in the natural environment Man-made (case study: five areas of the eastern part of Tehran). *Geography (Regional Planning)*, 9(35), 351-364. (In Persian) .
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1398.9.3.2.0>
- Anvari, Zahra; Kamousi, Zeinab; Rafiei Mehr, Behnam. (2012). Connected Vehicle Technology: An Overview of Concepts and Applications. *Quarterly journal of Industrial Technology Development*, 9(18), 75-84. (In Persian)
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26765403.1390.9.18.7.8>

Auld, J., Sokolov, V., & Stephens, T. S. (2017). Analysis of the effects of connected–automated vehicle technologies on travel demand. *Transportation Research Record*, 2625(1), 1-8.

<https://doi.org/10.3141/2625-01>

Azadkhani P, salavrzizadeh M, shahmoradian A. (2022). Evaluation and Assessment of Resiliency of Transportation Networks in Ilam City. *jgs*. 22(64), 121-138. (In Persian) .

[doi:10.52547/jgs.22.64.121](https://doi.org/10.52547/jgs.22.64.121).

Bakhshi Sanjdari, Reza; Daryabari, Seyed Jamal-eddin. (2020). Investigating the somatization of urban transportation systems towards sustainable development of cities (Case study: Tehran metropolis), *Urban Economics and Management*, 8(4), 31-45. (In Persian) .

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23452870.1399.8.32.3.0>

Barikdar, C. R., Siddiqi, K. B., Miah, M. A., Sultana, S., Haldar, U., Rahman, H., ... & Hassan, J. (2025). MIS frameworks for monitoring and enhancing US energy infrastructure resilience. *Journal of Posthumanism*, 5(5), 4327-4342.

<https://doi.org/10.63332/joph.v5i5.1907>

Bellini, E., Bellini, P., Cenni, D., Nesi, P., Pantaleo, G., Paoli, I., & Paolucci, M. (2021). An IoE and big multimedia data approach for urban transport system resilience management in smart cities. *Sensors*, 21(2), 435.

<https://doi.org/10.3390/s21020435>

Bellini, E.; Nesi, P.; Cocone, L.; Gaitanidou, E.; Ferreira, P.; Simoes, A.; Candelieri, A. (2017). Towards resilience operationalization in urban transport system: The RESOLUTE project approach. In *Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice, Proceedings of the 26th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2016, Glasgow, Scotland*, 25–29.

<https://boa.unimib.it/handle/10281/204373>

Borowska-Stefańska, M., Bartnik, A., Dulebenets, M. A., Kowalski, M., Sahebgharani, A., Tomalski, P., & Wiśniewski, S. (2024). Changes in intra-city transport accessibility accompanying the occurrence of an urban flood. *Transportation research part D: transport and environment*, 126, 104040.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104040>

Bouzguenda, I., Alalouch, C., & Fava, N. (2019). Towards smart sustainable cities: A review of the role digital citizen participation could play in advancing social sustainability. *Sustainable cities and society*, 50, 101627. (In Persian).

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101627>

De Bona, A. A., de Oliveira Rosa, M., Fonseca, K. V. O., & Lüders, R. (2021). A reduced model for complex network analysis of public transportation systems. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 567, 125715.

<https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125715>

Dokht Badie, P.; Rahimi, M. (2018). Investigating and measuring the resilience of urban communication networks with a crisis management approach (a case study of Tehran Region 2), *Scientific and Research Quarterly Journal of New Approaches in Human Geography*, 3, 10, 2 (38), 41-65. (In Persian) .

http://journals.iau.ir/article_539258.html

Faturechi, R., & Miller-Hooks, E. (2015). Measuring the performance of transportation infrastructure systems in disasters: A comprehensive review. *Journal of infrastructure systems*, 21(1), 04014025.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000212](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000212)

Feng, H., Lv, H., & Lv, Z. (2023). Resilience towarded digital twins to improve the adaptability of transportation systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 173, 103686.

<https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103686>

Ganin, A. A., Kitsak, M., Marchese, D., Keisler, J. M., Seager, T., & Linkov, I. (2017). Resilience and efficiency in transportation networks. *Science advances*, 3(12), e1701079.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1701079>

Ganin, A. A., Mersky, A. C., Jin, A. S., Kitsak, M., Keisler, J. M., & Linkov, I. (2019). Resilience in intelligent transportation systems (ITS). *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 100, 318-329.

<https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.014>

Garau, C., Masala, F., & Pinna, F. (2016). Cagliari and smart urban mobility: Analysis and comparison. *Cities*, 56, 35-46. (In Persian)

<https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.02.012> .

Hekmatnia, H., Nasiri Hendeh Khaleh, E., Esmaeili, F., Nezafat Takleh, B., Fattahi, D. and Mogadam, D. (2022). Investigating and Evaluating the Resilience of Karaj Communication Network (Case Study: Shahid Beheshti and Azadi Streets). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 151-173. (In Persian).

[Doi: 10.22067/geoh.2021.69981.1046](https://doi.org/10.22067/geoh.2021.69981.1046) .

Hekmatnia, H., Nasiri Hinde Khaleh, A., Esmaeili, F., Nezafat Takleh, B., Fattahi, D. and Moghadam, D. (1400). Investigating and measuring the resilience of the communication network of Karaj city (case study: Shahid Beheshti and Azadi streets). *Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 151-173. (In Persian) .

[Doi: 10.22067/geoh.2021.69981.1046](https://doi.org/10.22067/geoh.2021.69981.1046).

Hoseinisiahgoli, M., Amanpour, S. and Malaki, S. (2023). Future Study of the Role of Population Structures on Urban Land Use Changes in Ahvaz Metropolis. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13(49), 33-64. (In Persian)

[doi: 10.22111/gaij.2023.46211.3132](https://doi.org/10.22111/gaij.2023.46211.3132)

Hoseinisiahgoli, M., Amanpour, S. and Malaki, S. (2023). Future Study of the Role of Population Structures on Urban Land Use Changes in Ahvaz Metropolis. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13(49), 33-64. (In Persian) .

[Doi: 10.22111/gaij.2023.46211.3132](https://doi.org/10.22111/gaij.2023.46211.3132)

Hosseini, S., Barker, K., Ramirez-Marquez, J. E. (2016) A review of definitions and measures of system resilience. *Reliab Eng Syst Saf* 145:47–61.

<https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.08.006>

Jami Pour, M., Hosseinzadeh, M., & Moradi, M. (2024). IoT-based entrepreneurial opportunities in smart transportation: a multidimensional framework. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 30(2/3), 450-481.

<https://doi.org/10.1108/IJEBR-06-2022-0574>

Janušová, L., & Čičmancová, S. (2016). Improving safety of transportation by using intelligent transport systems. *Procedia Engineering*, 134, 14-22.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.031>

Li, H., Chen, Y., Li, K., Wang, C., & Chen, B. (2023). Transportation internet: A sustainable solution for intelligent transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(12), 15818-15829.

<https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3270749>

Li, X., Zhang, T., Wang, J., Han, Z., Liu, J., Kang, J., ... & Jamalipour, A. (2025). Achieving Network Resilience through Graph Neural Network-enabled Deep Reinforcement Learning. *IEEE Network*.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.11074>

Liao, T. Y., Hu, T. Y., & Ko, Y. N. (2018). A resilience optimization model for transportation networks under disasters. *Natural hazards*, 93(1), 469-489. (In Persian) <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3310-3>

- Lin, J., & Ban, Y. (2013). Complex network topology of transportation systems. *Transport reviews*, 33(6), 658-685.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2013.848955>
- Lin, X., Lu, Q., Zhao, P., Chen, L., Tang, J., Guan, D., & Broyd, T. (2025). Field-theory Inspired Physics-Informed Graph Neural Network for Reliable Traffic Flow Prediction under Urban Flooding. *Reliability Engineering & System Safety*, 111487.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111487>
- Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002.
<https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100002>
- Matyas, D., & Pelling, M. (2015). Positioning resilience for 2015: the role of resistance, incremental adjustment and transformation in disaster risk management policy. *Disasters*, 39(s1), s1-s18. (In Persian).
<https://doi.org/10.1111/disa.12107>
- Mehdizadeh, M.; Ayati, A.; Hashemian Bojnoord, N.; and Naderi Khorshidi, A. (2010). Presenting a model for integrated transportation and urban traffic management in Iranian megacities (transportation management), *Law Enforcement Management Research*, 5(3), 418-443. (In Persian)
<https://civilica.com/doc/1315765>
- Mohammadi Dehcheshmeh, M., Alizadeh, H. and Abasi Gojani, D. (2019). The Spatial Analysis of the Indicators Explaining Resilience in the Transportation Infrastructure (Case Study: Ahwaz Metropolis, Iran). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 7(2), 375-391. (In Persian) .
[doi: 10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042](https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042)
- Mohammadi Dehcheshmeh, M., Alizadeh, H. and Abasi Gojani, D. (2019). The Spatial Analysis of the Indicators Explaining Resilience in the Transportation Infrastructure (Case Study: Ahwaz Metropolis, Iran). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 7(2), 375-391. (In Persian)
[Doi: 10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042](https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042)
- Nadran, A.; Choupani, A. (2011). *Urban Transportation Management Book*, Publications of the Iranian Municipalities and Rural Development Organization, First Edition, Tehran. (In Persian).
- Nigam, N., Singh, D. P., & Choudhary, J. (2023). A review of different components of the intelligent traffic management system (ITMS). *Symmetry*, 15(3), 583-594.
<https://doi.org/10.3390/sym15030583>
- Nosrati, A.; Mehrjoo, M.; Zali, N. (2020). Designing scenarios for the development of smart urban transportation with an information environment analysis approach, case study: Hamadan city; *Urban Management*, 59, 129-145. (In Persian) .
<http://ijurm.imo.org.ir/article-1-2875-fa.html>.
- Nosrati, M., Rezaii, A., Razi, D. and Ebrahimi, G. (2020). A Sociological Study of Relationship between Ethnic Identity and Consumer Behavior (Case Study: Lorestan Province). *Journal of Social Studies of Ethnic Groups*, 1(2), 233-258. (In Persian) .
[doi: 10.22111/JSSE.2021.33149.1024](https://doi.org/10.22111/JSSE.2021.33149.1024)
- Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N. A., Gundogan, K., Ge, L., & Liang, F. (2023). Smart transportation: an overview of technologies and applications. *Sensors*, 23(8), 3880.
<https://doi.org/10.3390/s23083880>
- Oseni, A., Moustafa, N., Creech, G., Sohrabi, N., Strelzoff, A., Tari, Z., & Linkov, I. (2022). An explainable deep learning framework for resilient intrusion detection in IoT-enabled transportation networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(1), 1000-1014.

<https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3188671>

Pakdaman, N. K., Saffari, B. and Kianfar, K. (2022). Determining the Optimal Combination of Urban Transportation Modes. *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, 56(4), 702-727. (In Persian).

[Doi: 10.22059/jte.2022.321390.1008451.](https://doi.org/10.22059/jte.2022.321390.1008451)

Poua, R., bastenegar, M. and Mokarami, A. (2022). Intelligent transportation technology; strategy of facing the basic challenges in this section. *Quarterly journal of Industrial Technology Development*, 20(48), 77-94. (In Persian).

[Doi: 10.22034/jtd.2022.552684.1757.](https://doi.org/10.22034/jtd.2022.552684.1757)

Pourjavan, Khosrow. (2019). Explanation of smart city and smart urban transportation solutions. *Karafan*, 16(45), 15-34. (In Persian) .

<https://sid.ir/paper/378053/>

Rezaei, M.; & Kavianpour, G. (2016). Evaluating the level of social and physical-environmental resilience of urban neighborhoods in the face of natural disasters (earthquakes), Case study: Mashhad metropolis, Third National Conference on Crisis Management and HSE in Vital Arteries, Industries and Urban Management, Tehran, (In Persian)

<https://civilica.com/doc/561760>

Rezaei, Mohammad Reza & Kavianpour, Golshan (2016). Evaluating the level of social and physical-environmental resilience of urban neighborhoods in the face of natural disasters (earthquakes), Case study: Mashhad metropolis, Third National Conference on Crisis Management and HSE in Vital Arteries, Industries and Urban Management, Tehran, (In Persian) .

<https://civilica.com/doc/561760>

Roy, T., Tariq, A., & Dey, S. (2021). A socio-technical approach for resilient connected transportation systems in smart cities. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(6), 5019-5028.

<https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3045854>

Salvo, G., Karakikes, I., Papaioannou, G., Polydoropoulou, A., Sanfilippo, L., & Brignone, A. (2025). Enhancing urban resilience: Managing flood-induced disruptions in road networks. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 31, 101383.

<https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101383>

Stefaniec, A., Hosseini, K., Xie, J., & Li, Y. (2020). Sustainability assessment of inland transportation in China: A triple bottom line-based network DEA approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102258.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102258>

Tamvakis, P., & Xenidis, Y. (2012). Resilience in transportation systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 3441-3450.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1308>

Tayyibi, M.; Fathian, M.; Mousavi Eshkvari, Sh. (2016), Strategic Planning for the Development of Intelligent Road Transportation Systems in the Country, *Journal of Transportation Research*, 4,4,291-3. (In Persian) .

https://www.trijournal.ir/article_11392

Tayyibi, Masoud; Fathian, Mohammad; Mousavi Eshkouri, Shahabuddin (2016), Strategic Planning for the Development of Intelligent Road Transportation Systems in the Country, *Journal of Transportation Research*, 4,4,291-3. (In Persian)

https://www.trijournal.ir/article_11392_f6ea1056a9981b312fe5a75ca3201026.pdf

Wang, Y., Feng, Y., Li, X., Liu, Z., Chen, C., Cao, D., ... & Wang, B. (2025). Mutualistic symbiotic wireless node for next-era smart transportation. *Nano Energy*, 136, 110746.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1308>

Windle, G. (2021). Resilience in later life: Responding to criticisms and applying new knowledge to the experience of dementia. In *Resilience and aging: Emerging science and future possibilities* (pp. 31-52). Cham: Springer International Publishing. (In Persian)https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57089-7_3

Wu, S., Hu, X., & Zheng, L. (2025). Intracity Accessibility and Intercity Mobility: Evidence from China's High-Speed Rail System. Available at SSRN 5383751.

<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5383751>

Xu, Z., Chopra, S. S., & Lee, H. (2021). Resilient urban public transportation infrastructure: A comparison of five flow-weighted metro networks in terms of the resilience cycle framework. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 12688-12699.

<https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3116667>

Zanin, M., Sun, X., & Wandelt, S. (2018). Studying the topology of transportation systems through complex networks: handle with care. *Journal of Advanced Transportation*, 2018(1), 3156137.

<https://doi.org/10.1155/2018/3156137>

Zeng, X., Yu, Y., Yang, S., Lv, Y., & Sarker, M. N. I. (2022). Urban resilience for urban sustainability: Concepts, dimensions, and perspectives. *Sustainability*, 14(5), 2481.

<https://doi.org/10.3390/su14052481>

Zheng, L., Xue, Y., & Huang, D. (2025). Inter-city transport hubs and intra-city polycentric structure: Evidence from high-speed rail stations and airports in China. *Journal of Transport Geography*, 123, 104132.

