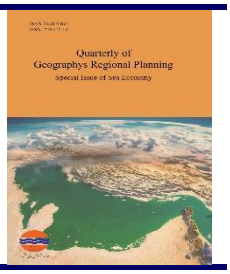
Iranian Association of Geopolitical

Geography(Regional Planning)
Autumn 2025. Vol 15. Issue 60
ISSN (Print): 2228-6462 - ISSN (Online): 2783-2112
Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



Research Paper

Future research on passive defense trends and approaches in the physical-urban infrastructure of the Tehran metropolis against hard threats

Rasoul Afsari[1], Hossein Iraji[2], Mohammad Joshanpour[3*]

1. Associate Professor ،Passive Defense Department ،Passive Defense Faculty ،National Defense University ،Tehran ،Iran
2. Ph.D. Candidate ،Urban and Regional Planning Department ،Faculty of Geography ،University of Tehran ،Tehran ،Iran.
3. Graduate of Master's Degree in Geography and Urban Planning - Faculty of Geography - University of Tehran

ARTICLEINFO

PP: 500-523

Use your device to scan and read the article online

Keywords: *Futures Studies, Passive Defense, Infrastructure, Physical-Civil, Tehran.*

Abstract

In the present study, with the aim of future research on passive defense trends and approaches in critical infrastructures of Tehran in the face of severe threats and with an emphasis on future research approaches, a combination of descriptive-analytical and Delphi methods has been used to collect, refine, and build consensus among experts. In the first step, eight key infrastructures including transportation, communications and information technology, energy, water supply, food and agriculture, health and wellness, governance, and defense and security were identified. Then, using the impact-impact matrix (MICMAC), the intensity of mutual interactions between these infrastructures was quantified at four levels (zero to three). Analysis of the results showed that Tehran's infrastructure network has a completely systemic and nonlinear nature and the independent functioning of no infrastructure is conceivable. Energy infrastructure, with the highest total impact (18), was identified as the main driver of overall network stability, such that disruptions in energy production or distribution quickly disrupt the performance of transportation, water supply, communication services, defense responses, and governance mechanisms. Transportation infrastructure, with a total impact (13), ranked second, and disruptions in it severely reduce logistical capacity, food security, and access to health services. Based on the comparison of impact and susceptibility values, infrastructures were divided into four groups: driver (energy and water), intermediate (transportation and communications), intermediate (governance), and susceptible (food, health, and defense). This grouping can be used as a guide for prioritizing resilience measures and developing response and recovery protocols in the future.

Citation: Afsari, R., iraji, H. and joshanpour, M. (2025). **Future research on passive defense trends and approaches in the physical-urban infrastructure of the Tehran metropolis against hard threats.** Geography (Regional Planning), 15(60), 500-523

DOI:10.22034/jgeoq.2025.532157.4293

***Corresponding author:** Mohammad Joshanpour, **Email:** mohamadjoshanpor@gmail.com
Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

In recent years, the complexity and intensity of military and hybrid threats in major cities around the world, especially political and economic capitals, have made it more evident than ever before that a deeper understanding of the structure and network performance of critical infrastructures is needed. With a population of several million and a key role in national stability, Tehran is home to a diverse set of physical and urban infrastructures whose integrated performance under normal conditions ensures the continuity of essential services and, in times of crisis, defines the boundary between general stability and potential collapse. On the other hand, the lack of systematic studies based on quantitative analysis of the mutual relationships of these infrastructures and the assessment of internal correlations has led to resilience and passive defense policies being based in many cases on trivial assumptions or limited experiences. Aiming to fill the existing research gaps, this study has attempted to identify and quantify the level and intensity of interactions of eight major infrastructures in Tehran in order to provide a solid basis for developing resilience and crisis management strategies against hard threats.

Methodology

From a methodological perspective, the present study followed a descriptive-analytical model. In the first step, by referring to upstream passive defense documents, previous research and specialized sources, eight critical infrastructures of transportation, communications and information technology, energy, water supply, food and agriculture, health and wellness, governance and defense and security were determined. In the second step, by holding Delphi meetings in three rounds and the collective participation of university professors, middle managers of executive agencies and experts in related fields, the intensity of the impact and effectiveness of each infrastructure on the other in severe threat scenario conditions was evaluated and quantified at four levels from zero ("no impact") to three ("critical impact"). Finally, a cross-impact matrix was formed and by combining the results in the MICMAC method, the sum of the scores of each row (impact power) and each column (impact level) was calculated. Network analysis based on this matrix, in addition to determining the strategic role of each infrastructure, also revealed the correlation and vulnerability loops.

Results and Discussion

The research findings show that energy infrastructure, with a value of 18 in total impact power and 10 in total impact, is considered the main axis of the sustainability of the entire infrastructure network; because disruption in energy production or distribution, in addition to paralyzing the performance of transportation and water distribution systems, also causes disruption in communication services, defense responses, and governance decision-making processes. After energy, transportation infrastructure is in second place with values of 13 (impact) and 8 (impact), and any interruption in it can unacceptably reduce the food and medicine supply chain, health services, and security-defense responses. The governance structure also plays the role of a central regulator with values of 16 and 16, and its weakness will simultaneously lead to ineffective coordination of sectors and an escalation of domino crises. The two infrastructures of communication and information technology and water supply are located on the network interface side, which, in addition to playing a supporting role in the transfer of data and resources, are highly dependent on energy stability and the management base. Finally, the food and agriculture, health and health, and defense and security sectors were identified as the most affected groups (with the highest column values) that require increased strategic reserves, parallel distribution lines, and rapid response protocols to continue their operations. By analyzing the MICMAC classification, four functional groups of infrastructure were identified: the key group (sovereignty and defense and security) that requires integrated

command and permanent reservation of resources; the driving group (energy and water) that can reduce its vulnerability through resource diversification and strategic storage; the dependent group (food and health) that requires strengthening storage and increasing parallel distribution lines; and the intermediate group (transportation and communications), which ensures its supporting role by developing multiple routes and complementary infrastructures. This categorization allows for optimal prioritization in resource allocation and the design of response and recovery protocols.

Conclusion

The analysis showed that energy infrastructure, with the highest total impact (18) and a significant level of impact (10), is the main driver of the stability of the entire infrastructure network; in such a way that any fluctuation in energy production or distribution not only stops the functioning of transportation and water networks, but also seriously disrupts communication services, defense responses, and governance decision-making. After energy, transportation infrastructure is in second place with a total impact of 13, and its disruption not only threatens food security and public health, but also severely reduces the ability to respond to security threats and defense logistics. Governance infrastructure, with an equal total impact and impact (16), was also recognized as the central regulator of the network, ensuring coordination between sectors and overall system stability depends on the empowerment of the governance network. Other infrastructures were also classified into four distinct functional groups based on the intensity of impact and impact: the key group includes governance and defense and security, which require integrated command and permanent reservation of resources; The driving group includes energy and water, which can reduce vulnerability by diversifying resources and developing strategic reserves; the dependent group includes food and health, which, due to their very high impact, require increased storage and parallel distribution lines; and finally, the intermediate group consists of transport and communications, which ensure their supporting role in a crisis by expanding multiple routes and redundant infrastructure. This classification provides a basis for prioritizing resilience measures, continuous monitoring, and designing specific response and recovery protocols. The nonlinear nature and existence of mutual feedback loops in the infrastructure network require that resilience and crisis management plans be formed based on scenario analysis. Simulation of different scenarios, real-time monitoring through the Internet of Things and artificial intelligence, and periodic review of the impact-impact matrix are essential to adapt policies to emerging conditions. Also, developing and strengthening cybersecurity protocols, especially for communication and information technology infrastructures that act as the nerve center of crisis command, is essential. Preparing to deal with climate risks and strengthening cooperation between executive, research, and private sector institutions in the form of interdepartmental exercises are also essential to maintaining the stability and resilience of infrastructures. From a futures perspective, given the wide range of uncertainties and complexity of environmental variables, scenario writing serves as a key tool for mapping possible paths forward and testing the effectiveness of passive defense strategies. In this regard, the designed scenarios are a combination of existing trends and passive defense decisions and attempt to consider military and civilian risks simultaneously. The results of this scenario writing have provided a clear perspective for policymaking in the field of promoting national resilience; Especially in metropolitan areas that are potential targets of direct attacks, intelligent and integrated implementation of passive defense principles including dispersion, camouflage, deception, localization, and fortifications can minimize vulnerability and enable rapid recovery.

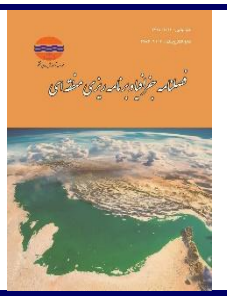
References

1. Afsari, Rasoul, Ballist, Jahanbakhsh, Darabi, Hassan, Mirzaei, Mohammad Reza. (2014). Evaluating the threat potential of road transportation networks with a passive defense approach in Khuzestan Province. Journal of Geographical Space Planning, 12(2), 149-167. [In Persian].
2. Akhbari, Mohammad, and Ahmadi Moghadam, Mohammad Ali. (2014). A study of passive defense in urban management. Geopolitics, 10(2 (34 consecutive)), 36-69. [In Persian].
3. Asadi Yeganeh, Mohammad Reza, and Hossein Pour, Haleh. (2019). Identifying passive defense components in new cities (case study of Pardis city). First International Conference and Second National Conference Towards Knowledge-Based Urban Planning, Architecture, Civil Engineering and Art. [In Persian].
4. Atash Panjeh, Hojjatollah, Parbin, Zahra, and Dastdeh, Farshad. (2016). Architectural Parameters in Passive Defense. National Conference on Passive Defense and Sustainable Development[In Persian].
5. Andrea De Marco, Davide Berardi(2025), Quantitative Resilience Assessment on Critical Infrastructures – A systematic literature review of the last decade (2014-2024), Journal of Safety Science and Resilience, 2025, p:1-10.
6. Andreas Huck, Jochen Monstadt (2019), *Urban and infrastructure resilience: Diverging concepts and the need for cross-boundary learning*, Environmental Science & Policy Volume 100, October 2019, Pages 211-220
7. Al-Hashemi, Aida, Mansouri, Seyyed Amir, and Barati, Naser. (2016). Urban Infrastructure and the Necessity of Changing Perspectives in Its Definition and Planning, Infrastructure: New Conceptual Perspectives in Defining Urban Infrastructures in the 21st Century. Bagh-e-Nazar, 13(43), 5-16. [In Persian].
8. Azami, Hadi, Heydari Tasheh-Kaboud, Akbar, Rostami, Hossein. (2019). Future research of the drivers affecting the spatial distribution of infrastructures in Khorasan Razavi Province with emphasis on passive defense. Political Geography Research, 4(2), 121-153. [In Persian].
9. Bahadori, Hassan, Ahmadzadeh, Hassan, Jafari, Firouz, Panahi, Ali. (2019). Identifying and Analyzing Key Drivers Effective in Creating Urban Branding with a Futures Approach, a Case Study of Tabriz Metropolis. Quarterly Journal of Geography (Regional Planning), 10(39), 23-41. [In Persian].
10. Bernard, A., Jeschke, J. M., Bernard-Verdier, M., Buchholz, S., Grossart, H. P., Havemann, F., ... & Heger, T. (2023). Hypotheses in urban ecology: building a common knowledge base. *Biological Reviews*, *98*(5), 1530-1547.
11. Behera, L. K. (2010). *Crisis management and urban resilience. International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2(4), 215–224. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2010.09.001
12. Chang, Y. (2016). *Urban infrastructure resilience under military threats: A complex systems perspective*. Journal of Infrastructure Systems, 22(3), 04016005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000310
13. European Commission. (2020). *Joint Research Centre report on critical infrastructure resilience*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
14. F. Seible, M.J.N. Priestley(1996), *Design of seismic retrofit measures for concrete and masonry structures*, Construction and Building Materials Volume 9, Issue 6, December 1995, Pages 365-377
15. Faraji Mollaei, Amin, Alivardilo, Hadi, and Hosseini Amini, Hassan. (2015). Land defense planning from the perspective of passive defense. Geography, 13 (New Volume)(45), 247-274. [In Persian].
16. Javanshiri, Mohammad., Namdarzadeh, Mehdi., and Nabiouni, Sasan. (1400). Identification and

Analysis of Key Drivers Affecting the Realizability of Land Planning Plans (Case Study: Khorasan Razavi Province). Geographical Studies of Arid Regions, 43, 62-87. [In Persian].

