



Analysis of physical resilience of urban communication network against hard threats with passive defense approach (case study: Tehran metropolis)

Rasul Afsari^{*1} | Ahmad Nikdel Monavvar²

1. Corresponding author, Supreme National Defense University, Tehran, Iran. E-mail: R.afsari@sndu.ac.ir

2. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: Ahmad.Nikdel@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 20 March 2023

Revised: 20 April 2023

Accepted: 6 May 2023

Published: 10 June 2023

Keywords:

Physical resilience,
passive defense,
Tehran metropolis,
urban communication network.

ABSTRACT

Objective: The basic challenges in achieving urban sustainability include natural and unnatural events that can cause serious damage to the infrastructures and different aspects of cities. In recent years, these incidents have caused a lot of damage to urban infrastructure, especially in cities that have not been properly planned and do not have enough technical support. Accordingly, the current research is to evaluate the physical resilience of the communication network against severe threats in Tehran metropolis.

Methods: This research was carried out with descriptive-analytical approach and applied-developmental goal. After collecting the effective criteria on physical resilience, their weighting was done based on the hierarchical analysis model, then the zoning map of the physical resilience of the communication network was obtained using Euclidean distance, fuzzy, TOPSIS and SAW functions.

Results: According to the results, nearly 70% of roads in Tehran are at a moderate to low level in terms of resilience, while only 30% of roads have favorable conditions. The resilience map shows that the central areas of the city are less resilient than the peripheral areas, which can lead to severe destruction in the event of natural or human-made disasters.

Conclusions: In this study, the physical resilience of the urban communication network in Tehran's metropolis was evaluated. In this way, two multi-criteria decision-making models, TOPSIS and SAW, were used. According to the different results of the models implemented in the current research, the regression method was used to check the correlation between the results of the two models. The results show that there is a strong correlation between the TOPSIS model and SAW, in other words, there is a good fit with a value of 80% between the two models' data, which indicates a strong linear relationship between the two models.

Cite this article: Afsari, Rasul., Nikdel Monavvar, Ahmad. (2025). Analysis of physical resilience of urban road network against hard threats with passive defense approach (case study: Tehran metropolis). *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 4 (13), 1-20. <http://doi.org/0000000000000000>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/0000000000000000>

Publisher: University of Tabriz.



Introduction

One of the basic challenges in order to achieve sustainability in cities is natural and unnatural events, which in case of lack of awareness can cause irreparable damage to different dimensions of cities. In recent years, the occurrence of such incidents in cities has caused a lot of damage to their bodies, especially the urban infrastructure. In these cities, due to inappropriate planning and lack of technical support, it is not possible to improve urban infrastructure and return to the original state. On the other hand, some cities are designed in advance to anticipate, overcome and recover from the effects of natural or technical hazards, and the physical and social systems in such a city are able to survive and function under pressure and crisis conditions, which are known as resilient cities. Resilience means that the society has the capacity to withstand crisis and disaster without receiving major damages and injuries, reducing the quality of life, and needing help from outside the society. One of the four dimensions of the concept of resilience in cities is the physical-environmental dimension, which includes dangerous facilities and urban equipment, vital arteries and communication and road networks. Threats against cities in strategic literature are divided into two types of natural and human threats. Understanding the type and impact factor of each threat is critical. The purpose of the current research is to evaluate the physical resilience of the communication road network against severe threats in Tehran metropolis.

Materials and Methods

The current research is of a mixed type with descriptive-analytical approach and in terms of practical-developmental purpose. First, by studying the background of the research, the effective criteria and sub-criteria in the physical resilience of the urban communication network were collected, then the weighting of the criteria was done based on the hierarchical analysis model. Next, by using the obtained weights, a zoning map of physical resilience of the communication network was prepared using Euclidean distance, Fuzzy, TOPSIS and SAW analysis and functions.

Results

According to the final output, nearly 70% of the roads in Tehran metropolis are at the medium to low level in terms of resilience, and only 30% of the roads are at the high and very high level, in other words, favorable conditions. The resilience map of the urban road network of Tehran metropolis shows that the central areas of the city with a low score are less resilient than the peripheral areas of the city, in fact, in the event of natural and human disasters, the destruction will be at a very high level, therefore it requires special attention.

Conclusion

In this study, the physical resilience of the urban communication network in Tehran's metropolis was evaluated. In this way, two multi-criteria decision-making models, TOPSIS and simple weighted sum, were used. According to the different results of the models implemented in the current research, the regression method was used to check the correlation between the results of the two models. The results show that there is a strong correlation between the TOPSIS model and the simple weighted aggregate, in other words, there is a good fit with a value of 80% between the two models' data, which indicates a strong linear relationship between the two models. This means that the changes in the x model are proportional to the changes in the y model.

References

- Afsari, R., balist, J., Darabi, H., & Mirzaei, M. R. (2022). Assessing the Potential Threat of Road Transport Networks with Passive Defense Approach in Khuzestan Province. *Geographical Planning of Space*, 12(2), 149-167. doi: 10.30488/gps.2021.265835.3356. [In Persian]
- Asgharpour, M J. (2005). Multi-criteria decision making, 4th edition, Tehran University Press, Tehran. [In Persian]
- Anari, Fa, Iqbali, N and Movidfar, R. (2018). Evaluation of the impact of the communication network structure of the eastern area of the strategic plan of the city of Tehran on urban resilience, *Journal of Human Geography*, 12(1), 617-595. [In Persian]
- Atai, M, (2016). Fuzzy Multi-Criteria Decision Making, Second Edition, Shahrood University of Technology Publications. [In Persian]
- Azizi, M. & Bornafar, M. (2012). Optimal process of urban planning in air attacks, based on the passive defense approach (case study: district 1 of region 11, Tehran city). *Motaleate Shahri*, 1(1), 9-22. [In Persian]
- Adafer, Sonia & Bensaibi, Mahmoud (2017). Seismic vulnerability classification of roads, *Energy Procedia* 139, 624-630.
- Bahrami, Sirvan, Sarwar, Rahim and Asadian, Fardeh (2018). An analysis of the resilience situation in the neighborhoods of Sanandaj (The case study: sartapoleh, shalman and hajiabad neighborhoods), *Haft Hesar J Environ Stud*, 6(22), 45-62. [In Persian]



- Babaiyan Ateni, R., Shariat Panahi, MV., Fallah Tabar, N. and Khodayi, Z. (2021). zoning the degree of vulnerability of Semnan city infrastructure with passive defense approach in Geographical Information System. *Application Geographic Information system and Remote Sensing in Planning*, 12(1), 73-88. [In Persian]
- Dadashpour, H., Adeli, Z. (2015). Assessing resilience capacities in the urban complex of Qazvin, *Emergency Management*, 4(8), 73-84. [In Persian]
- Dehkhoda, A. A., (1972). Dehkhoda dictionary; fourth volume, University of Tehran publication, Tehran. [In Persian]
- Eskandari, M., Omidvar, B., & Tavakoli Sani, M. S. (2015). Loss estimation of interdependent infrastructures in targeted attacks, *Emergency Management*, 3(Special Issue of Passive Defense Week 93), 19-30. [In Persian]
- Eftekhari, A (2006). Autopsy of Threats, Tehran: Dafos Sepah Publications. [In Persian]
- Ghorbanzadeh, V., and Bagheri, S. (2013). Crisis management for infrastructure, *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 121-165 [In Persian]
- Hajipour, K., Payab, A. (2019). Vulnerability Analysis of Urban Defense Using Analytic Hierarchy Process (Case Study: The Second City Area of Shiraz). *MJSP*, 23 (1) :52-84. [In Persian]
- Hosseini Amini, H., Asadi, S. and Barnafar, M. (2009). Evaluation of the structure of the city of Langrod for non-active defense planning, *JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCES*, 15(18),129-149. [In Persian]
- Heidari sarban, V. (2020). Explaation of Sprrituality Relation with Improvement of Villagers Resiliency Regarding Earthquake Crisis, Case Study: Varzeghan County. *MJSP*, 24 (3) :170-200. [In Persian]
- Karimi, F. & Jalilisdarabad, S. (2020). Investigating the Status of Urban Infrastructure Resilience Indicators in the Resilience Cycle Process and Their Interaction from Experts' Viewpoints. *JOURNAL OF RESILIENT CITY*, 2(8), <https://sid.ir/paper/386909>. [In Persian]
- Kim, sunghoon & Yeo, Hwasoo (2016). A Flow-based Vulnerability Measure for the Resilience of Urban Road Network, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 218, 13–23.
- Madadi A, belvasi I (2018). Assessment of Soil Erosion Risk by Using Fuzzy Logic Model in Seymareh Chenar Basin. *E.E.R*, 8 (2), 62-83. [In Persian]
- Meshkini, A., Alipour, S. and Masoudi, H. (2024). Physical Resilience of urban housing against earthquakes: an analysis of northern neighborhoods and regions of Tehran Metropolis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(41), 39-60. doi: 10.22111/jneh.2024.46098.1974. [In Persian]
- Movahed, A. Amanpour, S. and Naderi, K. (2012). Urban tourism marketing based on branding with Analytical Hierarchy Process (AHP) (case study of kermanshah city). *Spatial Planning*, 1(3), 17-36. [In Persian]
- Mohammadi, H., Hosseini, S.B. (2019). Evaluation of the Vulnerability of Urban Morphology to Air Attacks Using Passive Defense Approach Case Study: 6th District of Tehran. *JOURNAL OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING*, 11(21), 59-76. SID. <https://sid.ir/paper/215901/>. [In Persian]
- Mehrnezhad, P., Khoorsandi, M. (2021). Presenting the model of a safe urban road network based on the passive defense principles in order to improve city resilience against human-made crisis case study: 12th region of Tehran. *Emergency Management*, 9, 35-46. [In Persian]
- Masoomi, M. T., Rajabzadeh, M. (2021). Investigating the vulnerability of Ardabil city road network against natural disasters (earthquake) (Case study: Imam Khomeini Street, Shahr). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 141-161. doi: 10.22067/geoh.2021.67019.0. [In Persian]
- Mohammadi, M. Alizadeh, H., Abbasi Gujani, D. (2019). Spatial analysis of resilient indicators in the arterial infrastructure of transportation Case Study: Ahvaz Metropolis. *GEOGRAPHICAL URBAN PLANNING RESEARCH*, 7(2), 375-391. SID. <https://sid.ir/paper/261261>. [In Persian]
- Modiri, M. (2009). requirements for locating urban facilities and providing an optimal model from passive defense, Ph.D. thesis in Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, University of Tehran. [In Persian]
- Morelli, A. B., Cunha, A. L. (2021). Measuring urban road network vulnerability to extreme events: an application for urban floods, *Transportation research part D: transport and environment*, 93, 102770.
- Nabati, E. (2009). passive defense with an approach to the field of threats, Tehran, publications; Martyr Lt. Gen. Sayad Shirazi educational and research center. [In Persian]
- National Power Threats, Indicators and Dimensions, National Security Study Group (2007). *SUPERME NATIONAL DEFENCE UNIVERSITY*. [In Persian]
- Naeini, A.M. (2010). CompaRrative Analysis of Triple Threats, Hard, Semi Hard and Soft Threats. *DEFENSE STRATEGY*, 8(30), 157-177. [In Persian]
- Oskouee Aras, A., Nikdel Monavvar, A., Babaei Aghdam, F., Teymuri, I. (2024). Spatial analysis of the physical quality of housing in formal and informal settlements (case study: zone 1 of Tabriz metropolis). *Remote*



- Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 3(9), 62-38. doi: 10.22034/rsgi.2024.60161.1061. [In Persian]
- Parizadi, T., Hosseini Amini, H., and Shahryary, M. (2011). Passive Defense Arrangement Analysis of Saqez City in The Approach. *Urban Managment*, 8(26), 191-206. SID. <https://sid.ir/paper/92181>. [In Persian]
- Rafiiian, M., Rezaei, M. R., Asgari, A., Parhizgar, A., Shayan, S. (2011). Conceptual explanation of resilience and its indicators in community-based disaster management, *Spatial Planning and Geomatics*, 4(72), 19-41. [In Persian]
- Salmani Moghadam, M., Amir Ahmadi, A., Kavian, F. (2013). Application of land use planning in increasing urban resilience against earthquakes using geographic information system (case study: Sabzevar city) *arid regions Geographic studies*, 5(17), 17-34. [In Persian]
- Saeedi, J., Firoozi, M. A., Mohammadi Dehcheshmeh, M. Shamsaei Zafarghandi, F. (2021). Compilation of scenarios of resilience of border cities (Case Study: Abadan and Khorramshahr Cities). *MJSP*, 25 (4),1-43. [In Persian]
- Saeedi, j. (2019). Compilation resilience scenarios for border cities in Khuzestan province with a passive defense approach (case study: Abadan and Khorramshahr cities), *PhD thesis in Geography and Urban Planning*, Shahid Chamran University of Ahvaz. [In Persian]
- Salehi, E., Aghababaei, M.T., Sarmadi, H., Farzad Behtash, M. R. (2011). Investigating the level of environmental resilience using the causal network model, *Environmental Studies*, 37(59), 99-112. [In Persian]
- Shakibamanesh, A., Kariminia, F. (2018). using form-based network analysis to measure the physical resilience of urban neighborhoods (case study: Sanglaj neighborhood, Tehran) *Journal of Safe City*, 2(8), 1-18. [In Persian]
- Saaty, T. L., Ozdemir, M. S. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and computer modelling*, 38(3-4), 233-244.
- Singh, R., Prasad S., Vinay, Sh., Vijhani, A., Neha, P. (2018). Vulnerability Assessment of urban road network from urban flood, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.017>.
- The country's management and planning organization (2021). Statistical yearbook of Tehran province. [In Persian]



تحلیل تاب آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری در برابر تهدیدات سخت با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: کلان شهر تهران)

رسول افسری^۱ | احمد نیکدل منور^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، دانشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران. رایانامه: r.afsari@sndu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه:

