



Spatial Analysis of Urban Road Network Physical Resilience of Tehran Metropolis Against Severe Threats

Rasul Afsari^{1✉}, Ahmad Nikdel Monavvar²

1. Assistant Professor, Passive Defense department, University of Supreme National Defense. Tehran, Iran. E-mail: r.afsari@sndu.ac.ir
2. PhD Candidate, Remote Sensing and Geographical Information System, 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: 19 April 2025

Revised: 16 July 2025

Accepted: 20 July 2025

Published: 10 May 2026

Keywords:

Physical resilience,
Urban road network,
Passive defense,
Tehran metropolis.

ABSTRACT

Cities are complex and interdependent systems that are vulnerable to threats caused by natural and human disasters, which in recent years have caused great damage to cities, especially urban infrastructure. Resilience means that a society has the capacity to resist crises and disasters without suffering losses, reducing the quality of life, and requiring help from outside the community. Among the four dimensions of the resilience in cities is the physical-environmental dimension, which includes communication and road networks. Therefore, the purpose of the present study is to evaluate the physical resilience of the road network against severe threats in Tehran metropolis. The present study is a mixed type with a descriptive-analytical approach and an applied-developmental purpose. The criteria and sub-criteria in the physical resilience of the urban road network were collected and then weighted based on the analytic hierarchy process model. Finally, a physical resilience zoning map of the road network was prepared using Euclidean Distance, fuzzy, and TOPSIS analyses and functions. According to the output, nearly 70 percent of the roads are in the medium to low level in terms of resilience, and only 30 percent of the roads are in the high and very high category. Central areas with low scores are less resilient than bordering areas. According to the TOPSIS model, the distribution pattern has a strong cluster pattern with high concentration. Also, the road networks of the central areas were identified as hot or unfavorable clusters and the road networks of the bordering areas were identified as favorable and cold clusters.

Cite this article: Afsari, R. & Nikdel Monavvar, A. (2026). Spatial analysis of urban road network physical resilience of Tehran metropolis against severe threats. *Journal of Geography and Planning*, 30 (96), 181-201. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66803.3392>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66803.3392>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Cities, as complex and interconnected systems, are always exposed to natural and human threats, which have led to the vulnerability of critical infrastructure and disruption of urban functioning. The frequent occurrence of disasters such as floods, earthquakes and crises caused by human activities has caused irreparable damage to the structure of cities, so that in many cases, the lack of comprehensive planning and technical support has made it impossible to return to stable conditions. Meanwhile, resilient cities with preventive design have the ability to maintain the function of physical and social systems in critical conditions and recover quickly after shocks. This resilience, especially in physical-environmental dimensions including vital arteries and road networks, plays a key role in ensuring emergency services and the continuity of socio-economic life. Considering the geographical location of Iran and the location of metropolises such as Tehran on active faults and the existence of severe global regional threats, assessing the resilience of road networks as critical infrastructure is an inevitable necessity to reduce vulnerability. The current research, by using the spatial multi-criteria decision-making model, analyzes the physical resilience of Tehran's road network in order to provide a new framework for crisis management and planning in the direction of passive defense, while understanding the current condition of the road network.

Materials and Methods

The present study is a mixed-method study with a descriptive-analytical approach and an applied-developmental objective. First, by studying the background of the research, the criteria and sub-criteria effective in the physical resilience of the urban road network were collected and prepared through the statistical blocks of 2015, then their weighting was done based on the hierarchical analysis model. Next, by using the obtained weights, a zoning map of the physical resilience of the road network was prepared using analyses and functions of Euclidean distance, fuzzy and TOPSIS model. Also, to evaluate the dispersion pattern of the physical resilience of the study area and the favorable and unfavorable clusters, Moran's statistic and hot and cold spots were used in the ArcGIS environment, and finally, by determining the physical resilience status of the road network in the study area, effective strategies and solutions were presented to increase physical resilience and reduce the vulnerability of road networks.

Results

Based on the latest version of the data prepared from the OSM open-source system, Tehran's urban road networks are divided into five main groups including: Local-residential road, primary road, secondary road, tertiary road and trunk were classified. Thus, 50% of the total road networks of Tehran metropolis are local-residential road, 5% include primary, 28% are secondary, 10% are tertiary, and nearly 7% are trunk. To evaluate the physical resilience of the communication network of Tehran metropolis, Fuzzy-TOPSIS modeling was performed. The results of implementing the TOPSIS model on the Tehran metropolitan road networks indicate an unfavorable state in most of these roads. According to the model output, nearly 70 percent of the road network has medium to low physical resilience, and only 30 percent of the road have a favorable state. Considering the total roads in the Tehran metropolis, according to the TOPSIS model, 16.53% of the roads are in the very low category, 12.26% in the low category, 34.13% in the medium category, 30.31% in the high category, and 75.6% in the very high category in terms of physical resilience. Considering that the value of the standard statistic (746.57) is at 1% level, the distribution behavior of road networks at the regional level has a strong cluster pattern with high concentration. According to the results of the physical resilience of road networks based on the research criteria in Tehran metropolis, newly built and newly developed areas have a favorable state compared to areas with old texture and high density, and are less vulnerable to all kinds of hazards and have high physical resilience. Finally, the results of the Gi index showed that at a significance level of 99%, the road networks of the central areas of Tehran metropolis, such as areas 2, 6, 7, 10, and 11, were identified as hot and unfavorable clusters, and on the other hand, the road networks of bordering areas, such as areas 3, 4, 20, and 22, were identified as cold and favorable clusters. In other words, the roads in the central areas have a lower value than the average, and as we move towards the boundaries, the value of the utility of road networks increases.

Conclusion

The object of the current research is the spatial analysis of the physical resilience of the urban road network against severe threats in the metropolis of Tehran. For this purpose, based on library studies, 19 effective sub-criteria in the physical resilience of road networks were collected and in the form of six criteria; Distance from facilities and equipment, distance from medical centers, natural factors, physical quality, security factors and socio-environmental factors were classified. Physical resilience modeling of the road network was done by

fuzzifying the criteria's and using the hierarchical analysis model to determine the weights of the criteria. Urban road networks of Tehran metropolis were classified into five main groups based on the data of OSM open-source system: local-residential road (50%), primary (5%), secondary (28%), tertiary (10%) and trunk (7%). The results showed that nearly 70 percent of the roads in the Tehran metropolis are at a medium to low level in terms of physical resilience, and only 30 percent of the roads are at a high and very high level, in other words, in favorable conditions. Also, the resilience map shows that the central parts of the city with a low score are less resilient than the bordering parts of the city, and in case of unfortunate accidents, the destruction will be at a very high level, therefore it requires special attention. According to the physical development of the city from the bordering areas and new constructions and the favorable conditions of the criteria in these areas, the resilience situation is relatively acceptable. The results of Moran's test show the existence of a cluster pattern with high concentration, so that the communication networks of the central areas of Tehran metropolis were identified as warm or unfavorable clusters and peripheral areas as favorable and cold clusters. According to a review of previous studies, the results obtained are consistent with the research of Mohammadi and Hosseini (2016); Pourahmad et al. (2018); Shakibamanesh and Kariminia (2019); Mehrnezhad and Khorsandi (2019), and Afsari et al. (2022) and similar results have been obtained.

Keywords: Physical resilience, Urban road network, Passive defense, Tehran metropolis.



تحلیل فضایی تاب آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان شهر تهران در برابر تهدیدات سخت

رسول افسری^۱، احمد نیکدل منور^۲

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه پدافند غیر عامل، دانشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران. رایانامه: r.afsari@sndu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری تخصصی 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 تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰ کلیدواژه‌ها: تاب آوری کالبدی، شبکه ارتباطی شهری، پدافند غیر عامل، کلان شهر تهران.	شهرها سیستم‌های پیچیده و متکی به هم هستند که در برابر تهدیدات ناشی از بلایای طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر می‌باشند به گونه‌ای که وقوع این تهدیدات در سال‌های اخیر پیکره آن‌ها به ویژه -زیرساخت‌های شهری- را با خسارات فراوانی روبرو کرده است. در برخی شهرها به دلیل برنامه‌ریزی نامناسب و عدم پشتیبانی فنی، امکان بهبود زیرساخت‌ها و بازگشت به وضعیت اولیه وجود ندارد. در مقابل، برخی دیگر از شهرها از پیش برای مواجهه با مخاطرات طبیعی یا فنی طراحی شده‌اند و به عنوان شهرهای تاب‌آور شناخته می‌شوند. به این ترتیب تاب‌آوری به این مفهوم می‌باشد که جامعه ظرفیت تحمل بحران و فاجعه را بدون دریافت خسارات، کاهش کیفیت زندگی و نیاز به کمک از بیرون جامعه داشته باشد. بعد کالبدی- محیطی از جمله ابعاد ۴ گانه مفهوم تاب‌آوری است که در شهرها شامل شریان‌های حیاتی و شبکه‌های ارتباطی و جاده‌ای می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر تحلیل فضایی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان شهر تهران در برابر تهدیدات انسانی می‌باشد. تحقیق حاضر از نوع آمیخته با رویکرد توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی-توسعه‌ای می‌باشد. معیارها و زیرمعیارهای موثر در تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری جمع‌آوری سپس بر اساس مدل تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی با استفاده از تحلیل‌ها و توابع فاصله اقلیدسی، فازی و تاپسیس تهیه شد. طبق خروجی، نزدیک به ۷۰ درصد شبکه از نظر تاب‌آوری در سطح متوسط به پایین قرار دارد و تنها ۳۰ درصد شبکه در طبقه زیاد و خیلی زیاد یعنی شرایط مطلوب قرار دارند. مناطق مرکزی با امتیاز پایین نسبت به مناطق حاشیه‌ای تاب‌آوری کمتری دارد. الگوی پراکندگی از الگوی خوشه‌ای قوی با تمرکز بالا برخوردار است همچنین شبکه‌های ارتباطی مناطق مرکزی به عنوان خوشه‌های گرم یا نامطلوب و شبکه‌های ارتباطی مناطق حاشیه‌ای به عنوان خوشه‌های مطلوب و سرد شناسایی شدند.