17. Jun Li, Hong Hao, Kaiming Bi, Wensu Chen, Thong M. Pham(2023), Towards next generation design of sustainable, durable, multi-hazard resistant, resilient, and smart civil engineering structures, Engineering Structures Volume 277, 15 February 2023, 115477.
18. Jafarlou, Ali Akbar; Ghofran, Monireh; and Nazari, Sahar. (1404). Macro-Issues of Urban and Rural Development and Land Planning in the Horizon of Iran 1420 with a Strategic Futures Approach. Applied Research in Geographic Sciences (Geographical Sciences), 25(77), 266-289. [In Persian].
19. Kadkhodaei, Mehdi, Rezazadeh, Masoumeh, Karimian Bostani, Fatemeh, (2017), Urban Planning with Passive Defense Approach in Zahedan City and Its Surrounding Areas, Journal: Development of Spaces, Periurban Development Journal, 2017, Volume: 3-90. [In Persian].
20. Lotfian Karim, Ebrahim, Basirati, Mohammad Kazem, and Ghasemi, Nematollah. (2019). Passive Defense Strategies in the Logistics Field with a Resistance Economy Approach. Interdisciplinary Studies in Strategic Knowledge, 10(38), 221-252. [In Persian].
21. Hosseini Amini, Hamed, Alireza, Jobe, Sahebdad, and Kurd, Hamed. (1391). Passive Defense Measures in Zahedan City. National Conference on Border Cities and Security, Challenges and Approaches. [In Persian].
22. Hosseini Amini, Hassan. (2011). Passive Defense and Its Application in Urban Planning. Armaghan. [In Persian].
23. Huck, A., Regens, J., & Hoyt, J. (2019). *Critical infrastructure vulnerability and protection strategies*. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 26, 100–112. https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2019.02.002
24. Maleki, Saeed, and Kavendi, Abdolrahim. (2012). Passive defense and border cities. National Conference on Border Cities and Security, Challenges and Approaches. [In Persian].
25. Manshadi, Mohammad Ali. (2012). Passive defense strategies in the logistics field. Strategic Defense Studies. [In Persian].
26. Ministry of Defence of the Republic of Latvia. (2016). *National defense strategy. Riga: Ministry of Defence*.
27. Mohammadzadeh, Masoud, Esmaeili, Alireza, Jobe, Sahebdad, and Kurd, Hamed. (2012). Passive defense measures in Zahedan city. National Conference on Border Cities and Security, Challenges and Approaches. [In Persian].
28. Pourmohammadi, Mohammadreza, and Maleki, Kiyomars. (2016). Passive Defense, Development Strategies and Security of Urban Areas. Tehran City Publishing House (affiliated with the Cultural and Artistic Organization of Tehran Municipality). [In Persian].
29. Peyvast-e-Gar, Ali, Kharazmi, Omidali, and Bakhshi Shadmehri, Fatemeh. (2019). The Position of Passive Defense in the Security of Urban Infrastructures with Emphasis on Water Infrastructure. National Conference on Passive Defense and Sustainable Development..
30. R.R. Shaker, G. Rybarczyk, C. Brown, V. Papp, S. Alkins (Re*) emphasizing urban infrastructure resilience via scoping review and content analysis Urban Science*, 3 (2) (2019), p. 44
31. Sasanpour, Farzaneh, Mirzazadeh, Hojjat and Mohammadi, Ramin. (1403). Analysis of the livability of District 6 of Tehran Metropolitan Area with a Futures Studies Approach. Research in the Geography of Urban Planning.. [In Persian].
32. Saremi, Hamid Reza, and Hosseini Amini, Hassan. (2011). Protection of urban facilities and equipment by optimal use of the natural environment within the city with a passive defense approach (case study: Boroujerd city).

33. Urban Management Studies, 3(6), 133-154. [In Persian].
34. S. Chang(2016), *Socioeconomic impacts of infrastructure disruptions*, Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science .
35. Smith, D., & Rodriguez, F. (2018). *Network analysis of city infrastructures: Methods and applications*. Urban Systems Journal, 14(1), 5–26.
36. Unal Tatar, Brianna Bace(2024), Space as a critical infrastructure: An in-depth analysis of U.S. and EU approaches, Acta Astronautica, Volume 225, December 2024, Pages 263-272.
37. Zarghani, Seyed Hadi, Kharazmi, Omid Ali, and Bakhshi Shadmehri, Fatemeh. (2016). Analysis of Terrorist Threats and Security of Critical City Infrastructures. National Conference on Passive Defense and Sustainable Development. [In Persian].



فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)

دوره ۱۵، شماره ۶۰، پاییز ۱۴۰۴

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران

مقاله پژوهشی

آینده پژوهی روند ها و رویکرد های پدافند غیر عامل در زیرساخت های کالبدی-عمرانی کلانشهر تهران در برابر تهدیدات سخت

رسول افسری- استادیار، گروه پدافند غیرعامل، دانشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران

حسین ایرجی- دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه ای، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

محمد جوشن پور*- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

شماره صفحات: ۵۰۰-۵۲۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:

آینده پژوهی، پدافند غیرعامل، زیرساخت، کالبدی - عمرانی، تهران.

چکیده

در پژوهش حاضر، با هدف آینده‌پژوهی روندها و رویکردهای پدافند غیرعامل در زیرساخت‌های حیاتی شهر تهران در مواجهه با تهدیدات سخت و با تاکید بر رویکردهای آینده پژوهی، از ترکیب روش‌های توصیفی-تحلیلی و دلفی به منظور گردآوری، پالایش و اجماع‌سازی نظرات خبرگان استفاده شده است. در گام نخست، هشت زیرساخت کلیدی شامل حمل‌ونقل، ارتباطات و فناوری اطلاعات، انرژی، تأمین آب، غذا و کشاورزی، بهداشت و سلامت، حاکمیت، و دفاع و امنیت شناسایی گردید. سپس، با استفاده از ماتریس اثرگذاری-اثرپذیری(MICMAC) ، شدت تعاملات متقابل میان این زیرساخت‌ها در چهار سطح (صفر تا سه) کمی‌سازی شد. تحلیل نتایج نشان داد که شبکه زیرساختی تهران دارای ماهیتی کاملاً سیستمی و غیرخطی است و عملکرد مستقل هیچ زیرساختی قابل تصور نیست. زیرساخت انرژی با بیشترین مجموع اثرگذاری (۱۸) به عنوان پیشران اصلی ثبات کل شبکه شناسایی شد، به گونه‌ای که اختلال در تولید یا توزیع انرژی به سرعت عملکرد حمل و نقل، آب‌رسانی، خدمات ارتباطی، واکنش‌های دفاعی و سازوکارهای حکمرانی را مختل می‌سازد. زیرساخت حمل و نقل نیز با مجموع اثرگذاری (۱۳)، جایگاه دوم را به خود اختصاص داده و وقفه در آن، توان لجستیکی، امنیت غذایی و دسترسی به خدمات بهداشتی را به شدت کاهش می‌دهد. بر اساس مقایسه مقادیر اثرگذاری و اثرپذیری، زیرساخت‌ها به چهار گروه پیشران (انرژی و آب)، واسط (حمل‌ونقل و ارتباطات)، میانی (حاکمیت) و اثرپذیر (غذا، سلامت و دفاع) تقسیم شدند. این گروه‌بندی می‌تواند به عنوان راهنمایی برای اولویت‌بندی اقدامات مقاوم‌سازی و تدوین پروتکل‌های واکنش و بازیابی در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: افسری، رسول ، ایرجی،حسین و جوشن پور، محمد . (۱۴۰۴). **آینده پژوهی روند ها و رویکرد های پدافند غیر عامل در زیرساخت های کالبدی-عمرانی کلانشهر تهران در برابر تهدیدات سخت**. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۵(۶۰)،۵۰۰-۵۲۳

DOI:10.22034/jgeoq.2025.532157.4293

* **نویسنده مسئول: محمد جوشن پور، پست الکترونیکی:**mohamadjoshanpor@gmail.com

مقدمه

شهرها به عنوان سیستم‌های پیچیده اجتماعی، اقتصادی و کالبدی، دارای زیرساخت‌هایی هستند که نقشی حیاتی در بقا و پویایی جوامع ایفا می‌کنند (لطیفیان و همکاران، ۱۳۹۹). این زیرساخت‌ها، با ایجاد ارتباطات متقابل، یک نظام شهری یکپارچه را شکل می‌دهند که عملکرد صحیح آن‌ها برای پایداری جامعه ضروری است. با این حال، وقوع بحران‌ها و تهدیدات سخت، اعم از منشاء انسانی یا طبیعی، می‌تواند به طور قابل توجهی زیرساخت‌های شهری را تحت تأثیر قرار داده و با ایجاد اختلال در یکی از اجزای سیستم، پیامدهای فاجعه‌باری به دنبال داشته باشد (Chang, 2016; پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). با پیچیده‌تر شدن جنگ‌ها و فناوری‌های نظامی، تهدیدات سخت بیش از پیش بر زیرساخت‌های شهری نظیر سدها، پل‌ها، شبکه‌های حمل‌ونقل و ساختمان‌های عمومی متمرکز شده‌اند (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۸; Huck et al., 2019). تجارب تاریخی جنگ‌های جهانی نشان داده است که تمرکز حملات بر زیرساخت‌های حیاتی و تراکم بالای جمعیت شهری می‌تواند میزان تلفات و خسارات را به شدت افزایش داده و کشورها را با چالش‌هایی نظیر اختلال در روندهای اجتماعی و اقتصادی مواجه کند (جعفرلو و همکاران، ۱۴۰۳). افزون بر تهدیدات انسانی، کشورهای مستعد بلایای طبیعی نظیر ایران نیز همواره با بحران‌های ناشی از زلزله، سیل و طوفان دست به گریبان بوده‌اند، که ضعف در طراحی و ایمنی زیرساخت‌ها، این آسیب‌پذیری را تشدید کرده است (حسینی امینی و همکاران، ۱۳۹۱; مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۶).

در این میان، کیفیت مصالح، معماری سازه‌ها، ایمنی بافت‌های شهری، و استانداردسازی زیرساخت‌های کالبدی در مواجهه با بحران‌های احتمالی و تهدیدات سخت، از جمله محورهای اصلی توجه در رویکرد پدافند غیرعامل شهری به شمار می‌روند. پدافند غیرعامل به عنوان یکی از راهبردهای دفاعی غیرمستقیم، شامل مجموعه‌ای از اقدامات و تدابیری است که با هدف کاهش خسارات مالی، جانی و زیست‌محیطی، از طریق طراحی مناسب سازه‌ها و استقرار زیرساخت‌های مقاوم، اجرا می‌شود (اسدی و حسین پور، ۱۳۹۸). این راهبردها شامل اصولی نظیر پراکندگی عملکردها، تقویت ساختارهای حیاتی، استتار و اختفا بوده که با هدف افزایش تاب‌آوری شهری و حفظ امنیت در برابر تهدیدات سخت صورت می‌گیرند (رزقانی و همکاران، ۱۳۹۵; پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به تحولات شگرف و پرشتاب در حوزه‌های نظامی، امنیتی و تکنولوژیکی، لزوم توجه به آینده‌پژوهی در برنامه‌ریزی‌های شهری و زیرساخت‌ها به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. در این راستا، آینده‌پژوهی به عنوان دانش بررسی تغییرات احتمالی و ارائه سناریوهای مختلف، ابزاری کلیدی برای مدیریت بحران‌ها، کاهش آسیب‌پذیری در برابر تهدیدات و شکل‌دهی به آینده‌ای مطلوب‌تر محسوب می‌شود (نمامیان و همکاران، ۱۴۰۲; رزقانی و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی تاریخ جنگ‌های دوران معاصر و میزان خسارات ناشی از فقدان برنامه‌ریزی مناسب نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی مبتنی بر آینده‌نگری می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری سازه‌ها و کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری ایفا کند. به بیان دیگر، آینده‌پژوهی با فراهم آوردن امکان پیش‌بینی روندهای آتی، به ما کمک می‌کند تا زیرساخت‌هایی را طراحی و احداث کنیم که نه تنها در برابر تهدیدات فعلی مقاوم باشند، بلکه در برابر تهدیدات احتمالی آینده نیز از آمادگی لازم برخوردار باشند.

مطالعات متعدد حاکی از آن است که زیرساخت‌های کالبدی در ایران، به ویژه در بافت‌های فرسوده و ناکارآمد شهری، به دلیل پایین بودن کیفیت مصالح و ضعف در رعایت اصول مهندسی، از قابلیت تاب‌آوری مناسبی در برابر تهدیدات سخت برخوردار نیستند (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸). از این رو، اتخاذ استراتژی‌های مبتنی بر پدافند غیرعامل، به ویژه در حوزه زیرساخت‌های کالبدی، با هدف کاهش ریسک‌های ناشی از حملات سخت و همچنین بلایای طبیعی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، پژوهش حاضر تلاش می کند تا با شناسایی روندهای مؤثر در حوزه پدافند غیرعامل و با بهره‌گیری از روش‌های آینده‌پژوهی، در پی ارائه سناریوهایی کاربردی است که بتوانند زیرساخت‌های شهری را مقاوم‌تر ساخته و میزان آسیب‌ها را به حداقل برسانند. پدافند غیرعامل، از طریق پراکنش کاربری‌ها، مقاوم‌سازی بناها، طراحی پناهگاه‌ها و احداث زیرساخت‌های استاندارد، در خدمت افزایش تاب‌آوری مناطق شهری است (کدخدایی و همکاران، ۱۴۰۰). بررسی‌های انجام

شده در حوزه پدافند غیرعامل در شهرها و مناطق مختلف کشور نشان‌دهنده چالش‌های متعددی است که هر یک به نحوی بر امنیت کالبدی و روند توسعه پایدار شهری تأثیرگذارند. به عنوان مثال، مطالعه انجام شده در شهر اندیشه نشان داد که اصول و الزامات پدافند غیرعامل به درستی رعایت نشده و مراکز حیاتی شهر در برابر تهدیدات انسانی و طبیعی بسیار آسیب‌پذیرند (امینی و همکاران). پیشنهاد اصلی این مطالعه، اولویت‌بخشی به ایمن‌سازی این مراکز در برنامه‌ریزی پیش از وقوع بحران بوده است، زیرا غفلت از این مهم می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به امنیت و عملکرد شهر وارد کند.