Ahmad.Nikdel@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	مقدمه: چالش‌های اساسی در دستیابی به پایداری شهری شامل رخدادهای طبیعی و غیرطبیعی است که می‌تواند آسیب‌های جدی به زیرساخت‌ها و ابعاد مختلف شهرها وارد کند. در سال‌های اخیر، این حوادث خسارات زیادی به زیرساخت‌های شهری وارد کرده‌اند، به‌ویژه در شهرهایی که برنامه‌ریزی مناسبی نداشته و از پشتیبانی فنی کافی برخوردار نیستند. در مقابل، برخی شهرها به‌طور خاص برای پیش‌بینی و مدیریت این مخاطرات طراحی شده‌اند و به عنوان شهرهای تاب‌آور شناخته می‌شوند. تاب‌آوری به معنای توانایی جامعه در تحمل بحران‌ها بدون دریافت خسارات عمده و کاهش کیفیت زندگی است. یکی از ابعاد تاب‌آوری، بعد کالبدی-محیطی است که شامل زیرساخت‌ها و شبکه‌های ارتباطی می‌شود. تهدیدات علیه شهرها به دو دسته طبیعی و انسانی تقسیم می‌شوند و درک نوع و شدت این تهدیدات حیاتی است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰	هدف: پژوهش حاضر ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شبکه راه‌های ارتباطی در برابر تهدیدات سخت در کلان‌شهر تهران است.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲	روش پژوهش: این تحقیق با رویکرد توصیفی-تحلیلی و هدف کاربردی-توسعه‌ای انجام شده است. پس از جمع‌آوری معیارهای موثر بر تاب‌آوری کالبدی، وزن‌دهی آن‌ها بر اساس مدل تحلیل سلسله مراتبی انجام شد سپس نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی با استفاده از تحلیل‌ها و توابع فاصله اقلیدسی، فازی، تاپسیس و مجموع ساده وزنی بدست آمد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸	نتایج: طبق نتایج نزدیک به ۷۰ درصد معابر تهران از نظر تاب‌آوری در سطح متوسط به پایین قرار دارند، در حالی که تنها ۳۰ درصد معابر شرایط مطلوبی دارند. نقشه تاب‌آوری نشان می‌دهد که مناطق مرکزی شهر تاب‌آوری کمتری نسبت به مناطق حاشیه‌ای دارند، که این امر در صورت وقوع حوادث طبیعی یا انسانی می‌تواند منجر به تخریب‌های شدید شود.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۰	
کلیدواژه‌ها:	تاب‌آوری کالبدی، پدافند غیرعامل، شبکه ارتباطی شهری، کلان‌شهر تهران.

استناد: افسری، رسول؛ نیکدل منور، احمد (۱۴۰۴). تحلیل تاب آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری در برابر تهدیدات سخت با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: کلانشهر تهران). کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی، ۳ (۱۳)، ۱-۲۰.

http://doi.org/10.29252/rsgi.13.1.1



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

یکی از چالش‌های اساسی در جهت نیل به پایداری در شهرها رخدادهای طبیعی و غیرطبیعی می‌باشد که در صورت عدم آگاهی لازم می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را به ابعاد مختلف شهرها وارد کند. در سال‌های اخیر وقوع اینگونه حوادث در شهرها پیکره آن‌ها به ویژه زیرساخت‌های شهری را با خسارات فراوانی روبرو کرده است. در این شهرها به دلیل برنامه‌ریزی نامناسب و نبود پشتیبانی فنی امکان بهبود زیرساخت‌های شهری و بازگشت به حالت اولیه وجود ندارد (کریمی و جلیلی صدرآباد، ۱۳۹۸، اسکوئی ارس و همکاران، ۱۴۰۲). در مقابل برخی از شهرها از پیش برای پیش‌بینی، پشت سر گذاشتن و بهبود از تأثیرات مخاطرات طبیعی یا فنی طراحی شده‌اند و سیستم‌های فیزیکی و اجتماعی در چنین شهری قادر به بقا و عملکرد تحت شرایط فشار و بحرانی هستند که در اصطلاح به شهرهای تاب‌آور شناخته می‌شوند (سلمانی مقدم، ۱۳۹۳). بر این اساس تاب‌آوری به این مفهوم می‌باشد که جامعه ظرفیت تحمل بحران و فاجعه را بدون دریافت خسارات و آسیب‌های عمده، کاهش کیفیت زندگی، و نیاز به کمک از بیرون جامعه را داشته باشد (Mileti, 1999). به بیان دیگر جامعه و سیستم‌های شهری که در مقابل خطر و بحران تاب‌آوری دارد به سرعت به شرایط متعادل بازگشته و یا اینکه به آسانی شرایط خود را به شکلی جدید تغییر می‌دهد (اناری و همکاران، ۱۳۹۸).

طبق تعاریف مطرح شده تاب‌آوری ابعاد مختلفی را شامل می‌شود، یکی از ابعاد ۴ گانه مفهوم تاب‌آوری در شهرها بعد کالبدی-محیطی است که شامل؛ تاسیسات خطرناک و تجهیزات شهری (آشنشانی و غیره)، شریان‌های حیاتی (آب، گاز، برق و مخابرات) و شبکه‌های ارتباطی و جاده‌ای می‌باشد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۶). در این میان شبکه ارتباطی نقش مهمی در زندگی روزمره دارند؛ خدماتی مانند حمل و نقل و مبادلات اجتماعی-اقتصادی را تضمین می‌کند. علاوه بر این، در هنگام بلایای بزرگ مانند زلزله، امکان واکنش اضطراری، عملیات تعمیر و فعالیت‌های بازایی را فراهم می‌کند (Adafer, Bensaibi, 2017). به عبارت دقیق‌تر، شبکه‌های ارتباطی زیرساخت‌های حیاتی هستند، که حمل‌ونقل جاده‌ای شامل کارایی لجستیک، سفرهای تجاری و رفت و آمد به محل را پشتیبانی می‌کند. بنابراین، اگر یک سیستم جاده‌ای توسط نیروهای خارجی مانند فاجعه مختل شود، بر هزینه سفر برای کاربران جاده تأثیر منفی می‌گذارد (Yeo & Kim, 2016).

بر اساس مطالب گفته شده اهمیت و ضرورت ارزیابی تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی در برابر تهدیدات ناشی از عوامل مختلف نمایان می‌شود. به صورت کلی تهدیدات در برابر شهرها در ادبیات راهبردی به دو نوع تهدید طبیعی و انسانی تقسیم می‌شود؛ بر این اساس منشا تهدیدات طبیعی، طبیعت است که در نتیجه فعل و انفعالات خود تهدیداتی مانند سیل، زلزله، خشک سالی، آتش فشان و غیره را منجر می‌شود. منشا تهدیدات انسانی، یک انسان، یک کشور یا گروهی از انسان‌ها هستند که به صورت عمدی یا غیر عمدی تهدیدات همانند انفجار شیمیایی، نشت مواد شیمیایی، آلودگی هوا، بحران‌های سیاسی، حملات هوایی موشکی و حملات تروریستی را منجر می‌شوند (کریمی و جلیلی، ۱۳۹۸). در تحقیق حاضر جنس تهدیدات متمرکز بر تهدیدات انسانی می‌باشد.

در طول جنگ جهانی دوم که استفاده از هواپیما و بمباران شهرها و مراکز صنعتی آغاز شد خسارت‌های ناشی از جنگ و به خصوص آسیب‌هایی که به مردم و بخش غیر نظامی وارد شد نسبت به جنگ جهانی اول سیر صعودی داشته است و این موضوع باعث شد تا کشورها به روش‌های کاهش آسیب‌پذیری اهمیت مضاعفی دهند که خود در حوزه پدافند غیرعامل و روش‌های مرتبط با آن قرار می‌گیرد. با این تعریف رویکرد پدافند غیرعامل وارد ادبیات آسیب‌پذیری و تاب‌آوری می‌شود. باید به این نکته توجه داشت اگرچه نمی‌توان از بروز حوادث جلوگیری کرد اما می‌توان میزان تلفات و خسارات وارد شده را کاهش داد (حاجی پور و پیاب، ۱۳۹۷). به عنوان مثال تلفات ناشی از فروریختن هر صد تن بمب در آلمان ۳۶ نفر بوده در حالی که این شاخص در ژاپن ۵۰۰ نفر برآورد شده است که یکی از دلایل اصلی آن سیاست‌های پدافند غیرعامل کشور آلمان بوده است (حاجی پور و پیاب، ۱۳۹۸). بر این اساس پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که مستلزم به کارگیری جنگ افزار نبوده و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات مالی یا تجهیزات و تاسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی و تلفات انسانی جلوگیری نموده و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد (حسینی امینی و همکاران، ۱۳۸۹). در کشور ما

ایران با توجه به موقعیت ویژه در منطقه غرب آسیا و حضور مداوم تهدیدات خارجی و همچنین با توجه به بعد جغرافیایی - طبیعی و استقرار بر گسل‌های زلزله، پدافند غیرعامل در ابعاد مختلف نقش حیاتی به خود می‌گیرد. چنین ابعادی اتخاذ تمهیدات مختلف در حفظ و حراست از مراکز و تاسیسات مهم و حیاتی و تدارک پیش‌بینی‌های لازم را ضرورت می‌بخشد (پریزادی و همکاران، ۱۳۸۹). کلان‌شهر تهران به عنوان پایتخت ایران و مرکز سیاسی و تبادلات مختلف در حوزه‌های سیاسی، فرهنگی و اقتصادی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. همچنین باتوجه به تراکم بالای جمعیتی و ساختمانی موجود در آن شاهد مشکلات بسیاری در قسمت‌های مختلف شهری آن هستیم از جمله این مشکلات می‌توان به تراکم زیاد و تو در تو شبکه ارتباطی شهری اشاره کرد که موجب آسیب‌پذیری آن در برابر مخاطرات انسانی و طبیعی شده است. هدف از تحقیق حاضر بررسی و تحلیل تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری به عنوان بخشی حساس و موثر از زیرساخت‌های حیاتی کشور در برابر تهدیدات انسانی با رویکرد پدافند غیرعامل در کلان‌شهر تهران می‌باشد.

پیشینه تحقیق

عزیزی و برنافر (۱۳۹۱) در مقاله‌ای با عنوان فرایند مطلوب برنامه‌ریزی شهری در حمله‌های هوایی از دیدگاه پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: ناحیه ۱ منطقه ۱۱ تهران)، اقدام به تدوین فرآیند مناسب برنامه‌ریزی مناسب به منظور کاهش آسیب‌پذیری محدوده در حملات هوایی کرده‌اند. براساس نتایج، یافته‌های پژوهش در چهار مرحله اصلی: تدوین اهداف، شناخت وضع موجود، تحلیل آسیب‌پذیری و تدوین راهبردها طبقه بندی شدند. در نهایت ۸ راهبرد اصلی برای کاهش آسیب‌پذیری ارائه شد.

محمدی و حسینی (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری ریخت‌های شهری در برابر حملات هوایی با رویکرد پدافند غیرعامل (بررسی موردی: منطقه ۶ تهران)، به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری این منطقه در برابر حملات هوایی از منظر پدافند غیرعامل پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده از کاربرد مدل سلسله مراتبی معکوس نشان می‌دهد که پهنه شرقی و شمال شرقی منطقه و محدوده خیابان کارگر آسیب‌پذیری بالایی دارند و قسمت جنوبی و شمال غربی منطقه از این نظر مناسب هستند. بطور جزئی می‌توان گفت مهمترین ویژگی‌های ریخت شهری مناسب از منظر پدافند غیرعامل را بلوک‌های کوچک‌تر با فشردگی شکلی کم، تراکم پایین، قدمت و کیفیت مناسب ابنیه می‌باشد.

محمدی ده چشمه و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین کننده تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل و نقل (مطالعه موردی: کلانشهر اهواز) به تحلیل تاب‌آوری زیرساخت شریانی حمل و نقل در اهواز براساس پنج مولفه تعیین کننده: ۱- الگوی طراحی شبکه شریانی ۲- قرارگیری در بافت شبکه ۳- درجه محصوریت شبکه ۴- سنخ شناسی شبکه و ۵- تراکم مصرف شبکه پرداخته است. نتایج حاصل شده از کاربرد مدل شباهت به گزینه ایده آل فازی و تحلیل فضایی نشان داد درجه محصوریت شبکه بیشترین حساسیت را برای تبیین تاب‌آوری دارد. همچنین سه نقطه بحرانی در بخش‌های مرکزی، شمالی و غربی اهواز برای سنجش تاب‌آوری حمل و نقل مشاهده می‌شود.

شکیبامنش و کریمی نیا (۱۳۹۸) در مقاله خود با عنوان بهره‌گیری از تحلیل‌های شبکه فرم مبنا به منظور سنجش میزان تاب‌آوری کالبدی بافت محلات شهری (نمونه مورد پژوهی: محله سنگلج تهران) اقدام به بررسی و سنجش تاب‌آوری کالبدی در مقیاس محلات شهری کرده‌اند. روش‌های تحلیل شبکه و تحلیل گراف_محور چیدمان فضا جهت بررسی استفاده شده است. طبق نتایج حاصل شده عرض کم معابر بافت و بن بست، اتصال پذیری ضعیف، تعداد تقاطع زیاد و تراکم بالای قطعات ریزدانه از عوامل تهدید شناخته شده که باعث به هم خوردن تعادل ترافیکی و مختل شدن خدمات رسانی می‌شود.