استناد: افسری، رسول و نیکدل منور، احمد (۱۴۰۵). تحلیل فضایی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان شهر تهران در برابر تهدیدات سخت. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۳۰ (۹۶)، ۱۸۱-۲۰۱.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.66803.3392>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

شهرها سیستم‌های پیچیده و متکی به هم هستند که در برابر تهدیدات ناشی از بلایای طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر می‌باشند (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۸). در سال‌های اخیر وقوع مخاطرات طبیعی و انسانی 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: ۱). 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: ۲۲). 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 (میلتي^۱، ۱۹۹۹: ۷). 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: ۵۹۶).

طبق تعاریف مطرح شده تاب‌آوری ابعاد مختلفی را شامل می‌شود، از جمله ابعاد ۴ گانه تاب‌آوری در شهرها بعد کالبدی- محیطی است که شامل؛ تاسیسات خطرناک و تجهیزات شهری (آتش‌نشانی و غیره)، شریان‌های حیاتی (آب، گاز، برق و مخابرات) و شبکه‌های ارتباطی و جاده‌ای می‌باشد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۶). در این میان شبکه‌های ارتباطی و جاده‌ای 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 (آدافر و بنسایبی^۲، ۲۰۱۷: ۶۲۵). به عبارت دقیق‌تر، شبکه‌های ارتباطی زیرساخت‌های حیاتی هستند که حمل‌ونقل جاده‌ای، کارایی لجستیک، سفرهای تجاری و رفت و آمد به محل را پشتیبانی می‌کند (یو و کیم^۳، ۲۰۱۶: ۱۳).

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، آشفشان و غیره را منجر می‌شود. منشا تهدیدات انسانی، یک انسان، یک کشور یا گروهی از انسان‌ها هستند که به صورت عمدی یا غیر عمدی تهدیداتی همانند انفجار شیمیایی، نشت مواد شیمیایی، آلودگی هوا، بحران‌های سیاسی، حملات هوایی موشکی و حملات تروریستی را منجر می‌شوند (کریمی و جلیلی صدرآباد، ۱۳۹۸: ۳).

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. بر این اساس 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: ۵۳). 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: ۱۳۰).

1. mileti

2. Adaffer & bensaibi

3. Kim & Yeo

در کشور 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 نقش حیاتی به خود می‌گیرد. به این ترتیب 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: ۱۹۲). تهران به عنوان پایتخت ایران و مرکز اصلی فعالیت‌های سیاسی، اقتصادی و فرهنگی کشور دارای اهمیت ویژه‌ای است. با این حال، تراکم بالای جمعیتی و ساختمانی این شهر مشکلات متعددی را ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های تهران تراکم زیاد شبکه ارتباطی شهری است که نه تنها کارایی حمل‌ونقل را کاهش داده بلکه آسیب‌پذیری آن را در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی افزایش داده است.

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان‌شهر تهران طراحی شده است. نوآوری اصلی این تحقیق استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس (TOPSIS) به صورت مکانی مبتنی بر پیکسل‌ها برای ارزیابی کیفیت تاب‌آوری شبکه ارتباطی می‌باشد. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر تحلیل آماری متمرکز بوده‌اند، این پژوهش رویکرد مکانی را اتخاذ کرده که امکان تحلیل دقیق‌تر توزیع فضایی تاب‌آوری را فراهم می‌کند. همچنین مقیاس مطالعه در سطح کلان‌شهر تهران انتخاب شده که با توجه به پیچیدگی شبکه ارتباطی این شهر اهمیت زیادی دارد. هدف اصلی این تحقیق تحلیل فضایی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی تهران به عنوان یکی از اجزای حساس زیرساخت‌های حیاتی کشور در برابر تهدیدات انسانی است. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی بهتر مدیریت بحران در تهران فراهم کند و راهکارهایی برای تقویت تاب‌آوری شبکه ارتباطی ارائه دهد. این تحقیق با ارایه چارچوب جدیدی برای ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری می‌تواند نقشی مؤثر در کاهش آسیب‌پذیری کلان‌شهر تهران ایفا کند و الگویی برای سایر شهرهای بزرگ کشور باشد.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های مختلفی در حوزه بررسی تاب‌آوری کالبدی زیرساخت‌های شهری و شبکه‌های ارتباطی در داخل و خارج صورت گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد؛

مطالعات داخلی

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. پوراحمد و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل فضایی مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی بافت‌های فرسوده شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری تهران) پرداختند. برای دستیابی به اهداف پژوهش، شاخص‌های برگزیده اسکلت ساختمان، جنس مصالح، قدمت ساختمان و کیفیت ابنیه استخراج شد. برای کشف روند الگوها از ابزار Regression، برای وزن‌دهی به لایه‌ها در داده‌های فضایی از روش خودهمبستگی فضایی و ابزار Weights Manager موجود در نرم افزار Geoda و برای تعیین نوع توزیع تاب‌آوری کالبدی از ابزار Moran's I استفاده شد. نتایج مکانی در این پژوهش نشان می‌دهد تاب‌آوری محدوده‌های بافت مرکزی، غربی و جنوب شرقی نسبت به شمال منطقه ۱۰ در وضعیت

تاب‌آوری کم تا بسیار کم قرار دارد. اولویت برنامه‌ریزی برای تاب‌آور کردن بافت کالبدی منطقه ۱۰ شهرداری تهران به ترتیب محدوده غربی، مرکزی و جنوب شرقی است. 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 ارایه 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 انسان‌ساخت 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 پهنه‌بندی 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 ArcGIS 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. 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 ارایه 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 ArcGIS 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. کرمی و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله‌ای به بررسی تاب‌آوری نواحی روستایی پیراشهری در برابر سیلاب (مطالعه موردی: برخی روستاهای دهستان میدان چای) پرداختند. طبق نتایج حاصل شده که با استفاده از ابزار

پرسشنامه در سطح خانوار و آزمون t تک نمونه‌ای در محدوده مطالعه بدست آمد، از میان ابعاد مورد مطالعه بعد اجتماعی با میانگین ۳/۵۰، بعد اقتصادی با میانگین ۳/۳۳، بعد کالبدی با میانگین ۳/۱۰، بعد نهادی با میانگین ۲/۵۴ و بعد محیطی ۱/۹۸ به ترتیب بیشترین تاثیر را در تاب‌آوری روستایی دارند. همچنین میزان تاب‌آوری در مقابل سیلاب در روستای لیلی خان با میانگین ۱/۵۴۸ بیشتر و در روستای چاوان ۱/۳۷۳ کمتر است. رحیمی و همکاران (۱۴۰۴) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی تاب‌آوری کالبدی بافت شهری با رویکرد مدیریت بحران به کمک نرم افزار GIS (نمونه موردی: هادی شهر بابلسر) به ارزیابی و یافتن راهکارهایی برای کاهش تلفات و اثرات مخرب بحران‌های طبیعی پرداخته است. نتایج نشان داد که هادی شهر در شاخص‌های؛ مساحت قطعات، بافت و ساختار، فاصله از گسل، تراکم ساختمانی، معابر، تجهیزات شهری، کیفیت ابنیه و زیرساخت‌های شهری، دارای بیشترین ضعف است و نیازمند برنامه‌ریزی جهت افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر می‌باشد.