پیشینه پژوهش

اعظمی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعه‌ای، پیشران‌های مؤثر بر توزیع فضایی زیرساخت‌های استان خراسان رضوی را با تأکید بر پدافند غیرعامل و از طریق آینده‌پژوهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که عوامل قانونی–سیاستگزاری و زیرساختی–نهادی، به عنوان پیشران‌های کلیدی، بر توزیع فضایی زیرساخت‌های استان تأثیرگذارند و بر اساس آن‌ها، الگوهای آتی قابل تحقق در قالب سناریوهای مختلف (مطلوب، قابل قبول و بحرانی) ارائه شدند (اعظمی و همکاران، ۱۳۹۸).

ملکی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعه‌ای در شهر اهواز نشان دادند که نبود طرح جامع دفاعی و عدم اجرای اصول پدافند غیرعامل، ایمنی این شهر را در برابر تهدیدات انسانی و طبیعی به شدت کاهش داده است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸).

پیوسته‌گر و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهشی درباره شهر بندرعباس، آسیب‌پذیری این منطقه را در برابر تهدیدات مختلف مورد بررسی قرار دادند و بر اهمیت مکان‌یابی مناسب، افزایش تاب‌آوری سازه‌ها و تقویت هوشیاری نیروهای امدادی تأکید کردند (پیوسته‌گر و همکاران، ۱۳۹۹).

در عرصه بین‌المللی نیز مطالعات متعددی درباره پدافند غیرعامل و راهبردهای دفاع شهری انجام شده‌اند که بر نقش کلیدی پدافند غیرعامل در کاهش خسارات و ارتقای تاب‌آوری شهری تأکید دارند. به عنوان نمونه، برنارد و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی درباره برنامه‌ریزی دفاع شهری در سنگاپور، بر اهمیت ایزوله‌سازی محیط‌های حساس و آسیب‌پذیر در هنگام بحران‌های شهری تأکید کرده‌اند (Bernard et al., 2018).

اسمیث کنث (۲۰۱۲) نیز در مقاله‌ای درباره شهر میلواکی، بر نقش مؤثر راهبردهایی نظیر تخلیه جمعیت، ساخت پناهگاه‌ها و مدیریت تمرکز جمعیت در مدیریت بحران‌ها تأکید کرده و در عین حال، به آسیب‌پذیری این شهر به دلیل ضعف توجه به پدافند غیرعامل اشاره کرده است (Smith, 2012).

لوتین و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهشی با هدف بررسی حملات پیشگیرانه و حفاظت در استراتژی دفاعی، بر اهمیت تخصیص منابع دفاعی و ایجاد اهداف کاذب در مدیریت بحران تأکید کرده‌اند (Levitin et al., 2011).

در مجموع، بررسی پژوهش‌های داخلی و خارجی نشان می‌دهد که آینده‌پژوهی، به عنوان ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی روندهای آتی و شناسایی تهدیدات احتمالی، می‌تواند نقش بسزایی در ارتقای اثربخشی راهبردهای پدافند غیرعامل و افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری ایفا کند. این پژوهش، با رویکرد آینده‌پژوهی، می‌کوشد زیرساخت‌های کالبدی شهر تهران را از منظر پدافند غیرعامل مورد تحلیل قرار داده و راهکارهای عملیاتی برای مقابله با تهدیدات سخت ارائه دهد. با توجه به اهمیت فوق‌العاده این موضوع در امنیت و پایداری شهری، نتایج این پژوهش می‌تواند گامی مؤثر در جهت کاهش آسیب‌پذیری جوامع شهری و ارتقاء امنیت ملی باشد.

مبانی نظری

واژه آینده پژوهی معادل لاتین Futures Study است و طیف وسیعی از متدلوژی ها (نه فقظ یک آینده) شامل شده که به مطالعه سیستماتیک و خردورزانه در مورد چندین آینده متصور می پردازد(). آینده پژوهی دانش و معرفتی است که افق دید جدیدی نسبت به رویدادها، فرصت ها و چالش های احتمالی را به مردم نشان داده و توانایی انتخاب هوشمندانه آن

ها را افزایش می دهد(ســاســان‌پور و همکاران، ۱۴۰۳). پارادایم آینده پژوهی برآیند تحولات، نیروهای پیشــران، روند و مگاروندها در شرایط عدم اطمینان می باشد. به عقیده کالوین و هابز به دلیل وقوع برخی از مداخله گرهای غیر منتظره در رخدادهای یک پدیده، پیش بینی آینده را بسیار چالش برانگیز خواهد بود. چرا یکی از خواص جهان پیرامونی پویایی است و از قاعده یکنواختی تبعیت نمی کند(معبودی و همکاران، ۱۳۹۹). به طور کلی ریشــه مطالعات آینده پژوهی در زمینه علمی به قرن هفدهم میلادی همزمان با عصــر رنســانس در اروپا باز می گردد و با نظریه ها و اختراعات دانشــمندانی همچون ژول ورن و لئوناردو داوینچی ادامه یافت. اما در قرن نوزدهم میلادی با وقوع جنگ جهانی دوم رویکرد آینده پژوهی وارد عرصه تازه ای در علوم گوناگون شد. از جمله نظریه پردازان حوزه آینده پژوهی در اواسط دهه ۱۹۶۰می توان به هرمان کان، اولاف هلمر، برتراند دو ژوونل، دنیس گابور، الیور مارکلی، برت نانوس، وندیل بل، رابرت اتینگر اشاره کرد. از این رو در قرن بیستم، آینده پژوهی به عنوان یک رشته آکادمیک آغاز شد و در کشورهایی مانند فرانسه، اتحاد جماهیر شوروی سابق و کشورهای تحت حاکمیت کمونیستی بلوک شرق با برجسته کردن خطوط کلی ملی، سیاسی و اقتصادی ظهور کرد(Roma Singh et al, 2018). از آنجا که رویکرد آینده پژوهی بسیاری از حوزه های علوم را دربرمی گیرد، یک حوزه بین رشته ای با زمینه های معرفت شناختی و روش شناسی معرفی می گردد. از این رو بسیاری از آینده پژوهان در دســته بندی انواع آینده پژوهی از دیدگاه های خاصــی بررســی کرده اند(محروق و همکاران، ۱۳۹۳). لمپرت و همکاران(۲۰۰۳)، آینده پژوهی را شــامل آینده بالقوه، ممکن، باورکردنی، محتمل و مرجح می دانند. هنگامی که از آینده های بدیل به صورت کلی و بدون درنظر گرفتن ویژگی خاصی صحبت می شود به آینده بالقوه اشاره می کند. آینده ممکن عبارت است از تمام آینده هایی است که ممکن است رخ دهد و بر پایه پیشرفت دانش در آینده استوار است. اما اگر آینده از دانش کنونی حاصــل شــود در دســته آینده باورکردنی جای می گیرد. بدین معنا که با توجه به دانش و درک کنونی، امکان وقوع منطقی یک رویداد وجود دارد یا خیر؟. آینده های محتمل دربردارنده رخدادهایی اســت که احتمال وقوع دارد و ادامه روند رویدادهای گذشته براساس روندهای کنونی به طور پیوسته است. البته ممکن است این روند در طول زمان پیوســتگی خود را به تدریج از دســت بدهد. در دســته آخر آینده های مرجح قرار می گیرد. در این نوع آینده برخلاف انواع آینده های گذشته که از دانش و اطلاعات شخص نسبت به زمان حاصل می گردد، عمدتا احساسی بوده و در ارتباط با چیزی است که شخص خواستار وقوع آن می باشد(دشتی شاهرخ و همکاران، ۱۳۹۸).

جدول ۱. دسته بندی انواع آینده پژوهی

نظریه پرداز	دسته بندی انواع آینده پژوهی
لینسون[1]	۳ نوع (فنی، سازمانی و فردی)
عنایت الله	۴ نوع (پیش بینی کننده، تفسیری، انتقادی و یادگیری)
آمارا[2]	۳ نوع (ممکن، متحمل و مرجح)
سردار[3]	۲ نوع (استعماری، استعمارزدایی)
بل[4]	۳ نوع (اثبات گرایی، پسا اثبات گرایی و واقع گرایی انتقادی)
مانرما[5]	۳ نوع (سنخ شناسی توصیفی، سناریوسازی و آینده پژوهی تکاملی)
تاپیو و هینتانن[6]	۷ نوع (اثبات گرایی کنترلی، انسان گرایی خوش بینانه، انسان گرایی کثرت گرا، پراگماتیسم، انتقادی، پراگماتیسم نسبی گرا و دموکراتیک نامنظم)
لینکولن و کوبا[7]	۵ نوع (اثبات گرایی، پسااثبات گرایی، سنجش گرایی، ساخت گرایی و مشارکتی)

[1] Linstone
[2] Amara
[3] Sardar
[4] Bell
[5] Mannermaa
[6] Tapio & Hietanen
[7] Lincolen & Gooba

پدافند غیرعامل به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی در رویکردهای دفاعی، شامل اقدامات غیرمسلحانه‌ای است که پیش از وقوع تهدید، با هدف کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و تأسیسات حیاتی اجرا می‌شود. این رویکرد نه‌تنها باعث کاهش خسارات ناشی از حملات دشمن می‌گردد، بلکه توان بازسازی سریع و کم‌هزینه مناطق بحران‌زده را فراهم می‌آورد (ملکی و همکاران، ۱۴۰۲). می توان اصول پدافند غیرعامل را به همراه توضیحات مربوط به هر یک از آن ها را در جدول زیر جمع بندی کرد

جدول ۲. اصول پدافند غیرعامل

ردیف	اصول پدافند غیرعامل	توضیح
۱	مکان یابی (Site Selection)	مکانیابی در واقع تجزیه و تحلیل توامان اطلاعات فضایی و داده های توصیفی به منظور یافتن یک یا چند موقعیت فضایی با ویژگی‌های توصیفی مورد نظر (پدافند غیرعامل) می‌باشد.
۲	پراکندگی (Dispersion)	به گسترش باز و پخش نمودن و تمرکز زدایی نیروها، تجهیزات، تاسیسات و فعالیت‌ها، به منظور تقلیل آسیب پذیری آن‌ها در مقابل عملیات دشمن اشاره دارد.
۳	استحکامات (Fortification)	ایجاد هرگونه حفاظ که در مقابل اصابت مستقیم بمب، راکت، موشک، گلوله، توپخانه، خمپاره و یا ترکش آن ها مقاومت نموده، مانع صدمه رسیدن به نفرات و یا تجهیزات گردد.
۴	تفرقه (Separation)	جداسازی، گسترش افراد، تجهیزات و فعالیت ها از نقطه استقرار به نقطه دیگر به منظور کاهش آسیب پذیری، کاهش خسارات و تلفات و نجات آن ها از تاثیر یک حمله هوایی موشکی احتمالی است
۵	استتار و اختفاء (Camouflage and Concealment)	فن و هنری است که با استفاده از وسایل طبیعی یا مصنوعی امکان کشف و شناسایی نیروها، تجهیزات و تأسیسات را از دیده بانی، تجسس و عکس برداری دشمن کاهش داده، مخفی نموده و حفاظت نماید.
۶	پوشش (Cover)	عبارت است از پنهان سازی و حفاظت تأسیسات، تجهیزات و نیروی انسانی در برابر دید و تیر دشمن.
۷	فریب (Deception)	کلیه اقدامات طراحی شده حیله گرانه ای است که موجب گمراهی و غفلت دشمن در نیل به اطلاعات و محاسبه و براورد صحیح از توان کمی و کیفی طرف مقابل گردد.
۸	اعلام خبر (Early Warning)	آگاهی و هشدار به نیروهای خودی مبنی بر این که عملیات تعرضی دشمن نزدیک می باشد، این هشدار که برای آماده شدن است ممکن است چند دقیقه، چند ساعت، چند روز و یا زمانی طولانی تر از آغاز مخاصمات اعلام گردد.