مهرنژاد و خورسندی (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی الگوی شبکه ایمن معابر براساس اصول پدافند غیرعامل، در راستای ارتقای تاب‌آوری شهر در برابر بحران‌های انسان ساخت (مطالعه موردی: منطقه ۱۲ شهر تهران) اقدام به تعریف شبکه ایمن معابر شهری، توصیف ویژگی‌ها و روش طراحی آن در بافت‌های شهری و همچنین عملیاتی کردن آن در منطقه ۱۲ شهر تهران کرده‌اند. در این مقاله روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس و تکنیک‌های مکانی از منظر آسیب‌پذیری در برابر بحران مورد

استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از نقشه‌های تحلیلی نشان داد که بیشتر معابر آسیب‌پذیر در قسمت‌های مرکزی و شرق محدوده قرار گرفته‌اند که این موضوع نشان دهنده تاب‌آوری پایین این نواحی در شرایط اضطراری است. در واقع تنها یک سوم معابر درون محدوده در وضعیت مطلوبی جهت حفظ کارایی خود در مواقع بحرانی قرار دارند.

اناری و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی تاثیر ساختار شبکه ارتباطی حوزه شرقی طرح راهبردی شهر تهران بر تاب‌آوری شهری، به این موضوع پرداختند که ساختار شبکه ارتباطی حوزه شرقی طرح راهبردی شهر تهران بر تاب‌آوری شهر در برابر بحران‌ها چه تاثیری دارد. با کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل‌های مکانی نتایج حاصل شده نشان می‌دهد بیش از ۴۵ درصد از وسعت حوزه با خطرپذیری نسبتاً بالا در برابر بحران‌های طبیعی و انسان ساخت رو برو هستند. در ادامه جهت افزایش تاب‌آوری، هفت معیار موثر در دو طبقه خصوصیات شبکه و ایمنی شبکه مشخص گردید که ۲۸ درصد از معابر فاقد تاب‌آوری لازم در زمان پس از بروز بحران می‌باشند و همچنین توانایی بازگشت به وضعیت تعادل و شعاع پوشش دهی در جهت امداد رسانی و اسکان موقت بسیار پایین می‌باشد.

باباییان و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله‌ای با عنوان پهنه بندی درجه آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهر سمنان با رویکرد پدافند غیرعامل در سیستم اطلاعات جغرافیایی، در این مقاله بعد از جمع‌آوری داده‌ها میزان اهمیت و وزن آن‌ها در مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای محاسبه و سپس با استفاده از توابع همپوشانی در محیط GIS وضعیت آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری در برابر تهدیدهای نظامی و امنیتی مشخص شد. طبق نتایج نهایی ۳۷٫۸۳ درصد از زیرساخت‌ها در پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفته‌اند و تنها ۱۲٫۵۶ درصد کمترین آسیب‌پذیری را دارند. این نتایج نشان دهنده عدم رعایت اصول و ملاحظات پدافند غیرعامل می‌باشد.

معصومی و رجب زاد (۱۴۰۰) در مقاله‌ای با عنوان بررسی میزان آسیب‌پذیری شبکه معابر شهر اردبیل در برابر سوانح طبیعی (زلزله) (مطالعه موردی: خیابان امام خمینی)، به ارزیابی آسیب‌پذیری خیابان امام خمینی پرداخته‌اند. پنج معیار تراکم شامل: تراکم ساختمانی و جمعیت، ویژگی‌های ساختمانی شامل: کیفیت بنا، قدمت بنا، نوع مصالح، تعداد طبقات، مساحت طبقه همکف و سازگاری کاربری‌ها، عوامل طبیعی شامل: فاصله از گسل، فاصله از مسیر رود، دسترسی شامل: عرض معبر، وجود تقاطع و راه‌های فرعی و دسترسی به مراکز امداد و نجات و درجه محصوریت بررسی شد. نتایج نهایی حاصل از مدل تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که بیشترین میزان آسیب‌پذیری در قسمت‌های مرکزی می‌باشد.

افسری و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله خود با عنوان ارزیابی پتانسیل تهدید شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای با رویکرد پدافند غیرعامل در استان خوزستان، به ارائه مدلی جهت شناسایی و ارزیابی پتانسیل تهدید در شبکه حمل و نقل جاده‌ای استان خوزستان با رویکرد پدافند غیرعامل پرداختند. برای این منظور ۱۳ معیار در سه دسته عوامل طبیعی، انسانی و حمل و نقل شناسایی و با استفاده از روش منطق فازی، روش ترکیب خطی وزنی، تخمین تراکم کرنل و تابع لکه‌های داغ در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل نشان داد بخش‌هایی که نزدیک شهرها هستند و پل‌ها دارای بیشترین پتانسیل تهدید می‌باشد. همچنین براساس تابع لکه‌های داغ مناطق شهری و مناطقی که شبکه دارای تراکم بالا می‌باشد جزو مناطق جاذب تهدید می‌باشد.

مشگینی و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله‌ای با عنوان تاب‌آوری کالبدی مسکن شهری در برابر زلزله: تحلیلی از محلات و مناطق شمالی کلان‌شهر تهران، به ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی مسکن مناطق مورد مطالعه پرداختند. به این منظور با استفاده از مدل SWARA، سیزده معیار موثر در تاب‌آوری کالبدی مسکن از جمله: سازه بنا، تعداد طبقات، دانه بندی، تراکم جمعیت، فاصله از گسل و فاصله از ایستگاه آتشنشانی مورد تجزیه قرار گرفتند. یافته‌های پژوهش حاکی از وضعیت نامناسب مسکن شهری در محدوده مورد مطالعه از نظر تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله هست. که بیش از ۶۰ درصد از محلات واقع در آن از تاب‌آوری کم و بسیار کم برخوردارند.

کیم و یو (۲۰۱۶) در مقاله خود با عنوان معیار آسیب پذیری مبتنی بر جریان برای تاب آوری شبکه راه های شهری (مطالعه موردی: جنوب شرقی سئول)، به بررسی آسیب پذیری جاده های شهری براساس ترافیک پرداخته اند. در این مقاله روشی برای اندازه گیری وضعیت شبکه راه ها با عنوان MFD ارائه شده است. براساس روش پیشنهادی، وضعیت شبکه در حالت عادی و حالت بروز رویداد مقایسه می شود و وضعیت شبکه در رویدادهای مختلف بدست می آید. نتایج نشان می دهد که این اندازه گیری می تواند به بررسی الگوهای مختلف از دست دادن عملکرد شبکه توسط وضعیت های مختلف ترافیکی کمک کند.

آدافر و بنسایبی^۲ (۲۰۱۷) در مقاله خود با عنوان طبقه بندی آسیب پذیری لرزه ای جاده ها (مطالعه موردی: الجزایر) به ارزیابی آسیب پذیری جاده های شهری براساس معیارهای ساختاری و طبیعی منطقه پرداخته اند. در این مقاله از روش های تحلیل تصمیم گیری چندمعیاره و برنامه RSVI استفاده شده است. طبق نتایج حاصل شده، جاده اول، براساس شاخص آسیب پذیری، در وضعیت نسبتاً خوبی قرار دارد. جاده دوم دارای خاک نرم ماسه و نفوذپذیر دارای شاخص آسیب پذیری متوسط می باشد.

سینگ و همکاران^۳ (۲۰۱۸) در مقاله ای با عنوان ارزیابی آسیب پذیری شبکه راه های شهری از سیل شهری، چارچوبی برای ارزیابی آسیب پذیری شبکه راه های شهری در اثر سیل ارائه داده اند. در این تحقیق با ترکیب داده های هواشناسی، توابع کاربری زمین، مدل هیدرو دینامیکی و تابع سرعت ایمن، میزان آسیب پذیری از سیل در طول جاده های شهر بنگلور هند شبیه سازی شد. براساس نتایج حاصله مشاهده شد که بیش از ۴۰ درصد از طول جاده در سراسر شبکه برای بازنگری با دوره بازگشت ۱ در ۱۰۰ سال غیرقابل حرکت می شود. همچنین میانگین حداکثر سرعت در هر رده جاده متناسب با نرمال آن کاهش قابل توجهی دارد.

مورلی و کونها^۴ (۲۰۲۱) در مقاله خود به اندازه گیری تاب آوری شبکه های جاده ای شهری در برابر رویدادهای شدید: با تمرکز بر سیل های شهری (مطالعه موردی: سائو کارلوس، برزیل)، به ارائه روشی برای ارزیابی و تحلیل رفتار شبکه راه ها در زمان وقوع بحران های طبیعی براساس دو معیار تداوم شبکه و کارایی گزینه های جاگزین و تاثیر پذیری جمعیت و وسایل حمل و نقل موتوری و پیاده از این رویداد پرداختند. بر این اساس دو ورودی، شبکه جاده ها و توزیع سفرها مورد استفاده قرار گرفت. طبق نتایج حاصل شده مناطق جنوبی شهر بیشتر از منطق شمالی آسیب پذیر هستند و خیابان های حاشیه ای شهر مستعد سیل هستند. در ضمن عابران پیاده نسبت به وسایل موتوری و ماشین کمتر آسیب پذیر می باشد.

همانطور که مشاهده می شود مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی تاب آوری کالبدی شبکه های ارتباطی شهری در برابر انواع مخاطرات انسانی و طبیعی در داخل و خارج انجام شده است. با مروری بر پژوهش های پیشین مشاهده می شود که در خصوص موضوع تاب آوری کالبدی شبکه ارتباطی مباحث مختلفی مطرح شده است اما کمتر به مدل های تصمیم گیری چند معیاره و ترکیب روش های پرسشنامه ای همچنین مقایسه مدل های مکانی و ارزیابی همبستگی آن ها پرداخته شده است. از این حیث پژوهش حاضر از لحاظ روش شناسی و تعدد متغیرهای مورد بررسی در کنار روش پرسشنامه ای با استفاده از نظرات متخصصان این امر و پیاده سازی در مقیاس مناطق کلان شهر تهران دارای تازگی بوده و بدیع می باشد.

مبانی نظری

تاب آوری

واژه تاب آوری از واژه لاتین resilio به معنای به طور ناگهانی عقب نشینی کردن (to jump back) استخراج شده است. برخی معتقدند ریشه این کلمه در بوم شناسی بوده و برخی دیگر بر فیزیک نظر دارند (رمضان زاده لسبویی، ۱۳۹۵). با این تعریف، تاب آوری توانایی جامعه برای بازگشت به حالت تعادل قبل از تکانه است و سرعت بازگشت، معیاری برای تاب آوری است (حیدری ساریان، ۱۳۹۹). ابعاد و شاخص های تاب آوری شهری به مجموعه ای از ویژگی ها و معیارها اشاره دارد که به شهرها کمک می کند

¹ Kim & Yeo, (2016)

² Adafer & Bensaibi, (2017)

³ Singh etall, (2018)

⁴ Morelli & Cunha, (2021)

تا در برابر بحران‌ها و چالش‌های مختلف، از جمله بحران‌های طبیعی و انسانی مقاوم‌تر شوند. این ابعاد و شاخص‌ها به طور کلی شامل موارد زیر هستند:

جدول ۱. ابعاد تاب‌آوری شهری

Table (1): Urban resilience dimensions

ابعاد	مفهوم	شاخص
اقتصادی	تاب‌آوری اقتصادی در برابر بلایا به معنی پاسخ‌های طبیعی و انطباقی به خطراتی است که افراد و جوامع را قادر می‌کند از بعضی زیان‌های بالقوه جلوگیری کنند.	اقتصاد کلان، بازار کالا و خدمات، بازار مالی، بازار کار، پایداری پذیری و بهره‌وری، سلامت اقتصادی، وضعیت استخدامی، تنوع اقتصادی، اشتغال، دسترسی به خدمات، رشد اقتصادی، ثبات اقتصادی، سطح درآمد.
اجتماعی	توانایی جوامع برای مقاومت در برابر شوک‌های خارجی به زیرساخت‌های اجتماعی خود. این بعد تاب‌آوری از تفاوت ظرفیت اجتماعی در بین جوامع بدست می‌آید.	همبستگی اجتماعی، وضع دموگرافیکی یک اجتماع مبتنی بر سن، جنس، قومیت، نژاد، کیفیت زندگی و رضایت مندی بالا، همکاری و مشارکت شهروندان، داشتن هویت واحد، حس تعلق، وجود امنیت.
زیست محیطی	این بعد از تاب‌آوری به توانایی جذب شوک بدون تغییر ساختار، هویت و کارکرد یک اکوسیستم اشاره دارد. بر این اساس تاب‌آوری به معنای ظرفیت یک سیستم برای جذب اختلالات و سازمندی مجدد است درحالی که دستخوش تغییر می‌شود به گونه‌ای که همچنان کارکرد، ساختار، هویت و بازخوردها را حفظ می‌کند.	مخاطرات، آلودگی‌ها، تنوع زیست محیطی، پایداری زیست محیطی خصوصیات جغرافیایی (منابع طبیعی، آب و هوا)، همسازی با طبیعت، شناسایی گسل‌ها، شناسایی مناطق آسیب پذیر و نواحی مخاطره آمیز، توجه به کاهش میزان آسیب رسانی به منابع طبیعی، پاکیزگی و کاهش آلودگی‌های محیطی.
کالبدی_زیرساختی	تاب‌آوری کالبدی نشان دهنده توانایی یک شهر برای بازسازی ساختار کالبدی آن است و به ارزیابی واکنش جامعه و ظرفیت بازایی بعد از سانحه نظیر پناهگاه‌ها، واحدهای مسکونی، زیرساختی و وابستگی آن‌ها به زیرساخت‌های دیگر مربوط می‌شود.	خدمات اضطراری، استانداردهای ساختمان سازی و منطقه بندی، زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی، شبکه حمل و نقل، کارخانه‌ها و مراکز تجاری، کاربری زمین، ظرفیت پناهگاه‌ها، نوع مسکن، کیفیت، مقاومت و قدمت بنا، مالکیت، ارتفاع ساختمان‌ها، فضاهای باز و سبز، تراکم دسترسی، ویژگی‌های جغرافیایی، شدت و تکرار مخاطرات.
نهادی _ سازمانی	ایجاد فهم مشترک در سازمان‌ها و نهادها در خصوص درک و کاهش خطر بلایا، براساس مشارکت گروه‌های شهروندی و جامعه مدنی، ایجاد اتحاد محلی، اطمینان از کاهش خطر بلایا و آمادگی از سوی تمامی نهادها. در اینجا تاب‌آوری به وسیله ظرفیت جوامع و افراد برای کاهش خطر، در راستای پیوندهای سازمانی، بهبود و حفاظت از سیستم‌های اجتماعی در یک جامعه تحت تاثیر قرار می‌گیرد.	رضایت ساکنان از عملکرد نهادهای موثر در کاهش آثار ناشی از بحران، منابع مالی سازمان‌های غیر دولتی و دولتی برای فعالیتهای مدیریت بحران، چالش‌های سازمان، در اجرای برنامه مدیریت بحران، رویکردهای مشارکتی به وسیله سازمان، بستر، زیرساخت، روابط و عملکرد نهادها، اعتماد متقابل شهروندان و مدیران شهری، درک نقش سازمانی و نهادی در زمان بحران، مهارت‌ها و ساختارهای نهادی، سیاست‌های تصمیم سازی و تصمیم گیری، مدیریت یکپارچه.