مطالعات خارجی

کیم و یو^۱ (۲۰۱۶) در مقاله خود با عنوان معیار آسیب‌پذیری مبتنی بر جریان برای تاب‌آوری شبکه راه‌های شهری (مطالعه موردی: جنوب شرقی سئول)، به بررسی آسیب‌پذیری جاده‌های شهری براساس ترافیک پرداخته‌اند. در این مقاله روشی برای اندازه‌گیری وضعیت شبکه راه‌ها با عنوان MFD ارائه شده است. براساس روش پیشنهادی، وضعیت شبکه در حالت عادی و حالت بروز رویداد مقایسه می‌شود و وضعیت شبکه در رویدادهای مختلف بدست می‌آید. نتایج نشان می‌دهد که این اندازه‌گیری می‌تواند به بررسی الگوهای مختلف از دست دادن عملکرد شبکه توسط وضعیت‌های مختلف ترافیکی کمک کند. آدافر و بنسایبی^۲ (۲۰۱۷) در مقاله خود با عنوان طبقه بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای جاده‌ها (مطالعه موردی: الجزایر) به ارزیابی آسیب‌پذیری جاده‌های شهری براساس معیارهای ساختاری و طبیعی منطقه پرداخته‌اند. در این مقاله از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه RSVI استفاده شده است. طبق نتایج حاصل شده، جاده اول، براساس شاخص آسیب‌پذیری، در وضعیت نسبتاً خوبی قرار دارد. جاده دوم دارای خاک نرم ماسه و نفوذپذیر دارای شاخص آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد. سینگ و همکاران^۳ (۲۰۱۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه راه‌های شهری از سیل شهری، چارچوبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه راه‌های شهری در اثر سیل ارائه داده‌اند. در این تحقیق با ترکیب داده‌های هواشناسی، توابع کاربری زمین، مدل هیدرودینامیکی و تابع سرعت ایمن، میزان آسیب‌پذیری از سیل در طول جاده‌های شهر بنگلور هند شبیه‌سازی شد. براساس نتایج حاصله مشاهده شد که بیش از ۴۰ درصد از طول جاده در سراسر شبکه برای بارندگی با دوره بازگشت ۱ در ۱۰۰ سال غیرقابل حرکت می‌شود. 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 اندازه‌گیری تاب‌آوری شبکه‌های جاده‌ای شهری در برابر رویدادهای شدید: با تمرکز بر سیل‌های شهری (مطالعه موردی: سائو کارلوس، برزیل) به ارائه روشی برای ارزیابی و تحلیل رفتار شبکه راه‌ها در زمان وقوع بحران‌های طبیعی براساس دو معیار تداوم شبکه و کارایی گزینه‌های جاگزین و تاثیر پذیری جمعیت و وسایل حمل و نقل موتوری و پیاده از این رویداد پرداختند. بر این اساس دو ورودی، شبکه جاده‌ها و توزیع سفرها مورد استفاده قرار گرفت. طبق نتایج حاصل شده مناطق جنوبی شهر بیشتر از منطق شمالی آسیب‌پذیر هستند و خیابان‌های حاشیه‌ای شهر مستعد سیل هستند. در ضمن عابران پیاده نسبت به وسایل موتوری و ماشین کمتر آسیب‌پذیر می‌باشد. غفاریان و همکاران (۲۰۲۵) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی تاب‌آوری چندمخاطره‌ای مبتنی بر زلزله: (مطالعه موردی استانبول، ترکیه، در سطح منطقه) مدلی را با ۲۸ معیار شامل ابعاد اجتماعی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فیزیکی برای ارزیابی تاب‌آوری در برابر زلزله استانبول، شهری با جمعیت ۱۶ میلیون نفری و خطر لرزه‌ای قابل توجه ارائه دادند. نتایج نشان داد که امتیاز کلی تاب‌آوری استانبول ۰,۴۸ در مقیاس ۰-۱ است که نشان‌دهنده ظرفیت متوسط برای تحمل و بازیابی پس از رویدادهای لرزه‌ای است.

1. Kim & Yeo

2. Adaffer & Bensaibi

3. Singh et al

4. Morelli & Cunha,

همانطور که مشاهده می‌شود مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری در برابر انواع مخاطرات انسانی و طبیعی در داخل و خارج انجام شده است. مروری بر پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌شود که در خصوص موضوع تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی مباحث مختلفی مطرح شده است اما کمتر به مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و ترکیب روش‌های پرسشنامه‌ای پرداخته شده است. از این حیث پژوهش حاضر از لحاظ روش‌شناسی و تعدد متغیرهای مورد بررسی در کنار روش پرسشنامه‌ای با استفاده از نظرات متخصصان این امر و پیاده‌سازی در مقیاس کلان شهر تهران دارای تازگی بوده و بدیع می‌باشد.

مفهوم شناسی

تاب‌آوری

واژه تاب‌آوری^۱ از کلمه to jump back به معنای به طور ناگهانی عقب نشینی کردن، استخراج شده است. برخی معتقدند ریشه این کلمه در بوم‌شناسی بوده و برخی دیگر بر فیزیک نظر دارند (رمضان زاده لسبویی، ۱۳۹۵: ۲۹). با این تعریف، تاب‌آوری توانایی جامعه برای بازگشت به حالت تعادل قبل از تکانه است و سرعت بازگشت، معیاری برای تاب‌آوری است (حیدری ساربان، ۱۳۹۹: ۱۷۳).

پدافند غیرعامل

پدافند غیرعامل به مجموعه اقدام‌های غیرمسلحانه‌ای اطلاق می‌شود که هدف آن افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری و تداوم فعالیت‌های ضروری در برابر تهدیدات نظامی دشمن است (مهرنژاد و خورسندی، ۱۳۹۸: ۳۷). این مفهوم از دو جزء «پد» به معنی متضاد و «آفند» به معنای جنگ و جدال تشکیل شده است (دهخدا، ۱۳۵۱: ۴۱). بنابراین، پدافند به معنای دفاع در برابر تهاجم است. غیرعامل به معنای روش‌هایی است که در آن‌ها نیازی به استفاده از نیروهای نظامی و سلاح نیست. به طور کلی، «پدافند غیرعامل» به معنای تدابیر و اقداماتی است که بدون استفاده از سلاح و نیروهای نظامی، برای مقابله با تهدیدات و کاهش خسارات ناشی از آن‌ها به کار می‌روند. اصول پدافند غیرعامل شامل استتار، اختفا، پوشش، فریب، مکانیابی، حرکت و جابجایی، تفرقه و پراکندگی، و مقاوم‌سازی است (محمدی و حسینی، ۱۳۹۶: ۶۳؛ مدیری، ۱۳۸۹: ۱۴۸) که با اجرای آن‌ها می‌توان خسارات و صدمات ناشی از حملات را به حداقل رساند و قابلیت شناسایی و هدف‌گیری دشمن را کاهش داد (نباتی، ۱۳۸۹: ۳۶).

ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری شهری

ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری شهری به مجموعه‌ای از ویژگی‌ها و معیارها اشاره دارد که به شهرها کمک می‌کند 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

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 زبان‌های 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 سازماندهی مجدد است درحالی که دستخوش تغییر می‌شود به گونه‌ای که همچنان کارکرد، ساختار، هویت و بازخوردها را حفظ می‌کند.	مخاطرات، آلودگی‌ها، تنوع زیست محیطی، پیداری زیست محیطی خصوصیات جغرافیایی (منابع طبیعی، آب و هوا)، همسازی با طبیعت، شناسایی گسل‌ها، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و نواحی مخاطره‌آمیز، توجه به کاهش میزان آسیب‌رسانی به منابع طبیعی، پاکیزگی و کاهش آلودگی‌های محیطی.
کالبدی-زیرساختی	تاب‌آوری کالبدی نشان‌دهنده توانایی یک شهر برای بازسازی ساختار کالبدی آن است و به ارزیابی واکنشش 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 غیردولتی و دولتی برای فعالیت‌های مدیریت بحران، چالش‌های سازمان، در اجرای برنامه مدیریت بحران، رویکردهای مشارکتی به وسیله سازمان، بستر، زیرساخت، روابط و عملکرد نهادهای، اعتماد متقابل شهروندان و مدیران شهری، درک نقش سازمانی و نهادی در زمان بحران، مهارت‌ها و ساختارهای نهادی، سیاست‌های تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری، مدیریت یکپارچه.

(منبع: سعیدی و همکاران، ۱۴۰۰)

تهدید

تهدیدات از نظر منبع به دو گروه طبیعی و انسان‌ساخت تقسیم می‌شوند. بر این اساس، تهدیدات انسان‌ساخت را می‌توان از جنبه‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. در ادبیات سیاسی، این تهدیدات به سه نوع تقسیم می‌شوند: تهدیدات سخت (جنگ نظامی)، تهدیدات نیمه‌سخت (اقدامات اطلاعاتی و امنیتی) و تهدیدات نرم شامل؛ اقدامات فرهنگی، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و غیره می‌شود (گروه مطالعاتی امنیت، ۱۳۸۷: ۱۱۱).

تهدید سخت (نظامی)

تهدید سخت عبارت است از اعمال قدرت نظامی برای تحمیل اراده و تامین منافع است. در این نوع تهدید هدف اشغال سرزمین است. تهدید سخت متکی بر روش‌های فیزیکی، عینی و سخت‌افزارانه است. رفتار خشونت‌آمیز، براندازی آشکار، حذف دفعی، اشغال، تجزیه و الحاق سرزمین ویژگی این تهدید است (نائینی، ۱۳۸۹: ۱۶۷).

تهدیدات نظامی از آشکارترین انواع تهدیدات به شمار می‌آیند که دارای پیشینه تاریخی طولانی در تاریخ تحولات جوامع بشری هستند. ویژگی برجسته این دسته از تهدیدات در استفاده از زور است. که در ذیل عنوان تخصصی منازعه و جنگ از آن یاد می‌شود. بر این اساس تهدید نظامی به استفاده از زور برای دستیابی به اهداف بازیگر در عرصه سیاست عملی دلالت دارد و در گفتمان سنتی از امنیت دارای کاربرد بسیاری می‌باشد (افتخاری، ۱۳۸۵: ۱۶۳-۱۷۳).

تاب‌آوری 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 امروزه با افزایش وابستگی سریع به این امکانات، اهمیت شبکه‌های ارتباطی روزافزون شده است. شبکه‌های ارتباطی همواره دارای جذابیت خوبی برای حمله هستند؛ طبق نظریه ۵ حلقه واردن شریان‌ها مراکز ثقل یک کشور هستند که در صورت انهدام هر یک پیکره و کالبد کشور مورد تهاجم فلج می‌گردد و قادر به ادامه فعالیت و حیات نخواهد بود (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۹). 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: ۱۲۸). 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 تهیه و تنظیم گردد.