زیرساخت به مجموعه ای از عناصر ساختاری گفته می شود که عملکرد روزانه را پشتیبانی کرده و بر چگونگی روابط جامعه بشری تاثیر می گذارد. در واقع زیرساخت ها متشکل از سیستم ها، فعالیت های شکل دهنده به جوامع و اقتصادهای مدرن تعریف شده و اغلب برای منابع و شبکه های انسان ساز در مقیاس کلان به کار می رود(آل هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴). زیرساخت ها به عنوان تاسیسات و تجهیزات ضروری برای ادامه حیات یک سیستم، به دو دسته کلی سخت و نرم دسته بندی می شود. زیرساخت سخت به ابعاد کالبدی (فیزیکی) زیرساخت ها همچون، شبکه های حمل و نقل و ارتباطی، شبکه توزیع انواع انرژی (آب، گاز، برق، سوخت و غیره) اشاره دارد و زیرساخت های نرم شامل روابط سازمانی و دخیل در گروه های مختلف اجتماعی می باشد(زیاری و همکاران، ۱۴۰۳). امروزه ارایه تعریف واحدی از زیرساخت های حیاتی به دلیل تکامل فناوری و پیشرفت اقتصادی – اجتماعی وجود ندارد. اصطلاح زیرساخت های حیاتی برای اولین بار در دهه ۱۹۹۰ میلادی در مقررات ملی آمریکا مطرح شد و به مجموعه دارایی ها، سیستم ها، شبکه ها و فعالیت های سخت و نرم گفته می شود که تضعیف و تخریب هر یک از آن ها می تواند امنیت ملی و سلامت عمومی را با تهدید مواجه کند(Unal Tatar et al, 2024). پس از آن، اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۸ دارایی، سیستم یا بخشی از آن واقع در کشورهای عضو که برای حفظ عملکردهای حیاتی اجتماعی، سلامت، ایمنی، امنیت، رفاه اقتصادی یا اجتماعی مردم ضروری است و اختلال یا تخریب آن که در نتیجه عدم حفظ آن زیرساخت‌های حیاتی واقع شده است، تأثیرات نامطلوب قابل‌توجهی در یک کشور عضو خواهد داشت(Andrea De Marco et al, 2025). طبق تعریف اتحادیه اروپا زیرساخت های حیاتی از ۱۱ بخش تشکیل شده است که به صورت زیر است:

شکل ۱. زیرساخت های حیاتی در تعریف اتحادیه اروپا

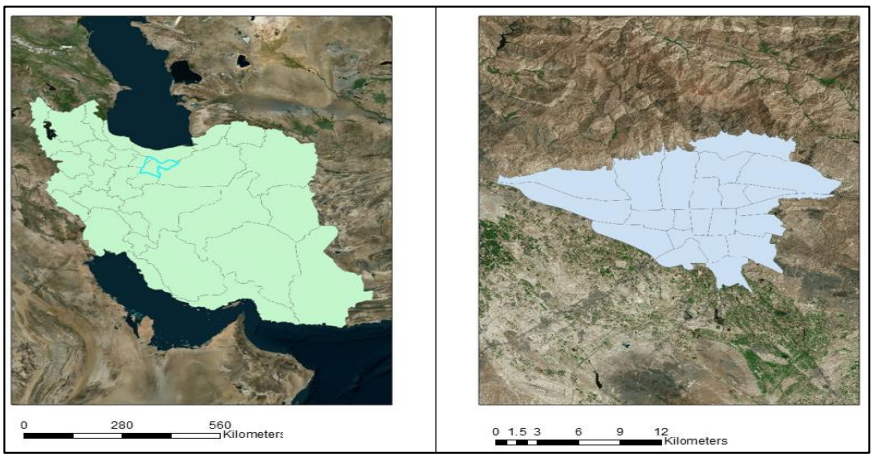
هدف اصلی پدافند غیرعامل، تأمین امنیت، استمرار فعالیت‌های اساسی، و کاهش آسیب‌پذیری در برابر بحران‌های انسانی و طبیعی است. این اهداف از طریق تقویت ابعاد دفاعی و حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی دنبال می‌شوند، به‌گونه‌ای که امکان برقراری خدمات عمومی و تسهیل مدیریت بحران وجود داشته باشد (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۹). به‌طور کلی، اهداف پدافند غیرعامل عبارتند از: کاهش خسارات نظامی: به حداقل رساندن اثرات آسیب‌رسان حملات دشمن بر نیروی انسانی، تأسیسات و تجهیزات حیاتی. ارتقاء توانایی مقابله با بحران‌ها: تضمین پاسخ سریع به شرایط اضطراری. بازسازی سریع زیرساخت‌ها: بازیابی مناطق آسیب‌دیده با حداقل هزینه و زمان. با توجه به همسویی این اهداف با مدیریت بحران و تاب‌آوری شهری، پدافند غیرعامل نقش برجسته‌ای در بهبود ظرفیت‌های بازخوانی ایفا می‌کند. این رویکرد، به‌ویژه با اعمال اقدامات پیشگیرانه و بازدارنده، می‌تواند اثرات بحران‌های پیچیده را کنترل کرده و از تبعات آن بکاهد.

روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

کلانشهر تهران، به عنوان مرکز استان تهران و پایتخت سیاسی کشور ایران، با جمعیتی بالغ بر ۹ میلیون و ۳۹ هزار نفر دارای مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع می باشد(مرکز آمار ایران، ۱۴۰۱). از نظر جغرافیایی نیز در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول خاوری و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقهٔ عرض شمالی قرار دارد(سالنامه آماری تهران، ۱۴۰۲). در سال های اخیر، به دلیل افزایش روند شهرنشینی، انواع پهنه های سکونتی و فعالیتی در این کلانشهر به شکل متمرکز می باشد که در هنگام بروز حوادث غیرمترقبه می تواند خسارات بسیاری متحمل گردد.

شکل ۲. موقعیت جغرافیایی کلانشهر تهران



داده و روش کار

در پژوهش حاضر، از روش توصیفی–تحلیلی با هدف شناسایی و ارزیابی روابط متقابل میان زیرساخت‌های کلیدی شهر تهران در برابر تهدیدات سخت و عوامل تأثیرگذار بر پایداری آن‌ها استفاده شده است. در گام نخست، به‌منظور شناسایی دقیق متغیرهای

مرتبط، مستندات و منابع معتبر شامل مطالعات پیشین، استانداردهای ملی و بین‌المللی، و تحقیقات منتشرشده در حوزه پدافند غیرعامل مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه، شاخص‌های کلیدی اثرگذار بر تعامل و وابستگی میان زیرساخت‌های کالبدی-عمرانی شهر تهران استخراج گردید. برای تحلیل روابط متقابل میان این زیرساخت‌ها، از روش MICMAC بهره گرفته شد که با استفاده از ماتریس اثرات متقاطع، نقش و جایگاه هر زیرساخت را در سیستم شهری شناسایی می‌کند. بدین منظور، ماتریس اثرات متقاطع ابتدا بر اساس نظرات خبرگان و با اتکا بر تحلیل داده‌های پژوهشی پیشین تدوین شد. جامعه آماری پژوهش شامل کارشناسان و متخصصان حوزه‌های مرتبط با پدافند غیرعامل و مدیریت زیرساخت‌های شهری بود که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند، تعداد ۳۰ نفر از این افراد برای مشاوره و تکمیل داده‌ها انتخاب شدند. به‌منظور تجمیع و اعتبارسنجی داده‌های حاصل از ۳۰ پرسشنامه تکمیل‌شده توسط خبرگان و استخراج ماتریس اثرات متقابل اولیه میان زیرساخت‌ها، از نرم‌افزار Scenario Wizard استفاده شد. نتایج حاصل از پردازش در نرم‌افزار Scenario Wizard، شامل ماتریس اثرات متقاطع اولیه، به‌عنوان داده‌های ورودی به نرم‌افزار MICMAC منتقل گردید. در فرآیند تحلیل با روش MICMAC، از این داده‌ها و با استفاده از مقیاس کمی برای ارزیابی و مدلسازی شدت اثرات مستقیم و غیرمستقیم متقابل میان زیرساخت‌ها استفاده شد. تحلیل‌ها بر اساس ماتریس اثرات متقاطع در نرم‌افزار MICMAC انجام گرفت و سپس برای تعیین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هر زیرساخت ادامه یافت. این تحلیل به طبقه‌بندی زیرساخت‌ها در چهار دسته شامل زیرساخت‌های کلیدی، وابسته، مستقل، و تنظیمی کمک کرد. هدف اصلی این تحلیل، ارائه درکی جامع از روابط پیچیده میان زیرساخت‌های حیاتی و تحلیل موقعیت استراتژیک آن‌ها در سیستم شهری تهران بود.

بحث و یافته‌های تحقیق

در این پژوهش، با هدف شناسایی و تحلیل روابط متقابل میان زیرساخت‌های کلیدی شهر تهران در شرایط تهدیدات سخت، از رویکرد توصیفی-تحلیلی بهره گرفته شده است. گام نخست به شناسایی زیرساخت‌های حیاتی و اولویت‌دار شهری اختصاص داشت که با اتکا به اسناد بالادستی مرتبط با پدافند غیرعامل و همچنین تحلیل منابع علمی و داده‌های پیشین انجام شد. بر این اساس، هشت زیرساخت اصلی شامل حمل‌ونقل، ارتباطات و فناوری اطلاعات، انرژی، تأمین آب، غذا و کشاورزی، بهداشت و سلامت، حاکمیتی، و دفاعی و امنیتی به‌عنوان اجزای کلیدی و اولویت‌دار در نظر گرفته شدند. در مرحله بعد، شدت روابط متقابل میان این زیرساخت‌ها در سناریوی وقوع تهدیدات سخت (با استفاده از اصول روش MICMAC تحلیل شد. داده‌های مورد نیاز از طریق جمع‌آوری نظرات خبرگان با روش دلفی گردآوری و سپس کمی‌سازی شد. این فرایند ضمن بررسی پیامدها و اثرات متقابل بین زیرساخت‌ها، به ارزیابی میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها در شرایط بحرانی پرداخت. برای کمی‌سازی روابط، ماتریس اثرگذاری متقاطع تشکیل و شدت تعاملات متقابل میان زیرساخت‌ها در چهار سطح از ۰ تا ۳ (از "بدون تأثیر" تا "تأثیرگذاری حیاتی") ارزیابی شد. هر سلول در ماتریس نمایانگر شدت اثرگذاری یک زیرساخت بر دیگری در شرایط بحرانی بود. این تحلیل به شناسایی زیرساخت‌های کلیدی (با تأثیرگذاری بالا)، وابسته (با تأثیرپذیری بالا)، و زیرساخت‌های تنظیمی یا مستقل در سیستم شهری منجر شد. نتایج حاصل از این روش، چارچوبی مؤثر برای تدوین استراتژی‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه در شرایط تهدیدات سخت ارائه کرد. ماتریس نهایی اثرات متقاطع، در بخش‌های بعدی تحقیق به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲. ماتریس تاثیرات متقابل زیرساخت های کالبدی و عمرانی

زیرساخت های کالبدی	اثر گذاری / اثر پذیری	حمل و نقل	ارتباطات و فناوری اطلاعات	انرژی	تأمین آب	حاکمیتی	غذا و کشاورزی	بهداشت و سلامت	دفاعی و امنیتی
حمل‌ونقل	اثر گذاری	۰	۰	۲	۱	۲	۳	۳	۲
	اثر پذیری	۰	۲	۳	۰	۱	۰	۰	۲
	اثر گذاری	۲	۰	۲	۲	۲	۰	۱	۳

ارتباطات و فناوری اطلاعات	اثر پذیری	۰	۰	۲	۲	۲	۰	۰	۱
انرژی	اثر گذاری	۳	۲	۰	۳	۳	۱	۳	۳
	اثر پذیری	۲	۲	۰	۲	۲	۰	۰	۲
تأمین آب	اثر گذاری	۰	۱	۲	۰	۲	۳	۲	۳
	اثر پذیری	۱	۲	۳	۰	۲	۰	۲	۲
حاکمیتی	اثر گذاری	۱	۲	۲	۲	۰	۲	۲	۳
	اثر پذیری	۲	۲	۳	۲	۰	۲	۳	۲
غذا و کشاورزی	اثر گذاری	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۳	۳
	اثر پذیری	۳	۱	۱	۳	۲	۰	۲	۱
بهداشت و سلامت	اثر گذاری	۰	۰	۰	۲	۳	۳	۰	۲
	اثر پذیری	۳	۱	۳	۲	۲	۳	۰	۲
دفاعی و امنیتی	اثر گذاری	۲	۱	۲	۲	۳	۱	۲	۰
	اثر پذیری	۲	۳	۲	۳	۳	۳	۲	۰