(منبع: سعیدی و همکاران، ۱۴۰۰، سعیدی، ۱۳۹۹، رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰، صالحی و همکاران، ۱۳۹۰، داداش پور و عادل، ۱۳۹۴)

پدافند غیرعامل

واژه پدافد از دو جزء (پد) و (آفند) تشکیل شده است. در فرهنگ فارسی (پاد یا پد) پیشوندی است که به معنی (متضاد، پی در پی و دنبال هم) بوده و هرگاه قبل از واژه‌ای قرار گیرد معنای آن را معکوس می‌کند. واژه (آفند) نیز به معنای (جنگ، جدال، پیکار و دشمنی) می‌باشد (دهخدا، ۱۳۵۱). مجمع تشخیص مصلحت نظام در راستای سیاست‌های کلی نظام در سند چشم انداز ۲۰ ساله کشور پدافند غیرعامل را به شرح زیر تعریف کرده است؛ مجموع اقدام‌های غیرمسلحانه‌ای که موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقای پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدها و اقدام‌های نظامی دشمن می‌شود (مهرنژاد و خورسندی، ۱۳۹۸). اصول دفاع غیرعامل مجموعه اقدامات بنیادی و زیربنایی است که در صورت بکارگیری می‌توان به اهداف پدافند غیرعامل از قبیل: تقلیل خسارات و صدمات، کاهش قابلیت و توانایی سامانه‌های شناسایی و آشکارساز، هدف‌یابی و دقت هدف‌گیری تسلیحات آفندی دشمن و تحمیل هزینه بیشتر به وی نائل گردید (نباتی، ۱۳۸۹). در جدول زیر اصول پدافند غیرعامل قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲. اصول پدافند غیرعامل
Table (2): Passive defense principles

اصول	تعریف
استتار	ایجاد هم‌رنگی و هماهنگی با محیط در مقابل هرنوع دید مستقیم و غیر مستقیم.
اختفا	مخفی کردن در مقابل دشمن.
پوشش	ایجاد موانع موقت جهت جلوگیری از شناسایی و هدف گیری.
فریب	گمراه کردن دشمن در شناسایی و هدف گیری.
مکانیابی	مکانیابی و استقرار صحیح عملکردها.
حرکت و جابجایی	سیال بودن و جابجایی سیستم‌ها و تجهیزات حساس و حیاتی و مهم در زمان کوتاه از نقطه‌ای به نقطه دیگر.
تفرقه و پراکندگی	پراکندگی در توزیع عملکردها، متناسب با تهدیدات و جغرافیا.
مقاوم سازی و استحکامات	سازه‌های قوی برای دفاع در برابر نیروهای تهدید کننده استفاده شود.

(منبع: محمدی و حسینی، ۱۳۹۶؛ مدیری، ۱۳۸۹)

تاب آوری و شبکه ارتباطی شهری

شبکه‌های ارتباطی شهری و زیرساخت‌ها جزء بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ای هر جامعه به شمار می‌آیند که در برگزیده تمامی تاسیسات، خدمات و تسهیلات مورد نیاز آن جامعه‌اند. در زندگی مدرن با افزایش وابستگی سریع به این امکانات اهمیت شبکه‌های ارتباطی روزافزون شده است. شبکه ارتباطی همواره دارای جذابیت خوبی برای حمله هستند؛ طبق نظریه ۵ حلقه واردن شبکه‌ها مراکز ثقل یک کشور هستند که در صورت انهدام هریک پیکره و کالبد کشور مورد تهاجم فلج می‌گردد و قادر به ادامه فعالیت و حیات نخواهد بود (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۳). زیرساخت‌های مواصلاتی از جمله اصلی‌ترین مراکز ثقل هستند که با توجه به بی‌پناهی و طبیعت گسترده در زمان بحران به راحتی می‌توانند مورد هدف قرار بگیرند (قربانی زاده و باقری، ۱۳۹۰). بر این اساس ضروری می‌نماید ارزیابی و مطالعه کیفیت شبکه راه‌ها در اولویت قرار گیرد تا جهت افزایش تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری برنامه‌ها و راهبردهای موثر صورت بگیرد.

روش پژوهش

تحقیق حاضر از نوع آمیخته با رویکرد توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی-توسعه‌ای می‌باشد. ابتدا با مطالعه پیشینه تحقیق معیارها و زیرمعیارهای موثر در تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری جمع‌آوری شد سپس وزن‌دهی معیارها بر اساس مدل تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفت. در ادامه اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی با استفاده از تحلیل‌ها و توابع فاصله اقلیدسی، فازی، تاپسیس^۱ و مجموع ساده وزنی^۲ شد. در نهایت همبستگی بین مدل‌های اجرا شده با استفاده از رگرسیون خطی محاسبه شد. در نهایت با مشخص شدن وضعیت تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی محدوده مورد مطالعه، اقدام به ارایه راهکارهای موثر جهت افزایش تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شده است. پس از استخراج متغیرها اقدام به وزن دهی آن‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی^۳ شد سپس بعد از فازی سازی لایه‌های مکانی، مدل‌سازی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان‌شهر تهران با انجام مدل‌سازی چندمعیاره تاپسیس و مجموع ساده وزنی صورت گرفت. جهت مدل‌سازی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی براساس مدل‌های مذکور ابتدا باید لایه‌های مورد استفاده بصورت واحد و یکدست استانداردسازی و نرمال‌سازی شوند. بر این اساس طبق توابع فازی تمام لایه‌ها در محیط نرم افزار ArcGIS با استفاده از تابع خطی^۴ نرمال سازی شدند. این تابع بین مقادیر حداقل و حداکثر تعریف شده توسط کاربر یک خط برقرار می‌کند. هر مقداری که زیر حداقل باشد صفر می‌گیرد اما هر مقداری که بالای ماکسیمم باشد ارزش یک می‌گیرد. شکل این تابع بستگی به

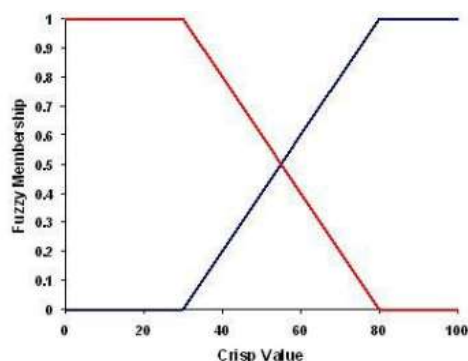
¹ TOPSIS

² SAW

³ AHP

⁴ linear

مقادیر حداقل و حداکثر دارد. به این صورت که اگر حداقل بیشتر از حداکثر باشد شکل تابع z شکل خواهد بود در حالت عکس شکل تابع s خواهد بود.



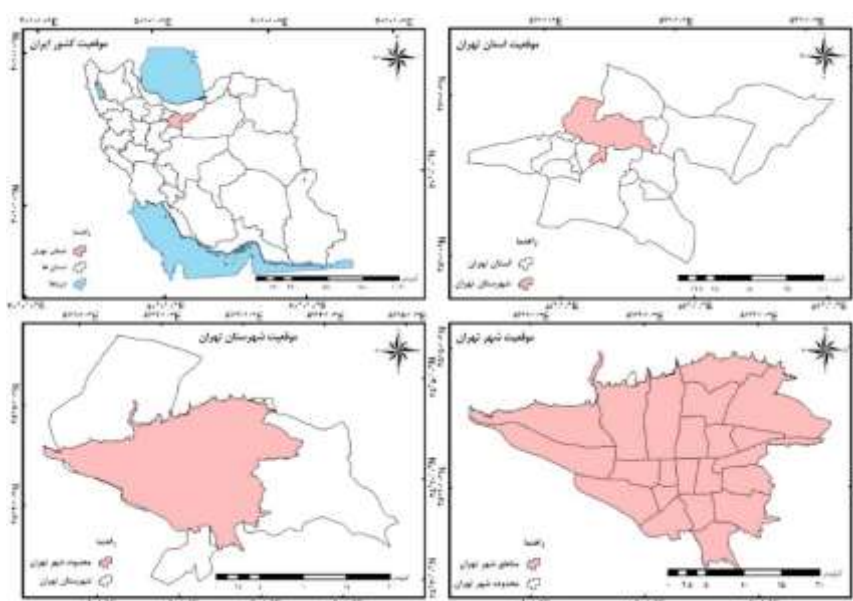
شکل ۱. تابع فازی خطی

Figure (1): Linear fuzzy function

خط قرمز در شکل بالا با شیب کاهشی نشان می‌دهد که ارزش کمتر از ۳۰ ارزش یک و ارزش‌های بالاتر از ۸۰ ارزش صفر می‌گیرد.

منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر محدوده مطالعه شبکه راه‌های شهری کلان‌شهر تهران می‌باشد. جامعه آماری تحقیق حاضر شامل مناطق کلان‌شهر تهران و نمونه آماری متخصصین و نخبگان حوزه‌های مرتبط با شهرسازی، راه‌ها، حمل و نقل و سایر حوزه‌های مرتبط می‌باشد. استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعت ۱۳۸۴۱ کیلومترمربع بین ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۷ دقیقه عرض‌شمالی و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شهرستان تهران نیز یکی از شهرستان‌های استان تهران و پایتخت ایران می‌باشد که با وسعت ۱۳۳۶ کیلومتر مربع در قسمت شمال غربی استان تهران واقع شده است. بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ۱۳۹۵ جمعیت استان تهران برابر با ۱۳۲۶۷۶۳۷ نفر و جمعیت کلان‌شهر تهران ۸،۷۳۷،۵۱۰ بوده است. در (شکل ۲) موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر تهران اضافه شده است (سالنامه آماری استان تهران، ۱۴۰۰).



شکل (۲). موقعیت جغرافیایی کلان شهر تهران (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Fig. (2): case study

نتایج و بحث

وضعیت موجود سلسله مراتب شبکه‌های ارتباطی شهری به لحاظ کمیت در سطح کلان شهر تهران

طبق آخرین تقسیمات سیاسی-اداری کشور، کلان شهر تهران به ۲۲ منطقه شهرداری تقسیم شده است. براساس آخرین نسخه داده‌های شبکه‌های ارتباطی شهری تهیه شده از سامانه متن باز OSM برای کلان شهر تهران، در پنج گروه اصلی: شبکه‌های محلی-مسکونی، شریانی درجه یک، شریانی درجه دو، شریانی جمع و پخش کننده و بزرگراهها طبقه‌بندی شدند. به این ترتیب، از مجموع شبکه‌های ارتباطی کلان شهر تهران ۵۰ درصد به عنوان شبکه‌های محلی-مسکونی، ۵ درصد شامل شریانی درجه یک، ۲۸ درصد در گروه شریانی درجه دو، ۱۰ درصد جمع و پخش کننده و نزدیک ۷ درصد به عنوان بزرگراهها می-باشد (جدول ۳).

جدول ۳. طول سلسله مراتب معابر نسبت به کلان شهر تهران

Table (3): The length of the road type in metropolis of Tehran

درصد	مجموع طول معابر (کم)	معادل فارسی	معادل انگلیسی	سلسله مراتب معابر
۵۰	۸۴۷۱,۳۸	محلی-مسکونی	residential	۱
۵	۷۳۹,۲۷	شریانی درجه ۱	primary	۲
۲۸	۴۶۴۸,۶۹	شریانی درجه ۲	secondary	۳
۱۰	۱۷۷۵,۵۰	جمع و پخش کننده	tertiary	۴
۷	۱۱۶۳,۹۳	بزرگراه	trunk	۵
۱۰۰				

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)

تهیه معیارها و زیرمعیارها و انجام وزن دهی

با توجه به بررسی و مطالعه منابع و پیشینه پژوهش در رابطه با موضوع پژوهش، متغیرهای زیادی در مورد سنجش تاب آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری به کار برده شده است. در این راستا با توجه به اطلاعات موجود و پژوهش‌های انجام شده در زمینه مذکور، شاخص‌های موثر برای بررسی تاب آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان شهر تهران انتخاب شد. که در (جدول ۴) نشان داده شده است.