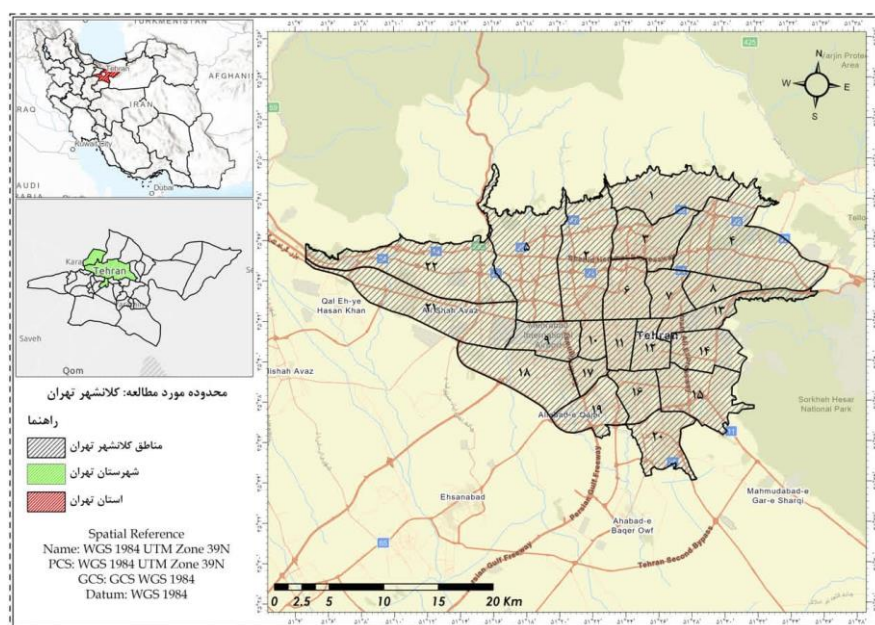
روش‌شناسی

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 از طریق بلوک‌های آماری سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری و تهیه شد سپس وزن‌دهی آنها بر اساس مدل تحلیل سلسله مراتبی^۱ صورت گرفت. در ادامه با استفاده از وزن‌های بدست آمده اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی با کاربرد تحلیل‌ها و توابع فاصله اقلیدسی^۲، فازی^۳ و مدل تاپسیس^۴ شد. همچنین جهت ارزیابی الگوی پراکندگی تاب‌آوری کالبدی منطقه مطالعه و خوشه‌های مطلوب و نامطلوب از آماره موران و نقاط گرم و سرد در محیط نرم افزار ArcGIS استفاده شد و درنهایت با مشخص شدن وضعیت تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی محدوده مورد مطالعه، اقدام به ارایه راهبردها و راهکارهای موثر جهت افزایش تاب‌آوری کالبدی و کاهش آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شده است.

منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر محدوده مطالعه شبکه‌های ارتباطی شهری کلان‌شهر تهران می‌باشد. جامعه آماری تحقیق حاضر شامل کل محدوده 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. بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ۱۳۹۵ جمعیت استان تهران برابر با ۱۳،۲۶۷،۶۳۷ نفر و جمعیت کلان‌شهر تهران ۸،۷۳۷،۵۱۰ بوده است که در مساحتی بالغ بر ۷۳۰ کیلومتر مربع جای گرفته است. در (شکل ۱) موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر تهران اضافه شده است (سالنامه آماری استان تهران، ۱۴۰۰).

1. AHP
2. Euclidean distance
3. Fuzzy
4. TOPSIS



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر تهران (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

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

طبق آخرین تقسیمات سیاسی-اداری کشور، کلان‌شهر تهران به ۲۲ منطقه شهرداری تقسیم شده است. براساس آخرین نسخه داده‌های تهیه شده از سامانه متن باز OSM، شبکه‌های ارتباطی شهری تهران در پنج گروه اصلی شامل؛ شبکه‌های محلی-مسکونی، شریانی درجه یک، شریانی درجه دو، شریانی جمع و پخش کننده و بزرگراه 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 (جدول ۳).

جدول ۳. طول سلسله مراتب شبکه ارتباطی کلان‌شهر تهران

درصد	مجموع طول شبکه (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

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

تهیه معیارها و زیرمعیارها و انجام وزن‌دهی

با توجه به بررسی و مطالعه منابع و پیشینه پژوهش، متغیرهای زیادی در مورد سنجش تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری به کار برده شده است. در این راستا با توجه به داده‌های موجود و پژوهش‌های انجام شده در زمینه مذکور، شاخص‌های موثر برای بررسی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان‌شهر تهران انتخاب شد. معیارها و زیرمعیارهایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند در (جدول ۴) نشان داده شده است.