<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104132>

Zhou, Q., Shahidehpour, M., Paaso, A., Bahramirad, S., Alabdulwahab, A., & Abusorrah, A. (2020). Distributed control and communication strategies in networked microgrids. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2586-2633.

<https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3023963>

Zhu, J., Xie, N., Cai, Z., Tang, W., & Chen, X. (2023). A comprehensive review of shared mobility for sustainable transportation systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(5), 527-551.

<https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2054390>

Zoghdar, P., & Shabani, A. (2018). Evaluation of citizens' behavioral patterns in smart urban transportation stations (case study of Shahid Kharrazi smart station in Shahinshahr). *Architecture*, 1(5), 1-9. (In Persian) .

<https://sid.ir/paper/523450/fa>

آینده‌پژوهی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی (نمونه موردی: شهر کرمانشاه)

نساء هاشمی^۱، مسلم رستمی^{۲*}، ناجی پژمان ضیایی^۳، مریم انصاری منش^۴

مقاله پژوهشی

چکیده

رشد شهرنشینی و پیچیدگی‌های روزافزون، اهمیت تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در برابر بحران‌ها را افزایش داده است. در این شرایط، هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری با استفاده از فناوری‌های جدید، به‌عنوان یک راهبرد کلیدی برای مدیریت پیش‌فعال و واکنش سریع در شرایط اضطراری مطرح می‌شود. در همین راستا، هدف پژوهش حاضر ارزیابی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه است. پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی، از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی و از حیث روش، ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و پیمایشی و مبتنی بر رویکرد آینده‌پژوهی می‌باشد. قلمرو پژوهش، شهر کرمانشاه بوده است. جامعه آماری این پژوهش ۵۰ نفر از کارشناسان حمل‌ونقل شهری، راه و شهرسازی و کارشناسان شهرداری است. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش دلفی و ماتریس اثرات متقاطع (میک‌مک) استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان داد از میان ۴۶ عامل اصلی تأثیرگذار بر نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، ۲۷ متغیر به‌عنوان کلیدی و تأثیرگذار شناخته شده‌اند که این متغیرها بیشترین تأثیرگذاری و کمترین تأثیرپذیری را بر آینده توسعه نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه دارند. همچنین نتایج نشان داد که عوامل تاب‌آوری محیطی و عابر پیاده مانند پیاده‌روهای مسقف، پیشران‌های اصلی سیستم هستند و بیشترین نیروی تأثیرگذاری را دارند. این در حالی است که شاخص‌های هوشمندسازی، به‌ویژه پارکینگ‌های هوشمند، عمدتاً تأثیرپذیر هستند؛ لذا موفقیت آینده در گرو اولویت‌دهی به زیرساخت‌های کالبدی تاب‌آوری برای ایجاد بستر مناسب جهت استقرار فناوری‌های هوشمند است.

جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای
بهار ۱۴۰۵، سال ۱۶، شماره ۵۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹
صفحات: ۱۱۹-۱۵۲



واژه‌های کلیدی:
هوشمندسازی، حمل‌ونقل درون‌شهری،
تاب‌آوری، آینده‌پژوهی، «MicMac»،
شهر کرمانشاه.

مقدمه

شهرها، به‌عنوان موتورهای محرک اقتصاد جهانی و مراکز ثقل جمعیت، کانون اصلی فعالیت‌ها و زیرساخت‌های حیاتی قلمداد می‌شوند. با این حال، رشد فزاینده شهرنشینی در دهه‌های اخیر، چالش‌های پیچیده‌ای را در زمینه مدیریت شهری، به‌ویژه حمل‌ونقل درون‌شهری ایجاد کرده است (Zheng et al, 2025: 3). این افزایش تراکم جمعیت، گسترش فیزیکی شهرها و تعدد سفرهای روزانه، به‌طور مستقیم به معضلاتی چون: ترافیک سنگین، آلودگی هوا، هدررفت انرژی و کاهش ایمنی منجر شده است؛ بنابراین، این وضعیت حاد، لزوم ارتقای فوری زیرساخت‌ها را به یک اولویت ملی تبدیل کرده است (Lin et al, 2025). در این میان، سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری به‌دلیل نقش حیاتی خود در گردش خون اقتصادی و اجتماعی شهر، بیش از هر بخش دیگری تحت فشار قرار دارند چرا که سیستم‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل و زیرساخت‌های حیاتی برای رشد و شکوفایی جوامع در تمام سطوح، از محلی و

nesa.hashemi@iau.ac.ir

moslem.rostami@iau.ac.ir

Najipezhman.Ziaei@iau.ac.ir

m.ansarimanesh@iau.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

۲- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. (نویسنده مسئول)

۳- استادیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، ایران.

۴- استادیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

منطقه‌ای گرفته تا ملی و بین‌المللی هستند (Wu et al, 2025).

در سطح محلی، گسترش شهرهای بزرگ و مدرن به دلیل افزایش جمعیت، سیستم‌های حمل‌ونقلی را ضروری می‌سازد که بتوانند به‌طور مؤثر به جمعیت انبوهی که فعالیت‌های گوناگون انجام می‌دهند، خدمات‌رسانی کنند و در عین حال، الزامات مربوط به مسائل زیست‌محیطی را نیز برآورده سازند (Tamvakis & Xenidis, 2012: 3443). واقع، بخش حمل‌ونقل به عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی اقتصاد ملی، نقشی اساسی در تمامی مراحل تولید، توزیع و مصرف کالا و خدمات ایفا می‌کند (Lv & Shang, 2023: 18). همچنین، توسعه یافتگی هر کشوری بدون وجود یک شبکه حمل‌ونقل گسترده، زیرساخت‌های مناسب و ناوگان کارآمد، عملاً غیرممکن به نظر می‌رسد (پویا و همکاران، ۱۴۰۱: ۷۸). بر همین اساس و با ظهور انقلاب دیجیتال، مفهوم هوشمندسازی حمل‌ونقل (ITS) به عنوان یک راه‌حل بنیادین و گریزناپذیر مطرح شد چرا که هوشمندسازی حمل‌ونقل با استفاده از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ و مدیریت تطبیقی، نه تنها کارایی و ایمنی شبکه را افزایش می‌دهد بلکه آن را برای مواجهه با اختلالات غیرمنتظره آماده می‌سازد (Wang et al, 2025). به همین دلیل، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند از دهه ۱۹۹۰ در آمریکا معرفی شدند تا با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، به حل معضلات ترافیکی کمک-کنند (پورجوان، ۱۳۹۸: ۲۵) به طوری که در قرن بیست و یکم، حمل‌ونقل به عامل تعیین‌کننده پیشرفت کشورها تبدیل شده و مدل‌های سنتی جای خود را به سیستم‌های مدرن و هوشمند داده‌اند که جابه‌جایی افراد را به صورت کارآمدتر تسهیل می‌کنند (Almatar, 2020: 17). از طرفی، از آنجایی که ترافیک و حمل‌ونقل جزء لاینفک شهرهای مدرن هستند، تأثیرات قابل توجهی بر پایداری محیطی و اجتماعی-اقتصادی دارند و رشد جمعیت و تعداد وسایل نقلیه در شهرهای بزرگ به مشکلات متخالف مانند تراکم و حوادث ترافیکی منجر شده است (Stefaniec et al, 2020: 10).

در همین راستا، می‌توان گفت که سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند شهری بستری مناسب برای کاهش پیامدهای منفی قرن بیستم در حوزه حمل‌ونقل و ایجاد رویکردهای نوین و کارآمد در قرن بیست و یکم هستند؛ لذا لازم است معماری آن‌ها با توجه به نیازهای هر کشور طراحی شود تا از طریق چیدمان منطقی سیستم‌ها، بهره‌برداری بهینه از آن‌ها میسر گردد. در حقیقت، حمل‌ونقل هوشمند در برگیرنده طیف وسیعی از پدیده‌ها و عوامل است که در شکل‌دهی و گسترش حمل‌ونقل در موقعیت‌های مختلف نقش‌آفرینی می‌کنند (امینی‌نژاد و افتخاری، ۱۳۸۶: ۲۹-۳۰). از این منظر، هدف غایی از هوشمندسازی، صرفاً کاهش ترافیک نیست بلکه افزایش تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی است (Barikdar et al, 2025) زیرا تاب‌آوری، به معنای توانایی سیستم در جذب، تطبیق و بازیابی سریع عملکرد خود پس از مواجهه با شوک‌هایی نظیر: بلایای طبیعی، حملات سایبری یا سوانح بزرگ تعریف می‌شود؛ بنابراین، بررسی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل در تقویت تاب‌آوری شبکه‌ها، نه تنها یک نیاز فنی بلکه یک ضرورت استراتژیک برای تضمین پایداری و حیات شهرهای آینده محسوب می‌شود (Li et al, 2025). چراکه تاب‌آوری و پایداری دو مفهوم کلیدی و درهم‌تنیده در مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل شهری هستند. در نهایت، تاب‌آوری بر توانایی یک سیستم برای مقاومت در برابر اختلالات، جذب شوک‌ها و بازیابی سریع عملکرد خود اشاره دارد که نقشی حیاتی در دستیابی به پایداری بلندمدت ایفا می‌کند (Zeng et al, 2022). چنان‌چه سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به‌طور فزاینده‌ای در برابر انواع اختلالات، از جمله ازدحام، تصادفات و شرایط آب‌وهوایی نامناسب

آسیب‌پذیرند که همگی به تأخیرهای پرهزینه منجر می‌شوند و نیاز به توجه بیشتر به تاب‌آوری در برنامه‌ریزی‌های آتی را برجسته می‌سازند (Ganin et al, 2017).

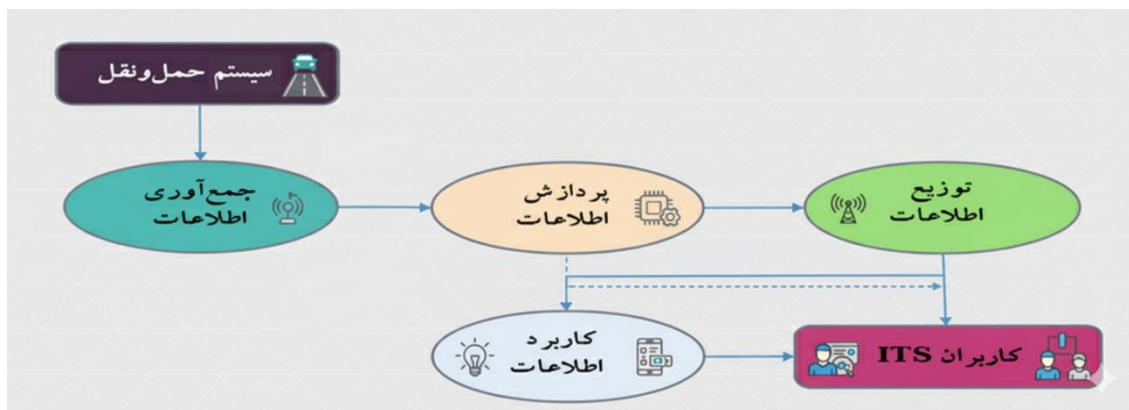
شهر کرمانشاه، به‌عنوان قلب تپنده غرب کشور با جمعیتی بالغ بر ۹۴۶ هزار نفر و فعالیت‌های اقتصادی رو به رشد به‌عنوان یک شهر زلزله‌خیز بیش از هر زمان دیگری به زیرساخت‌های ارتباطی قدرتمند و تاب‌آور نیازمند است. هوشمندسازی شبکه‌های ارتباطی در این شهر، راهکاری حیاتی برای غلبه بر چالش‌های ناشی از ترافیک سنگین، اختلالات مکرر و خطرپذیری‌های جغرافیایی است چرا که شبکه‌های هوشمند قادرند به‌صورت پویا منابع را مدیریت کرده، ترافیک را بهینه‌سازی کنند و در مواجهه با بلایای طبیعی، با قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری بالا، کمترین قطعی را تجربه نمایند؛ بنابراین، توسعه این زیرساخت‌های هوشمند و تاب‌آور، نه‌تنها کلید طلایی توسعه پایدار کرمانشاه و رفع کندی سرعت اینترنت است بلکه موتور محرک رونق کسب‌وکارها، توسعه خدمات الکترونیکی و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان در مسیر دستیابی به یک شهر هوشمند و پویا خواهد بود؛ بنابراین، عدم یک برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح و دقیق، شهر کرمانشاه را در آینده به شهری که زیستن در آن دچار مشکل خواهد بود، تبدیل خواهد کرد چرا که تاب‌آور بودن شبکه‌های ارتباطی بدون توجه به هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری به تدریج تأثیرات جبران‌ناپذیر خود را نه‌تنها بر کالبد فیزیکی شهر بلکه در رفتار و هنجارهای عمومی آن نیز خواهد گذاشت؛ بنابراین، باید با توجه به خواست و نیاز مردم اقدام به هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری کرد که همه این برنامه‌ها باید در قالب برنامه‌های آینده‌پژوهی مورد توجه قرارگیرد؛ از این‌رو، پژوهش حاضر سعی دارد براساس نیاز به برنامه‌ریزی در حوزه ارزیابی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه انجام‌گیرد تا ضمن مشخص کردن معیارهای هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری، وضعیت این مؤلفه‌ها را در سطح شهر و در مناطق مختلف تبیین شود و از طریق رویکرد آینده‌پژوهی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار و چگونگی تأثیرگذاری و میزان این عوامل بر یکدیگر و بر وضعیت آینده شهر کرمانشاه به‌لحاظ تغییرات تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شناسایی گردند. با توجه به آنچه ذکر شد، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه مبنی بر رویکرد آینده‌پژوهی در راستای پاسخگویی به پرسش زیر انجام گرفته‌است؛ پیشران‌های کلیدی مؤثر بر نقش ارزیابی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه کدام هستند؟

مبانی نظری پژوهش

برنامه‌ریزی حمل‌ونقل درون‌شهری با تعیین بهینه مدل‌های حمل‌ونقل بین مناطق مختلف شهری آغاز می‌شود و به توسعه زیرساخت‌ها و فرهنگ‌سازی برای دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده منتهی می‌گردد. پایش و ارزیابی مداوم نتایج برای اتخاذ تصمیمات آینده در این حوزه یک الزام ساختاری است (پاکدامن و همکاران، ۱۴۰۰: ۷۰۶). در این راستا، هوشمندسازی حمل‌ونقل شهری به‌معنای به‌کارگیری فناوری‌های اطلاعات، ارتباطات و کنترل برای بهبود عملکرد شبکه‌های حمل‌ونقلی تعریف می‌شود (Jami Pour et al, 2024: 452). در واقع، حمل‌ونقل هوشمند به‌عنوان بخش مهمی از شهرهای هوشمند، با هدف ارتقای کیفیت زندگی مردم از طریق فناوری اطلاعات، به‌دنبال کاهش آلودگی صوتی، تراکم ترافیک، مصرف انرژی و در عین حال بهبود سلامت، ایمنی و سرعت جابه‌جایی است (Zhou et al, 2020: 12). در گذشته، تمرکز بر توسعه وسایل حمل‌ونقل اغلب کیفیت زندگی مردم را نادیده

می‌گرفت و منجر به آلودگی‌های محیطی می‌شد. به همین دلیل، بسیاری از شهرها برای دستیابی به این اهداف و "هوشمند شدن"، بیش از یک دهه است که در خدمات هوشمند سرمایه‌گذاری کرده‌اند و زیربنای مستحکمی برای توسعه حمل‌ونقل هوشمند ایجاد کرده‌اند (Chen et al, 2017: 385). رویکرد حمل‌ونقل هوشمند، علاوه بر تأکید بر کارایی سیستم و جریان ترافیک، به دنبال ارتقای کیفیت زندگی و تجربه افراد است. این مفهوم در دو مرحله تکامل یافته است: (۱) بهبود فناوری و بهینه‌سازی ابزارهای برنامه‌ریزی و (۲) در نظر گرفتن مصرف‌کنندگان به عنوان جزء اصلی سیستم (Bouzguenda et al, 2019: 11). به کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) در حوزه حمل‌ونقل نه تنها راه‌حلی برای مشکلات ترافیک شهری ارائه می‌دهد بلکه خدمات ارزش افزوده متنوعی را نیز در اختیار مردم قرار می‌دهد و تجربه‌های متفاوتی برای آن‌ها رقم می‌زند (Oladimeji et al, 2023: 17). برای استفاده‌کنندگان از حمل‌ونقل عمومی، ICT خدمات مختلفی از برنامه‌ریزی مسیر و بررسی وضعیت ترافیک تا خدمات اضافی مانند اینترنت بی‌سیم و پرداخت الکترونیکی فراهم می‌کند. همچنین برای رانندگان، خدمات ایمنی و راحتی مانند: ناوبری، تشخیص ایمنی جاده و سیستم‌های الکترونیکی عوارض را ارائه می‌دهد (Garau et al, 2016: 36).