تحلیل کمی وابستگی و تأثیر متقابل زیرساخت‌های کالبدی نشان می‌دهد که شبکه زیرساختی کشور از پیوندهای بسیار قوی و متقابل برخوردار است و هیچ بخش مستقلی وجود ندارد. زیرساخت انرژی با بیشترین مجموع اثرگذاری، محور اصلی پایداری کل سیستم شناخته می‌شود؛ به طوری که هر اختلال در تولید یا توزیع انرژی، به صورت مستقیم و غیرمستقیم موجب توقف یا اختلال جدی در حمل‌ونقل، شبکه آب، ارتباطات، دفاع‌وامنیت، غذا و کشاورزی و حتی ساختارهای حکمرانی می‌گردد. پس از آن، زیرساخت حمل‌ونقل در جایگاه دوم تاثیرگذاری قرار دارد و اگر دچار آسیب یا وقفه شود، زنجیره تأمین غذا، توزیع آب، ارائه خدمات بهداشتی و امکان واکنش دفاعی با اختلال جدی مواجه می‌شود، هرچند خود به شدت به پایداری انرژی و ثبات مدیریتی در ساختار حکمرانی وابسته است. ساختار حکمرانی نیز به عنوان تنظیم‌گر اصلی، مدیریت هماهنگ سایر بخش‌ها را بر عهده دارد و ضعف یا از هم گسیختگی آن، پیامدهای دومینویی و تشدید بحران در تمام حوزه‌ها را به دنبال خواهد داشت. در این میان ارتباطات و فناوری اطلاعات برای انتقال داده‌ها و فرماندهی بحران ضروری است، امّا میزان اثرگذاری آن بر سایر بخش‌ها کمتر از انرژی و حمل‌ونقل بوده و خود به انرژی و حکمرانی وابسته است، به گونه‌ای که قطع ارتباطات در اثر نقص در این دو حوزه، فرآیند هماهنگی و هشدار سریع را مختل کرده و اثر بحران‌های اولیه را تشدید می‌کند. زیرساخت آب‌رسانی نیز به طور جدی متکی بر انرژی، حمل‌ونقل و حاکمیت است و حمله یا اختلال در هر یک از این حوزه‌ها می‌تواند شبکه آب‌رسانی را از کار انداخته و سلامت اجتماعی و نظم شهری–روستایی را به خطر اندازد؛ از این رو ضرورت توسعه سامانه‌های توزیع مقاوم، منابع انرژی تجدیدپذیر و خطوط پشتیبان موازی اجتناب‌ناپذیر است. حوزه غذا، کشاورزی و سلامت کمترین میزان اثرگذاری را بر دیگر بخش‌ها دارد اما بسیار اثرپذیر است و امنیت غذایی و بهداشت جامعه بدون تداوم عملکرد سایر زیرساخت‌ها به سرعت متزلزل می‌شود؛ بنابراین مقاوم‌سازی عملیاتی این بخش‌ها و افزایش ذخیره‌سازی استراتژیک برای کاهش وابستگی ضرورت دارد. در نهایت زیرساخت دفاعی–امنیتی هم از حیث اثرگذاری و هم از حیث اثرپذیری در سطوح بالایی قرار دارد و تداوم عملیات آن مستلزم تأمین پایدار انرژی، شبکه حمل‌ونقل کارآمد، ساختار مدیریتی قدرتمند و ارتباطات مستقل است. ماهیت سیستمی و غیرخطی انتقال بحران در این شبکه باعث می‌شود هر اختلالی پی‌درپی و با تاخیر زمانی و مکانی، به دیگر بخش‌ها سرایت کند و حتی ترکیبی از بحران‌ها را پدید آورد. از این رو برنامه‌های تاب‌آوری و مدیریت بحران باید بر اساس اولویت‌های کمّی اثرگذاری و اثرپذیری، زیرساخت‌ها را به گروه‌های پیشران، میانی و اثرپذیر تقسیم کرده و برای هر گروه راهبردهای ویژه مقاوم‌سازی، پایش و پشتیبانی تعریف نمایند. متمرکز کردن سیاست‌گذاری‌ها بر تقویت زیرساخت‌های انرژی و حمل‌ونقل، ارتقای ظرفیت حکمرانی و ایجاد سامانه‌های پشتیبان برای بخش‌های اثرپذیر، می‌تواند احتمال فروپاشی زنجیره‌ای ناشی از تهدیدات سخت را به حداقل رسانده و انعطاف‌پذیری و سطح آمادگی ملی را افزایش دهد.

شکل ۳. اثر گذاری و اثر پذیری زیرساخت های عمرانی کالبدی شهر تهران از سایر زیرساخت ها

تحلیل کمی روابط اثرگذاری و اثرپذیری میان زیرساخت‌های کالبدی کشور با استفاده از ماتریس‌های تأثیر و پذیرش نشان می‌دهد که این شبکه کاملاً سیستمی و غیرخطی است و هر گونه اختلال در یک بخش می‌تواند پیامدهای زنجیره‌ای و ترکیبی پدید آورد. در این چارچوب، زیرساخت انرژی با بالاترین مقدار مجموع اثرگذاری شناخته شده و به‌عنوان پیشران اصلی پایداری کل سیستم زیرساختی مطرح می‌شود؛ زیرا تأمین مداوم انرژی، شرط لازم برای عملکرد سامانه‌های حمل‌ونقل، شبکه آب، ارتباطات و فناوری اطلاعات، دفاع و امنیت و نیز فرآیندهای حاکمیتی و خدمات عمومی است. اختلال یا کاهش دسترسی به منابع انرژی، بلافاصله ظرفیت عملکردی حمل‌ونقل را محدود کرده، شبکه توزیع آب را مختل می‌سازد، توان دفاعی و امنیتی را تضعیف می‌کند و حتی روند تصمیم‌سازی و هدایت مدیریت بحران را با افت جدی مواجه می‌سازد. این وابستگی متقابل، انرژی را در جایگاه یک نقطه بحرانی با اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم متعدد قرار می‌دهد که تضمین تداوم آن باید از اولویت‌های اصلی در برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری در برابر تهدیدات سخت باشد. پس از انرژی، زیرساخت حمل‌ونقل بیشترین نقش مؤثر را در

همبستگی اجزای شبکه ایفا می‌کند؛ زیرا حمل‌ونقل با تسهیل جابه‌جایی کالا، منابع و نیروی انسانی، هم‌افزایی عملیاتی سایر بخش‌ها را میسر ساخته و جریان خدمات حیاتی مانند تأمین غذا، امدادهای پزشکی و واکنش‌های امنیتی را تضمین می‌کند. داده‌های ماتریس اثرپذیری نیز نشان می‌دهد که عملکرد حمل‌ونقل به‌شدت متکی به استمرار دسترسی به انرژی و ثبات زیرساخت‌های ارتباطی و حکمرانی است و کوچک‌ترین وقفه در این حوزه‌ها، نه‌تنها روند عملیات حمل‌ونقل را کند می‌کند، بلکه شیوع بحران را در دیگر بخش‌ها تشدید می‌نماید. بدین ترتیب، حمل‌ونقل در عین حال که نقطه قوتی برای پایداری و انسجام شبکه است، به دلیل حساسیت بالا به نقایص سایر زیرساخت‌ها، خود نیز به‌عنوان عاملی آسیب‌پذیر شناخته می‌شود و نیازمند تدابیر هوشمندانه برای تأمین منابع مستقل انرژی، اتوماسیون ارتباطی و بهره‌گیری از سامانه‌های مدیریت بحران هوشمند است. در سطح حاکمیتی، ساختار مدیریت و سیاست‌گذاری به‌مثابه تنظیم‌گر اصلی شبکهٔ زیرساختی عمل می‌کند و از طریق هماهنگی میان بخش‌های گوناگون، ظرفیت پاسخ‌گویی و سازگاری کل سیستم را تعیین می‌نماید. ماتریس اثرگذاری و اثرپذیری نشان می‌دهد که ضعف یا از کار افتادن سازوکارهای حکمرانی، می‌تواند موجب بروز اثری دومینویی در سایر زیرساخت‌ها شود و کیفیت اجرای فرایندهای حیاتی مانند توزیع منابع، پشتیبانی امنیتی و ارائه خدمات بهداشتی را به‌طور همزمان به مخاطره اندازد. بدین ترتیب، تقویت توان سازمانی، ارتقای شفافیت تصمیم‌سازی و توسعه مکانیزم‌های پایش و پاسخ‌گویی سریع، از الزامات بنیادین برای افزایش تاب‌آوری کل شبکه در برابر تهدیدات پیچیده است. زیرساخت ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌عنوان ستون فقرات تبادل داده و ابزار اصلی فرماندهی و کنترل بحران، ضمن اینکه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کارآمدی حمل‌ونقل، انرژی و دفاع و امنیت دارد، خود نیز کاملاً تابع دسترسی مطمئن به انرژی و هدایت حکمرانی است. تحلیل ماتریس‌ها بیانگر آن است که افت در سطح خدمات ارتباطی می‌تواند منجر به کندی انتقال اطلاعات، کاهش هماهنگی میان‌بخشی و در موارد بحرانی، افزایش خطاها در فرایندهای تصمیم‌سازی شود. بنابراین، ایجاد شبکه‌های مخابراتی با منابع انرژی پشتیبان و بهره‌گیری از فناوری‌های رمزینه و توزیع‌شده، در کنار ارتقای سطح امنیت سایبری، برای حفظ تداوم عملیات ارتباطی در شرایط بحرانی ضروری است. در قلمرو تأمین و توزیع آب نیز همانند سایر حوزه‌ها، وابستگی شدیدی به انرژی، حمل‌ونقل و ساختار حکمرانی مشاهده می‌شود. هر گونه تهدید فیزیکی یا اختلال در این سه حوزه می‌تواند شبکه آب‌رسانی را مختل ساخته و سلامت عمومی و نظم شهری را تحت فشار قرار دهد. از این رو، توسعه سامانه‌های توزیع آب مقاوم در برابر قطعی و آلودگی، بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر برای پمپاژ و انتقال آب و ایجاد خطوط موازی پشتیبان، از مهم‌ترین راهبردها برای تضمین استمرار خدمات آب‌رسانی به شمار می‌آید. مطالعه پیرامون بخش غذا و کشاورزی و نیز بهداشت و سلامت نشان می‌دهد که این دو حوزه با وجود اثرگذاری محدود بر دیگر بخش‌ها، از بالاترین سطح اثرپذیری برخوردارند. امنیت غذایی و پایداری نظام سلامت به شکل مستقیم به عملکرد بی‌وقفه حامل‌های انرژی، شبکه حمل‌ونقل و قابلیت دسترسی به آب سالم وابسته است. اختلال در هر یک از این زیرساخت‌ها می‌تواند به سرعت ثبات زنجیره تأمین غذا و ارائه خدمات پزشکی را مختل کند و سلامت عمومی را به مخاطره اندازد. از این رو، افزایش استقلال عملیاتی با ذخیره‌سازی استراتژیک، طراحی طرح‌های تداوم کسب‌وکار ویژه این حوزه‌ها و تقویت زیرساخت‌های محلی مقابله با بحران، اهمیت ویژه‌ای دارد. در نهایت، زیرساخت دفاعی و امنیتی نقش دوگانه‌ای دارد؛ از یک سو به‌عنوان پشتیبان امنیت ملی و عامل تقویت ایمنی سایر زیرساخت‌ها شناخته می‌شود و از سوی دیگر، به‌دلیل وابستگی به انرژی، حمل‌ونقل، ارتباطات و حاکمیت، در برابر وقایع سخت آسیب‌پذیر است. برای تضمین آمادگی عملیاتی و واکنش سریع، استفاده از منابع انرژی بومی، شبکه‌های ارتباطی مستقل و طراحی سناریوهای جایگزین برای لجستیک و فرماندهی الزامی است.