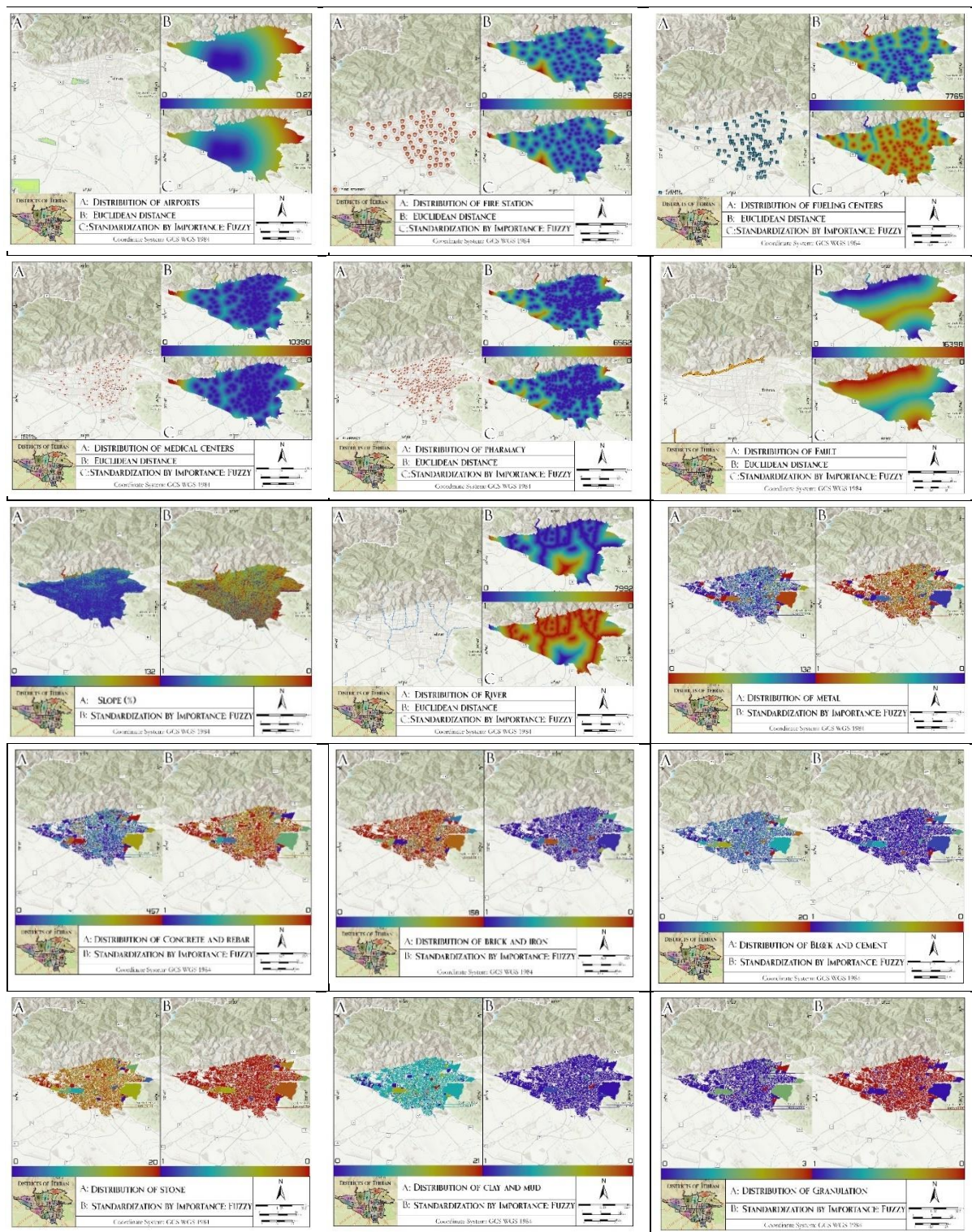
جدول ۴. متغیرها و اوزان

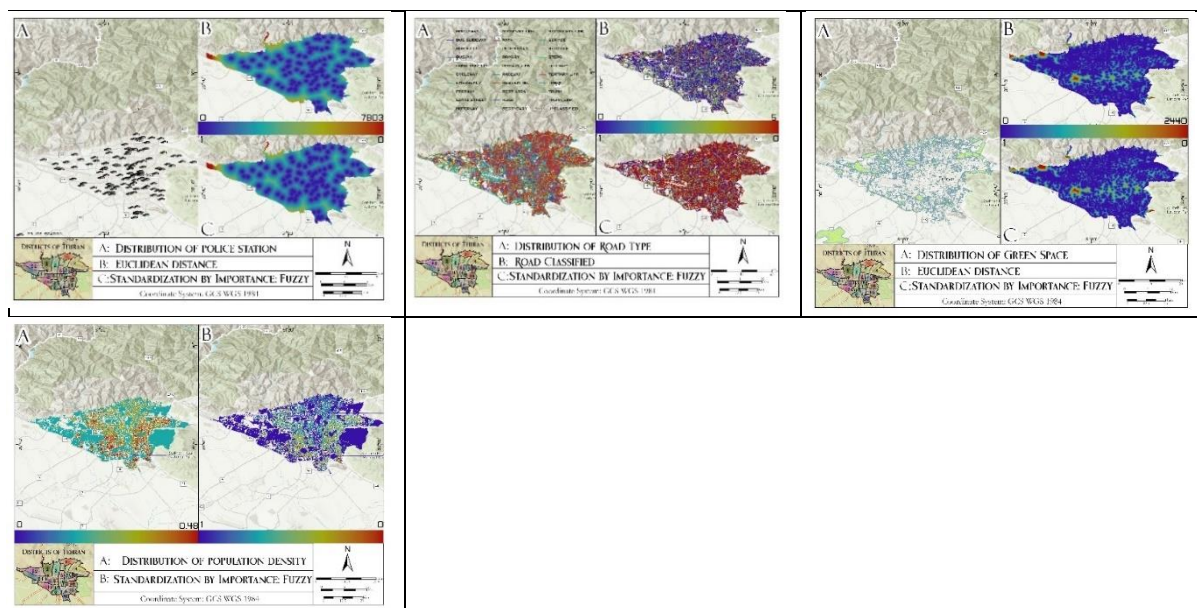
عوامل اجتماعی - محیطی ۰/۲۲۵	عوامل امنیتی ۰/۰۳۲	کیفیت کالبدی ۰/۳۴۰	عوامل طبیعی ۰/۰۱۸	فاصله از مراکز درمانی ۰/۱۱۴	فاصله از تاسیسات و تجهیزات ۰/۲۷۰
فاصله از فضای باز و سبز ۰/۶۶	فاصله از ایستگاه پلیس ۰/۲۵	اسکلت فلزی ۰/۱۲	فاصله از گسل ۰/۵۸	فاصله از داروخانه ۰/۳۷	فاصله از ایستگاه آتشنشانی ۰/۵۵
تراکم جمعیت ۰/۳۴	سلسله مراتب شبکه ارتباطی ۰/۷۵	اسکلت بتن آرمه ۰/۲۵	شیب ۰/۲۸	فاصله از مراکز درمانی ۰/۶۲	فاصله از مراکز سوخت رسانی ۰/۳۲
		مصالص بنا آجر و آهن ۰/۱۴	فاصله از رودخانه ۰/۱۴		فاصله از فرودگاه ۰/۱۲
		بلوک و سیمان ۰/۱۷			
		تمام آجر با سنگ ۰/۰۹			
		خشت و گل ۰/۰۴			
		دانه بندی ۰/۱۹			

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

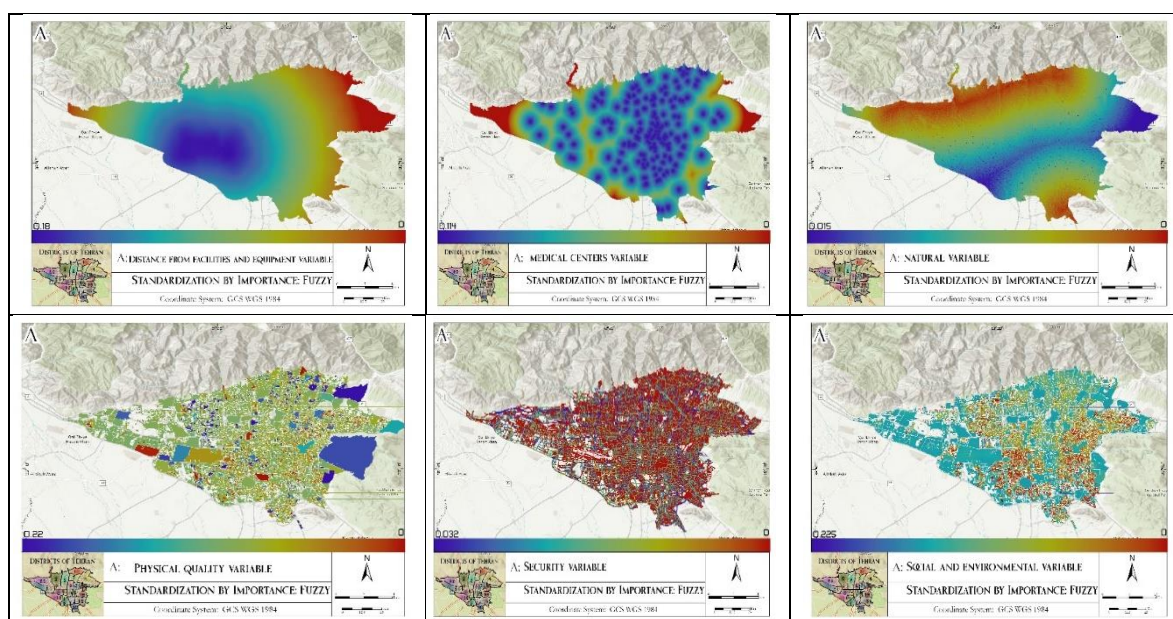
برای استخراج وزن متغیرهای پژوهش، از مدل تحلیل سلسله مراتبی توماس ال ساتی استفاده شد (ساتی و اوزدمیر، ۲۰۰۳). تحلیل سلسله مراتبی یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که شامل سه مرحله اصلی: ۱- ایجاد درخت سلسله‌مراتب، ۲- مقایسه دوتایی و ۳- تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری قضاوت‌ها می‌باشد (موحد و همکاران، ۱۳۹۰).

برای تهیه اوزان معیارها و زیرمعیارها، پرسشنامه‌ها توسط هفت متخصص برنامه‌ریزی و مدیریت شهری تکمیل شد. ضریب ناسازگاری اوزان برای معیارها ۰/۰۳ و برای زیرمعیارها ۰/۰۴ به دست آمد، که نشان‌دهنده سازگاری مناسب قضاوت‌ها است؛ زیرا خطای عدم سازگاری نباید از ۰/۱ بیشتر باشد. بر اساس اوزان به دست آمده، معیار کیفیت کالبدی با مقدار ۰/۳۴ بالاترین و معیار عوامل طبیعی با مقدار ۰/۰۱۸ کمترین ضریب را داشتند. در زیرمعیارها نیز، سلسله مراتب شبکه ارتباطی با مقدار ۰/۷۵ بیشترین و بنای خشت و گل با مقدار ۰/۰۴ کمترین وزن را دارا بودند (جدول ۴). لایه‌های مربوط به متغیرهای کیفیت کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری تهیه و مقادیر آن‌ها با استفاده از تابع فازی-خطی بی‌مقیاس شدند. سپس با بهره‌گیری از اوزان به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی، مدلسازی تاپسیس انجام شد و نقشه نهایی کیفیت کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری حاصل گردید. این نقشه در پنج کلاس کیفی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی شد. متغیرهای پژوهش در قالب شش معیار؛ فاصله از تاسیسات و تجهیزات، فاصله از مراکز درمانی، عوامل طبیعی، کیفیت کالبدی، عوامل امنیتی و عوامل اجتماعی-محیطی با ضریب وزن هر یک از زیرمعیارهای آن با استفاده از روش همپوشانی مجموع ساده وزنی بدست آمد. همچنین زیرمعیارهای پژوهش شامل؛ 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، دانه بندی، مصالح خشت و گل، مصالح تمام آجر با سنگ، مصالح بلوک و سیمان، مصالح بنا آجر و آهن، اسکلت بتن آرمه، اسکلت فلزی، سلسله مراتب شبکه ارتباطی، فاصله از ایستگاه پلیس، تراکم جمعیت و فاصله از فضای باز و سبز در قالب لایه وکتور، لایه رستر و لایه فازی شده در زیر (شکل ۲ و ۳) قابل مشاهده می‌باشد.





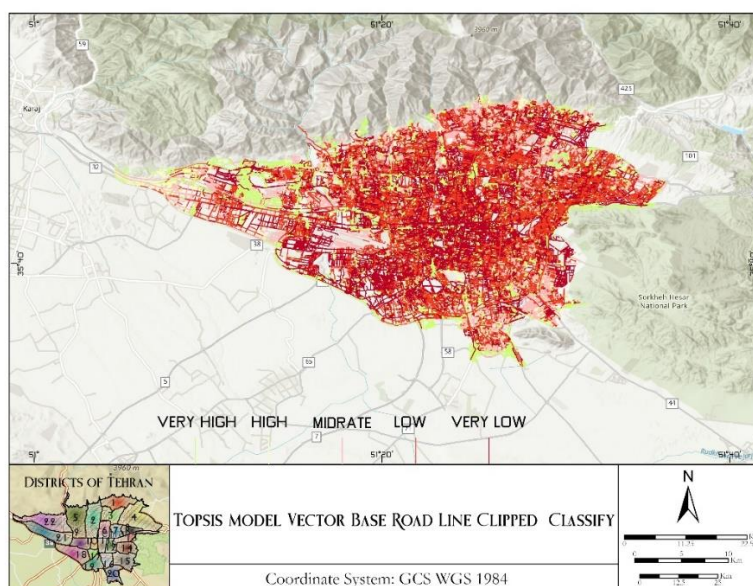
شکل ۲. توزیع زیرمعیارهای پژوهش در سطح کلان‌شهر تهران (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)



شکل ۳. توزیع معیارهای پژوهش در سطح کلان‌شهر تهران (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

وضعیت تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری در سطح کلان‌شهر تهران

برای ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان‌شهر تهران مدل‌سازی فازی-تاپسیس انجام شد. نتایج این مدل‌سازی به منظور کیفی‌سازی، با استفاده از طیف پنج‌گانه لیکرت و روش Natural Break طبقه‌بندی شدند. طبق این طبقه‌بندی، با افزایش سطح تاب‌آوری از خیلی کم به خیلی زیاد، وضعیت تاب‌آوری نیز بهبود می‌یابد؛ به‌طوری‌که طبقه خیلی کم نامطلوب‌ترین و خیلی زیاد مطلوب‌ترین سطح تاب‌آوری محسوب می‌شود. نتایج نهایی در (شکل ۴) و (جدول ۵) نمایش داده شده است.