اگرچه هنوز یک تعریف واحد و جهانی برای حمل‌ونقل هوشمند (ITS) وجود ندارد، توافق نسبی بر سر چندین تعریف کلیدی وجود دارد. انجمن حمل‌ونقل هوشمند آمریکا (در سال ۱۹۹۸) ITS را به عنوان "استفاده مؤثر از فناوری در حمل‌ونقل برای صرفه‌جویی در وقت، پول و زندگی روزمره مردم" تعریف کرده است (طیّبی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۹۴). این مفهوم همچنین به طور کلی شامل: به کارگیری هدفمند فناوری‌های مرتبط با جمع‌آوری، پردازش و توزیع اطلاعات برای ارتقای ایمنی، بهره‌وری اقتصادی و کنترل آلودگی‌های محیطی است. اداره حمل‌ونقل آمریکا (در سال ۱۹۹۹) ITS را سیستمی می‌داند که با استفاده از فناوری‌های نوین الکترونیکی، سیستم‌های ارتباطی و کنترلی، ایمنی، کارایی و ارزانی را افزایش می‌دهد (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۱). در اصل، ITS یک راه‌حل مؤثر برای مدیریت ترافیک است که با به کارگیری فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، به دنبال هم‌افزایی کنترل و بهبود عملکرد یکپارچه شبکه حمل‌ونقل است (ذوقدار و شبانی، ۱۳۹۷: ۳). هدف اصلی ITS، یافتن مؤثرترین راه برای حل یا به حداقل رساندن مشکلات ترافیکی است. این سیستم رویکردی کل‌نگر و دانش‌محور دارد و تمامی عناصر شبکه حمل‌ونقل (شامل: خودرو، زیرساخت و ارتباطات) را در نظر می‌گیرد و به عنوان سیستم پشتیبان مدیریت ترافیک، نگهداری راه‌ها و حمل‌ونقل عمومی نیز عمل می‌کند (انوری و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۷). در بلندمدت، سیستم‌های ITS به دنبال جایگزینی رویکردهای سنتی با راه‌حل‌های نوین برای کاهش تهدیدها و آسیب‌پذیری‌های ناشی از فناوری هستند (Janušová & Čičmancová, 2016: 15). مهدیزاده و همکاران (۱۳۸۹) و نادران و چوپانی (۱۳۹۰) معتقدند که اساس ابزارهای مورد استفاده در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر «جمع‌آوری»، «پردازش»، «یکپارچگی»، «هماهنگی» و «ارائه» با کاربست ابزارهای مبتنی بر مدیریت دانش نظیر: «اطلاعات» و «ارتباطات» است. این سیستم قابلیت آن را دارد که داده‌های به دست آمده از سیستم حمل‌ونقل همگانی را ذخیره و ارزیابی کرده و ابزار تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی یکپارچه‌ای را برای سیاست‌گذاران این حوزه فراهم نماید (شکل ۱).



شکل (۱). ابزارهای مورد استفاده در سیستم حمل و نقل هوشمند

منبع: (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۲)

همچنین سیستم هوشمند حمل و نقل، به کارگیری تکنولوژی‌های نوین از قبیل: پردازش اطلاعات الکترونیک، ارتباطات و سیستم‌های کنترل و دیگر فناوری‌های ارتباطی و استراتژی‌های مدیریت به گونه‌ای هماهنگ و یکپارچه به منظور ارتقای سطح ایمنی، کارایی و ارزانی در حمل و نقل است. سیستم‌های هوشمند حمل و نقل براساس فناوری‌های کنترل اطلاعات کار می‌کنند که در واقع هسته اصلی وظایف و عملکرد چنین سیستم‌هایی می‌باشند (بخشی سنجدری و دریاباری، ۱۳۹۹: ۳۲).

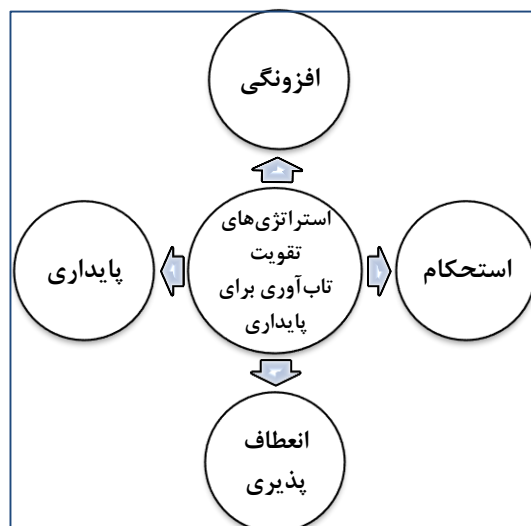
رویکردهای تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

رویکردهای مفهومی تاب‌آوری در حوزه سوانح طبیعی براساس توانایی سیستم برای ایستادگی، مقاومت و واکنش مثبت به فشار با تغییر، در سه دسته اصلی خلاصه می‌شوند؛ نخست، تاب‌آوری به عنوان پایداری که برگرفته از مطالعات اکولوژیکی است، تاب‌آوری را به مثابه مقدار اختلالی تعریف می‌کند که یک سیستم می‌تواند قبل از انتقال به حالت دیگر تحمل کند و جوامع تاب‌آور دارای آستانه بالایی برای جذب فشار هستند (Windle, 2021: 154). دوم، تاب‌آوری به عنوان بازیابی که بر توانایی جامعه برای بازگشت به حالت صرف شده قبلی پس از یک اختلال متمرکز است و تاب‌آوری براساس زمان لازم برای بازیابی سنجیده می‌شود به طوری که جامعه تاب‌آور نسبتاً سریع باز می‌گردد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۶). سوم، تاب‌آوری به عنوان دگرگونی که بیشتر با تاب‌آوری اجتماعی در ارتباط است و ظرفیت جامعه برای واکنش انطباقی به تغییر را بیان می‌کند. این رویکرد به جای بازگشت صرف به حالت قبل، بر تغییر به یک حالت جدید و پایداری در محیط موجود تأکید دارد، تغییر را اجتناب‌ناپذیر می‌داند و ویژگی‌های دینامیک جوامع و مسیرهای پتانسیل چندگانه را می‌پذیرد (Matyas and Pelling, 2015: 8).

استراتژی‌های تقویت تاب‌آوری برای پایداری شبکه‌های ارتباطی

امروزه، شبکه‌های ارتباطی به مثابه شریان‌های حیاتی جامعه عمل می‌کنند و پایداری آن‌ها برای عملکرد روان اقتصاد، امنیت ملی و زندگی روزمره ضروری است. با افزایش پیچیدگی و آسیب‌پذیری این شبکه‌ها در برابر تهدیدات متعدد، از بلایای طبیعی گرفته تا حملات سایبری، تاب‌آوری به عنصری کلیدی برای تضمین پایداری آن‌ها تبدیل شده است. استراتژی‌های تقویت تاب‌آوری، مجموعه‌ای از اقدامات پیشگیرانه و واکنشی هستند که به شبکه‌ها کمک می‌کنند تا در برابر اختلالات مقاومت کرده، عملکرد خود را حفظ کنند و پس از آسیب، به سرعت بهبود یابند. این

مقدمه به بررسی این استراتژی‌ها می‌پردازد (Hosseini et al, 2016: 51). برای افزایش تاب‌آوری در جهت دستیابی به پایداری، می‌توان از راهکارهای زیر استفاده کرد:



شکل (۲). استراتژی‌های تقویت تاب‌آوری برای پایداری
منبع: (Faturechi & Miller-Hooks, 2015: 3).

نقش حمل‌ونقل شهری در ارتقای تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهرهای آینده

امروزه، سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به دلیل نقش حیاتی‌شان به عنوان شریان‌های اصلی اقتصادی، اجتماعی و امدادی در شهرها و همچنین به عنوان مسیریابی برای گسترش ریسک‌ها، نیازمند تقویت تاب‌آوری هستند (Bellini et al, 2017: 27). با افزایش جمعیت شهری و وابستگی فزاینده میان زیرساخت‌های فیزیکی و دیجیتالی و همچنین تهدیداتی مانند تغییرات اقلیمی و تروریسم، سیستم‌های حمل‌ونقل با چالش‌های بزرگی روبه‌رو شده‌اند؛ بنابراین، ضرورت دارد که روش‌ها و فناوری‌های جدید برای ارتقای عملی تاب‌آوری این سیستم‌ها، با استفاده از داده‌های تولیدشده در شهرهای هوشمند، مورد بررسی قرار گیرند (Bellini et al, 2021). در واقع سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، به دلیل ماهیت پیچیده و شبکه‌ای‌شان، به عنوان سیستم‌های اجتماعی-فنی شناخته می‌شوند که در آن‌ها تعامل پیچیده‌ای بین زیرساخت‌های فناوری و عامل انسانی وجود دارد. در چنین سیستمی، ایمنی و امنیت پیش‌شرط‌های اصلی عملکرد موفق هستند و تاب‌آوری در برابر حملات سایبری اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا آسیب‌پذیری‌های ذاتی زیرساخت‌های ICT را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، حمل‌ونقل هوشمند یک رویکرد جامع اجتماعی-فنی است که نقشی حیاتی در افزایش انعطاف‌پذیری شبکه‌های ارتباطی ایفا می‌کند تا شهرها بتوانند در برابر اختلالات (ناشی از بلایای طبیعی یا حملات سایبری) مقاوم‌تر عمل کنند (Roy et al, 2021: 5019). یکی از عوامل کلیدی این ارتقای تاب‌آوری، اتصال و تبادل داده‌های بلادرنگ از طریق فناوری‌هایی مانند 5G و اینترنت اشیا (IoT) است. این تبادل لحظه‌ای امکان نظارت فوری، شناسایی زودهنگام مشکلات و واکنش سریع در شرایط اضطراری (مانند ارائه مسیریابی جایگزین) را فراهم می‌کند. علاوه بر این، استفاده از دوقلوهای دیجیتال به شبیه‌سازی دقیق شبکه کمک می‌کند تا بتوان استراتژی‌های مقابله‌ای را از پیش تعیین نمود (Oseni et al, 2023).

1003). با وجود مزایای فراوان، پیاده‌سازی حمل‌ونقل هوشمند با موانع قابل توجهی روبه‌روست که بر تاب‌آوری آن تأثیر می‌گذارد. بزرگ‌ترین چالش، امنیت سایبری است. شبکه‌های هوشمند به شدت به داده‌ها و ارتباطات وابسته هستند و در برابر حملات سایبری مانند نفوذ، باج‌افزار و اختلال در سرویس بسیار آسیب‌پذیرند؛ یک حمله موفق می‌تواند به فلج‌شدن کامل سیستم منجر شود. موانع دیگر شامل فشار محاسباتی ناشی از حجم عظیم داده‌ها و عدم هماهنگی میان نهادها و استانداردهای متفاوت است که مانع از ایجاد یک سیستم یکپارچه و تاب‌آور می‌شود. غلبه بر این موانع و بنا نهادن آینده‌ای ایمن و تاب‌آور، نیازمند سرمایه‌گذاری در فناوری‌های امنیتی، توسعه استانداردهای مشترک و همکاری نزدیک میان بخش‌های دولتی، خصوصی و دانشگاهی است (Li et al, 2023: 15819).

نظریه‌های تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

در بخش پیش‌رو، براساس ضرورت بحث، مهم‌ترین نظریه‌های این حوزه مورد تحلیل و ارزیابی قرار خواهند گرفت. مطالعات تاب‌آوری در شبکه‌های حمل‌ونقل و ارتباطی بر پایه چندین نظریه بنیادین استوار است که هر یک ابزاری برای مدل‌سازی، تحلیل و کنترل پیچیدگی‌های این سیستم‌ها فراهم می‌کنند. نظریه گراف یک چارچوب ریاضی ضروری است که شبکه‌ها را به صورت گره‌ها (اجزا) و یال‌ها (پیوندها) مدل‌سازی کرده و تاب‌آوری را از طریق معیارهایی مانند اتصال‌پذیری و برش‌های گره‌ای سنجش می‌کند. این رویکرد توسط نظریه شبکه‌های پیچیده بسط داده می‌شود که با تبدیل سیستم‌ها به گراف، ویژگی‌های حیاتی مانند ارتباط‌پذیری و مرکزیت را اندازه می‌گیرد تا نقاط آسیب‌پذیر و میزان تأثیر اختلالات هدفمند یا تصادفی بر کارایی کل شبکه پیش‌بینی شود (Xu et al, 2021: 12688; De Bona et al, 2021: 12). این تحلیل ساختاری با درک رفتار پویا تکمیل می‌شود. نظریه سیستم‌های پیچیده ترافیک شهری را به عنوان یک سیستم متشکل از اجزای متعدد در نظر می‌گیرد تا تعاملات و رفتار آن بهتر درک شود (Lin & Ban, 2013: 659)، در حالی که نظریه کنترل بهینه با مدل‌سازی رفتار دینامیکی، مکانیزم‌های خودکار برای بازسازی و انطباق شبکه (مانند الگوریتم‌های مسیریابی دینامیک) را در برابر اختلالات طراحی می‌کند (Zanin et al, 2018: 33). علاوه بر این، نظریه اطلاعات به ارزیابی میزان اطلاعات قابل انتقال و افزایش تاب‌آوری در برابر از دست رفتن داده و حملات سایبری کمک می‌کند (Auld et al, 2017: 4)، و نظریه بازی‌ها با تحلیل تصمیم‌گیری‌های استراتژیک بین عوامل هوشمند (مانند رانندگان یا مهاجمان و مدافعان) به پیش‌بینی رفتار کاربران و بهبود همکاری می‌پردازد (Nigam et al, 2023: 584). در مجموع، این نظریه‌ها با هم چارچوبی جامع برای طراحی شبکه‌هایی ارائه می‌دهند که نه تنها کارآمد بلکه در برابر شوک‌ها و تنش‌های آینده نیز مقاوم باشند. به کارگیری این نظریه در طراحی شبکه‌های حمل‌ونقل، مهندسان را قادر می‌سازد تا تمرکز خود را از کارایی صرف به سمت ترکیب آن با تاب‌آوری تغییر دهند. با تحلیل توپولوژی شبکه و سناریوهای مختلف اختلال، می‌توان شبکه‌هایی طراحی کرد که در برابر حوادث، عملکرد خود را حفظ کرده و سریع‌تر بهبود یابند. این رویکرد، راه را برای ایجاد سیستم‌های حمل‌ونقل کارآمد، پایدار و مقاوم در برابر شوک‌ها و تنش‌های غیرمنتظره در شهرهای آینده هموار می‌سازد.