جدول ۴: متغیرها و اوزان

Table (4): variables and weights

عوامل اجتماعی-محیطی ۰/۲۲۵	عوامل امنیتی ۰/۰۳۳	کیفیت کالبدی ۰/۳۴۰	عوامل طبیعی ۰/۰۱۸	فاصله از مراکز درمانی ۰/۱۱۴	فاصله از تاسیسات و تجهیزات ۰/۲۷۰
فاصله از فضای باز و سبز ۰/۶۶	فاصله از ایستگاه پلیس ۰/۲۵	اسکلت فلزی ۰/۱۲	فاصله از گسل ۰/۵۸	فاصله از داروخانه ۰/۳۷۵	فاصله از ایستگاه آتشنشانی ۰/۵۵۸
تراکم جمعیت ۰/۳۴	سلسله مراتب شبکه ارتباطی ۰/۷۵	اسکلت بتن آرمه ۰/۲۵	شیب ۰/۲۸	فاصله از مراکز درمانی ۰/۶۲۵	فاصله از مراکز سوخت رسانی ۰/۳۳
		مصالح بنا آجر و آهن ۰/۱۴	فاصله از رودخانه ۰/۱۴		فاصله از فرودگاه ۰/۱۲۲
		بلوک و سیمان ۰/۱۷			
		تمام آجر با سنگ ۰/۰۹			
		خشت و گل ۰/۰۴			
		دانه بندی ۰/۱۹			

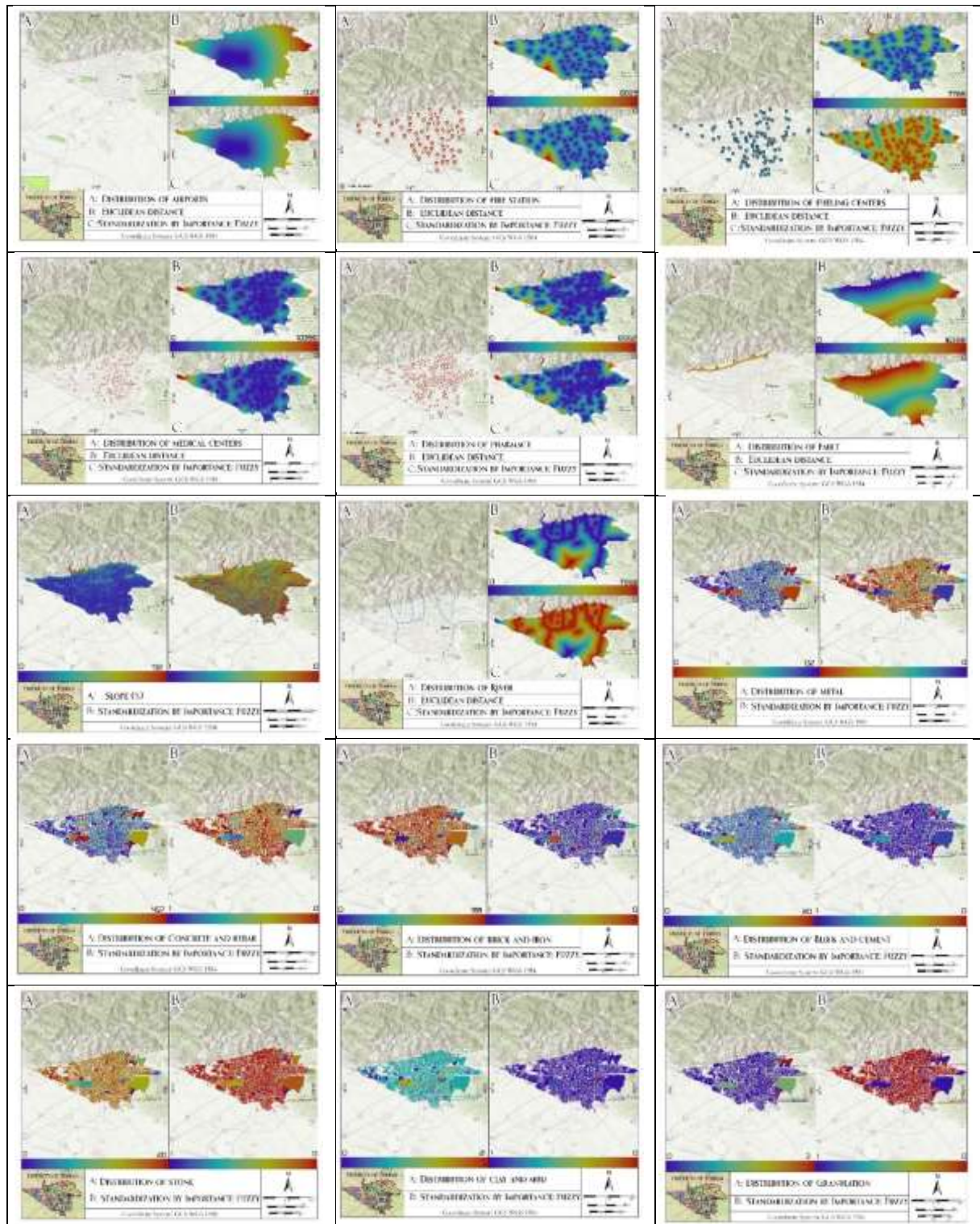
(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

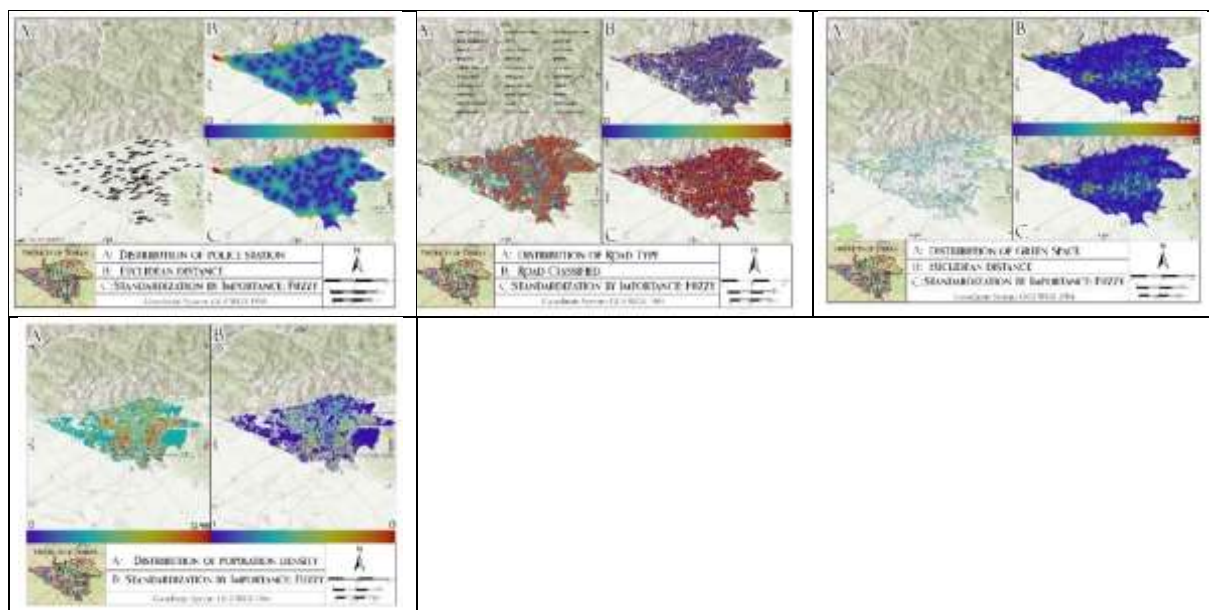
به منظور استخراج وزن معیارهای پژوهش از مدل تحلیل سلسله مراتبی توماس ال ساتی استفاده شد. به طور کلی تحلیل سلسله مراتبی از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی عموماً از مراحل سه گانه ۱- ایجاد درخت سلسله مراتب ۲- مقایسه دوتایی ۳- تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها و در نهایت بررسی سازگاری قضاوت‌ها تشکیل می‌گردد (موحد و همکاران، ۱۳۹۱). به این ترتیب تکمیل پرسشنامه‌ها و تهیه اوزان معیارها و زیر معیارها از هفت متخصص برنامه ریزی و مدیریت شهری انجام شد (Saaty, Ozdemir:2003؛ اصغرپور، ۱۳۸۹). در جدول بالا اوزان متغیرها قابل مشاهده می‌باشد. ضریب ناسازگاری اوزان برای معیارها ۰/۰۳ و برای زیر معیارها ۰/۰۴ به دست آمد به‌طوریکه خطای عدم سازگاری هیچگاه نباید از ۰/۱ بیشتر باشد.

بر اساس اوزان بدست آمده، معیار کیفیت کالبدی با مقدار ۰/۳۴۰ دارای بیشترین و معیار عوامل طبیعی با مقدار ۰/۰۱۸ کمترین ضریب را در میان معیارها دارا می‌باشد. در زیرمعیارها نیز سلسله مراتب شبکه ارتباطی با مقدار ۰/۷۵۰ بیشترین و بنای خشت و گل با مقدار ۰/۰۴۰ کمترین وزن را دارا می‌باشد (جدول ۴).

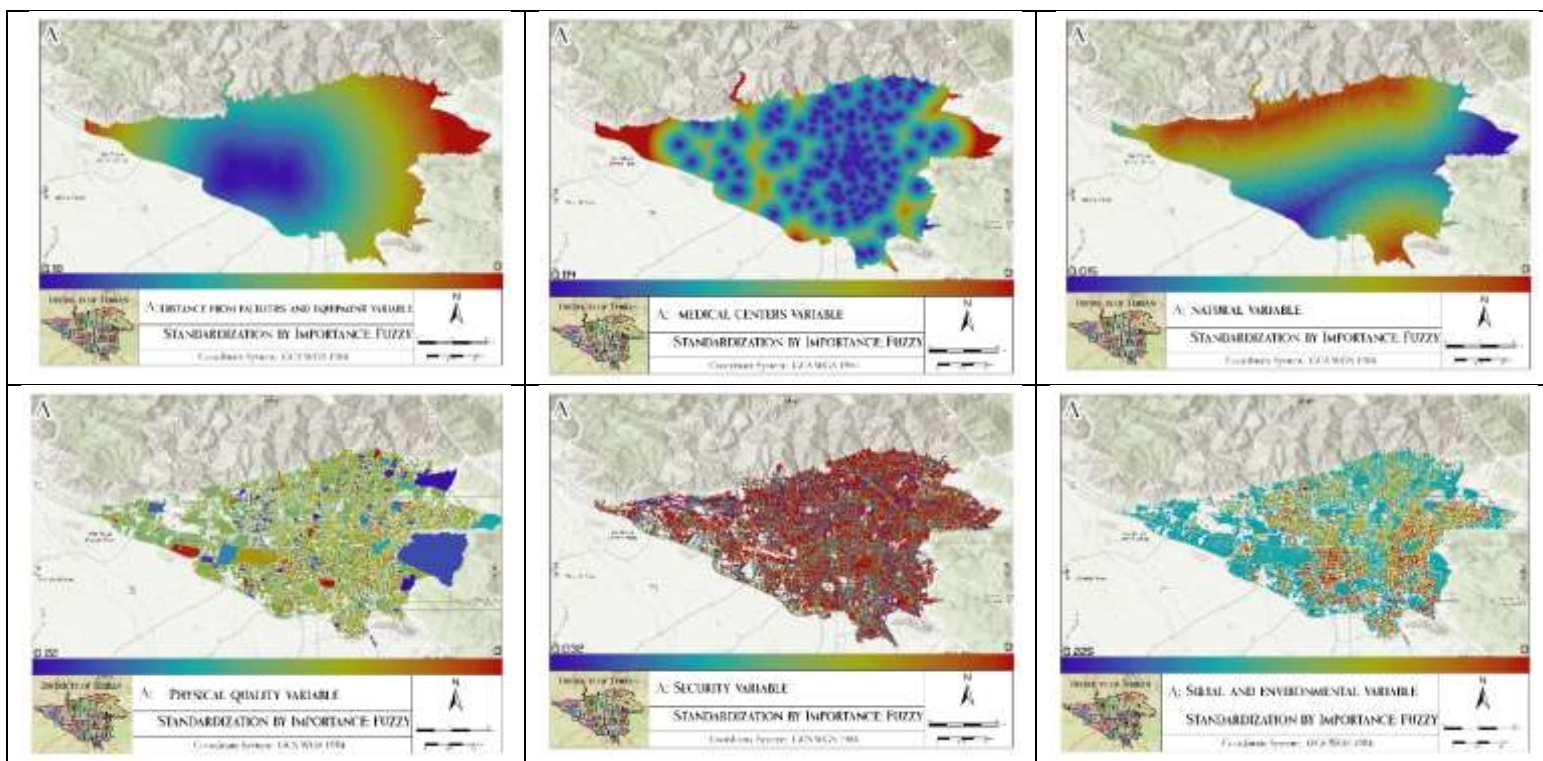
لایه‌های مربوط به متغیرهای کیفیت کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری تهیه و قبل از مدلسازی تاپسیس، مقادیر ارزش متغیرها براساس توابع فازی بی‌مقیاس شدند. در ادامه با استفاده از اوزان بدست آمده از تحلیل سلسله مراتبی، مدلسازی تاپسیس و مجموع ساده وزنی اجرا شد و در نهایت نقشه نهایی کیفیت کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری بدست آمد. بعد از تهیه نقشه نهایی جهت کیفی‌سازی مقادیر ارزشی در پنج کلاس خیلی بد، بد، متوسط، خوب و خیلی خوب به ترتیب طبقه‌بندی شدند. در پایین لایه‌های معیارها و زیرمعیارهای کیفیت کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری در سطح کلان شهر تهران و مناطق ۲۲گانه قابل مشاهده می‌باشد. متغیرهای پژوهش در قالب شش معیار؛ فاصله از تاسیسات و تجهیزات، فاصله از مراکز درمانی، عوامل طبیعی، کیفیت کالبدی، عوامل امنیتی، عوامل اجتماعی-محیطی با ضریب مقدار وزن هر یک از زیرمعیارهای آن با استفاده از روش همپوشانی مجموع ساده وزنی بدست آمد. همچنین زیرمعیارهای پژوهش؛ فاصله از ایستگاه آتشنشانی، فاصله از مراکز سوخت رسانی، فاصله از فرودگاه، فاصله از داروخانه، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از رودخانه، شیب، فاصله از گسل، دانه‌بندی، مصالح بنا خشت و گل، تمام آجر با سنگ، بلوک و سیمان، آجر و آهن، اسکلت بتن آرمه، اسکلت فلزی، سلسله مراتب شبکه ارتباطی، فاصله از ایستگاه

پلیس، تراکم جمعیت و فاصله از فضاهای باز و سبز در قالب لایه وکتور، لایه رستر و لایه فازی شده در زیر (شکل ۳ و ۴) قابل مشاهده می‌باشد.