جمع‌بندی این تحلیل حاکی از آن است که بحران‌ها در شبکه زیرساختی کشور ماهیتی پیچیده، سیستمی و غیرخطی دارند و انتشار اثرات اختلالات به‌صورت زنجیره‌ای و ترکیبی رخ می‌دهد. بر این اساس، سیاست‌گذاری تاب‌آوری باید بر مبنای اولویت‌های کمیِ اثربخشی و آسیب‌پذیری، زیرساخت‌ها را به سه گروه پیشران (انرژی، حمل‌ونقل)، میانی (حاکمیت، ارتباطات، آب) و اثرپذیر (غذا، سلامت، دفاع و امنیت) تقسیم نموده و برای هر گروه راهبردهای مقاوم‌سازی، پایش منظم و ایجاد خطوط

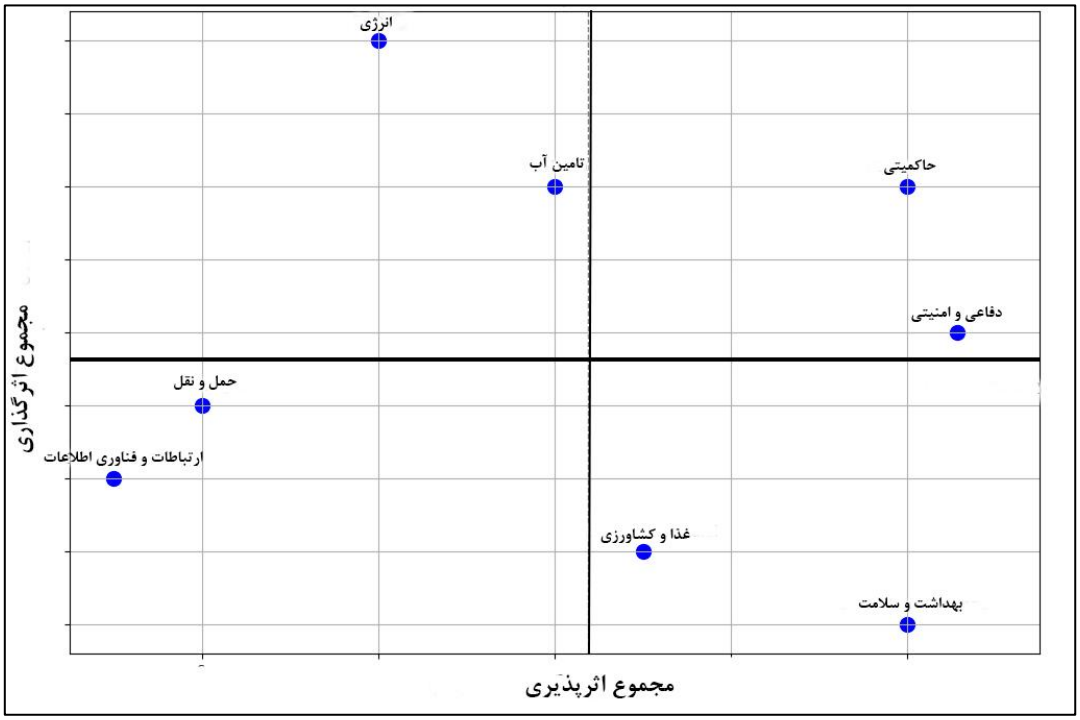
پشتیبان تعریف نماید. تمرکز بر تقویت منابع انرژی و حمل‌ونقل، ارتقای کارایی حکمرانی و شبکه‌های ارتباطی، و پشتیبانی ویژه از بخش‌های اثرپذیر، می‌تواند احتمال فروپاشی زنجیره‌ای را به حداقل رسانده و سطح آمادگی و انعطاف‌پذیری ملی را به‌طور چشمگیری ارتقا بخشد. در ادامه با بهره‌گیری از ماتریس اثرگذاری متقاطع، نقش و جایگاه راهبردی هر یک از زیرساخت‌های کالبدی کشور بررسی شد. در این ماتریس، مجموع مقادیر سطرها نشان‌دهنده توان تأثیرگذاری مستقیم هر زیرساخت بر سایر اجزاء و مجموع مقادیر ستون‌ها گرایش آن زیرساخت به اثرپذیری از سایر بخش‌ها را بیان می‌کند. تحلیل این دو شاخص امکان شناسایی زنجیره‌های همبستگی، تعیین نقاط قوت و آسیب‌پذیری و اولویت‌بندی اقدامات مقاوم‌سازی را در سطح کلان فراهم می‌آورد.

جدول ۳. مجموع اثر گذاری و اثر پذیری متقابل زیرساخت های عمرانی – کالبدی شهر تهران

زیرساخت‌های کالبدی	مجموع اثرگذاری	مجموع اثرپذیری
حمل‌ونقل	۱۳	۸
ارتباطات و فناوری اطلاعات	۱۲	۷
انرژی	۱۸	۱۰
تأمین آب	۱۳	۱۲
حاکمیتی	۱۴	۱۶
غذا و کشاورزی	۸	۱۳
بهداشت و سلامت	۱۰	۱۶
دفاعی و امنیتی	۱۳	۱۸

در تحلیل ساختار زیرساخت‌های کالبدی کشور، هر زیرساخت به‌مثابه یک حلقه ضروری در زنجیره‌ای منسجم دیده می‌شود که پایداری و امنیت ملی، وابسته به تعاملات پیچیده و متقابل میان آن‌هاست. نتایج نشان می‌دهد که هیچ بخش مستقلی عمل نمی‌کند و کارکرد هر یک، به استمرار عملکرد سایر حوزه‌ها گره خورده است. زیرساخت‌هایی نظیر انرژی و تأمین آب به‌عنوان بنیان اولیه تأمین منابع حیاتی از جایگاهی محوری برخوردارند؛ اختلال در تولید یا توزیع آن‌ها، به‌سرعت به کاهش قابلیت حمل‌ونقل، توقف سامانه‌های ارتباطی، کندی واکنش‌های دفاعی–امنیتی و حتی بروز بحران‌های کمبود غذا و فروپاشی خدمات بهداشتی–درمانی منجر می‌شود. مهندسی معکوس این وابستگی‌ها بیانگر آن است که توان بازیابی سریع و ایجاد راهکارهای پشتیبان در این دو بخش، اساس دوام کل سامانه زیرساختی است. در مقابل، بخش‌های حمل‌ونقل و ارتباطات‌وظیفه تسهیل هماهنگی و جابه‌جایی کالا، نیروی انسانی، داده‌ها و فرمان‌ها را بر عهده دارند و ستون‌های هم‌افزایی عملیاتی در شرایط عادی و بحران محسوب می‌شوند. هرگونه سستی در این سامانه‌ها، نه‌تنها باعث کندی در گردش آزاد اطلاعات و خدمات می‌شود، بلکه توان واکنش سریع به تهدیدات سخت را نیز کاهش می‌دهد. زیرساخت حاکمیتی و دفاعی–امنیتی، علاوه بر نقش تنظیم‌گری و مدیریت کل شبکه، خود به‌طور جدی از دسترسی به انرژی، ارتباطات، آب و تدارکات لجستیکی تأثیر می‌پذیرد؛ بنابراین تضمین تداوم منابع و ایجاد مسیرهای موازی پشتیبان در آن‌ها، برای حفظ آمادگی ملی و جلوگیری از اثرات دومینویی اختلالات ضروری است. در نهایت، زیرساخت‌های غذا، کشاورزی، بهداشت و سلامت به‌عنوان بخش‌های اثرپذیرترین حلقه زنجیره، بیشترین آسیب‌پذیری را نسبت به نوسانات سایر زیرساخت‌ها دارند؛ اختلالات جزئی در تأمین انرژی، شبکه حمل‌ونقل، تأمین آب یا خدمات ارتباطی قادر است امنیت غذایی و خدمات درمانی را با مخاطره اساسی مواجه سازد. نتیجه کلیدی این تحلیل این است که تقویت و مقاوم‌سازی زیرساخت‌های پیشران

(انرژی، آب)، تسهیل‌گر (حمل‌ونقل، ارتباطات) و پشتیبان (حاکمیت، دفاع و امنیت)، همراه با ایجاد خطوط اضطراری موازی، ضامن پایداری و انعطاف‌پذیری شبکه زیرساختی کشور در مواجهه با تهدیدات و بحران‌های پیش‌بینی‌نشده خواهد بود.



شکل ٤. ساختار اثرگذاری (اثرپذیری) زیرساخت های کالبدی عمرانی کلانشهر تهران

ارزیابی شبکه زیرساخت‌های کالبدی کشور بر مبنای ماتریس اثرگذاری–اثرپذیری نشان می‌دهد که بخش‌هایی مانند انرژی، حمل‌ونقل، ارتباطات و فناوری اطلاعات، تأمین آب، حاکمیتی، غذا و کشاورزی، بهداشت و درمان و دفاعی–امنیتی، در قالب یک سامانه یکپارچه و پویا با یکدیگر پیوند خورده‌اند و پایداری هر یک از این حلقه‌ها مستقیماً تابع عملکرد سایر اجزاست. داده‌های تحلیلی موجود حکایت از آن دارد که انرژی نقش پیش‌ران اصلی را در تأمین نیروی محرکه سایر بخش‌ها دارد و اختلال در آن نه تنها کارکرد حمل‌ونقل، ارتباطات، تأمین آب و صنایع را مختل می‌سازد، بلکه به سرعت بر یگان‌های دفاعی و خدمات بهداشتی نیز اثرگذار است. حمل‌ونقل هرچند خود تابع تأمین مطمئن انرژی و تضمین پهنای باند ارتباطی است، به‌مثابه رگ‌گردان جابه‌جایی کالا، نیرو و خدمات عمل می‌کند و کم‌ترین کندی در آن می‌تواند بحران دومینویی را در تمامی شبکه تسریع کند. از سوی دیگر، زیرساخت ارتباطات و فناوری اطلاعات با نقشی شریان‌گونه، مبنای کنترل، هماهنگی و تبادل داده‌هاست و تضمین پاسخ سریع و مدیریت بحران در همه سطوح بدون پایداری این رکن ممکن نیست. در کنار این سه بخش پیشران و واسط، زیرساخت تأمین آب کارکرد نسبتاً متوسطی در اثرگذاری بر دیگر حوزه‌ها دارد اما از قضا بالاترین میزان آسیب‌پذیری را در میان وابستگی‌های متقابل تجربه می‌کند؛ آن‌چنان‌که توقف دسترسی به آب، زنجیره‌های غذایی، بهداشت و صنایع کلان را فوراً در معرض فروپاشی قرار می‌دهد. حوزه‌های غذا و کشاورزی و بهداشت و درمان نیز هرچند خود نقش مستقیمی در اثرگذاری بر شبکه ندارند، شدیداً وابسته به قابلیت جابه‌جایی مواد اولیه، انرژی، آب و تبادل اطلاعات‌اند و کوچک‌ترین وقفه در یکی از این حامل‌ها می‌تواند توان خدمت‌رسانی آن‌ها را تا مرز ناکارآمدی کاهش دهد. بخش حاکمیتی و دفاعی–امنیتی نیز ضمن ایفای نقش تنظیم‌گری و نگهبانی کل شبکه، خود از دسترسی به انرژی، ارتباطات، حمل‌ونقل و زیرساخت‌های پشتیبان تأمین آب و غذا متأثر است، به‌گونه‌ای که

مؤثرترین نظم‌بخشی و پاسخگویی ملی در برابر تهدیدات سخت بدون تقویت خطوط پشتیبان و ذخیره‌سازی منابع امکان‌پذیر نیست.

این تحلیل چهار الگوی عملکردی را در شبکه زیرساختی آشکار می‌کند: اول، گروه کلیدی با اثرگذاری و اثرپذیری بالا که ویژه بخش‌های حاکمیتی و دفاعی است و نیازمند ساختار فرماندهی یکپارچه و رزرو منابع دائمی است؛ دوم، گروه پیش‌ران که متشکل از انرژی و آب بوده و با تنوع منابع، ذخیره استراتژیک و فناوری پایش هوشمند باید آسیب‌پذیری خود را کاهش دهند؛ سوم، گروه وابسته در حوزه غذا و بهداشت که باید از طریق ایجاد ذخایر راهبردی، خطوط توزیع موازی و پروتکل‌های واکنش سریع تقویت شوند؛ و چهارم، گروه واسط شامل حمل‌ونقل و ارتباطات که با توسعه مسیرهای چندگانه، زیرساخت‌های افزونه و پروتکل‌های سرعت‌بخش می‌توانند نقش حمایت‌کننده خود را در بحران‌ها تضمین نمایند.به‌دلیل رفتار غیرخطی و وجود حلقه‌های بازخورد متعددی که کوچک‌ترین اختلال در یک نقطه را به بحران گسترده تبدیل می‌کند، اجرای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، پایش بلادرنگ با استفاده از اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی، و بازبینی دوره‌ای ماتریس اثرگذاری–اثرپذیری برای انطباق سیاست‌ها با شرایط نوظهور ضروری است. همچنین، تدوین پروتکل‌های امنیت سایبری، آمادگی مقابله با مخاطرات اقلیمی و تقویت همکاری میان نهادهای اجرایی، پژوهشی و بخش خصوصی در قالب رزمایش‌های میان‌بخشی از الزامات کلیدی تاب‌آوری ملی به شمار می‌آید. در نهایت، تنها رویکردی که با نگرش شبکه‌ای و چندلایه قادر به حفظ ثبات و انعطاف‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر حملات سخت و بحران‌های ترکیبی است، تحلیل جامع‌نگر و مدیریت مبتنی بر هم‌افزایی این هشت بخش حیاتی می‌باشد، ارزیابی شبکه زیرساخت‌های کالبدی کشور به کمک ماتریس اثرگذاری–اثرپذیری نشان داده است که زیرساخت انرژی به عنوان پیشران حیاتی و نقطه کانونی آسیب‌پذیری با مجموع اثرگذاری ۱۸ و اثرپذیری ۱۰ نقش محوری در تأمین فعالیت حمل‌ونقل، ارتباطات و فناوری اطلاعات، تأمین آب، بهداشت، حاکمیت و دفاعی–امنیتی دارد و به همین دلیل هدف راهبردی تهدیدات سخت تلقی می‌شود. زیرساخت تأمین آب به‌عنوان رزیرساخت موثر بر پایداری زیستی و بهداشتی، علی‌رغم اثرپذیری بالا از انرژی و ارتباطات، ستون اصلی بهداشت عمومی، امنیت غذایی و عملیات دفاعی است و اختلال در سدها، تصفیه‌خانه‌ها یا شبکه پمپاژ می‌تواند منجر به بحران‌های بهداشتی و انسداد لجستیکی شود. زیرساخت ارتباطات و فناوری اطلاعات به منزله زیرساخت فرماندهی، کنترل و هماهنگی دارای اثرگذاری متوسط رو به بالا و اثرپذیری پایین از انرژی و حاکمیت است و به رغم آسیب‌پذیری در برابر حملات سایبری و الکترومغناطیسی، ضامن جریان داده، مدیریت بحران و هماهنگی بین‌بخشی است. زیرساخت حمل‌ونقل تحت عنوان زیرساخت حیاتی لجستیک و جابه‌جایی با اثرگذاری متوسط رو به بالا و اثرپذیری متوسط در ترابری افراد، کالا و سوخت برای انرژی و غذا نقشی بی‌بدیل دارد، به‌گونه‌ای که هر کندی در شبکه ریلی، جاده‌ای یا تونلی می‌تواند زنجیره تأمین را فلج کند. زیرساخت غذا و کشاورزی به عنوان تأمین‌کننده امنیت حیاتی با اثرگذاری پایین ولی اثرپذیری متوسط رو به بالا، شدیداً وابسته به آب، انرژی، حمل‌ونقل و ارتباطات است و اختلال در این حوزه‌ها می‌تواند موجب کمبود سریع مواد غذایی و ناآرامی‌های اجتماعی شود. زیرساخت بهداشت و درمان که زیرساخت سلامت و حیات محسوب می‌شود با اثرگذاری پایین و اثرپذیری بالا از حامل‌های انرژی، آب، حمل‌ونقل و ارتباطات، در مدیریت پیامدهای انسانی تهدیدات سخت و جلوگیری از شیوع بیماری‌ها نقشی تعیین‌کننده دارد. زیرساخت حاکمیتی به عنوان زیرساخت حیاتی مدیریت و تصمیم‌گیری با اثرگذاری و اثرپذیری بالا در هماهنگی ملی، سیاست‌گذاری و واکنش بحران، بیش از آن‌که محرک باشد، به پایداری سایر بخش‌ها وابسته است. نهایتاً زیرساخت دفاعی و امنیتی به عنوان حافظ حیات، تمامیت و امنیت با اثرگذاری متوسط رو به بالا و بالاترین اثرپذیری، هم از بقای سایر زیرساخت‌ها