متون پیشینه ارائه شده، دربرگیرنده طیف گسترده‌ای از مطالعات داخلی و خارجی در حوزه تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل و شبکه‌های ارتباطی هستند. این پژوهش‌ها به طور کلی به دو محور اصلی تقسیم می‌شوند: سنجش و تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌های موجود در برابر مخاطرات طبیعی و انسان‌ساخت (با تأکید بر جنبه‌های فضایی و ساختاری) و ارائه مدل‌ها و راهبردهای فناورانه و مدیریتی برای ارتقای تاب‌آوری. مطالعات داخلی، عمدتاً بر تحلیل

فضایی و کالبدی آسیب‌پذیری شبکه‌های شهری ایران در برابر سوانح تمرکز کرده‌اند. آزادخانی و همکاران (۱۴۰۱) با مطالعه شهر ایلام، نشان دادند که نزدیک به نیمی از معابر با تاب‌آوری بالا، در معرض مخاطره شدید سیلاب قرار دارند و تأکید کردند که توانمندسازی شبکه فراتر از ساختار، نیازمند توجه به مسائل مدیریتی است. احمدی (۱۴۰۲) در مورد منطقه ۲ تهران، تاب‌آوری معابر شهری را رویکردی چندوجهی در چهار بُعد؛ کالبدی-محیطی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی-مدیریتی معرفی کرد. در تأیید این یافته‌ها، دخت‌بدیع و رحیمی (۱۳۹۷) در مورد منطقه ۲ تهران و اناری و همکاران (۱۳۹۸) در حوزه شرقی تهران، عوامل کالبدی-جمعیتی نظیر: تراکم جمعیتی بالا، فرسودگی، درجه محصوریت و محدودیت دسترسی به مراکز امداد را دلایل اصلی آسیب‌پذیری معابر در برابر زلزله اعلام کردند. همچنین، محمدی ده‌چشمه و همکاران (۱۳۹۸) در اهواز، درجه محصوریت شبکه را به‌عنوان حساس‌ترین شاخص تبیین‌کننده تاب‌آوری معرفی کردند. حکمت‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) نیز در کرج، تفاوت تاب‌آوری خیابان‌های شریانی را بین سوانح طبیعی و حرکت سواره نشان دادند. این تحقیقات، لزوم در نظر گرفتن ملاحظات توپولوژیکی شبکه را تأیید می‌کنند، چنان‌که ژو و همکاران (۲۰۲۳) با تحلیل تطبیقی پنج سیستم مترو، تاب‌آوری را تابعی مستقیم از توپولوژی زیرساختی و رفتار جریان ترافیک دانستند. همچنین گانین و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که شبکه‌های ناکارآمد در شرایط عادی، لزوماً انعطاف‌پذیر نیستند و باید صراحتاً به تاب‌آوری در انتخاب پروژه‌ها توجه شود. بخش دیگر پژوهش‌ها به ارائه راهکارها و مدل‌های مدیریتی و هوشمندسازی برای بهبود تاب‌آوری در برابر اختلالات متمرکز شده‌اند. علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۰) یک الگوی مدیریت راهبردی برای منطقه یک تهران ارائه دادند که بر پنج عامل کلیدی شامل: بهبود ظرفیت سازمانی، مدیریت سیستمی، کاهش مخاطرات، بهره‌گیری از زیرساخت‌ها و استفاده از فن‌آوری اطلاعات تأکید دارد. در سطح جهانی، مطالعات بر نقش حیاتی هوشمندسازی حمل‌ونقل تأکید کرده‌اند؛ فنگ و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که ITS از طریق مدل‌سازی دقیق رفتار مسافران و استفاده از فناوری‌هایی چون بلاکچین و دوقلوهای دیجیتال برای اشتراک‌گذاری امن داده، تاب‌آوری را ارتقا می‌دهد، تا جایی که الگوریتم‌های بهینه‌سازی شده توانسته‌اند سربار ارتباطی را بیش از ۵۰ درصد کاهش دهند. در مواجهه با سیلاب‌ها، سالوو و همکاران (۲۰۲۵) رویکرد داده‌محور ادغام شبیه‌سازی خرد دینامیک با داده‌های بلادرنگ ترافیک را برای تدوین برنامه جامع تحرک اضطراری و تقویت تاب‌آوری شبکه‌های جاده‌ای شهری پیشنهاد کردند. از سوی دیگر، آبنایاک و همکاران (۲۰۲۲) و بورووسکا و همکاران (۲۰۲۴) در تحلیل تأثیر سیل، نشان دادند که تخریب فیزیکی، به تغییرات فضایی متناقض در دسترسی‌پذیری و دگرگونی عملکرد سیستم منجر می‌شود و تأکید کردند که صرفاً مکان‌یابی سیل‌زدگی برای پیش‌بینی دقیق کاهش سرعت کافی نیست. در حوزه مدل‌های بهینه‌سازی، لیو و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل ریاضی ارائه دادند که ارتباط منسجمی بین فعالیت‌های آمادگی و بازیابی با مفهوم انعطاف‌پذیری (تاب‌آوری) در سطح شبکه برقرار می‌کند. در نهایت، گانین و همکاران (۲۰۱۹) آسیب‌پذیری سیستم‌های هوشمند را در تقاطع‌ها

1 Zhu et al

2 Ganin et al

3 Feng et al

4 Salvo et al

5 Abenayake et al

6 Borowska et al

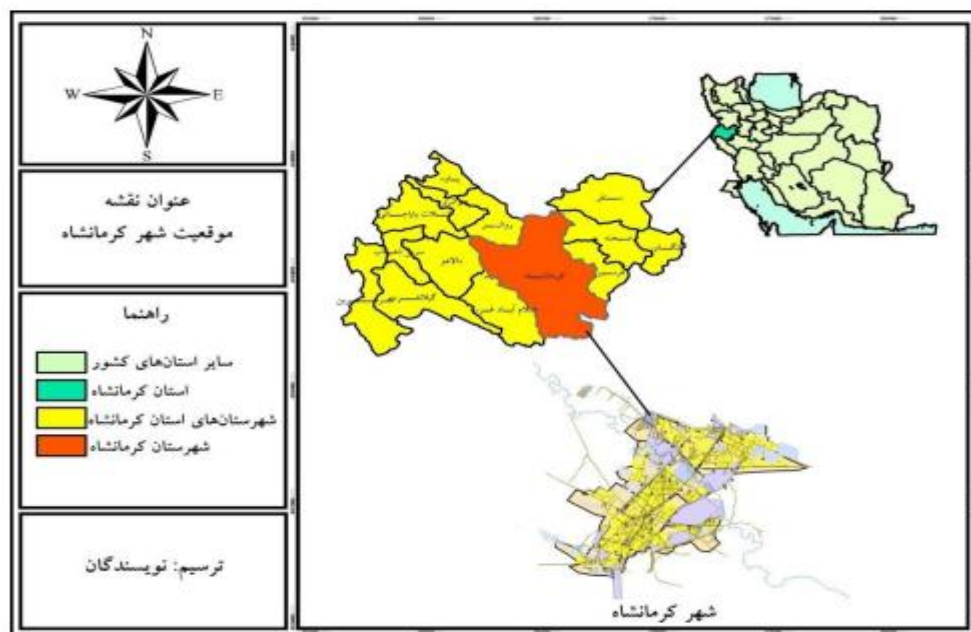
7 Liao et al

8 Ganin et al

بسیار متمرکز دانسته و هشدار دادند که "قفل شدن" علائم ترافیکی مخرب تر از غیرفعال شدن کامل سیگنال ها است و سردار و همکاران (۲۰۲۲) نیز مطالعات آتی را به سمت بررسی تهدیدات نوظهور مانند تغییرات آب و هوا و امنیت سایبری برای توسعه پایدار هدایت کردند.

محدوده مورد مطالعه

کرمانشاه، نهمین کلان شهر ایران و دومین شهر بزرگ و پرجمعیت غرب کشور، در نیمه شرقی استان کرمانشاه و در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. این شهر با ارتفاع متوسط ۱۳۲۰ متر از سطح دریا، از شمال به ارتفاعات طاق بستان و پراو و از جنوب به ارتفاعات کوه سفید محدود می شود. محدوده قانونی شهر با مساحت تقریبی ده هزار هکتار و محدوده تحت مدیریت شهرداری با مساحت ۸۳۸۷ هکتار، شاهد تحولات جمعیتی و کالبدی چشمگیری بوده است به طوری که جمعیت آن از ۱۲۵۴۳۹ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۹۴۶۶۵۱ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته و در نتیجه، جمعیت شهری در بازه زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ بیش از ۵,۷ برابر شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). موقعیت دقیق این محدوده در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل ۳. محدوده مورد مطالعه

ترسیم: نگارندگان

مواد و روش‌ها

الف. روش‌شناسی

پژوهش کاربردی، با رویکرد توصیفی-تحلیلی، به واکاوی پیشران‌های کلیدی تأثیر هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهر کرمانشاه اختصاص یافته است. در گام نخست، ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های این دو متغیر (۲ بُعد، ۱۴ مؤلفه و ۴۶ شاخص) از منابع علمی متعدد استخراج شدند و روایی آن‌ها با موفقیت از طریق روش دلفی توسط گروهی از متخصصان تأیید گردید. جامعه آماری پژوهش حاضر را ۵۰ نفر از کارشناسان و نخبگان متخصص در این حوزه تشکیل دادند که براساس قانون راسکو (مناسب بودن حجم نمونه بین ۳۰ تا ۵۰۰ نفر)، به شیوه نمونه‌گیری گلوله‌برفی انتخاب شدند. سپس، به‌منظور تعیین متغیرهای استراتژیک، یک پرسش‌نامه ماتریس اثرات متقاطع در اختیار نمونه آماری قرار گرفت. در این پرسش‌نامه، متخصصان میزان ارتباط و تأثیر متقابل پیشران‌ها را به‌صورت مقایسه زوجی و براساس طیف صفر تا سه (صفر: بدون تأثیر، یک: ضعیف، دو: متوسط، سه: زیاد) امتیازدهی کردند. تحلیل این داده‌ها به تعیین و تدوین پیشران‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر کلیدی و استراتژیک در زمینه هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی منجر شد و نتایج کامل این شاخص‌ها در قالب یک جدول ارائه شده است.

جدول ۱. شاخص‌های هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی

کد	زیر شاخص	شاخص	بعد
T1	استقرار پارکینگ‌های هوشمند	زیرساختی - فنی (I)	حمل و نقل هوشمند
T2	گسترش زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح شهر		
T3	استفاده از اپلیکیشن‌ها و نرم‌افزارهای قدرتمند در حوزه‌های مختلف		
T4	استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک و سرعت عبور و مرور	ایمنی و امنیت (S)	
T5	سیستم‌های ایمنی و پیشگیری هوشمند تصادفات		
T6	اطلاع‌رسانی هوشمند و لحظه‌ای تغییرات جوی و وضعیت فیزیکی جاده‌ها		
T7	شناسایی مکان‌های مهم و امنیتی و ارائه خدمات ویژه		
T8	یکپارچگی سیستم‌های حمل‌ونقل	مدیریتی (M)	
T9	مدیریت وقایع حوادث و کاهش زمان پاکسازی		
T10	مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی		
T11	تربیت نیروهای متخصص و توانمند در حوزه هوش مصنوعی		
T12	سیستم پرداخت (عوارض کرایه) الکترونیک	اقتصادی (E)	
T13	تقویت شرکت‌های خصوصی برای سرمایه‌گذاری در حوزه شهری		
T14	گرفتن مالیات بیشتر از مصرف‌کنندگان بیشتر با اتکا به محاسبات دقیق و هوشمند		
T15	ایجاد پارکینگ‌های طبقاتی در مکان‌های مناسب	کالبدی (P)	
T16	چراغ‌های هوشمند راهنمایی و رانندگی		
T17	طراحی هوشمند خیابان‌ها با لحاظ طراحی محله و خیابان انسان‌محور		
T18	استفاده از سیستم هوشمند اطلاع‌رسانی وضعیت جاده‌ها پیش و حین سفر	ارتباطی و اطلاع‌رسانی (C)	
T19	سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی		
T20	اطلاع‌رسانی به بخش خصوصی در خصوص منافع سرمایه‌گذاری در بخش حمل‌ونقل هوشمند		
T21	مسیریابی هوشمند ماشین‌ها و کاهش مصرف انرژی	زیست‌محیطی (En)	
T22	تولید و به‌کارگیری اتومبیل‌های هوشمند بوم‌گرا با سوخت خورشیدی با هیدروژنی		

T23	آموزش شهروندان برای استفاده از وسایل حمل و نقل هوشمند به خصوص پارکینگ هوشمند	اجتماعی - فرهنگی (S0)	تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی
T24	تقویت تعاملات کاربران در سیستم حمل و نقل هوشمند		
T25	مشارکت شهروندان در فرایندهای برنامه‌ریزی حمل و نقل هوشمند		
R1	ترافیک کم‌سواره	تاب‌آوری حرکت سواره (Rr)	
R2	کاهش تعداد تصادفات		
R3	طراحی مناسب خیابان		
R4	طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی	تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه سواران (Rp)	
R5	در نظر گرفتن خط مشی عابر پیاده		
R6	در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین		
R7	ایجاد و توسعه پیاده‌رو در مسیرهای پر تردد		
R8	آرام‌سازی ترافیک		
R9	نزدیکی به مراکز حیاتی	تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی (Rs)	
R10	دوری از مکان‌های خطرناک		
R11	عرض مناسب و مستقیم بودن خیابان		
R12	جدار مناسب خیابان		
R13	پایین بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی		
R14	محصوریت کم		
R15	در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امداد رسانی		
R16	افزایش نظارت طبیعی	تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم (Ra)	
R17	افزایش حضور نیروهای پلیس		
R18	تأمین روشنایی خیابان‌ها		
R19	تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها	تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب- وهوایی (RC)	
R20	در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف		
R21	درختکاری		

منبع: (Li et al, 2023, Bellini et al, 2021, Auld et al, 2017, Bellini et al, 2017, Faturechi & Miller-Hooks, 2015)

نرم افزار میک‌مک (ابزاری برای انجام محاسبات پیچیده ماتریس اثرات متقاطع است که جهت تحلیل ساختاری یک سیستم طراحی شده است. روش کار این نرم افزار به این صورت است که ابتدا متغیرها و مؤلفه‌های کلیدی مرتبط با یک حوزه، شناسایی شده و در یک ماتریس $N \times N$ وارد می‌شوند. در این ماتریس، متغیرهای سطرها (به عنوان تأثیرگذار) بر متغیرهای ستون‌ها (به عنوان تأثیرپذیر) اثر می‌گذارند و میزان ارتباط آن‌ها توسط خبرگان با مقیاس صفر تا سه (از "بدون تأثیر" تا "تأثیر زیاد") سنجیده می‌شود. تحلیل این ماتریس امکان توصیف همه مؤلفه‌های اصلی سیستم و آشکارسازی متغیرهای کلیدی و استراتژیک را فراهم می‌کند که برای ارزیابی و برنامه‌ریزی در سیستم مورد نظر حیاتی هستند. (حسینی سیاه‌گلی و همکاران، ۱۴۰۲).