شکل ۳. توزیع زیرمعیارهای پژوهش در سطح کلان شهر تهران (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)
Fig. (3): Distribution of sub-criteria of research in Tehran metropolis

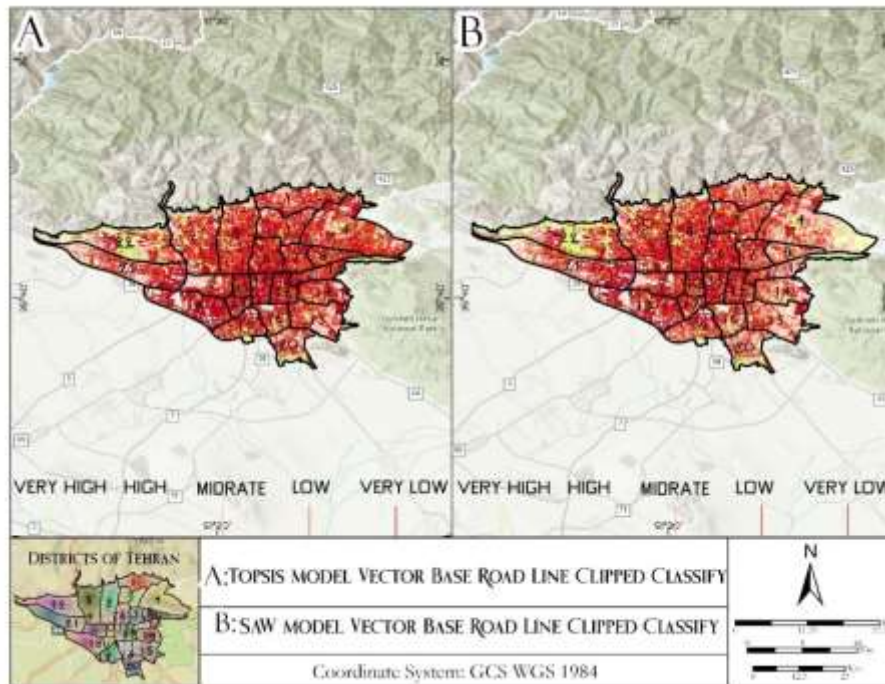


شکل ۴. توزیع معیارهای پژوهش در سطح کلان شهر تهران (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)
Fig. (4): Distribution of criteria of research in Tehran metropolis

وضعیت تاب آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری در سطح مناطق کلان شهر تهران

طبق مدل سازی فازی-تاپسیس و مجموع وزنی ساده تاب آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری کلان شهر تهران به دست آمد. سپس جهت کیفی سازی نتایج، مقدار عددی نتایج در قالب طیف پنجگانه لیکرت به صورت Natural Break طبقه بندی شد. طبق الگوی طبقه بندی تاب آوری با افزایش طیف طبقه بندی از خیلی کم تا خیلی زیاد میزان تاب آوری افزایش پیدا می کند یعنی طبقه خیلی کم نامطلوب ترین و طبقه خیلی زیاد دارای مطلوب ترین سطح تاب آوری در میان طبقات می باشد. در این بخش جهت

نقشه نهایی اضافه شده است (جداول ۶۵ و ۶۶).



وزنی (منبع، نگارندگان، ۱۴۰۳)

Fig. (5): Spatial distribution of physical resilience of urban roadnetwork of Tehran metropolis based on TOPSIS and SAW models

جدول ۵. وضعیت تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی مناطق کلان‌شهر تهران منتج از روش تاپسیس (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

by TOPSIS Table (5): physical resilience of urban roadnetwork in the Tehran metropolis zones,

[illegible]

ادامه جدول ۵. وضعیت تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی مناطق کلان‌شهر تهران منتج از روش تاب‌بیس

Table (5): physical resilience of urban roadnetwork in the Tehran metropolis zones, by TOPSIS

[illegible]

جدول ۶. وضعیت تاب آوری کالبدی شبکه های ارتباطی مناطق کلان شهر تهران منتج از روش مجموع ساده وزنی (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Table (6): physical resilience of urban roadnetwork in the Tehran metropolis zones, by SAW

تاب آوری	مناطق	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
خیلی کم		۱۳/۵۷	۱۸/۱۶	۱۱/۶۰	۳۱/۶۹	۱۹/۷۱	۱۳/۳۵	۱۲/۶۹	۱۶/۴۳	۱۴/۵۵	۱۳/۸۷	۱۲/۶۴
کم		۳۰/۲۰	۵/۲۶	۱۳/۶۰	۳۶/۷۸	۸/۸۰	۲/۴۱	۱۶/۰۸	۴۲/۸۵	۶/۴۳	۵/۷۶	۲/۶۹
متوسط		۴۰/۷۸	۳۴/۵۷	۴۵/۵۵	۲۲/۸۴	۲۸/۰۴	۲۷/۰۳	۳۷/۷۰	۳۵/۴۹	۳۳/۱۹	۳۲/۴۱	۲۳/۷۷
زیاد		۱۴/۰۳	۳۶/۹۸	۲۴/۵۱	۶/۹۱	۳۲/۱۲	۴۸/۴۴	۳۰/۶۰	۵/۰۶	۳۴/۹۷	۴۱/۴۰	۴۸/۷۹
خیلی زیاد		۱/۴۲	۵/۰۳	۴/۷۳	۱/۷۹	۱۱/۳۴	۸/۷۷	۲/۹۲	۰/۱۸	۱۰/۸۶	۶/۵۶	۱۲/۱۰
		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

ادامه جدول ۶. وضعیت تاب آوری کالبدی شبکه های ارتباطی مناطق کلان شهر تهران منتج از روش مجموع ساده وزنی

Table (6): physical resilience of urban roadnetwork in the Tehran metropolis zones, by SAW

تاب آوری	مناطق	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
خیلی کم		۹/۹۳	۲۳/۶۵	۱۷/۱۱	۲۵/۵۰	۲۴/۳۹	۱۶/۰۱	۱۶/۰۹	۱۹/۷۵	۳۳/۶۵	۲۳/۹۶	۴۳/۶۲
کم		۶/۰۰	۳۲/۱۹	۳۴/۰۰	۳۴/۵۲	۱۸/۵۴	۱۰/۶۸	۴/۲۶	۱۲/۰۶	۲۸/۶۷	۱۱/۳۲	۸/۹۸
متوسط		۴۲/۰۲	۲۹/۷۰	۳۵/۷۳	۲۶/۱۷	۳۴/۲۶	۳۶/۷۶	۲۳/۲۴	۴۰/۸۷	۲۵/۶۸	۲۸/۴۷	۲۴/۰۸
زیاد		۳۹/۴۷	۱۳/۶۵	۱۰/۴۷	۱۱/۷۷	۲۱/۶۲	۳۱/۵۵	۴۶/۱۰	۲۳/۸۶	۱۰/۱۷	۲۵/۲۴	۱۸/۷۵
خیلی زیاد		۲/۵۹	۰/۸۱	۲/۶۹	۲/۰۴	۱/۱۹	۵/۰۱	۱۰/۳۱	۳/۴۶	۱/۸۳	۱۱/۰۱	۴/۵۸
		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

طبق نتایج حاصل شده از اجرای مدل های تاپسیس و مجموع ساده وزنی بر روی کل شبکه ارتباطی موجود در کلان شهر تهران، نشان دهنده وضعیت نامطلوب در آن می باشد. باتوجه به خروجی هر دو مدل انجام شده ۷۰ درصد شبکه ارتباطی دارای تاب آوری متوسط به پایین می باشد و تنها ۳۰ درصد شبکه از مطلوبیت نسبی برخوردارند. بر این اساس مناطق ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲ و ۲۲ دارای بیشترین شبکه در طبقه تاب آوری خیلی کم نسبت به سایر مناطق می باشد. باتوجه به طبقه بندی سلسله مراتب معابر موجود در مناطق کلان شهر تهران در پنج گروه عمده مذکور، معابر محلی-مسکونی کمترین تاب آوری را در مقایسه با سایر راهها دارا می باشد به طوریکه بیش از ۵۰ درصد معابر موجود را محلی-مسکونی شامل می شود. این امر نشان دهنده اهمیت این معابر و تاثیری که بر سطح تاب آوری کالبدی معابر دارد می باشد. این معابر با میانگین عرض شش متری در کنار سایر متغیرهای تاثیرگذار دیگر باعث کاهش شدید تاب آوری کالبدی معابر شده و به تبع آن باعث بروز مشکلات عدیده ای در سایر حوزه ها از جمله خدمات رسانی، امداد رسانی و دیگر حوزه ها شده است. این نتایج در هر دو مدل اجرا شده مشهود می باشد اما مدل تاپسیس با توجه به مقایسه صورت گرفته بصورت تجربی با سلسله مراتب شبکه های ارتباطی موجود در سطح کلان شهر تهران نتایج بهتری را نسبت به روش مجموع ساده وزنی منتج شده است. در جدول بالا مقادیر درصدی تاب آوری معابر در مناطق مختلف قابل مشاهده می باشد.

باتوجه به سلسله مراتب موجود در مناطق کلان شهر تهران، نقشه تاب آوری شبکه معابر شهری بر اساس مدل تاپسیس نشان می دهد، مناطق مرکزی از جمله منطقه ۱۱، ۱۰، ۶ و ۱۲ تاب آوری نامطلوبی نسبت به مناطق اطراف کلان شهر تهران دارند زیرا از تراکم شبکه های محلی و مسکونی بیشتری برخوردارند. مناطق ۱۸، ۶، ۷ و ۱۱ باتوجه به قرارگیری در قسمت های حاشیه تهران و وجود فضای باز بیشتر شرایط نسبتا مطلوبی را دارند. همچنین طبق نتایج مدل مجموع ساده وزنی نیز مناطق حاشیه ای با نسبت بیشتری دارای تاب آوری بهتری هستند به طوریکه قسمت های شرقی و جنوب شرقی، شمال غربی و تا حدودی شمال شرقی تاب آوری مطلوبی را دارد. از جمله مناطق ۲۱، ۱۸، ۱۲، ۱۱ و ۶ دارای تاب آوری بهتری نسبت به معابر سایر مناطق می باشد (جدول ۵ و ۶). در واقع هر لحظه امکان بروز خسارات شدیدی در سطح مناطق با کوچکترین حادثه ای وجود دارد. به همین

دلیل توجه ویژه مسئولین شهری را می‌طلبید. قابل ذکر است می‌توان از جمله عوامل موثر در افزایش و کاهش کیفیت تاب‌آوری مناطق را در نحوه و مقدار توزیع متغیرها در آن منطقه دانست. به عنوان نمونه منطقه ۲۲ با دارا بودن فضای باز مکفی و دسترسی به بزرگراه‌ها و درحال توسعه بودن آن از وضعیت نسبتاً مطلوبی نسبت به سایر مناطق برخوردار می‌باشد در حالیکه همین منطقه در قسمت‌های با تراکم بالای شبکه‌های محلی-مسکونی وضعیت نامطلوبی را دارا می‌باشد.

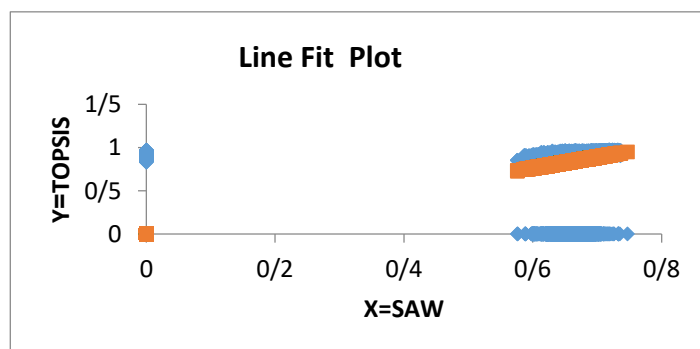
نتایج همبستگی بین مدل‌های اجرا شده

همانطور که ذکر شد در پژوهش حاضر دو روش تاپسیس و مجموع ساده وزنی جهت ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری کلان‌شهر تهران مدل‌سازی شد. باتوجه به نتایج متفاوت این دو مدل با هم، جهت بررسی همبستگی نتایج دو مدل مذکور از روش رگرسیون استفاده شد. در واقع رگرسیون یک نمودار برازش خط است که رابطه بین دو متغیر را نشان می‌دهد. طبق شکل زیر نمودار یک همبستگی قوی بین مدل تاپسیس و مجموع وزنی ساده را نشان می‌دهد، زیرا نقاط در اطراف یک خط مستقیم خوشه بندی شده‌اند. به عبارت دیگر نمودار نشان دهنده تناسب خوبی بین داده‌های دو مدل است، که نشان دهنده یک رابطه خطی قوی بین متغیرها است. این بدان معنی است که تغییرات در متغیر X احتمالاً با تغییرات متناسب در متغیر Y مرتبط است.

جدول ۷. ضرایب آماری رگرسیون (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Table (7): statistical coefficients of regression

مقادیر رگرسیون	
Multiple R	۰/۸۹
R Square	۰/۷۹
Standard Error	۰/۳۵



شکل ۶. نمودار برازش خطی دو مدل تاپسیس و مجموع ساده وزنی (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Fig. (6): Linear fitting of TOPSIS and SAW

باتوجه به (جدول ۷) ضریب همبستگی، که نشان دهنده قدرت و جهت رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته است با مقدار ۰/۸۹ گویای وجود یک همبستگی مثبت قوی است. R Square بیان کننده مطابقت داده‌ها با مدل رگرسیون می‌باشد بر این اساس طبق نتیجه ۷۹ درصد مدل‌های تاپسیس و مجموع وزنی ساده باهم تناسب دارند. همچنین ضریب خطای استاندارد پایین‌تر نشان دهنده تناسب بهتر خط رگرسیون با داده‌ها است. در این مورد، خطای استاندارد ۰/۳۵ است، که نشان می‌دهد نقاط داده محاسبه شده به طور متوسط ۰/۳۵ واحد از خط رگرسیون فاصله دارند.