تغذیه می‌کند و هم نقش تسهیل‌کننده نظم و پشتیبان لجستیک دارد. این چینش متقابل و غیرخطی از وابستگی‌ها مستلزم شبیه‌سازی مستمر، پایش بلادرنگ و مقاوم‌سازی فیزیکی و سایبری برای تضمین تاب‌آوری ملی است

در فرآیند آینده‌پژوهی زیرساخت‌های کالبدی، از آنجا که عدم‌قطعیت‌ها و پیچیدگی‌های محیطی بسیارند، سناریونویسی به‌عنوان ابزاری کلیدی برای ترسیم مسیرهای ممکن پیش‌رو و واکنش به انواع تهدیدات عمل می‌کند و امکان بررسی آثار تصمیمات در حالات مختلف آینده و تدوین راهبردهای مناسب را فراهم می‌آورد. بر پایه تحلیل ماتریس اثرگذاری–اثرپذیری و جایگاه هر زیرساخت، سناریوهای متنوعی برای مواجهه با تهدیدات سخت طراحی و پیامدها و راهکارهای هر یک به‌منظور روشن‌سازی نقاط قوت و ضعف آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحلیل‌ها چشم‌اندازی روشن برای سیاست‌گذاری در جهت ارتقای تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری ارائه می‌کند. با توجه به احتمال حملات نظامی مستقیم به کلان‌شهرها، این سناریوها تلفیقی از روندهای موجود، عدم‌قطعیت‌های کلیدی و تصمیمات پدافند غیرعامل را در بر می‌گیرند تا امنیت زیرساخت‌های حیاتی و حفظ جان و سلامت شهروندان تضمین شود، از این رو در ادامه سناریو های محتمل با توجه به تحلیل های انجام شده ارائه خواهد شد:

جدول ٤. سناریو های تدوین شده و مشخصه های آن ها

عنوان سناریو	وضعیت تهدیدات	شدت آسیب‌پذیری	وضعیت اصول پدافند غیرعامل (مطابق اهمیت)	وضعیت زیرساخت‌های کالبدی (با توجه به اصول پدافند غیرعامل)	نقاط قوت یا ضعف	نتیجه کلی
۱. آینده تاب‌آور و یکپارچه (مطلوب)	تهدیدات مدیریت‌شده، رصد و پیشگیری مؤثر	کم	اصول با اهمیت (مکان‌یابی، تفرقه، استحکامات، فریب) به‌صورت کامل، هوشمند و یکپارچه اجرایی شده‌اند. اصول مکمل (پراکندگی، استتار، پوشش و اعلام خبر) نیز در همه زیرساخت‌ها رعایت شده	زیرساخت‌ها با انتخاب بهترین مکان، جداسازی و تفرقه مناسب، استحکام‌بخشی پیشرفته و تدابیر فریبی و استتاری فناورانه ساخته شده‌اند. ریسک آسیب‌پذیری به حداقل رسیده و زنجیره دفاعی یکپارچه است	قوای حداکثری: انعطاف‌پذیری، احیای سریع، هم‌افزایی، دشواری هدف‌گیری توسط دشمن ضعف: هزینه پیاده‌سازی و مدیریت بالا	قابلیت دفاع، پایداری و تاب‌آوری بسیار بالاست؛ خدمات حداکثر در بحران
۲. تاب‌آوری نابرابر و واکنش‌های بخشی (میانه)	تهدیدات متنوع و تاحدی محلی	متوسط	فقط در مناطق جدید و کلیدی، اصول مکان‌یابی و تفرقه — تا حد قابل قبولی — اجرا شده؛ استحکامات و فریب ضعیف‌تر و دیگر اصول در بخش‌های قدیمی یا کم‌اهمیت عمدتاً مغفول	زیرساخت‌ها در برخی نقاط (نقاط کلیدی) مقاوم و جداشده‌اند. ولی در بقیه شبکه، استحکام کمتر است و فریب/استتار ناکافی است. برخی گره‌ها به دلیل فقدان تفرقه، نقطه‌ضعف محسوب می‌شوند	قوت: حفاظت و تداوم خدمات در بخش‌های مقاوم ضعف: انتقال خسارت به نقاط آسیب‌پذیر و امکان تسری بحران	پایداری متوسط؛ آسیب محلی یا بخشی منجر به ایجاد بحران‌های قابل کنترل می‌شود
۳. تسلط تهدیدات ترکیبی و آسیب‌های زنجیره‌ای (نامطلوب)	تهدیدات شدید و دلخواه دشمن، همزمان و ترکیبی	بالا	اجرای ضعیف یا غیراستاندارد اصول پر اهمیت؛ مکان‌یابی اشتباه، تفرقه و استحکامات ناکافی، فریب و استتار تقریباً وجود ندارد	زیرساخت‌ها اغلب در نقاط شناسایی‌شده، به‌صورت متراکم و فاقد جداسازی، بدون استحکامات کافی و کاملاً آسیب‌پذیر ساخته شده‌اند؛ نبود فریب یا پراکندگی موجب هدف قرار گرفتن متوالی همه اجزا شده است	قوت: اندک، فقط در موارد با استحکامات تصادفی ضعف: طغیان بحران، فروپاشی سریع شبکه	فروپاشی سریع و زنجیره‌ای، خروج زیرساخت‌ها از مدار خدمت

در مجموع، سناریوی مطلوب با طراحی هوشمند زیرساخت‌ها و تکمیل چتر پدافند غیرعامل، سناریوی میانی با گسترش پراکندگی هدفمند و تدرجی‌سازی تدابیر دفاعی و سناریوی نامطلوب با لزوم اقدامات اصلاحی سریع برای پر کردن شکاف‌های آسیب‌پذیری و آمادگی بیشتر برای تهدیدات پیچیده تعریف می‌شوند. در هر سطح، پیوستگی میان تمرین، آموزش، تحلیل ریسک و توسعه فناوری‌های هم‌راستا با اصول پدافند غیرعامل، ستون فقرات راهبردی حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی کشور را شکل می‌دهد

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش توصیفی-تحلیلی و تحلیل کمّی روابط متقابل زیرساخت‌های حیاتی شهر تهران در مواجهه با تهدیدات سخت، چارچوبی شبکه‌ای و سیستماتیک برای ارزیابی اثرگذاری و اثرپذیری هشت زیرساخت اصلی شامل حمل‌ونقل، ارتباطات و فناوری اطلاعات، انرژی، تأمین آب، حاکمیت، غذا و کشاورزی، بهداشت و سلامت و دفاع و امنیت ارائه شد. از طریق گردآوری و کمی‌سازی نظرات خبرگان به روش دلفی و تهیه ماتریس اثرگذاری متقاطع با مقیاس صفر تا سه برای شدت تعاملات، مشخص گردید که هیچیک از زیرساخت‌ها به‌صورت مستقل عمل نمی‌کنند و هرگونه اختلال در یک بخش می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث اختلال یا توقف سایر بخش‌ها شود. این تحلیل نشان داد که زیرساخت انرژی با بالاترین مجموع اثرگذاری (۱۸) و سطح قابل‌توجه اثرپذیری (۱۰)، به‌مثابه پیشران اصلی ثبات کل شبکه زیرساختی است؛ به‌گونه‌ای که هر نوسان در تولید یا توزیع انرژی نه‌تنها عملکرد حمل‌ونقل و شبکه آب را متوقف می‌سازد، بلکه خدمات ارتباطی، واکنش‌های دفاعی و تصمیم‌سازی‌های حکمرانی را نیز با اختلال جدی مواجه می‌سازد. پس از انرژی، زیرساخت حمل‌ونقل با مجموع اثرگذاری ۱۳ در مقام دوم قرار دارد و وقفه در آن ضمن تهدید امنیت غذایی و بهداشت عمومی، توان واکنش به تهدیدات امنیتی و لجستیک دفاعی را نیز به‌شدت کاهش می‌دهد. زیرساخت حاکمیتی نیز با مجموع اثرگذاری و اثرپذیری برابر (۱۶)، به‌عنوان تنظیم‌گر مرکزی شبکه شناخته شد که تأمین هماهنگی میان بخش‌ها و پایداری کلی سیستم در گرو توانمندسازی شبکه حکمرانی است. سایر زیرساخت‌ها نیز بر اساس شدت اثرگذاری و اثرپذیری در چهار گروه عملکردی متمایز طبقه‌بندی شدند: گروه کلیدی شامل حاکمیت و دفاع و امنیت که نیازمند فرماندهی یکپارچه و رزرو دائمی منابع هستند؛ گروه پیش‌ران مشتمل بر انرژی و آب که با تنوع منابع و توسعه ذخایر استراتژیک قابلیت کاهش آسیب‌پذیری را دارند؛ گروه وابسته که شامل غذا و بهداشت است و به واسطه اثرپذیری بسیار بالا نیازمند افزایش ذخیره‌سازی و خطوط توزیع موازی می‌باشد؛ و در نهایت گروه واسط متشکل از حمل‌ونقل و ارتباطات که با گسترش مسیرهای چندگانه و زیرساخت‌های افزونه نقش حمایتی خود را در بحران تضمین می‌کنند. این دسته‌بندی، مبنایی برای اولویت‌بندی اقدامات مقاوم‌سازی، پایش مستمر و طراحی پروتکل‌های ویژه واکنش و بازیابی فراهم می‌آورد. ماهیت غیرخطی و وجود حلقه‌های بازخورد متقابل در شبکه زیرساختی ایجاب می‌کند که برنامه‌های تاب‌آوری و مدیریت بحران بر مبنای تحلیل سناریو شکل گیرد. شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، پایش بلادرنگ از طریق اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی و بازبینی دوره‌ای ماتریس اثرگذاری-اثرپذیری برای انطباق سیاست‌ها با شرایط نوظهور ضروری است. همچنین، تدوین و تقویت پروتکل‌های امنیت سایبری به‌ویژه برای زیرساخت‌های ارتباطات و فناوری اطلاعات که به‌عنوان عصب فرماندهی بحران عمل می‌کنند، امری اساسی است. آمادگی مقابله با مخاطرات اقلیمی و تقویت همکاری میان نهادهای اجرایی، پژوهشی و بخش خصوصی در قلب رزمایش‌های میان‌بخشی نیز از دیگر الزامات حفظ ثبات و انعطاف‌پذیری زیرساخت‌ها به شمار می‌آید.