ب. یافته‌های پژوهش (تجزیه و تحلیل داده‌ها)

شناخت وضعیت آینده نقش هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، یک ضرورت حیاتی برای رسیدن به آینده مطلوب شهری است. این مهم، استفاده از شیوه‌های نوین و کارآمدی نظیر رویکرد آینده‌نگاری را الزامی می‌سازد. در واقع رویکرد آینده‌نگاری با تحلیل عمیق ظرفیت‌ها، چالش‌ها و مسائل پیش‌رو، به

تدوین راهکارها و روش‌های بهتر برای این حوزه کمک می‌کند. در این راستا، پژوهش حاضر با اتکا به همین رویکرد، در گام نخست و با استفاده از پیشینه نظری و تکنیک دلفی متخصصین (مصاحبه با کارشناسان خبره)، توانسته است ۴۶ متغیر تأثیرگذار کلیدی را شناسایی و استخراج کند. این متغیرها، که شامل دو بخش هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی هستند، پایه اصلی تحلیل‌های ساختارمند بعدی برای مدیریت پیچیدگی‌های این موضوع چندوجهی را تشکیل می‌دهند. پس از شناسایی این ۴۶ متغیر اولیه تأثیرگذار، پژوهش با بهره‌گیری از تکنیک قدرتمند تحلیل اثرات متقاطع (MICMAC) و با استفاده از دیدگاه‌های اساتید برجسته برنامه‌ریزی شهری، حمل‌ونقل شهری و مدیریت بحران، به ارزیابی ساختاری و شناسایی پیشران‌های کلیدی پرداخته است. اجرای این تکنیک با تشکیل ماتریس اولیه 46×46 و وارد کردن اوزان حاصل از نظرات کارشناسان و مدیران شهری در نرم‌افزار مربوطه صورت گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل میک‌مک، حکایت از یک شبکه پیچیده و درهم‌تنیده تأثیرات متقابل دارد به گونه‌ای که شاخص پرشدگی در حدود ۷۳ درصد به دست آمده که نشان‌دهنده وابستگی و تأثیرگذاری بالای متغیرها بر یکدیگر است. در مجموع، ۱۵۴۸ حالت از کل روابط بین روندها دارای ارزش اثرات متقاطع بوده‌اند که از این میان، ۵۶۸ رابطه بدون تأثیر (ارزش صفر)، ۴۲۰ رابطه با تأثیر ضعیف (ارزش ۱)، ۶۴۰ رابطه با تأثیر متوسط (ارزش ۲) و در نهایت ۴۸۸ رابطه با تأثیرگذاری قوی (ارزش ۳) شناسایی شده‌اند. این توزیع روابط، قدرت تعاملی و پویایی سیستم مورد بررسی را به وضوح نمایش می‌دهد. اعتبار و روایی بالای ابزار پژوهش (پرسش‌نامه) نیز با دستیابی به مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۱۰۰ درصدی ماتریس در دو مرحله چرخش داده‌ای و براساس شاخص‌های آماری، به تأیید نهایی رسیده است و بدین ترتیب، اطمینان لازم برای اتکا به عوامل کلیدی شناسایی شده جهت ترسیم آینده تاب‌آورانه حاصل شده است.

جدول (۲). ویژگی‌های تأثیرات مستقیم

مقدار	شاخص	مقدار	شاخص
۵۶۸	تعداد صفرها (بدون تأثیر)	۴۶	ابعاد ماتریس
۴۲۰	تعداد یک‌ها (تأثیر ضعیف)	۲	تعداد تکرار
۶۴۰	تعداد دوها (تأثیر متوسط)	۹۷٪	تأثیرگذاری چرخش اول
۴۸۸	تعداد سه‌ها (تأثیر زیاد)	۱۰۱٪	تأثیرپذیری چرخش اول
۱۵۴۸	مجموع	۱۰۰٪	تأثیرگذاری چرخش دوم
۷۳,۱۵۶۹٪	میزان پرشدگی خانه‌ها	۱۰۰٪	تأثیرپذیری چرخش دوم

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

براساس تجزیه و تحلیل‌های حاصل از نرم‌افزار میک‌مک بر پایه تحلیل اثرات متقاطع، روندهای موجود که براساس نوع تأثیرگذاری در صفحه پراکندگی، به نواحی مختلفی تقسیم شده است، توزیع شده‌اند. به طوری که ۴۶ روند مورد مطالعه را می‌توان براساس صفحه پراکندگی سیستم را در سیستم شناسایی و همه روندهای ذکر شده را طبقه‌بندی کرد. به طور کلی صفحه پراکندگی شامل دو سیستم پایدار و ناپایدار می‌باشد که به صورت زیر متغیرها دسته‌بندی می‌شوند:

سیستم‌های پایدار: متغیرهای بسیار تأثیرگذار بر سیستم (عوامل کلیدی)، متغیرهای مستقل، متغیرهای خروجی سیستم (متغیرهای نتیجه). سیستم‌های ناپایدار: متغیرهای تعیین‌کننده یا تأثیرگذار، متغیرهای دو وجهی، متغیرهای تأثیرپذیر، متغیرهای مستقل و متغیرهای تنظیم.

- متغیرهای تأثیرگذار: براساس تحلیل میک‌مک (MICMAC) و نتایج ماتریس اثرات متقاطع (MDI و MII)، متغیرهایی که در ناحیه تأثیرگذار کل سیستم قرار دارند به‌عنوان عوامل کلیدی (پیشران‌ها) شناخته می‌شوند و بیشترین تأثیر را بر نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی دارند. این عوامل عمدتاً از میان شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی و محیطی هستند به‌طوری‌که در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف (با امتیاز خالص ۱۸۰)، طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری (۱۳۹) و محصوریت کم (۱۳۹) از بالاترین شدت تأثیرگذاری برخوردارند. در مقابل، متغیرهای مرتبط با هوشمندسازی، نظیر: سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی (۳)، تقویت شرکت‌های خصوصی (۱۹) و استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک (۲۶)، دارای کمترین تأثیرگذاری خالص بوده و در این سیستم بیشتر نقش عوامل تأثیرپذیر یا وابسته را ایفا می‌کنند.

جدول (۳). اثرات متقاطع متغیرهای تأثیرگذار براساس ماتریس MDI و MII

شاخص‌ها	نماد	زیر شاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص	رتبه
تاب‌آوری	R1	ترافیک کم‌سواره	۲۴۳	۱۳۲	۱۱۱	۴
حرکت سواره	R3	طراحی مناسب خیابان	۲۴۳	۱۱۳	۱۳۰	۳
تاب‌آوری	R4	طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی	۳۲۸	۱۸۹	۱۳۹	۲
عابران پیاده و	R7	ایجاد و توسعه پیاده‌رو در مسیرهای پرتردد	۲۷۴	۱۷۶	۹۸	۵
دوچرخه سواران	R8	آرام‌سازی ترافیک	۲۲۴	۱۹۲	۳۲	۱۴
تاب‌آوری	R11	عرض مناسب و مستقیم‌بودن خیابان	۲۵۲	۱۸۶	۶۶	۸
خیابان در برابر سوانح طبیعی	R12	جدار مناسب خیابان	۲۳۳	۱۵۴	۷۹	۷
	R13	پایین‌بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی	۲۲۱	۱۷۶	۴۵	۱۰
	R14	محصوریت کم	۲۶۲	۱۲۳	۱۳۹	۲
	R15	در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امداد رسانی	۲۱۸	۱۷۶	۴۲	۱۲
تاب‌آوری شهروندان	R17	افزایش حضور نیروهای پلیس	۲۴۶	۲۰۲	۴۴	۱۱
تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب-وهوایی	R19	تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها	۲۴۶	۱۸۳	۶۳	۹
	R20	در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف	۳۰۹	۱۲۹	۱۸۰	۱
	R21	درختکاری	۲۹۰	۲۰۸	۸۲	۶
ایمنی و امنیت	T4	استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک و سرعت عبور	۲۳۷	۲۱۱	۲۶	۱۶
اقتصادی	T13	تقویت شرکت‌های خصوصی	۲۴۳	۲۲۴	۱۹	۱۷
ارتباطی و اطلاع‌رسانی	T19	سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی	۲۲۴	۲۲۱	۳	۱۸
	T20	اطلاع‌رسانی به بخش خصوصی در خصوص منافع سرمایه‌گذاری	۲۴۹	۲۲۱	۲۸	۱۵
زیست‌محیطی	T21	مسیریابی هوشمند ماشین‌ها و کاهش مصرف انرژی	۲۵۶	۲۲۱	۳۵	۱۳

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیرهای دوجبهی: این متغیرها که در قسمت شمال شرقی نقشه پراکندگی قرار گرفته‌اند، متغیرهایی هستند که هم‌زمان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بالایی دارند و در افق مطالعاتی نقش چشمگیری ایفا می‌کنند. تحلیل اثرات متقاطع نشان می‌دهد که در این گروه، عواملی چون: خط مشی عابر پیاده، آموزش شهروندان برای استفاده از وسایل حمل‌ونقل هوشمند و مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی با خالص اثرگذاری ۱۶، ۱۵ و ۱۲ دارای بیشترین شدت اثرگذاری مستقیم و نقش پیشران هستند. در مقابل، شاخص‌هایی نظیر: استقرار پارکینگ‌های هوشمند و تقویت تعاملات کاربران با خالص اثرگذاری ۱۱۳- و ۱۱۰-، دارای کمترین اثرگذاری خالص بوده و در این شبکه به‌عنوان متغیرهای تأثیرپذیر (وابسته) اصلی عمل می‌کنند. این نتایج نشان می‌دهد که تقویت جنبه‌های انسانی و مدیریتی هوشمندسازی (مانند آموزش و مدیریت عمومی) در کنار تمرکز بر حقوق عابر پیاده، بیش از سرمایه‌گذاری صرف بر زیرساخت‌های فنی مانند پارکینگ‌های هوشمند، بر پویایی و تاب‌آوری سیستم مؤثر است.

جدول (۴). اثرات متقاطع متغیرهای دوجبهی بر اساس ماتریس MDI و MII

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص	رتبه
زیرساختی - فنی	T1	استقرار پارکینگ‌های هوشمند	۲۴۰	۳۵۳	-۱۱۳	۸
	T2	گسترش زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح شهر	۲۵۲	۲۹۷	-۴۵	۵
ایمنی و امنیت	T5	سیستم‌های ایمنی و پیشگیری هوشمند تصادفات	۲۷۱	۳۲۲	-۵۱	۶
مدیریتی	T10	مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی	۲۵۲	۲۴۰	۱۲	۳
کالبدی	T16	چراغ‌های هوشمند راهنمایی و رانندگی	۲۳۳	۲۳۳	۰	۴
اجتماعی - فرهنگی	T23	آموزش شهروندان برای استفاده از وسایل حمل‌ونقل هوشمند	۲۷۱	۲۵۶	۱۵	۲
	T24	تقویت تعاملات کاربران در سیستم حمل‌ونقل هوشمند	۲۱۸	۳۲۸	-۱۱۰	۷
تاب‌آوری عابران پیاده	R5	در نظر گرفتن خط مشی عابر پیاده	۲۸۱	۲۶۵	۱۶	۱

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیرهای تنظیمی: این نوع متغیرها در ناحیه مرکزی نقشه پراکندگی قرار دارند و نقش اصلی آن‌ها تنظیم روابط و ایجاد تعادل فضایی بین سایر متغیرها برای تضمین کارآمدی هوشمندسازی حمل‌ونقل بر تاب‌آوری شبکه‌ها است. با این حال، تحلیل اثرات متقاطع نشان می‌دهد که تمام این شاخص‌ها دارای امتیاز خالص منفی هستند و بیشتر نقش تأثیرپذیر (وابسته) را ایفا می‌کنند تا پیشران. در میان این عوامل، شاخص‌های کالبدی-زیست‌محیطی، مانند دوری از مکان‌های خطرزا (R10) با کمترین امتیاز منفی (۲۲-)، بهترین عملکرد را داشته و نزدیک‌ترین حالت به تعادل را دارند. در مقابل، سیستم پرداخت الکترونیک (T12) با بالاترین امتیاز خالص منفی (۵۷-)، بیشترین وابستگی و تأثیرپذیری را از تغییرات کل سیستم دارا است. این نتایج حاکی از آن است که بهبود تاب‌آوری، از طریق عوامل تنظیمی، نیازمند تمرکز بر شاخص‌های با وابستگی کمتر مانند دوری از خطرات است.

جدول (۵). اثرات متقاطع متغیرهای تنظیمی براساس ماتریس MDI و MII

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص مستقیم	رتبه
زیرساختی - فنی	T3	استفاده از اپلیکیشن‌ها و نرم‌افزارهای قدرتمند در حوزه‌های مختلف	۲۱۱	۲۵۲	-۴۱	۴
اقتصادی	T12	سیستم پرداخت (عوارض کرایه) الکترونیک	۱۹۹	۲۵۶	-۵۷	۵
کالبدی	T15	ایجاد پارکینگ‌های طبقاتی در مکان‌های مناسب	۲۰۵	۲۳۰	-۲۵	۲
زیست‌محیطی	T22	تولید و به‌کارگیری اتومبیل‌های هوشمند بوم‌گرا با سوخت خورشیدی	۲۱۱	۲۴۳	-۳۲	۳
تاب‌آوری خیابان	R10	دوری از مکان‌های خطرناک	۱۹۲	۲۱۴	-۲۲	۱

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیرهای تأثیرپذیر: این متغیرها در ناحیه سوم و در قسمت جنوب شرقی واقع شده‌اند. متغیرهای تأثیرپذیری دارای اثرپذیری زیاد و اثرگذاری کم می‌باشند. به عبارتی بیشتر تأثیرپذیر هستند تا تأثیرگذار. براساس تحلیل (جدول ۶) متغیرهای تأثیرپذیر، تمامی شاخص‌ها دارای امتیاز خالص منفی بالایی هستند که نشان‌دهنده وابستگی شدید این عوامل به کل سیستم و نقش آن‌ها به عنوان نتایج خروجی است. در این میان، شاخص تربیت نیروهای متخصص بیشترین تأثیرپذیری خالص (-۶۶) را نشان می‌دهد، در حالی که شاخص‌های شناسایی مکان‌های امنیتی و اطلاع‌رسانی وضعیت جاده‌ها با کمترین امتیاز منفی (-۱۹۳ و -۱۷۴) کمترین میزان تأثیرپذیری را دارا می‌باشند.