این آمار نشان می‌دهد که مدل رگرسیون مناسب برای داده‌ها است، همبستگی مثبت قوی بین متغیرها، بخش قابل توجهی از واریانس متغیر وابسته را توضیح می‌دهد و خطای استاندارد نسبتاً کمی دارد.

نتیجه گیری

یکی از چالش‌های اساسی در جهت نیل به پایداری در شهرها رخدادهای طبیعی و غیرطبیعی می‌باشد که در صورت عدم آگاهی لازم می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را به ابعاد مختلف شهرها وارد کند. در سال‌های اخیر وقوع اینگونه حوادث در شهرها پیکره آن‌ها به ویژه زیرساخت‌های شهری را با خسارات فراوانی روبرو کرده است. شهرهای مختلف به دلیل برنامه‌ریزی نامناسب و نبود پشتیبانی فنی امکان بهبود زیرساخت‌های شهری و بازگشت به حالت اولیه وجود ندارد در مقابل برخی از شهرها از پیش برای پیش‌بینی، پشت سرگذاشتن و بهبود از تاثیرات مخاطرات طبیعی یا فنی طراحی شده‌اند و سیستم‌های فیزیکی و اجتماعی در چنین شهری قادر به بقا و عملکرد تحت شرایط فشار و بحرانی هستند که در اصطلاح به شهرهای تاب‌آور شناخته می‌شوند. بر این اساس تاب‌آوری به این مفهوم می‌باشد که جامعه ظرفیت تحمل بحران و فاجعه را بدون دریافت خسارات و آسیب‌های عمده، کاهش کیفیت زندگی، و نیاز به کمک از بیرون جامعه را داشته باشد. به این ترتیب هدف از پژوهش حاضر ارزیابی تاب‌آوری کالبدی زیرساخت‌های شهری با تمرکز بر شبکه راه‌های ارتباطی در برابر تهدیدات سخت با رویکرد پدافند غیرعامل در کلان‌شهر تهران می‌باشد. به این منظور براساس مطالعات کتابخانه‌ای، مجموعه‌ای از متغیرهای موثر در تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی جمع‌آوری و تهیه شد. بر این اساس ۱۹ متغیر در قالب شش معیار؛ فاصله از تاسیسات و تجهیزات، فاصله از مراکز درمانی، عوامل طبیعی، کیفیت کالبدی، عوامل امنیتی و عوامل اجتماعی-محیطی طبقه‌بندی شد. جهت مدلسازی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی، بعد از جمع‌آوری و آماده سازی متغیرها اقدام به فازی سازی آن‌ها شد. سپس جهت تعیین اوزان متغیرها از مدل تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. در نهایت با استفاده از مدل چند معیاره تاپسیس و مجموع وزنی ساده مدلسازی انجام شد. براساس داده‌های تهیه شده، شبکه‌های ارتباطی شهری کلان‌شهر تهران در پنج گروه اصلی شبکه‌های محلی-مسکونی، شریانی درجه یک، شریانی درجه دو، شریانی جمع و پخش کننده و بزرگراه‌ها طبقه‌بندی شدند. به این ترتیب، از مجموع شبکه‌های ارتباطی کلان‌شهر تهران ۵۰ درصد به عنوان شبکه‌های محلی-مسکونی، ۵ درصد شامل شریانی درجه یک، ۲۸ درصد در گروه شریانی درجه دو، ۱۰ درصد جمع و پخش کننده و نزدیک ۷ درصد به عنوان بزرگراه‌ها می‌باشد. با توجه به خروجی نهایی، نزدیک به ۷۰ درصد معابر کلان‌شهر تهران از نظر تاب‌آوری در سطح متوسط به پایین قرار دارد و تنها ۳۰ درصد معابر در طبقه زیاد و خیلی زیاد به عبارتی شرایط مطلوبی قرار دارند. به عبارت دیگر مناطق مرکزی شهر نسبت به مناطق حاشیه‌ای شهر تاب‌آوری کمتری دارد، در واقع در صورت وقوع حوادث ناگوار تخریب در سطح بسیار بالایی خواهد بود به همین دلیل توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. باتوجه به توسعه فیزیکی شهر از اطراف مناطق و ساخت و سازهای جدید و شرایط مطلوب متغیرها در این مناطق وضعیت تاب‌آوری نسبتاً قابل قبول می‌باشد. همچنین تاثیر سلسله مراتب شبکه‌های ارتباطی نیز قابل توجه می‌باشد به‌طوریکه شبکه‌های محلی-مسکونی بیشترین آسیب‌پذیری کالبدی را در مقابل مخاطرات دارد. در نهایت باتوجه به نتایج متفاوت مدل‌های پیاده شده در پژوهش حاضر جهت بررسی همبستگی دو مدل مذکور از روش رگرسیون استفاده شد. نتایج نشان از وجود یک همبستگی قوی بین مدل تاپسیس و مجموع وزنی ساده را می‌دهد، به عبارت دیگر تناسب خوبی با مقدار ۸۰ درصد بین داده‌های دو مدل برقرار است، که نشان دهنده یک رابطه خطی قوی بین دو مدل است. با توجه به بررسی مطالعات قبلی، نتایج بدست آمده با پژوهش‌های محمدی و حسینی (۱۳۹۵)؛ پوراحمد و همکاران (۱۳۹۷)؛ شکیبامنش و کریمی نیا (۱۳۹۸)؛ مهرنژاد و خورسندی (۱۳۹۸)، افسری و همکاران (۱۴۰۱) و مشکینی و همکاران (۱۴۰۳) همسو و نتایج مشابهی را حاصل شده است.

باتوجه به مطالب ذکر شده پیشنهادات زیر با رویکرد پدافند غیرعامل جهت افزایش تاب‌آوری شبکه راه‌های ارتباطی یا در جهت کاهش خسارات ناشی از وقوع مخاطرات انسانی و طبیعی ارائه می‌شود؛

۱. ایجاد و تقویت تدابیر حفاظتی و امنیتی در اطراف شبکه‌های ارتباطی اصلی به منظور کاهش آسیب‌پذیری در برابر تهدیدات

۲. تعیین و اجرای حریم‌های استاندارد برای کاربری‌های مهم مانند مسکونی، صنعتی و نظامی به منظور جلوگیری از تداخل و افزایش ایمنی

۳. طراحی و پیاده‌سازی زیرساخت‌های مقاوم در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی، شامل تقویت جاده‌ها، پل‌ها و دیگر زیرساخت‌ها
۴. پیش‌بینی و طراحی مسیرهای موازی و جایگزین برای تسهیل تردد در زمان وقوع حوادث
۵. انتخاب مواد و تجهیزات مناسب برای ساخت ساختمان‌های مهم استراتژیک که توانایی مقاومت در برابر بحران‌ها را داشته باشند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش کد اخلاق را به شماره از کمیته اخلاق دانشکده/دانشگاه دریافت کرده است. نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: احمد نیکدل منور و رسول افسری؛ تهیه گزارش پژوهش: رسول افسری و احمد نیکدل منور؛ تحلیل داده‌ها: احمد نیکدل منور

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- افسری، رسول؛ جهانپخش، بالیست؛ دارابی، حسن و میرزایی، محمدرضا (۱۴۰۱)، ارزیابی پتانسیل تهدید شبکه حمل و نقل جاده‌ای با رویکرد پدافند غیرعامل در استان خوزستان، *آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۲(۲)، ۱۴۹-۱۶۷.
- اصغری‌پور، محمد جواد (۱۳۸۵)، *تصمیم‌گیری‌های چند معیاره*، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- اناری، فرزاد؛ اقبالی، ناصر و مویدفر، رضا (۱۳۹۸)، ارزیابی تاثیر ساختار شبکه ارتباطی حوزه شرقی طرح راهبردی شهر تهران بر تاب آوری شهری، *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، ۱۲ (۱)، ۵۹۵-۶۱۷.
- اسکندری، محمد؛ امیدوار، بابک و توکلی، محمدصادق (۱۳۹۳)، تحلیل خسارت شریان‌های حیاتی با در نظر گرفتن اثرات وابستگی در اثر حملات هدفمند (مطالعه موردی: شبکه آب و برق در یک منطقه شهری)، *دوفصلنامه مدیریت بحران*، ویژه نامه هفته پدافند غیرعامل، ۱۹-۳۰.
- اسکوئی ارس، علی؛ نیکدل منور، احمد؛ بابائی اقدم، فریدون و تیموری، ایرج (۱۴۰۲)، تحلیل فضایی کیفیت کالبدی مسکن در سکونتگاه‌های رسمی و غیررسمی (مطالعه موردی: منطقه ۱ کلانشهر تبریز)، *نشریه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی*، ۳(۹) ۳۸-۶۲، doi: 10.22034/rsgi.2024.60161.1061.۳۸-۶۲
- افتخاری، اصغر (۱۳۸۵)، *کالبد شکافی تهدید، تهران: انتشارات دافوس سپاه*.
- بهرامی، سیروان؛ سرور، رحیم و اسدیان، فرد (۱۳۹۶)، *تحلیلی بر وضعیت تاب آوری محلات شهر سنجند (مطالعه موردی: محلات سرپوله، شالمان و حاجی آباد)، مطالعات محیطی هفت حصار*، ۲۲ (۶)، ۴۵ - ۶۲.
- باباییان آتنی، رضا؛ شریعت پناهی، مجید ولی؛ فلاح تبار، نصرالله و خدایی، زهرا (۱۴۰۰)، *پهنه بندی درجه آسیب پذیری زیرساخت‌های شهر سمنان با رویکرد پدافند غیرعامل در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه ریزی*، ۱۲(۱)، ۷۳-۸۸.

- پریزادی، طاهر؛ حسینی امینی، حسن و شهریاری، مهدی (۱۳۸۹)، بررسی و تحلیل تمهیدات پدافند غیرعامل در شهر سقز در رویکردی تحلیلی، مدیریت شهری، شماره ۲۶، ۱۹۱ - ۲۰۲.
- حاجی پور، خلیل و پیاب، آرمان (۱۳۹۷)، تحلیل آسیب پذیری پدافندی مناطق شهر با استفاده از فرایند تحلی سلسله مراتبی (مطالعه موردی: منطقه ۲ شیراز)، برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲۳ (۱)، ۵۱-۸۴.
- حسینی امینی، حسن؛ اسدی، صالح و برنافر، مهدی (۱۳۸۹)، ارزیابی ساختار شهر لنگرود جهت برنامه ریزی پدافند غیر عامل، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۵ (۱۸)، ۱۲۹ - ۱۴۹.
- حیدری ساریان، وکیل (۱۳۹۹)، تبیین رابطه معنویت با بهبود تاب آوری روستاییان در خصوص بحران زلزله (مطالعه موردی: دهستان ازومدل شمالی، شهرستان ورزقان)، برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲۴ (۳)، ۱۶۹-۲۰۰.
- داداش پور، هاشم؛ عادل، زینب (۱۳۹۴)، سنجش ظرفیت‌های تاب آوری در مجموعه شهری قزوین. مدیریت بحران، ۴ (۲)، ۷۳-۸۴.
- دهخدا، علی اکبر، ۱۳۵۱، لغت نامه دهخدا؛ جلد چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- رفیعیان، مجتبی؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، علی؛ پرهیزکار، اکبر و شایان، سیاوش (۱۳۹۰)، تبیین مفهومی تاب آوری و شاخص سازی آن در مدیریت سوانح اجتماعی محور (CBDM)، آمایش فضا و ژئوماتیک، ۱۵ (۴)، ۱۹.
- سلمانی مقدم، محمد؛ امیر احمدی، ابوالقاسم و کاویان، فرزانه (۱۳۹۳)، کاربرد برنامه ریزی کاربری اراضی در افزایش تاب آوری شهری در برابر زمین لرزه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر سبزوار)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۵ (۱۷)، ۱۷-۳۴.
- سعیدی، جعفر؛ فیروزی، محمدعلی؛ محمدی ده چشمه، مصطفی و شمسایی زفرقندی، فتح الله (۱۴۰۰)، تدوین سناریوهای تاب آوری شهرهای مرزی (مطالعه موردی: شهرهای آبادان و خرمشهر)، برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲۵ (۴)، ۱-۴۳.
- سعیدی، جعفر (۱۳۹۹)، تدوین سناریوهای تاب آوری شهرهای مرزی استان خوزستان با رویکرد دفاع غیرعامل (مطالعه موردی: شهرهای آبادان و خرمشهر) رساله دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. سالنامه آماری استان تهران، سال ۱۴۰۰.
- شکیبامنش، امیر و کریمی نیا، فاطمه (۱۳۹۸)، بهره گیری از تحلیل‌های شبکه فرم مبنا به منظور سنجش میزان تاب آوری کالبدی بافت محلات شهری (نمونه مورد پژوهی: محله سنگلج تهران)، نشریه علمی پژوهشی شهر/یمن، ۲ (۸)، ۱-۱۸.
- صالحی، اسماعیل؛ آقابابایی، محمد تقی؛ سرمدی، هاجر و فرزادبهباش، محمدرضا (۱۳۹۰)، بررسی میزان تاب آوری محیطی با استفاده از مدل شبکه علیت، محیط شناسی، ۳۷ (۵۹)، ۹۹-۱۱۲.
- عطایی، محمد (۱۳۹۵) تصمیم گیری چند معیاره فازی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- عزیزی، محمدمهدی و برنافر، مهدی (۱۳۹۱)، فرآیند مطلوب برنامه ریزی شهری در حمله های هوایی از دیدگاه پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: ناحیه ۱ منطقه ۱۱ تهران)، مطالعات شهری، شماره اول، ۹-۲۲.
- قربانی‌زاده، وجه‌الله و باقری، سجاد (۱۳۹۰)، مدیریت بحران برای زیرساخت‌ها، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۲۱-۱۶۵.
- کریمی، فاطمه و جلیلی صدرآباد، سمانه (۱۳۹۸)، بررسی جایگاه شاخص‌های تاب آوری زیرساخت‌های شهری در فریند چرخه‌ای تاب آوری و درهم کنش آن‌ها از نظر متخصصان، نشریه علمی پژوهشی شهر/یمن، ۲ (۸)، ۱-۱۷.
- تهدیدات قدرت ملی، شاخص ها و ابعاد، گروه مطالعاتی امنیت ملی (۱۳۸۷)، دانشگاه عالی دفاع ملی.
- موحد، علی؛ امان پور، سعید، و نادری، کاوه (۱۳۹۰)، بازاریابی گردشگری شهری بر اساس برندیابی با مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، (مطالعه موردی، شهر کرمانشاه). برنامه ریزی فضایی، ۱ (۳)، ۱۷-۳۶.