شکل ۴. توزیع مکانی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان‌شهر تهران منتج از مدل فازی-تاپسیس (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

جدول ۵. وضعیت تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی کلان‌شهر تهران منتج از مدل فازی-تاپسیس

تاب‌آوری	جمع معايير	تاب‌آوری کالبدی (درصد)
خیلی کم	۲۷۸۴/۲۷	۱۶/۵۳
کم	۲۰۶۴/۴۴	۱۲/۲۶
متوسط	۵۷۴۷/۸۳	۳۴/۱۳
زیاد	۵۱۰۴/۳۷	۳۰/۳۱
خیلی زیاد	۱۱۳۶/۶۹	۶/۷۵

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

نتایج حاصل از اجرای مدل تاپسیس بر روی شبکه‌های ارتباطی کلان‌شهر تهران نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب در بیشتر این شبکه‌ها است. طبق خروجی مدل، نزدیک به ۷۰ درصد از شبکه ارتباطی دارای تاب‌آوری کالبدی متوسط به پایین است و تنها ۳۰ درصد از شبکه‌ها وضعیت مطلوبی دارند. با توجه به کل شبکه‌های موجود در کلان‌شهر تهران، وضعیت توزیع تاب‌آوری کالبدی طبق مدل فازی-تاپسیس، ۱۶/۵۳ درصد از معیار در طبقه خیلی کم، ۱۲/۲۶ درصد در طبقه کم، ۳۴/۱۳ درصد در طبقه متوسط، ۳۰/۳۱ درصد در طبقه زیاد و ۶/۷۵ درصد در طبقه خیلی زیاد از نظر تاب‌آوری کالبدی قرار دارند. بدیهی است که معایری که در مدل‌سازی امتیاز بالایی کسب کرده‌اند و در طبقه پنجم قرار دارند، تاب‌آوری بیشتری داشته و در نتیجه در برابر مخاطرات مقاوم‌تر هستند.

نقشه تاب‌آوری شبکه معابر شهری کلان‌شهر تهران نشان می‌دهد که بافت مرکزی شهر با کسب امتیاز پایین نسبت به قسمت‌های دیگر از جمله مناطق تازه ساخته شده شهر تاب‌آوری کمتری دارد، در واقع معابر موجود در هسته مرکزی شهر تاب‌آوری کالبدی کمتری نسبت به معابر قسمت‌های حاشیه شهر دارد، با توجه به توسعه فیزیکی شهر از این مناطق بخصوص قسمت‌های غربی و ساخت و سازهای جدید در این مناطق وضعیت تاب‌آوری نسبتاً قابل قبول می‌باشد. بر این اساس مناطق مرکزی دارای بیشترین شبکه در طبقه تاب‌آوری خیلی کم نسبت به سایر مناطق می‌باشد. با توجه به طبقه‌بندی سلسله مراتب معابر موجود در مناطق کلان‌شهر تهران در پنج گروه عمده مذکور، معابر محلی-مسکونی کمترین تاب‌آوری را در مقایسه با سایر راه‌ها دارا می‌باشد به‌طوری که بیش از ۵۰ درصد معابر موجود را محلی-مسکونی شامل می‌شود. این امر نشان‌دهنده اهمیت این

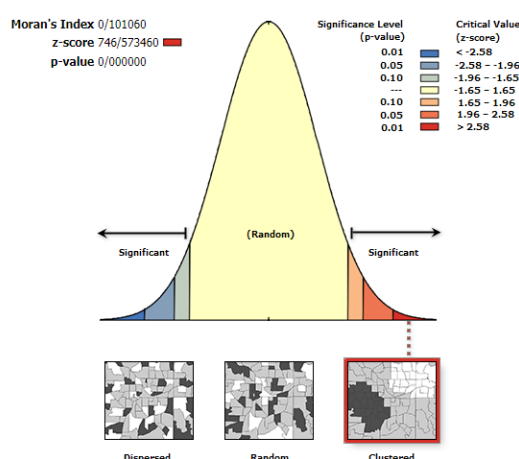
معابر و تاثیری که بر سطح تاب‌آوری کالبدی معابر دارد می‌باشد. این معابر با میانگین عرض شش متری در کنار سایر متغیرهای تاثیرگذار دیگر باعث کاهش شدید تاب‌آوری کالبدی معابر شده و به تبع آن باعث بروز مشکلات عدیده‌ای در سایر حوزه‌ها از جمله خدمات‌رسانی، امداد رسانی و دیگر حوزه‌ها شده است.

نقشه تاب‌آوری کالبدی شبکه معابر شهری نشان می‌دهد، مناطق مرکزی از جمله منطقه ۶، ۷، ۱۱، ۱۲ و ۱۰ تاب‌آوری نامطلوبی نسبت به مناطق اطراف دارند. مناطق ۱۹، ۲۰، ۲۲ و ۴ با توجه به قرارگیری در قسمت‌های حاشیه تهران شرایط نسبتاً مطلوبی را دارند. در واقع هر لحظه امکان بروز خسارات شدیدی در سطح مناطق با کوچکترین حادثه‌ای وجود دارد. به همین دلیل توجه ویژه مسئولین مربوطه را می‌طلبد. قابل ذکر است می‌توان از جمله عوامل موثر در افزایش و کاهش کیفیت تاب‌آوری کالبدی 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. همچنین نحوه توزیع تراکم جمعیت و عدم سازگاری آن با خدمات موجود در آن منطقه بر نابرابری تاب‌آوری کالبدی تاثیر می‌گذارد.

ارزیابی الگوی پراکندگی تاب‌آوری شبکه‌های ارتباطی شهری

آماره موران با استفاده از یک ضریب همبستگی بیان می‌شود و مقدار آن بین +۱ و -۱ در نوسان می‌باشد. به‌طوری‌که اگر مقدار آماره موران به سمت +۱ حرکت کند نشان از یک الگوی خوشه‌ای بالا و متمرکز در بیشتر ناحیه مورد مطالعه دارد. اگر آماره موران به سمت -۱ حرکت نماید مبین یک الگوی پراکنده بر روی عارضه جغرافیایی در اینجا توزیع شبکه‌های ارتباطی می‌باشد. مقدار نزدیک به صفر گویای یک الگوی تصادفی و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

طبق (شکل ۷) باتوجه به اینکه مقدار آماره استاندارد (۷۴۶/۵۷) در سطح ۱ درصد بزرگتر از عدد ۲/۵۸ می‌باشد و در دنباله توزیع در ناحیه قرمز رنگ واقع شده است، رفتار توزیع شبکه‌های ارتباطی در سطح منطقه از الگوی خوشه‌ای قوی با تمرکز بالا برخوردار است. با توجه به نتایج حاصل شده از وضعیت تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی براساس شاخص‌های پژوهش در کلان‌شهر تهران، مناطق تازه احداث و تازه توسعه یافته نسبت به مناطق با بافت قدیمی و با تراکم بالا از وضعیت مطلوبی برخوردار بوده و نسبت به انواع مخاطرات آسیب‌پذیری کمتری دارد و تاب‌آوری کالبدی بالایی دارد. الگوی خوشه‌ای تاب‌آوری، اهمیت برنامه‌ریزی فضایی هدفمند را نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که باید توجه ویژه‌ای به تقویت تاب‌آوری در مناطق با تراکم بالا و بافت فرسوده صورت گیرد تا از تمرکز آسیب‌پذیری جلوگیری شود. همچنین، توسعه متوازن و ارتقای کیفیت شبکه ارتباطی در مناطق مرکزی و پیرامونی می‌تواند به کاهش نابرابری‌های فضایی تاب‌آوری کالبدی کمک کند.



Given the z-score of 746.57346, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

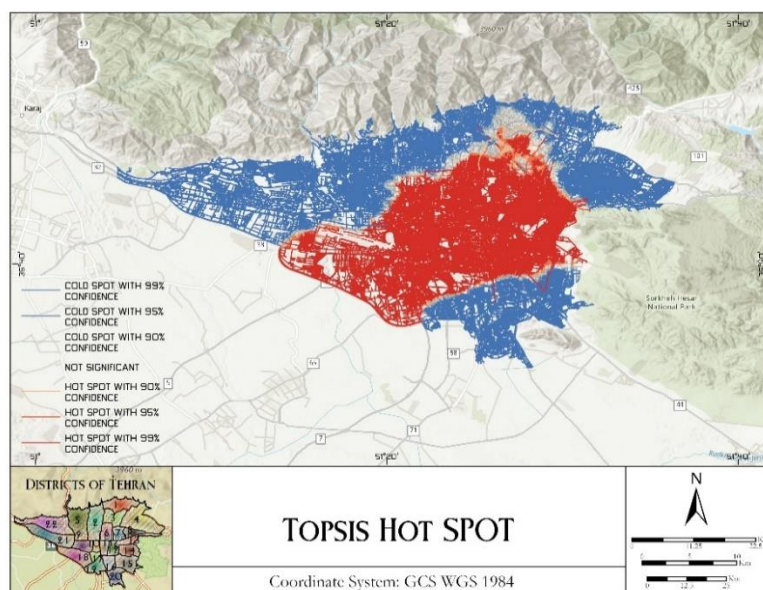
Global Moran's I Summary	
Moran's Index	۰/۱۰۱۰۶۰
Expected Index	-۰/۰۰۰۰۰۹
Variance	۰/۰۰۰۰۰۰
Z-score	۷۴۶/۵۷۳۴۶۰
P-value	۰/۰۰۰۰۰۰

شکل ۷. آزمون آماره موران مدل تاپسیس (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

ارزیابی مطلوبیت شبکه‌های ارتباطی شهری

شاخص آماره عمومی G_i ، به عنوان ابزاری کارآمد برای شناسایی خوشه‌های مکانی با ارزش‌های بالا و پایین در شبکه‌های ارتباطی کلان‌شهر تهران استفاده شد. این شاخص که در تحلیل‌های فضایی کاربرد گسترده‌ای دارد، به کمک آنالیز خوشه‌بندی فضایی، نقاطی را که دارای ویژگی‌های مشابه و متمایز در کیفیت و عملکرد شبکه ارتباطی هستند، مشخص می‌کند.