جدول (۶). اثرات متقاطع متغیرهای تأثیرپذیر براساس ماتریس MDI و MII

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص	رتبه
ایمنی و امنیت	T6	اطلاع‌رسانی هوشمند و لحظه‌ای تغییرات جوی	۲۰۸	۳۲۸	-۱۲۰	۳
	T7	شناسایی مکان‌های مهم و امنیتی و ارائه خدمات ویژه	۹۱	۲۸۴	-۱۹۳	۶
مدیریتی	T11	تربیت نیروهای متخصص در حوزه هوش مصنوعی	۱۸۳	۲۴۹	-۶۶	۱
کالبدی	T17	طراحی هوشمند خیابان‌ها با لحاظ طراحی محله و خیابان	۱۸۹	۲۶۵	-۷۶	۲
ارتباطی و اطلاع‌رسانی	T18	استفاده از سیستم هوشمند اطلاع‌رسانی وضعیت جاده‌ها	۹۱	۲۶۵	-۱۷۴	۵
تاب‌آوری شهروندان	R16	افزایش نظارت طبیعی	۱۳۵	۲۵۹	-۱۲۴	۴

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

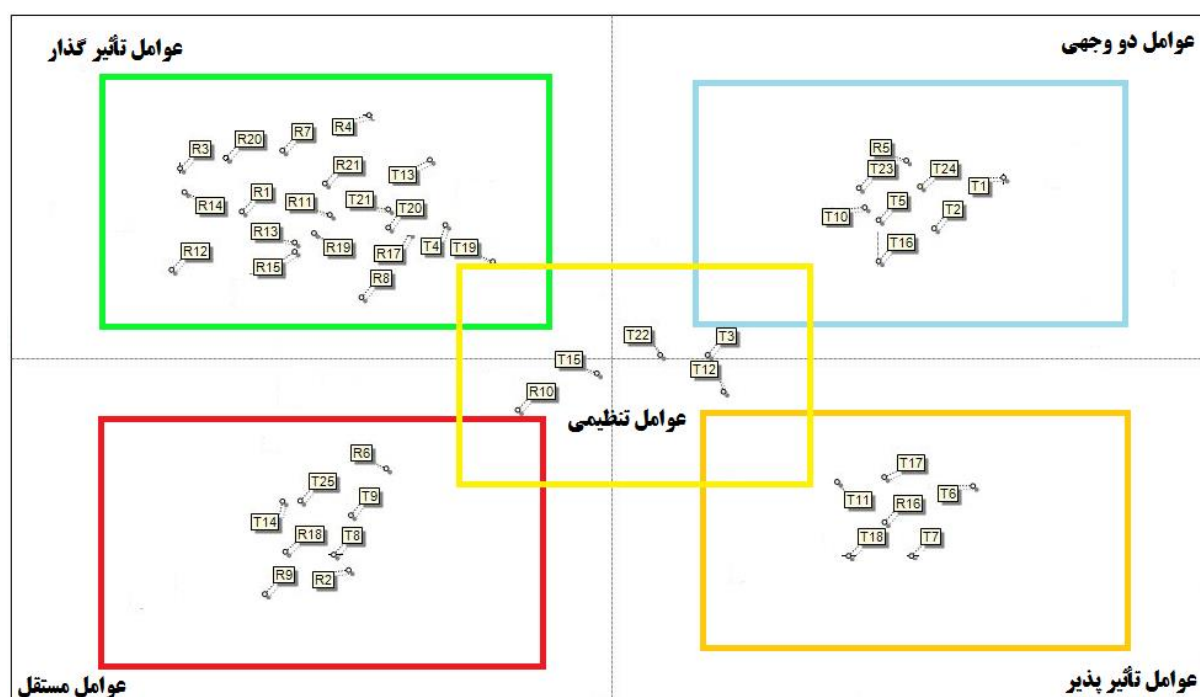
متغیرهای مستقل: در ناحیه جنوب غربی نقشه پراکندگی قرار دارند و به طور کلی میزان اثرگذاری و اثرپذیری پایینی در شبکه هوشمندسازی حمل و نقل و تاب‌آوری دارند. براساس تحلیل اثرات متقاطع، تنها سه شاخص؛ گرفتن مالیات بیشتر از مصرف‌کنندگان بیشتر، مشارکت شهروندان در فرایندهای حمل و نقل و مدیریت وقایع حوادث و کاهش زمان پاکسازی به ترتیب با امتیازهای خالص ۳۲، ۹ و ۶ دارای امتیاز خالص مثبت بوده و به عنوان عوامل مستقل تأثیرگذار عمل می‌کنند. در مقابل، سایر شاخص‌ها مانند: یکپارچگی سیستم‌های حمل و نقل و کاهش تعداد تصادفات، با امتیاز خالص ۹۲- و ۵۱- در این گروه بیشترین نقش تأثیرپذیری و وابستگی را از خود نشان می‌دهند.

جدول (۷). اثرات متقاطع متغیرهای مستقل براساس ماتریس MDI و MII

شاخص‌ها	نماد	زیرشاخص‌ها	تأثیرگذار	تأثیرپذیر	خالص مستقیم	رتبه
تاب‌آوری حرکت سواره	R2	کاهش تعداد تصادفات	۱۲۹	۱۸۰	-۵۱	۷
تاب‌آوری عابران پیاده	R6	در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین	۱۹۵	۲۱۱	-۱۶	۵
تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح	R9	نزدیکی به مراکز حیاتی	۱۲۶	۱۳۹	-۱۳	۴
تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم	R18	تأمین روشنایی خیابان‌ها	۱۳۵	۱۶۷	-۳۲	۶
مدیریتی	T8	یکپارچگی سیستم‌های حمل‌ونقل	۹۱	۱۸۳	-۹۳	۸
	T9	مدیریت وقایع حوادث و کاهش زمان پاکسازی	۱۸۹	۱۸۳	۶	۳
اقتصادی	T14	گرفتن مالیات بیشتر از مصرف‌کنندگان بیشتر	۲۰۵	۱۷۳	۳۲	۱
اجتماعی - فرهنگی	T25	مشارکت شهروندان در فرآیندهای حمل‌ونقل	۱۷۳	۱۶۴	۹	۲

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

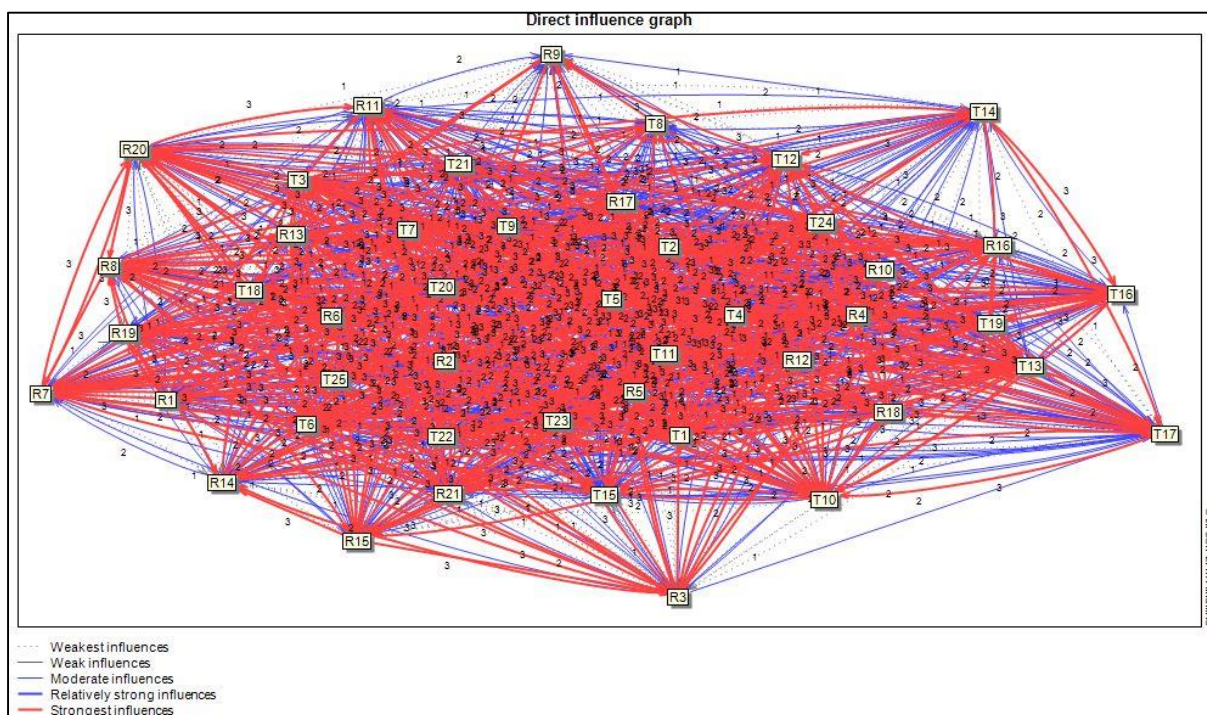
در روش تحلیل تأثیرات متقاطع، اگر پراکنش متغیرها به صورت L باشد، نشان‌دهنده پایداری سیستم است، این به آن معنی است که برخی از متغیرها از میزان تأثیرگذاری بالا و برخی دیگر نیز از میزان تأثیرپذیری بالا برخوردار هستند. در این سیستم، جایگاه و نقش هر یک از این عوامل کاملاً مشخص و قابل بیان است اما اگر پراکنش متغیرها، حول محور قطری پلان باشد نشان‌دهنده ناپایداری سیستم است. این سیستم‌ها به مراتب پیچیده‌تر از سیستم‌های پایدار هستند و متغیرهای در اکثر مواقع حالت بینابینی از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری را نشان می‌دهند که ارزیابی و شناسایی عوامل کلیدی را با مشکل مواجه می‌سازد. در واقع می‌توان گفت نحوه پراکنش متغیرها در صفحه پراکندگی، پایداری و ناپایداری سیستم را بیان می‌کند.



شکل (۴). نمودار پراکنش متغیرها در محور تأثیرگذاری - تأثیرپذیری براساس تأثیرات مستقیم

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

نتایج کلی حاصل از متغیرهای تنظیمی، تأثیرگذاری، دوجویی و غیره در شکل (۴) نشان داده شده است. روابط فضایی شکل گرفته در نقش هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری بر تاب آوری شبکه های ارتباطی، گویای آن است که متغیرهای مستقیم در پوشش ۱۰۰ درصد شامل: شاخص های مانند ترافیک کم سواره، طراحی مناسب خیابان، طراحی مسیر ویژه دوچرخه سواری در خیابان های اصلی، ایجاد و توسعه پیاده رو در مسیرهای پرتردد، آرام سازی ترافیک، عرض مناسب و مستقیم بودن خیابان، جدار مناسب خیابان، پایین بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی، محصوریت کم، در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امداد رسانی، افزایش حضور نیروهای پلیس، تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان ها، در نظر گرفتن پیاده روهای مسقف، درختکاری، استفاده از هوش مصنوعی در کنترل ترافیک و سرعت عبور، تقویت شرکت های خصوصی، سیستم های هوشمند اطلاع رسانی جوی، اطلاع رسانی به بخش خصوصی در خصوص منافع سرمایه گذاری، مسیریابی هوشمند ماشین ها و کاهش مصرف انرژی جزء مهم ترین متغیرهای تأثیرگذاری تشکیل دهنده هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری بر تاب آوری شبکه های ارتباطی در شهر کرمانشاه هستند. همچنین با توجه به این نتایج می توان گفت که با توجه به پوشش ۱۰۰ درصدی، شاخص های هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری بیشترین تأثیر را بر تحقق تاب آوری شبکه های ارتباطی می گذارد.

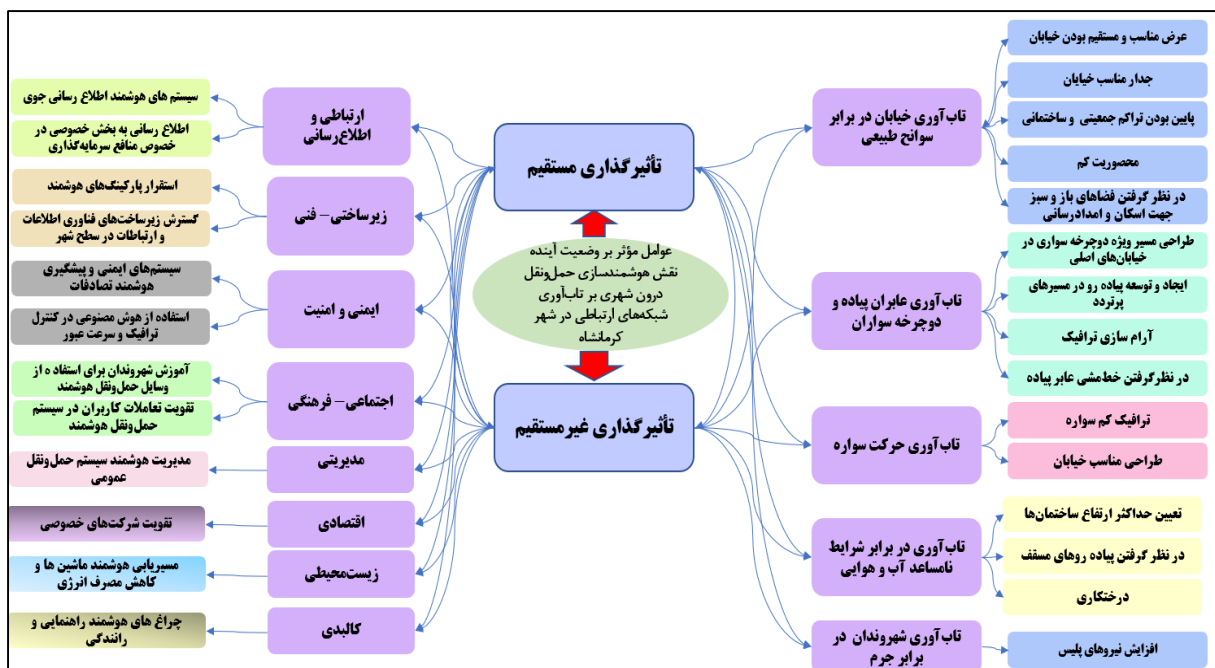


شکل ۵. تأثیرگذاری مستقیم متغیرها با پوشش ۱۰۰ درصد و روابط بین آنها

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

نمودار اثرگذاری مستقیم که شامل ۴۶ متغیر از هوشمندسازی حمل و نقل و تاب آوری شبکه های ارتباطی است، یک شبکه بسیار متراکم و درهم تنیده را نشان می دهد که مؤید تأثیرگذاری متقابل بسیار بالای عوامل بر یکدیگر است (شاخص پرشدگی بالا). این نمودار بصری، پیچیدگی و پویایی سیستم مورد مطالعه را تأیید می کند به طوری که تقریباً تمام متغیرها توسط خطوط قرمز (قوی ترین تأثیرات) و آبی (تأثیرات نسبتاً قوی) به هم متصل شده اند. نقاط

تمرکز قوی‌ترین تأثیرات (خطوط ضخیم قرمز با برجسب ۳) غالباً در اطراف عوامل تاب‌آوری مانند: در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف (R20)، طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری (R4)، ایجاد و توسعه پیاده‌رو (R7) و طراحی مناسب خیابان (R3) مشاهده می‌شود. این تراکم بالای ارتباطات و غالب بودن خطوط قرمز و آبی، نشان‌دهنده آن است که هیچ عاملی در سیستم ایزوله نیست و هرگونه مداخله‌ای در یک متغیر (چه هوشمندسازی و چه تاب‌آوری) به سرعت می‌تواند بر کل شبکه شهری تأثیر بگذارد و تأثیرگذاری‌های ساختاری قوی اغلب به سمت عناصر کالبدی و محیطی تاب‌آوری هدایت می‌شوند.