از دیدگاه آینده‌پژوهی، با توجه به گستره وسیع عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی متغیرهای محیطی، سناریونویسی به‌عنوان ابزار کلیدی برای ترسیم مسیرهای ممکن پیش‌رو و آزمون اثربخشی راهبردهای پدافند غیرعامل عمل می‌کند. در این راستا، سناریوهای طراحی‌شده تلفیقی از روندهای موجود و تصمیمات پدافند غیرعامل بوده و تلاش دارند مخاطرات نظامی و غیرنظامی را به‌صورت همزمان مدنظر قرار دهند. نتایج این سناریونویسی چشم‌اندازی روشن برای سیاست‌گذاری در زمینه ارتقای تاب‌آوری ملی ارائه نموده است؛ به‌ویژه در کلان‌شهرها که هدف بالقوه حملات مستقیم قرار دارند، اجرای هوشمندانه و یکپارچه اصول

پدافند غیرعامل شامل پراکندگی، استتار، فریب، مکان‌یابی و استحکامات، می‌تواند میزان آسیب‌پذیری را به حداقل رسانده و امکان احیای سریع را فراهم آورد.

به طور کلی، تنها رویکرد شبکه‌ای و چندلایه که با تحلیل جامع‌نگر و مدیریت مبتنی بر هم‌افزایی هشت زیرساخت حیاتی همراه باشد، قادر است ثبات و تاب‌آوری زیرساخت‌های کالبدی را در برابر حملات سخت و بحران‌های ترکیبی تضمین نماید. متمرکز شدن سیاست‌گذاری‌ها بر تقویت زیرساخت‌های انرژی و حمل‌ونقل، ارتقای ظرفیت حکمرانی، توسعه زیرساخت‌های ارتباطی مستقل، افزایش ذخیره‌سازی استراتژیک در بخش‌های وابسته و اجرای مداوم شبیه‌سازی و پایش بلادرنگ، راه را برای کاهش احتمال فروپاشی زنجیره‌ای و افزایش سطح آماده‌سازی ملی هموار می‌سازد. این اقدامات نه‌تنها توانمندی مقابله با تهدیدات سخت را افزایش می‌دهد، بلکه زمینه‌ساز حفظ کارکرد مستمر خدمات حیاتی و حفاظت از جان و مال شهروندان در شرایط بحرانی خواهد بود.

منابع

۱. اخباری، محمد، و احمدی مقدم، محمدعلی. (۱۳۹۳). بررسی پدافند غیرعامل در مدیریت شهری. ژئوپلیتیک، ۱۰(۲ (پیاپی ۳۴))، ۳۶-۶۹. https://journal.iag.ir/article_55919.html

۲. اسدی یگانه، محمدرضا، و حسین پور، هاله. (۱۳۹۸). شناسایی مولفه های پدافند غیر عامل در شهرهای جدید (نمونه موردی شهر پردیس). اولین کنفرانس بین المللی و دومین کنفرانس ملی به سوی شهرسازی، معماری، عمران و هنر دانش بنیان. https://civilica.com/doc/968269/

۳. اعظمی,هادی, حیدری تاشه کبود, اکبر, رستمی, حسین. (۱۳۹۸). آینده پژوهی پیشران‌های موثر بر توزیع فضایی زیرساخت‌های استان خراسان رضوی با تأکید بر پدافند غیرعامل. پژوهش های جغرافیای سیاسی, ۴(۲), ۱۲۱-۱۵۳ . https://pg.um.ac.ir/article_27168.html

٤. اعظمی، مهدی.، و بشارتی فر، صادق. (۱۴۰۲). سنجش و تحلیل میزان آسیب پذیری بافت های شهری از منظر پدافند غیر عامل با تاکید بر الگوی پراکنش کاربری های حیاتی (مطالعه موردی: شهر مهاباد) .*مطالعات برنامه ریزی سکونتگاه های انسانی*، ۱۸(۱) ۱۳۹-۱۵۴ https://sanad.iau.ir/Journal/jshsp/Article/1032257 .

۵. افسری, رسول, بالیست, جهانبخش, دارابی, حسن, میرزایی, محمد رضا. (۱۴۰۱). ارزیابی پتانسیل تهدید شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای با رویکرد پدافند غیرعامل در استان خوزستان. مجله آمایش جغرافیایی فضا, ۱۲(۲), ۱۴۹-۱۶۷. https://gps.gu.ac.ir/article_156690.html

٦. آتش پنجه، حجت اله، پربین، زهرا، و دست داده، فرشاد. (۱۳۹۵). پارامترهای معماری در پدافند غیر عامل. کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار https://civilica.com/doc/565255/

۷. آل‌هاشمی، آیدا، منصوری، سیدامیر، و براتی، ناصر. (۱۳۹۵). زیرساخت شهری و لزوم تغییر نگاه در تعریف و برنامه ریزی آن, زیرساخت منظرین مفهومی نو در تعریف زیرساخت‌های شهری قرن بیست و یک. باغ نظر، ۱۳(۴۳)، ۵-۱۶. https://www.bagh-sj.com/article_41070.html

۸. بهادری, حسن, احمدزاده, حسن, جعفری, فیروز, پناهی, علی. (۱۳۹۹). شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی موثر بر ایجاد برندینگ شهری با رویکرد آینده‌پژوهی، مطالعه موردی کلانشهر تبریز. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای), ۱۰(۳۹), ۲۳-۴۱ https://www.jgeoqeshm.ir/article_117649.html .

۹. پورمحمدی، محمدرضا، و ملکی، کیومرث. (۱۳۹۵). پدافند غیرعامل، استراتژی‌های توسعه و امنیت منطقه‌ی شهری . نشر شهر تهران (وابسته به سازمان فرهنگی هنری شهرداری تهران).

۱۰. پیوسته گر، علی، خوارزمی، امیدعلی، و بخشی شادمهری، فاطمه. (۱۳۹۹). جایگاه پدافند غیرعامل در امنیت زیرساخت های شهری با تاکید بر زیرساخت آب. کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار. https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1068668.pdf

۱۱. جعفرلو، علی اکبر؛ غفران، منیره؛ و نظری، سحر. (۱۴۰۴). مسائل کلان توسعه شهری و روستایی و آمایش سرزمین در افق ایران ۱۴۲۰ با رویکرد آینده پژوهی استراتژیک .*تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)*، ۲۵ (۷۷)، ۲۶۶-۲۸۹. https://jgs.khu.ac.ir/article-1-4138-fa.html .

۱۲. جوانشیری، محمد.، نامدارزاده، مهدی.، و نبیونی، ساسان. (۱۴۰۰). شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی مؤثر بر تحقق‌پذیری طرح‌های آمایش سرزمین (مطالعه‌ی موردی: استان خراسان رضوی) .مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۴۳، ۶۲-۸۷. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161537.html .

۱۳. حسینی امینی، حامد، علیرضا، جوبه، صاحبداد، و کرد، حامد. (۱۳۹۱). تمهیدات پدافند غیر عامل در شهر زاهدان. همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش ها و رهیافت ها. https://civilica.com/doc/179185/

۱۴. حسینی امینی، حسن. (۱۳۹۰). پدافند غیر عامل و کاربرد آن در شهرسازی. ارمغان.

۱۵. زرقانی، سیدهادی، خوارزمی، امیدعلی، و بخشی شادمهری، فاطمه. (۱۳۹۵). تحلیل تهدیدات تروریستی و امنیت زیرساخت های حیاتی شهر. کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار. https://civilica.com/doc/648894/

۱۶. ساسانپور, فرزانه , میرزازاده, حجت و محمدی, رامین . (۱۴۰۳). تحلیل زیست پذیری منطقه ۶ کلان‌شهر تهران با رویکرد آینده‌پژوهی. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری. صفحه ۱۱۷-۱۳۳. https://jurbangeo.ut.ac.ir/article_98079.html

۱۷. صارمی، حمیدرضا، و حسینی امینی، حسن. (۱۳۹۰). حفاظت از تاسیسات و تجهیزات شهری با استفاده بهینه از محیط طبیعی درون شهری با رویکرد پدافند غیر عامل (نمونه موردی: شهر بروجرد). مطالعات مدیریت شهری، ۳(۶)، ۱۳۳-۱۵۴. https://sanad.iau.ir/fa/Article/824849?FullText=FullText

۱۸. فرجی ملایی، امین، علیوردیلو، هادی، و حسینی امینی، حسن. (۱۳۹۴). آمایش دفاعی سرزمین از منظر پدافند غیر عامل. جغرافیا، ۱۳ (دوره جدید)(۴۵)، ۲۴۷-۲۷۴. https://goums.ac.ir/files/padafand/files/amayeshe_sarzamini_az_manzare_padafand_gheire_amel.pdf

۱۹. کدخدایی، مهدی، رضا زاده، معصومه، کریمیان بستانی، فاطمه، (۱۴۰۰)، آمایش شهری با رویکرد پدافند غیر عامل در شهر زاهدان و مناطق پیرامونی آن، نشریه: توسعه فضاهای نشریه توسعه پیراشهری، :۱۴۰۰، دوره:۳-۹۰ https://www.jpusd.ir/article_140231.html

۲۰. لطفیان کریم، ابراهیم، بصیرتی، محمدکاظم، و قاسمی، نعمت الله. (۱۳۹۹). راهبردهای پدافند غیر عامل در حوزه لجستیکی با رویکرد اقتصاد مقاومتی. مطالعات بین رشته ای دانش راهبردی، ۱۰(۳۸)، ۲۲۱-۲۵۲. https://smsnds.sndu.ac.ir/article_998.html

۲۱. محمدزاده، مسعود، اسماعیلی، علیرضا، جوبه، صاحبداد، و کرد، حامد. (۱۳۹۱). تمهیدات پدافند غیر عامل در شهر زاهدان. همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش ها و رهیافت ها. https://civilica.com/doc/179185/

۲۲. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۶). ضوابط پدافند غیر عامل. وزارت راه و شهرسازی.

۲۳. ملکی، سعید، و کاوندی، عبدالرحیم. (۱۳۹۱). پدافند غیرعامل و شهرهای مرزی. همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش‌ها و رهیافت‌ها.

۲۴. منشادی، محمدعلی. (۱۳۹۱). راهبردهای پدافند غیر عامل حوزه لجستیک. مطالعات دفاعی استراتژیک.

۲۵. موسوی، سید رضا، پیوسته گر، یعقوب، و کلانتری خلیل آباد، حسین. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک دارایی‌های کلیدی شهر بندرعباس با رویکرد پدافند غیرعامل .*فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش های نو در جغرافیای انسانی* ,۱۲(۴)، ۷۴۴-۷۶۱. https://sanad.iau.ir/journal/geography/Article/676015?jid=676015

26. Andrea De Marco, Davide Berardi(2025), Quantitative Resilience Assessment on Critical Infrastructures – A systematic literature review of the last decade (2014-2024), Journal of Safety Science and Resilience, 2025, p:1-10.

27. Bernard, A., Jeschke, J. M., Bernard-Verdier, M., Buchholz, S., Grossart, H. P., Havemann, F., ... & Heger, T. (2023). Hypotheses in urban ecology: building a common knowledge base. *Biological Reviews*, *98*(5), 1530-1547.
28. Andreas Huck, Jochen Monstadt (2019), *Urban and infrastructure resilience: Diverging concepts and the need for cross-boundary learning*, Environmental Science & Policy Volume 100, October 2019, Pages 211-220
29. Behera, L. K. (2010). *Crisis management and urban resilience. International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2(4), 215–224. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2010.09.001
30. Chang, Y. (2016). *Urban infrastructure resilience under military threats: A complex systems perspective*. Journal of Infrastructure Systems, 22(3), 04016005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000310
31. European Commission. (2020). *Joint Research Centre report on critical infrastructure resilience*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
32. F. Seible, M.J.N. Priestley(1996), *Design of seismic retrofit measures for concrete and masonry structures*, Construction and Building Materials Volume 9, Issue 6, December 1995, Pages 365-377
33. Huck, A., Regens, J., & Hoyt, J. (2019). *Critical infrastructure vulnerability and protection strategies*. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 26, 100–112. https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2019.02.002
34. Jun Li, Hong Hao, Kaiming Bi, Wensu Chen, Thong M. Pham(2023), Towards next generation design of sustainable, durable, multi-hazard resistant, resilient, and smart civil engineering structures, Engineering Structures Volume 277, 15 February 2023, 115477.
35. Ministry of Defence of the Republic of Latvia. (2016). *National defense strategy. Riga: Ministry of Defence*.
36. R.R. Shaker, G. Rybarczyk, C. Brown, V. Papp, S. Alkins (Re*) emphasizing urban infrastructure resilience via scoping review and content analysis Urban Science*, 3 (2) (2019), p. 44
37. S. Chang(2016), *Socioeconomic impacts of infrastructure disruptions*, Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science .
38. Smith, D., & Rodriguez, F. (2018). *Network analysis of city infrastructures: Methods and applications*. Urban Systems Journal, 14(1), 5–26.
39. Unal Tatar, Brianna Bace(2024), Space as a critical infrastructure: An in-depth analysis of U.S. and EU approaches, Acta Astronautica, Volume 225, December 2024, Pages 263-272