نتایج این تحلیل نشان داد که در سطح معناداری ۹۹ درصد، شبکه‌های ارتباطی مناطق مرکزی کلان‌شهر تهران مانند مناطق ۲، ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱ به عنوان خوشه‌های گرم و نامطلوب و در مقابل، شبکه‌های ارتباطی مناطق حاشیه‌ای مانند مناطق ۳، ۴، ۲۰ و ۲۲ به عنوان خوشه‌های سرد و مطلوب شناسایی شدند. به عبارت دیگر، شبکه‌های موجود در مناطق مرکزی دارای ارزش پایین‌تری نسبت به میانگین هستند و هر چه به سمت حاشیه‌ها حرکت می‌کنیم، ارزش مطلوبیت شبکه‌های ارتباطی افزایش می‌یابد. در واقع مناطق مرکزی به دلیل بافت شهری قدیمی، تراکم بالای جمعیت، ساختار نامناسب معابر و زیرساخت‌های ناکافی، با مشکلاتی مانند ترافیک شدید و محدودیت‌های دسترسی روبرو هستند که در نهایت تاب‌آوری و مطلوبیت شبکه ارتباطی را کاهش می‌دهد. در مقابل مناطق حاشیه کلان‌شهر به دلیل توسعه فیزیکی نوین، وجود معابر با عرض مناسب، فضای باز بیشتر و دسترسی بهتر به شبکه‌های اصلی حمل و نقل، از تاب‌آوری و کیفیت بالاتری برخوردارند. بطوریکه افزایش مطلوبیت شبکه ارتباطی در مناطق حاشیه‌ای، فرصت‌های بهتری را برای خدمات‌رسانی، امداد رسانی و مدیریت بحران فراهم می‌کند و آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی را کاهش می‌دهد.



شکل ۸. توزیع خوشه‌های مطلوب و نامطلوب تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی کلان‌شهر تهران (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

نتیجه‌گیری

شهرها به عنوان سیستم‌های پیچیده و وابسته، در برابر بلایای طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر هستند. در سال‌های اخیر، این حوادث خسارات زیادی به زیرساخت‌های شهری وارد کرده‌اند. بسیاری از شهرها به دلیل برنامه‌ریزی نامناسب و کمبود پشتیبانی فنی، قادر به بهبود زیرساخت‌ها و بازگشت به حالت اولیه نیستند. در مقابل، برخی شهرها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند پیش‌بینی، مدیریت و بهبود اثرات بلایا را انجام دهند و به این ترتیب، سیستم‌های فیزیکی و اجتماعی آن‌ها تحت فشار و بحران عملکرد مناسبی دارند. این شهرها به عنوان شهرهای تاب‌آور شناخته می‌شوند. به این ترتیب هدف از پژوهش حاضر تحلیل فضایی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی شهری در برابر تهدیدات سخت در کلان‌شهر تهران می‌باشد. به این منظور براساس مطالعات کتابخانه‌ای، ۱۹ متغیر موثر در تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی جمع‌آوری و 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. مدلسازی تاب‌آوری کالبدی شبکه ارتباطی با فازی‌سازی متغیرها و استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین اوزان متغیرها انجام شد. شبکه‌های ارتباطی شهری کلان‌شهر تهران بر اساس داده‌های سامانه متن باز OSM به پنج گروه اصلی: شبکه‌های محلی-مسکونی (۵۰ درصد)، شریانی درجه یک (۵ درصد)، شریانی درجه دو (۲۸ درصد)، جمع و پخش کننده (۱۰ درصد) و بزرگراه‌ها (۷ درصد) طبقه‌بندی شدند.

نتایج نشان داد، نزدیک به ۷۰ درصد معابر کلان‌شهر تهران از نظر تاب‌آوری کالبدی در سطح متوسط به پایین قرار دارد و تنها ۳۰ درصد معابر در طبقه زیاد و خیلی زیاد به عبارتی شرایط مطلوبی قرار دارند. همچنین نقشه تاب‌آوری نشان می‌دهد قسمت‌های مرکزی شهر با کسب امتیاز پایین نسبت به قسمت‌های حاشیه‌ای شهر تاب‌آوری کمتری دارد، و در صورت وقوع حوادث ناگوار تخریب در سطح بسیار بالایی خواهد بود به همین دلیل توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. از سوی دیگر، توسعه فیزیکی شهر که عمدتاً از مناطق پیرامونی و حاشیه‌ای گسترش یافته و با ساخت‌وسازهای جدید همراه بوده است، باعث شده تا شرایط متغیرهای مؤثر بر تاب‌آوری در این مناطق نسبتاً مطلوب‌تر باشد. به همین دلیل، تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی در این بخش‌ها در سطح قابل قبولی قرار دارد و می‌توان این مناطق را به عنوان نمونه‌هایی موفق از طراحی و توسعه شهری مقاوم‌تر در برابر بلایا قلمداد کرد.

نتایج آزمون موران نشان‌دهنده وجود الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا در سطح شهر است. به طور مشخص، شبکه‌های ارتباطی مناطق مرکزی کلان‌شهر تهران به عنوان «خوشه‌های گرم» یا نامطلوب شناسایی شده‌اند، که بیانگر تمرکز آسیب‌پذیری و نقاط ضعف تاب‌آوری در این مناطق است. در مقابل، مناطق حاشیه‌ای به عنوان «خوشه‌های سرد» یا مطلوب شناخته شده‌اند که نشان‌دهنده تمرکز تاب‌آوری بالاتر و مقاومت بیشتر این بخش‌ها در برابر تهدیدات سخت است. الگوی فضایی خوشه‌ای اهمیت توجه به تفاوت‌های منطقه‌ای در برنامه‌ریزی‌های شهری و مدیریت بحران را یادآوری می‌کند و ضرورت اتخاذ راهکارهای منطقه‌ای و متناسب با شرایط هر بخش از شهر را برجسته می‌سازد. 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) و افسری و همکاران (۱۴۰۱) همسو و نتایج مشابهی را حاصل شده است.

پیشنهادهای

باتوجه به مطالب ذکر شده راهبردهای زیر با رویکرد پدافند غیرعامل جهت افزایش تاب‌آوری کالبدی شبکه راه‌های ارتباطی یا در جهت کاهش خسارات ناشی از وقوع مخاطرات انسانی و طبیعی در سطح کلان‌شهر تهران ارائه می‌شود:

راهبرد و راهکارها:

(۱) توسعه تدابیر پدافندی

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

۲) احداث حریم استاندارد

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

۳) زیرسازی مقاوم

طراحی و پیاده‌سازی زیرساخت‌های مقاوم در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی، شامل تقویت جاده‌ها، پل‌ها و دیگر زیرساخت‌ها.

۴) ایجاد مسیرهای جایگزین

پیش‌بینی و طراحی مسیرهای موازی و جایگزین برای تسهیل تردد در زمان وقوع حوادث.

۵) تقویت همکاری بین سازمان‌ها

افزایش ارتباطات بین نهادهای دولتی، دانشگاه‌ها و مراکز علمی به منظور تدوین استانداردها و آیین‌نامه‌های مرتبط با تاب‌آوری کالبدی.

۶) مدیریت تراکم ساختمانی

کاهش تراکم ساختمانی در مناطق آسیب‌پذیر به منظور کاهش خطرات ناشی از بلایای طبیعی.

۷) استفاده از مصالح مناسب

انتخاب مواد و تجهیزات مناسب برای ساخت ساختمان‌های مهم استراتژیک که توانایی مقاومت در برابر بحران‌ها را داشته باشند.

۸) ارزیابی مستمر تاب‌آوری

انجام ارزیابی‌های دوره‌ای از تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی با رویکرد سناریونویسی، مدیریت بحران و پدافند غیرعامل برای شناسایی نقاط ضعف و تقویت آن‌ها.

موارد پیشنهاد شده می‌توانند به عنوان یک چارچوب جامع برای ارتقاء تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی کلان‌شهر تهران مورد استفاده قرار گیرند و با توجه به شرایط خاص هر منطقه، بهینه‌سازی شوند. با اتخاذ این اقدامات پیشنهادی، می‌توان تاب‌آوری کالبدی شبکه‌های ارتباطی شهری را در برابر مخاطرات انسانی و طبیعی افزایش داد و آمادگی مناسبی برای پاسخگویی به شرایط بحرانی ایجاد کرد. به طور کلی، تقویت تاب‌آوری کالبدی معابر کلان‌شهر تهران نیازمند یک رویکرد جامع و چندجانبه است که شامل همکاری بین نهادهای دولتی، دانشگاه‌ها و جامعه مدنی می‌باشد. این امر نه تنها موجب کاهش آسیب‌پذیری شهر در برابر بلایای طبیعی و انسانی می‌شود، بلکه کیفیت زندگی ساکنان را نیز ارتقا خواهد داد.

منابع

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، ویژه‌نامه هفته پدافند غیرعامل، ۱۹-۳۰.