شکل (۶). عوامل مؤثر بر وضعیت آینده نقش هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در شهر کرمانشاه (منبع: نگارنده، ۱۴۰۴)

با توجه به نتایج، هم‌پوشانی متغیرهای مستقیم و غیرمستقیم در پژوهش نشان داد که ۲۷ عامل کلیدی مؤثر بر وضعیت آینده نقش هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شناخته شده است. همان‌گونه که در شکل (۶)، نمایش داده شده است، این ۲۷ عامل شامل: ترافیک کم‌سواره، طراحی مناسب خیابان، طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی، ایجاد و توسعه پیاده‌رو در مسیرهای پرتردد، آرام‌سازی ترافیک، عرض مناسب و مستقیم بودن خیابان، پایین بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی، در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امداد رسانی، افزایش حضور نیروهای پلیس، تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها، در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف، درختکاری، ترافیک و سرعت عبور، تقویت شرکت‌های خصوصی، سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی جوی، اطلاع‌رسانی به بخش خصوصی در خصوص منافع سرمایه‌گذاری، مسیریابی هوشمند ماشین‌ها و کاهش مصرف انرژی، استقرار پارکینگ‌های هوشمند، گسترش زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح شهر، سیستم‌های ایمنی و پیشگیری هوشمند تصادفات، مدیریت هوشمند سیستم حمل و نقل عمومی، چراغ‌های هوشمند راهنمایی و رانندگی،

آموزش شهروندان، تقویت تعاملات کاربران در سیستم حمل و نقل هوشمند و در نظر گرفتن خط مشی عابر پیاده می باشد. در ادامه به رتبه بندی میزان اثرگذاری مستقیم متغیرها بر یکدیگر به تفکیک تأثیرپذیری و تأثیرگذاری پرداخته شده است.

جدول (۸). رتبه بندی میزان اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر به تفکیک تأثیرپذیری و تأثیرگذاری

رتبه	تأثیر مستقیم عوامل نسبت به یکدیگر				تأثیرات غیرمستقیم عوامل بر یکدیگر			
	شاخص	میزان تأثیرگذاری	شاخص	میزان تأثیرپذیری	شاخص	میزان تأثیرگذاری	شاخص	میزان تأثیرپذیری
1	R4	328	T1	353	R4	327	T1	348
2	R20	309	T6	328	R20	303	T24	328
3	R21	290	T24	328	R21	289	T5	322
4	R5	281	T5	322	R5	283	T6	319
5	R7	274	T2	297	T5	275	T2	302
6	T5	271	T7	284	T23	270	T7	291
7	T23	271	T17	265	R7	265	R5	272
8	R14	262	T18	265	R14	262	T18	269
9	T21	256	R5	265	T21	259	R16	268
10	T2	252	R16	259	T10	256	T3	264
11	T10	252	T12	256	R19	253	T17	263
12	R11	252	T23	256	R17	253	T11	262
13	T20	249	T3	252	T20	253	T12	259
14	R17	246	T11	249	R11	253	T10	251
15	R19	246	T22	243	R3	250	T22	246
16	T13	243	T10	240	T2	247	T23	246
17	R1	243	T16	233	R1	247	T16	238
18	R3	243	T15	230	T1	236	T4	234
19	T1	240	T13	224	T13	234	T15	228
20	T4	237	T19	221	R12	234	T13	227
21	T16	233	T20	221	R8	232	T20	222
22	R12	233	T21	221	T16	230	T19	221
23	T19	224	R10	214	T19	228	R10	213
24	R8	224	T4	211	T4	225	R21	212
25	R13	221	R6	211	T24	220	R6	211
26	T24	218	R21	208	R15	218	T21	210
27	R15	218	R17	202	T3	216	R17	205

(منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)

جدول رتبه بندی اثرگذاری متقابل (جدول ۸)، که متغیرها را براساس میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مستقیم و غیرمستقیم تفکیک کرده است، به وضوح نشان می دهد که عوامل تاب آوری (R)، به ویژه زیرشاخه های مرتبط با عابران

پیاده و محیط، نقش پیشران‌های اصلی (عوامل تأثیرگذار) سیستم هوشمندسازی حمل‌ونقل و تاب‌آوری شبکه‌ها را ایفا می‌کنند. در بخش تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم، طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری (R4)، در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف (R20) و درختکاری (R21) همواره در سه رتبه برتر قرار دارند و به ترتیب با بالاترین امتیازها، بیشترین نیروی پیش‌برنده را در شبکه اعمال می‌کنند. این امر تأکید دارد که اقدامات کالبدی و محیطی تاب‌آوری، از نظر ساختاری، مهم‌ترین منبع ایجاد تغییر در سیستم هستند. در مقابل، در بخش تأثیرپذیری مستقیم و غیرمستقیم، شاخص‌های مرتبط با حمل‌ونقل هوشمند (T)، به ویژه در ابعاد زیرساختی-فنی و اجتماعی، صدرنشین هستند. استقرار پارکینگ‌های هوشمند (T1) با بالاترین امتیاز تأثیرپذیری در هر دو حالت و شاخص‌هایی مانند: اطلاع‌رسانی جوی (T6) و تقویت تعاملات کاربران (T24)، بیشترین میزان تأثیرپذیری را از کل سیستم نشان می‌دهند. این الگوی غالب (Rها تأثیرگذار و Tها تأثیرپذیر)، نه تنها در روابط مستقیم بلکه در روابط بلندمدت و غیرمستقیم نیز تکرار می‌شود و تأیید می‌کند که هوشمندسازی (T) در این سیستم، عمدتاً نقش متغیرهای وابسته یا نتیجه را ایفا می‌کند که موفقیت آن‌ها متأثر از تقویت ریشه‌ای زیرساخت‌های تاب‌آوری (R) است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف حیاتی شناسایی پیشران‌های تأثیرگذار بر آینده نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل درون‌شهری بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی انجام شده است. در گام نخست، با مرور جامع ادبیات و استفاده از تکنیک دلفی، ۴۶ مؤلفه کلیدی در ۲ بُعد و ۱۴ شاخص شناسایی شد. سپس، با به کارگیری تکنیک قدرتمند تحلیل اثرات متقاطع (MICMAC) و تشکیل ماتریس 46×46 ، ساختار پیچیده روابط میان متغیرها مورد ارزیابی قرار گرفت به طوری که شاخص پرشدگی ۷۳ درصدی، وابستگی متقابل شدید متغیرها و پیچیدگی سیستم را تأیید می‌کند. از مجموع ۱۵۴۸ رابطه شناسایی شده، ۴۸۸ رابطه دارای تأثیرگذاری قوی (ارزش ۳) بودند. براساس تحلیل‌های میک‌مک، متغیرهای مورد مطالعه به ۵ دسته اصلی (تأثیرگذار، دوجبهی، مستقل، تنظیمی، و تأثیرپذیر) تقسیم شدند. در نهایت، ۲۷ عامل از میان ۴۶ عامل اولیه به عنوان پیشران‌های اصلی و حیاتی برای شهر کرمانشاه شناسایی شدند که دارای بالاترین وزن و اهمیت در توسعه مطلوب و کارآمد آینده تاب‌آورانه هستند. ۲۷ پیشران کلیدی شناسایی شده که ترکیبی از شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی-محیطی، مدیریت هوشمند و زیرساخت‌های فناوری می‌باشند، مسیرهای اصلی توسعه را مشخص می‌کنند. این پیشران‌ها، از جمله در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف، طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری، مدیریت هوشمند سیستم حمل‌ونقل عمومی و آموزش شهروندان، در هر دو حالت تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم، بالاترین توان ایجاد تغییر را در شبکه دارا می‌باشند. اهمیت بسیار بالای این عوامل نشان می‌دهد که موفقیت در نقش هوشمندسازی بر تاب‌آوری، بیش از هر چیز، به اولویت‌دهی و سرمایه‌گذاری متوازن بر این ۲۷ عامل کلیدی بستگی دارد؛ بنابراین، مدیران و مسئولین امر باید توجه خود را به این پیشران‌های حیاتی معطوف دارند تا بتوانند شرایط توسعه مطلوب و کارآمد برای تضمین آینده تاب‌آور شبکه‌های ارتباطی را در شهر کرمانشاه فراهم سازند. یافته‌های این پژوهش با بخش اعظم مطالعات داخلی و جهانی در زمینه تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل همسو است. نتایج تحلیل اثرات متقاطع و رتبه‌بندی‌های حاصل از آن که عوامل تاب‌آوری کالبدی و محیطی مانند طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری، پیاده‌روهای مسقف و درختکاری را به عنوان پیشران‌های اصلی و تأثیرگذارترین عوامل شبکه معرفی می‌کند، کاملاً با یافته‌های داخلی هم‌خوانی دارد. این نتایج تأییدی است بر تأکید

پژوهشگران داخلی (مانند محمدی ده‌چشمه و همکاران، حکمت‌نیا و همکاران و اناری و همکاران) مبنی بر اهمیت بالای عوامل کالبدی-جمعیتی، توپولوژیکی و درجهٔ محصوریت شبکه در تعیین تاب‌آوری در برابر سوانح. به‌علاوه، شناسایی ۲۷ عامل کلیدی که ترکیبی از ابعاد کالبدی، مدیریتی و هوشمندسازی هستند، نیز با رویکرد چندوجهی تاب‌آوری (مانند احمدی و علی‌محمدی و همکاران) در همسویی کامل قرار دارد. این همسویی، بر لزوم در نظر گرفتن ملاحظات توپولوژیکی شبکه که توسط ژو و همکاران تأکید شده‌بود، صحه می‌گذارد و نشان می‌دهد که اقدامات ساختاری، مبنای هرگونه پیشرفت فناورانه است.

عمده‌ترین تفاوت پژوهش حاضر با برخی از متون پیشینه، در تبیین نقش ساختاری شاخص‌های هوشمندسازی است. در حالی که مطالعات جهانی (مانند: فنگ و همکاران و سالوو و همکاران) بر نقش حیاتی و پیشرو ITS در ارتقای مستقیم تاب‌آوری از طریق مدل‌سازی دقیق و مدیریت بلادرنگ تأکید دارند، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که اکثر شاخص‌های هوشمندسازی، به‌ویژه استقرار پارکینگ‌های هوشمند، عموماً تأثیرپذیر و وابسته هستند. این الگو حکایت از آن دارد که در سیستم مورد مطالعه، کارایی و موفقیت فناوری‌های هوشمند، بیشتر یک نتیجه از تقویت زیرساخت‌های کالبدی تاب‌آوری است تا یک عامل پیشران و مستقل. به عبارت دیگر، این پژوهش به‌طور ضمنی هشدار گانین و همکاران (در مورد لزوم توجه صریح به تاب‌آوری در انتخاب پروژه‌ها) را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که در کرمانشاه، سرمایه‌گذاری صرف بر هوشمندسازی بدون رفع ضعف‌های کالبدی، اثربخشی لازم را نخواهد داشت و فناوری، عملاً نقش عامل نتیجه‌بخش را ایفا می‌کند و نه عامل محرک اصلی سیستم را. تحلیل شرایط کنونی شهر کرمانشاه در زمینهٔ پیاده‌سازی نقش هوشمندسازی حمل‌ونقل بر تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی، فاصلهٔ قابل توجهی با اهداف تعیین‌شده در طرح پایهٔ آمایش و سند تدبیر توسعهٔ استان دارد؛ به عبارت دیگر، سیستم در وضعیت نامطلوبی قرار گرفته و برای رسیدن به آرمان‌های توسعه، مسیری طولانی و پرچالش در پیش است. نتایج اصلی پژوهش تأکید می‌کند که ۲۷ عامل کلیدی شناسایی‌شده، بازیگران اصلی تعیین‌کنندهٔ آیندهٔ هوشمندسازی و تاب‌آوری هستند اما وضعیت فعلی همین عوامل نیز مطلوب نیست. این تحلیل نشان می‌دهد که هرچند مسیر آینده احتمالاً با روندی رو به بهبود، ادامه‌دهندهٔ شرایط فعلی خواهد بود اما با توجه به شرایط نامساعد کنونی، وقوع سناریوهای نامطلوب و حتی بحرانی برای آیندهٔ سیستم، هرگز دور از انتظار نیست و باید برای آن برنامه‌ریزی کرد.

منابع

آزادخانی، پاکزاد؛ سلاورزی‌زاده، محمد؛ شاهمرادیان، افسانه. (۱۴۰۱). سنجش میزان تاب‌آوری شبکه‌های حمل‌ونقل شهر ایلام. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی). ۲۲(۶۴)، ۱۲۱-۱۳۸.

doi:10.52547/jgs.22.64.121.

احمدی‌پور، علی؛ پژوهان، علی؛ شریفی، منصور. (۱۴۰۱). آینده‌پژوهی جمعیت سالمند استان کهگیلویه و بویراحمد تا افق ۱۴۳۰ و هزینه‌های سلامت آن‌ها. ارمان دانش، ۲۷ (۲): ۲۲۲-۲۰۷.

<http://armaghanj.yums.ac.ir/article-1-3129-fa.html>

اناری، فرزاد؛ اقبالی، ناصر؛ مؤیدفر، رضا. (۱۳۹۸). تحلیل و ارزیابی متغیرهای مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری شبکه معابر شهری در برابر بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت (نمونه موردی: مناطق ۵ گانه حوزه شرقی شهر تهران). فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۹(۳۵)، ۳۶۴-۳۵۱.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1398.9.3.2.0>

انوری، زهرا؛ کاموسی، زینب؛ رفیعی مهر، بهنام. (۱۳۹۰). بررسی جایگاه فناوری ارتباطات خودروبی در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند. فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، ۹(۱۸)، ۷۵-۸۴.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26765403.1390.9.18.7.8>

بخشی سنجدری، رضا؛ دریاباری، سیدجمال‌الدین. (۱۳۹۹). بررسی هوشمندسازی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در راستای توسعه پایدار شهرها (مورد مطالعه: کلان‌شهر تهران)، اقتصاد و مدیریت شهری، ۸(۴)، ۳۱-۴۵.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23452870.1399.8.32.3.0>

پاکدامن، نرجس‌خاتون؛ صفاری، بابک؛ کیانفر، کامران. (۱۴۰۰). تعیین ترکیب بهینه گونه‌های (مدهای) حمل‌ونقل شهری. فصلنامه تحقیقات اقتصادی، ۵۶(۴)، ۷۰۲-۷۲۷.