- محمدی، حامد و حسینی، سید بهشید (۱۳۹۶)، ارزیابی آسیب پذیری ریخت‌های شهری در برابر حملات هوایی با رویکرد پدافند غیرعامل (بررسی موردی منطقه ۶ شهر تهران)، *دوفصلنامه دانشگاه هنر*، شماره ۲۱، ۵۹-۷۶.
- مهرنژاد، پیمان و خورسندی، محمد (۱۳۹۸)، ارائه الگوی شبکه ایمن معابر براساس اصول پدافند غیر عامل در راستای ارتقای تاب آوری شهر در برابر بحران های انسان ساخت، *دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۳۵-۴۶.
- معصومی، محمدتقی و رجب زاده نیاروق، میلاد (۱۴۰۰)، بررسی میزان آسیب پذیری شبکه معابر شهر اردبیل در برابر سوانح طبیعی (زلزله) (مطالعه موردی: خیابان امام خمینی)، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰ (۳۹)، ۱۴۱-۱۶۱.
- محمدی ده چشمه، مصطفی؛ علیرزاده، هادی و عباسی گوجانی، داوود (۱۳۹۸)، تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین کننده تاب آوری در زیرساخت شریانی حمل و نقل (مطالعه موردی: کلانشهر اهواز)، *پژوهش‌های جغرافیای برنامه ریزی شهری*، ۷ (۲)، ۳۹۱-۳۷۵.
- مدیری، مهدی (۱۳۸۹)، الزامات مکانیابی تأسیسات شهری و ارائه الگوی بهینه از دیدگاه پدافند غیرعامل، *رساله دوره دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری*، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- مشکینی، ابوالفضل؛ علیپور، سمیه و مسعودی، حسن (۱۴۰۳)، تاب آوری کالبدی مسکن شهری در برابر زلزله: تحلیلی از محلات و مناطق شمالی کلانشهر تهران، *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۳ (۴۱)، ۳۹-۶۰. doi: 10.22111/jneh.2024.46098.1974
- مددی عقیل، بلواسی ایمانعلی (۱۳۹۷)، ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از مدل منطق فازی در حوضه آبریز سیمهره‌چنار، *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۸ (۲)، ۸۳-۶۲. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22517812.1397.8.2.4.3>
- نباتی، عزت الله (۱۳۸۹)، پدافند غیرعامل با رویکرد به حوزه تهدیدات، تهران، انتشارات: مرکز آموزشی و پژوهشی شهید سپهبد صیاد شیرازی.
- نائینی، علی محمد (۱۳۸۹)، بررسی تطبیقی تهدیدهای سه گانه سخت، نیمه سخت و نرم، *فصلنامه راهبرد دفاعی*، ۸ (۳۰)، ۱۵۷-۱۷۷.
- Adafer, Sonia & Bensaibi, Mahmoud (2017). Seismic vulnerability classification of roads, *Energy Procedia* 139, 624-630.
- Kim, sunghoon & Yeo, Hwasoo (2016). A Flow-based Vulnerability Measure for the Resilience of Urban Road Network, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 218, 13-23.
- Morelli, A. B., Cunha, A. L. (2021). Measuring urban road network vulnerability to extreme events: an application for urban floods, *Transportation research part D: transport and environment*, 93, 102770.
- Saaty, T. L., Ozdemir, M. S. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and computer modelling*, 38(3-4), 233-244.
- Singh, R., Prasad S., Vinay, Sh., Vijhani, A., Neha, P. (2018). Vulnerability Assessment of urban road network from urban flood, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.017>.

References

- Afsari, R., balist, J., Darabi, H., & Mirzaei, M. R. (2022). Assessing the Potential Threat of Road Transport Networks with Passive Defense Approach in Khuzestan Province. *Geographical Plannning of Space*, 12(2), 149-167. doi: 10.30488/gps.2021.265835.3356. [In Persian]
- Asgharpour, M J. (2005). Multi-criteria decision making, 4th edition, Tehran University Press, Tehran. [In Persian]
- Anari, Fa, Iqbali, N and Movidfar, R. (2018). Evaluation of the impact of the communication network structure of the eastern area of the strategic plan of the city of Tehran on urban resilience, *Journal of Human Geography*, 12(1), 617-595. [In Persian]
- Atai, M, (2016). Fuzzy Multi-Criteria Decision Making, Second Edition, Shahrood University of Technology Publications. [In Persian]
- Azizi, M. & Bornafar, M. (2012). Optimal process of urban planning in air attacks, based on the passive defense approach (case study: district 1 of region 11, Tehran city). *Motaleate Shahri*, 1(1), 9-22. [In Persian]

- Adafer, Sonia & Bensaibi, Mahmoud (2017). Seismic vulnerability classification of roads, *Energy Procedia* 139, 624–630.
- Bahrami, Sirvan, Sarwar, Rahim and Asadian, Fardeh (2018). An analysis of the resilience situation in the neighborhoods of Sanandaj (The case study: sartapoleh, shalman and hajiabad neighborhoods), *Haft Hesar J Environ Stud*, 6(22), 45-62. [In Persian]
- Babaiyan Ateni, R., Shariat Panahi, MV., Fallah Tabar, N. and Khodayi, Z. (2021). zoning the degree of vulnerability of Semnan city infrastructure with passive defense approach in Geographical Information System. *Application Geographic Information system and Remote Sensing in Planning*, 12(1), 73-88. [In Persian]
- Dadashpour, H., Adeli, Z. (2015). Assessing resilience capacities in the urban complex of Qazvin, *Emergency Management*, 4(8), 73-84. [In Persian]
- Dehkhoda, A. A., (1972). Dehkhoda dictionary; fourth volume, University of Tehran publication, Tehran. [In Persian]
- Eskandari, M., Omidvar, B., & Tavakoli Sani, M. S. (2015). Loss estimation of interdependent infrastructures in targeted attacks, *Emergency Management*, 3(Special Issue of Passive Defense Week 93), 19-30. [In Persian]
- Eftekhari, A (2006). Autopsy of Threats, Tehran: Dafos Sepah Publications. [In Persian]
- Ghorbanzadeh, V., and Bagheri, S. (2013). Crisis management for infrastructure, *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 121-165 [In Persian]
- Hajipour, K., Payab, A. (2019). Vulnerability Analysis of Urban Defense Using Analytic Hierarchy Process (Case Study: The Second City Area of Shiraz). *MJSP*, 23 (1) :52-84. [In Persian]
- Hosseini Amini, H., Asadi, S. and Barnafar, M. (2009). Evaluation of the structure of the city of Langrod for non-active defense planning, *JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCES*, 15(18),129-149. [In Persian]
- Heidari sarban, V. (2020). Explaation of Sprrituality Relation with Improvement of Villagers Resiliency Regarding Earthquake Crisis, Case Study: Varzeghan County. *MJSP*, 24 (3) :170-200. [In Persian]
- Karimi, F. & Jalilisadrabad, S. (2020). Investigating the Status of Urban Infrastructure Resilience Indicators in the Resilience Cycle Process and Their Interaction from Experts' Viewpoints. *JOURNAL OF RESILIENT CITY*, 2(8), <https://sid.ir/paper/386909>. [In Persian]
- Kim, sunghoon & Yeo, Hwasoo (2016). A Flow-based Vulnerability Measure for the Resilience of Urban Road Network, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 218, 13–23.
- Madadi A, belvasi I (2018). Assessment of Soil Erosion Risk by Using Fuzzy Logic Model in Seymareh Chenar Basin. *E.E.R*, 8 (2), 62-83. [In Persian]
- Meshkini, A., Alipour, S. and Masoudi, H. (2024). Physical Resilience of urban housing against earthquakes: an analysis of northern neighborhoods and regions of Tehran Metropolis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(41), 39-60. doi: 10.22111/jneh.2024.46098.1974. [In Persian]
- Movahed, A. Amanpour, S. and Naderi, K. (2012). Urban tourism marketing based on branding with Analytical Hierarchy Process (AHP) (case study of kermanshah city). *Spatial Planning*, 1(3), 17-36. [In Persian]
- Mohammadi, H., Hosseini, S.B. (2019). Evaluation of the Vulnerability of Urban Morphology to Air Attacks Using Passive Defense Approach Case Study: 6th District of Tehran. *JOURNAL OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING*, 11(21), 59-76. SID. <https://sid.ir/paper/215901/>. [In Persian]
- Mehrnezhad, P., Khoorsandi, M. (2021). Presenting the model of a safe urban road network based on the passive defense principles in order to improve city resilience against human-made crisis case study: 12th region of Tehran. *Emergency Management*, 9, 35-46. [In Persian]
- Masoomi, M. T., Rajabzadeh, M. (2021). Investigating the vulnerability of Ardabil city road network against natural disasters (earthquake) (Case study: Imam Khomeini Street, Shahr). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 141-161. doi: 10.22067/geoh.2021.67019.0. [In Persian]

- Mohammadi, M., Alizadeh, H., Abbasi Gujani, D. (2019). Spatial analysis of resilient indicators in the arterial infrastructure of transportation Case Study: Ahvaz Metropolis. *GEOGRAPHICAL URBAN PLANNING RESEARCH*, 7(2), 375-391. SID. <https://sid.ir/paper/261261>. [In Persian]
- Modiri, M. (2009). requirements for locating urban facilities and providing an optimal model from passive defense, Ph.D. thesis in Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, University of Tehran. [In Persian]
- Morelli, A. B., Cunha, A. L. (2021). Measuring urban road network vulnerability to extreme events: an application for urban floods, *Transportation research part D: transport and environment*, 93, 102770.
- Nabati, E. (2009). passive defense with an approach to the field of threats, Tehran, publications; Martyr Lt. Gen. *Sayad Shirazi educational and research center*. [In Persian]
- National Power Threats, Indicators and Dimensions, National Security Study Group (2007). *SUPERME NATIONAL DEFENCE UNIVERSITY*. [In Persian]
- Naeini, A.M. (2010). CompaRrative Analysis of Triple Threats, Hard, Semi Hard and Soft Threats. *DEFENSE STRATEGY*, 8(30), 157-177. [In Persian]
- Oskouee Aras, A., Nikdel Monavvar, A., Babaei Aghdam, F., Teymuri, I. (2024). Spatial analysis of the physical quality of housing in formal and informal settlements (case study: zone 1 of Tabriz metropolis). *Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 3(9), 62-38. doi: 10.22034/rsg.2024.60161.1061. [In Persian]
- Parizadi, T., Hosseini Amini, H., and Shahryary, M. (2011). Passive Defense Arrangement Analysis of Saez City in The Approach. *Urban Managment*, 8(26), 191-206. SID. <https://sid.ir/paper/92181>. [In Persian]
- Rafiiian, M., Rezaei, M. R., Asgari, A., Parhizgar, A., Shayan, S. (2011). Conceptual explanation of resilience and its indicators in community-based disaster management, *Spatial Planning and Geomatics*, 4(72), 19-41. [In Persian]
- Salmani Moghadam, M., Amir Ahmadi, A., Kavian, F. (2013). Application of land use planning in increasing urban resilience against earthquakes using geographic information system (case study: Sabzevar city) *arid regions Geographic studies*, 5(17), 17-34. [In Persian]
- Saeedi, J., Firoozi, M. A., Mohammadi Dehcheshmeh, M. Shamsaei Zafarghandi, F. (2021). Compilation of scenarios of resilience of border cities (Case Study: Abadan and Khorramshahr Cities). *MJSP*, 25 (4), 1-43. [In Persian]
- Saeedi, j. (2019). Compilation resilience scenarios for border cities in Khuzestan province with a passive defense approach (case study: Abadan and Khorramshahr cities), *PhD thesis in Geography and Urban Planning*, Shahid Chamran University of Ahvaz. [In Persian]
- Salehi, E., Aghababaei, M.T., Sarmadi, H., Farzad Behtash, M. R. (2011). Investigating the level of environmental resilience using the causal network model, *Environmental Studies*, 37(59), 99-112. [In Persian]
- Shakibamanesh, A., Kariminia, F. (2018). using form-based network analysis to measure the physical resilience of urban neighborhoods (case study: Sanglaj neighborhood, Tehran) *Journal of Safe City*, 2(8), 1-18. [In Persian]
- Saaty, T. L., Ozdemir, M. S. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and computer modelling*, 38(3-4), 233-244.
- Singh, R., Prasad S., Vinay, Sh., Vijhani, A., Neha, P. (2018). Vulnerability Assessment of urban road network from urban flood, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.017>.
- The country's management and planning organization (2021). Statistical yearbook of Tehran province. [In Persian]