Doi: 10.22059/jte.2022.321390.1008451

پورجوان، خسرو. (۱۳۹۸). تبیین شهر هوشمند و راهکارهای حمل‌ونقل هوشمند شهری. کارافن، ۱۶(۴۵)، ۱۵-۳۴. SID.

<https://sid.ir/paper/378053/fa>

پویا، رضا؛ بسته‌نگار، مهرنوش؛ مکرمی، آرزو. (۱۴۰۱). تکنولوژی حمل‌ونقل هوشمند؛ راهبرد مواجهه با چالش‌های اساسی این بخش. فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، ۲۰(۴۸)، ۷۷-۹۴.

Doi: 10.22034/jtd.2022.552684.1757

حسینی سیاه‌گلی، مهناز؛ امانپور، سعید؛ ملکی، سعید. (۱۴۰۲). آینده‌پژوهی نقش ساختارهای جمعیتی بر تغییرات کاربری اراضی شهری در کلان‌شهر اهواز. جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، ۱۳(۴۹)، ۳۳-۶۴.

doi: 10.22111/gaij.2023.46211.3132

حکمت‌نیا، حسن؛ نصیری هنده‌خاله، اسماعیل؛ اسمعیلی، فضل‌اله؛ نظافت تکه، بهروز؛ فتاحی، داوود؛ مقدم، داوود. (۱۴۰۰). بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهر کرج (مطالعه موردی: خیابان‌های شهید بهشتی و آزادی). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰(۴)، ۱۷۳-۱۵۱.

Doi: 10.22067/geoh.2021.69981.1046

دخت بدیع، پروین؛ رحیمی، محمود. (۱۳۹۷). بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهری با رویکرد مدیریت بحران (نمونه موردی منطقه ۲ تهران، فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۳، ۱۰، ۲(۳۸)، ۴۱-۶۵).

http://journals.iau.ir/article_539258.html

ذوقدار، پریسا؛ شبانی، امیرحسین. (۱۳۹۷). ارزیابی الگوی رفتاری شهروندان در ایستگاه‌های هوشمند حمل‌ونقل شهری (نمونه موردی: ایستگاه هوشمند شهید خرازی شاهین‌شهر). معماری‌شناسی، ۱(۵)، ۱-۹.

<https://sid.ir/paper/523450/fa>

رضایی، محمدرضا؛ کاویان‌پور، گلشن. (۱۳۹۵). ارزیابی میزان تاب‌آوری اجتماعی و کالبدی-محیطی محلات شهری در مواجهه با سوانح طبیعی (زلزله)؛ مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد، سومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران.

<https://civilica.com/doc/561760>

طیعی، مسعود؛ فتحیان، محمد؛ موسوی اشکوری، شهاب‌الدین. (۱۳۹۵). برنامه‌ریزی راهبردی توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جاده‌ای کشور، نشریه پژوهشنامه حمل‌ونقل، ۴، ۲۹۱-۳.

https://www.trijournal.ir/article_11392_f6ea1056a9981b312fe5a75ca3201026.pdf

علی محمدی، اکرم؛ متولی، صدرالدین؛ رجبی، آزیتا. (۱۴۰۱). بررسی بُعد مدیریتی تاب‌آوری شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری با رویکرد توسعه پایدار زیست‌محیطی در منطقه یک شهر تهران محورهای موضوعی، آینده‌پژوهی شهری، ۲، ۳، ۱-۲۳.

<https://doi.org/10.30495/uf.2023.1972734.1056>

محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ علیزاده، هادی؛ عباسی گوجانی، داود. (۱۳۹۸). تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین‌کننده تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل‌ونقل (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز). پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۷(۲)، ۳۷۵-۳۹۱.

Doi: 10.22059/jurbangeo.2019.273727.1042

مهدی‌زاده، محمد؛ آیتی، اسماعیل؛ هاشمیان بجنورد، ناهید؛ نادری خور شیدی، علیرضا. (۱۳۸۹). ارائه مدلی برای مدیریت یکپارچه حمل‌ونقل و ترافیک شهری در کلان‌شهرهای ایران (مدیریت حمل‌ونقل)، پژوهش‌های مدیریت انتظامی، ۵(۳)، ۴۱۸-۴۴۳.

<https://civilica.com/doc/1315765>

نادران، علی؛ چوپانی، عبدالاحد. (۱۳۹۰). مدیریت حمل‌ونقل شهری، چاپ اول، تهران: انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.

نصرتی، علی‌رضا؛ مهرجو، مهرداد؛ زالی، نادر. (۱۳۹۹). طراحی سناریوهای توسعه حمل‌ونقل هوشمند شهری با رویکرد تحلیل محیط اطلاعاتی؛ مطالعه موردی: شهر همدان، مدیریت شهری، ۵۹، ۱۲۹-۱۴۵.

<http://ijurm.imo.org.ir/article-1-2875-fa.html>

نصرتی، محمود؛ رضایی، احمد؛ رضی، داوود؛ ابراهیمی، قربانعلی. (۱۳۹۹). بررسی جامعه‌شناختی رابطه هویت قومی با رفتار مصرف‌کننده (مطالعه موردی: لرهای استان لرستان). مطالعات اجتماعی اقوام، ۱(۲)، ۲۳۳-۲۵۸.

doi: 10.22111/JSSE.2021.33149.1024

References

- Abenayake, C., Jayasinghe, A., Kalpana, H. N., Wijegunaratna, E. E., & Mahanama, P. K. S. (2022). An innovative approach to assess the impact of urban flooding: Modeling transportation system failure due to urban flooding. *Applied geography*, 147, 102772.
- <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102772>
- Almatar, K. M. (2024). Smart transportation planning and its challenges in the Kingdom of Saudi Arabia. *Sustainable Futures*, 8, 100238.
- <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2024.100238>
- Auld, J., Sokolov, V., & Stephens, T. S. (2017). Analysis of the effects of connected-automated vehicle technologies on travel demand. *Transportation Research Record*, 2625(1), 1-8.
- <https://doi.org/10.3141/2625-01>
- Barikdar, C. R., Siddiq, K. B., Miah, M. A., Sultana, S., Haldar, U., Rahman, H., ... & Hassan, J. (2025). MIS frameworks for monitoring and enhancing US energy infrastructure resilience. *Journal of Posthumanism*, 5(5), 4327-4342.
- <https://doi.org/10.63332/joph.v5i5.1907>
- Bellini, E., Bellini, P., Cenni, D., Nesi, P., Pantaleo, G., Paoli, I., & Paolucci, M. (2021). An IoE and big multimedia data approach for urban transport system resilience management in smart cities. *Sensors*, 21(2), 435.
- <https://doi.org/10.3390/s21020435>
- Bellini, E.; Nesi, P.; Cocone, L.; Gaitanidou, E.; Ferreira, P.; Simoes, A.; Candelieri, A. (2017). Towards resilience operationalization in urban transport system: The RESOLUTE project approach. In *Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice, Proceedings of the 26th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2016, Glasgow, Scotland*, 25-29.

<https://boa.unimib.it/handle/10281/204373>

Borowska-Stefańska, M., Bartnik, A., Dulebenets, M. A., Kowalski, M., Sahebgharani, A., Tomalski, P., & Wiśniewski, S. (2024). Changes in intra-city transport accessibility accompanying the occurrence of an urban flood. *Transportation research part D: transport and environment*, 126, 104040.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104040>

Bouzguenda, I., Alalouch, C., & Fava, N. (2019). Towards smart sustainable cities: A review of the role digital citizen participation could play in advancing social sustainability. *Sustainable cities and society*, 50, 101627. (In Persian).

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101627>

De Bona, A. A., de Oliveira Rosa, M., Fonseca, K. V. O., & Lüders, R. (2021). A reduced model for complex network analysis of public transportation systems. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 567, 125715.

<https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125715>

Faturechi, R., & Miller-Hooks, E. (2015). Measuring the performance of transportation infrastructure systems in disasters: A comprehensive review. *Journal of infrastructure systems*, 21(1), 04014025.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000212](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000212)

Feng, H., Lv, H., & Lv, Z. (2023). Resilience towarded digital twins to improve the adaptability of transportation systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 173, 103686.

<https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103686>

Ganin, A. A., Kitsak, M., Marchese, D., Keisler, J. M., Seager, T., & Linkov, I. (2017). Resilience and efficiency in transportation networks. *Science advances*, 3(12), e1701079.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1701079>

Ganin, A. A., Mersky, A. C., Jin, A. S., Kitsak, M., Keisler, J. M., & Linkov, I. (2019). Resilience in intelligent transportation systems (ITS). *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 100, 318-329.

<https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.014>

Garau, C., Masala, F., & Pinna, F. (2016). Cagliari and smart urban mobility: Analysis and comparison. *Cities*, 56, 35-46. (In Persian)

<https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.02.012>

Hekmatnia, H., Nasiri Hendeh Khaleh, E., Esmaeili, F., Nezafat Takleh, B., Fattahi, D. and Mogadam, D. (2022). Investigating and Evaluating the Resilience of Karaj Communication Network (Case Study: Shahid Beheshti and Azadi Streets). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 151-173. (In Persian).

Doi: 10.22067/geoh.2021.69981.1046

Hosseini, S., Barker, K., Ramirez-Marquez, JE. (2016) A review of definitions and measures of system resilience. *Reliab Eng Syst Saf* 145:47-61.

<https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.08.006>

Jami Pour, M., Hosseinzadeh, M., & Moradi, M. (2024). IoT-based entrepreneurial opportunities in smart transportation: a multidimensional framework. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 30(2/3), 450-481.

<https://doi.org/10.1108/IJEBR-06-2022-0574>

Janušová, L., & Čičmancová, S. (2016). Improving safety of transportation by using intelligent transport systems. *Procedia Engineering*, 134, 14-22.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.031>

- Li, H., Chen, Y., Li, K., Wang, C., & Chen, B. (2023). Transportation internet: A sustainable solution for intelligent transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(12), 15818-15829.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3270749>
- Li, X., Zhang, T., Wang, J., Han, Z., Liu, J., Kang, J., ... & Jamalipour, A. (2025). Achieving Network Resilience through Graph Neural Network-enabled Deep Reinforcement Learning. *IEEE Network*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.11074>
- Liao, T. Y., Hu, T. Y., & Ko, Y. N. (2018). A resilience optimization model for transportation networks under disasters. *Natural hazards*, 93(1), 469-489. (In Persian)
<https://doi.org/10.1007/s11069-018-3310-3>
- Lin, J., & Ban, Y. (2013). Complex network topology of transportation systems. *Transport reviews*, 33(6), 658-685.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2013.848955>
- Lin, X., Lu, Q., Zhao, P., Chen, L., Tang, J., Guan, D., & Broyd, T. (2025). Field-theory Inspired Physics-Informed Graph Neural Network for Reliable Traffic Flow Prediction under Urban Flooding. *Reliability Engineering & System Safety*, 111487.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111487>
- Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002.
<https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100002>
- Matyas, D., & Pelling, M. (2015). Positioning resilience for 2015: the role of resistance, incremental adjustment and transformation in disaster risk management policy. *Disasters*, 39(s1), s1-s18. (In Persian).
<https://doi.org/10.1111/disa.12107>
- Nigam, N., Singh, D. P., & Choudhary, J. (2023). A review of different components of the intelligent traffic management system (ITMS). *Symmetry*, 15(3), 583-594.
<https://doi.org/10.3390/sym15030583>
- Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N. A., Gundogan, K., Ge, L., & Liang, F. (2023). Smart transportation: an overview of technologies and applications. *Sensors*, 23(8), 3880.
<https://doi.org/10.3390/s23083880>
- Oseni, A., Moustafa, N., Creech, G., Sohrabi, N., Strelzoff, A., Tari, Z., & Linkov, I. (2022). An explainable deep learning framework for resilient intrusion detection in IoT-enabled transportation networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(1), 1000-1014.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3188671>
- Roy, T., Tariq, A., & Dey, S. (2021). A socio-technical approach for resilient connected transportation systems in smart cities. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(6), 5019-5028.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3045854>
- Salvo, G., Karakikes, I., Papaioannou, G., Polydoropoulou, A., Sanfilippo, L., & Brignone, A. (2025). Enhancing urban resilience: Managing flood-induced disruptions in road networks. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 31, 101383.
<https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101383>
- Stefaniec, A., Hosseini, K., Xie, J., & Li, Y. (2020). Sustainability assessment of inland transportation in China: A triple bottom line-based network DEA approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102258.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102258>

Tamvakis, P., & Xenidis, Y. (2012). Resilience in transportation systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 3441-3450.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1308>

Wang, Y., Feng, Y., Li, X., Liu, Z., Chen, C., Cao, D., ... & Wang, B. (2025). Mutualistic symbiotic wireless node for next-era smart transportation. *Nano Energy*, 136, 110746.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1308>

Windle, G. (2021). Resilience in later life: Responding to criticisms and applying new knowledge to the experience of dementia. In *Resilience and aging: Emerging science and future possibilities* (pp. 31-52). Cham: Springer International Publishing. (In Persian)

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57089-7_3

Wu, S., Hu, X., & Zheng, L. (2025). Intracity Accessibility and Intercity Mobility: Evidence from China's High-Speed Rail System. Available at SSRN 5383751.

<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5383751>

Xu, Z., Chopra, S. S., & Lee, H. (2021). Resilient urban public transportation infrastructure: A comparison of five flow-weighted metro networks in terms of the resilience cycle framework. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 12688-12699.

<https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3116667>

Zanin, M., Sun, X., & Wandelt, S. (2018). Studying the topology of transportation systems through complex networks: handle with care. *Journal of Advanced Transportation*, 2018(1), 3156137.

<https://doi.org/10.1155/2018/3156137>

Zeng, X., Yu, Y., Yang, S., Lv, Y., & Sarker, M. N. I. (2022). Urban resilience for urban sustainability: Concepts, dimensions, and perspectives. *Sustainability*, 14(5), 2481.

<https://doi.org/10.3390/su14052481>

Zheng, L., Xue, Y., & Huang, D. (2025). Inter-city transport hubs and intra-city polycentric structure: Evidence from high-speed rail stations and airports in China. *Journal of Transport Geography*, 123, 104132.

<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104132>

Zhou, Q., Shahidehpour, M., Paaso, A., Bahramirad, S., Alabdulwahab, A., & Abusorrah, A. (2020). Distributed control and communication strategies in networked microgrids. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2586-2633.

<https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3023963>

Zhu, J., Xie, N., Cai, Z., Tang, W., & Chen, X. (2023). A comprehensive review of shared mobility for sustainable transportation systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(5), 527-551.

<https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2054390>