- اصغری‌پور، محمد جواد (۱۳۸۵). تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، چاپ چهارم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- افتخاری، اصغر (۱۳۸۵). کالبد شکافی تهدید، تهران، انتشارات دافوس سپاه.
- افسری، رسول؛ جهانبخش، 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. Doi.org/10.30488/gps.2021.265835.3356
- اناری، فرزاد؛ اقبالی، ناصر و مویدفر، رضا (۱۳۹۸). ارزیابی تاثیر ساختار شبکه ارتباطی حوزه شرقی طرح راهبردی شهر تهران بر تاب‌آوری شهری، *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، ۱۲(۱)، ۵۹۵-۶۱۷.
- باباییان آنتی، رضا؛ شریعت پناهی، مجید ولی؛ فلاح تبار، نصرالله و خدایی، زهرا (۱۴۰۰). پهنه‌بندی درجه آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهر سمنان با رویکرد پدافند غیرعامل در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*، ۱۲(۱)، ۷۳-۸۸.
- بهرامی، سیروان؛ سرور، رحیم و اسدیان، فرده (۱۳۹۶). تحلیلی بر وضعیت تاب‌آوری محلات شهر سنج (مطالعه موردی: محلات سرتپوله، شالمان و حاجی آباد)، *مطالعات محیطی هفت حصار*، ۲۲(۶)، ۴۵-۶۲.
- پریزادی، طاهر؛ حسینی امینی، حسن و شهریاری، مهدی (۱۳۸۹). بررسی و تحلیل تمهیدات پدافند غیرعامل در شهر سقز در رویکردی تحلیلی، *مدیریت شهری*، ۲۶، ۱۹۱-۲۰۲.
- پوراحمد، احمد؛ زیاری، کرامت الله و صادقی، علیرضا (۱۳۹۷). تحلیل فضایی مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی بافت‌های فرسوده شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری تهران)، *برنامه‌ریزی فضایی*، ۸(۱)، ۱۳۰-۱۱۱. Doi.org/10.22108/sppl.2018.109941.1178
- حاجی پور، خلیل و پیاب، آرمان (۱۳۹۷). تحلیل آسیب‌پذیری پدافندی مناطق شهر با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: منطقه ۲ شیراز)، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۳(۱)، ۵۱-۸۴.
- حسینی امینی، حسن؛ اسدی، صالح و برنافر، مهدی (۱۳۸۹). ارزیابی ساختار شهر لنگرود جهت برنامه‌ریزی پدافند غیر عامل، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۵(۱۸)، ۱۲۹-۱۴۹.
- حیدری ساربان، وکیل (۱۳۹۹). تبیین رابطه معنویت با بهبود تاب‌آوری روستاییان در خصوص بحران زلزله (مطالعه موردی: دهستان ازومدل شمالی، شهرستان ورزقان)، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۴(۳)، ۱۶۹-۲۰۰.
- دهخدا، علی اکبر (۱۳۵۱). *لغت نامه دهخدا*؛ جلد چهارم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- رحیمی، روح اله؛ شعبانپور، فاطمه و ایروانلو، آرین (۱۴۰۴). ارزیابی تاب‌آوری کالبدی بافت شهری با رویکرد مدیریت بحران به کمک نرم‌افزار GIS نمونه موردی: هادی‌شهر بابلسر. *مطالعات ساختار و کارکرد شهری*، ۱۲(۱)، ۱۱۹-۱۵۰. Doi: 10.22080/usfs.2024.27435.2454
- سالنامه آماری استان تهران* (۱۴۰۰). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- سعیدی، جعفر؛ فیروزی، محمدعلی؛ محمدی ده‌چشمه، مصطفی و شمسایی زفرقندی، فتح‌الله (۱۴۰۰). تدوین سناریوهای تاب‌آوری شهرهای مرزی (مطالعه موردی: شهرهای آبادان و خرمشهر)، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۵(۴)، ۴۳-۱.
- سلمانی مقدم، محمد؛ امیراحمدی، ابوالقاسم و کاویان، فرزانه (۱۳۹۳). کاربرد برنامه‌ریزی کاربری اراضی در افزایش تاب‌آوری شهری در برابر زمین لرزه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر سبزوار)، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۷(۱)، ۱۷-۳۴.
- شکیبامنش، امیر و کریمی نیا، فاطمه (۱۳۹۸). بهره‌گیری از تحلیل‌های شبکه فرم مینا به منظور سنجش میزان تاب‌آوری کالبدی بافت محلات شهری (نمونه مورد پژوهی: محله سنگلج تهران)، *شهر/ایمن*، ۲(۸)، ۱-۱۸.

- ضرغامی، سعید؛ تیموری، اصغر؛ محمدیان، حسن و شماعی، علی (۱۳۹۵). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری محله‌های شهری در برابر زلزله موردپژوهی: (بخش مرکزی شهر زنجان)، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۷(۲۷)، ۷۷-۹۲.
- عزیزی، محمدمهدی و برنافر، مهدی (۱۳۹۱). فرآیند مطلوب برنامه‌ریزی شهری در حمله‌های هوایی از دیدگاه پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: ناحیه ۱ منطقه ۱۱ تهران)، مطالعات شهری، ۹-۲۲.
- قربانی‌زاده، وجه‌الله و باقری، سجاد (۱۳۹۰). مدیریت بحران برای زیرساخت‌ها، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۲۱-۱۶۵.
- کریمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم و رستمی همای علیا، نرگس (۱۴۰۱). بررسی تاب‌آوری نواحی روستایی پیراشهری در برابر سیلاب (مطالعه موردی: برخی روستاهای دهستان میدان چای)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۶(۸۰)، ۲۷۱-۲۵۱. Doi: 10.22034/gp.2021.46066.2840
- کریمی، فاطمه و جلیلی صدرآباد، سمانه (۱۳۹۸). بررسی جایگاه شاخص‌های تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری در فریند چرخه‌ای تاب‌آوری و درهم‌کنش آن‌ها از نظر متخصصان، شهر/ایمن، ۸ (۲)، ۱۷-۱.
- گروه مطالعاتی امنیت ملی (۱۳۸۷). تهدیدات قدرت ملی، شاخص‌ها و ابعاد، تهران، انتشارات دانشگاه عالی دفاع ملی.
- محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ علیزاده، هادی و عباسی گوجانی، داوود (۱۳۹۸). تحلیل فضایی شاخص‌های تبیین‌کننده تاب‌آوری در زیرساخت شریانی حمل و نقل (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز)، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۷ (۲)، ۳۹۱-۳۷۵.
- محمدی، حامد و حسینی، سید بهشید (۱۳۹۶). ارزیابی آسیب‌پذیری ریخت‌های شهری در برابر حملات هوایی با رویکرد پدافند غیرعامل (بررسی موردی منطقه ۶ شهر تهران)، دوفصلنامه دانشگاه هنر، ۲۱، ۵۹-۷۶.
- مدیری، مهدی (۱۳۸۹). الزامات مکانیابی تاسیسات شهری و آرایه الگوی بهینه از دیدگاه پدافند غیرعامل، رساله دوره دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- مهرنژاد، پیمان و خورسندی، محمد (۱۳۹۸). آرایه الگوی شبکه ایمن معابر براساس اصول پدافند غیرعامل در راستای ارتقای تاب‌آوری شهر در برابر بحران‌های انسان‌ساخت، دوفصلنامه مدیریت بحران، ۳۵-۴۶.
- موحد، علی؛ امان‌پور، سعید و نادری، کاوه (۱۳۹۰). بازآرایی گردشگری شهری بر اساس برندیابی با مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی، شهر کرمانشاه)، برنامه‌ریزی فضایی، ۱(۳)، ۱۷-۳۶.
- نائینی، علی‌محمد (۱۳۸۹). بررسی تطبیقی تهدیدهای سه گانه سخت، نیمه سخت و نرم، فصلنامه راهبرد دفاعی، ۸(۳۰)، ۱۵۷-۱۷۷.
- نباتی، عزت‌الله (۱۳۸۹). پدافند غیرعامل با رویکرد به حوزه تهدیدات، تهران، انتشارات: مرکز آموزشی و پژوهشی شهید سپهبد صیاد شیرازی.

References

- Adafer, S.; Bensaibi, M. (2017). Seismic vulnerability classification of roads, *Energy Procedia* 139, 624-630.
- 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]
- 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]
- Asgharpour, M J. (2005). *Multi-criteria decision making, 4th edition*, Tehran University Press, Tehran. [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]
- 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]
- 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]
- Dehkhoda, A. A., (1972). *Dehkhoda dictionary*; fourth volume, University of Tehran publication, Tehran. [In Persian]
- Eftekhari, A (2006). Autopsy of Threats, Tehran: Dafos Sepah Publications. [In Persian]
- Eskandari, M., Omidvar, B., & Tavakoli Sani, M. S. (2015). Loss estimation of interdependent infrastructures in targeted attacks, *Emergency Management, (Special Issue of Passive Defense Week 93)*, 19-30. [In Persian]
- Ghaffarian, S., Shafapourtehrany, M., Lagap, U. et al. Earthquake-based multi-hazard resilience assessment: a case study of Istanbul, Turkey (neighborhood level). *npj Nat. Hazards* 2, 15 (2025). <https://doi.org/10.1038/s44304-025-00065-8>
- 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]
- 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]
- 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]
- Karami, F., Bayati khatibi, M. and Rostami Homaiolia, N. (2022). Resilience Study of Rural Areas of Peri-Urbanization against Floods: A Case Study of the some rurals of midanchay village. *Journal of Geography and Planning*, 26(80), 251-271. doi: 10.22034/gp.2021.46066.2840. [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, S.,Yeo, H. (2016). A Flow-based Vulnerability Measure for the Resilience of Urban Road Network, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 218,13–23.
- 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]
- Mileti, N. (1999). Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States.
- 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]
- 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]

- 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]
- 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.
- 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]
- 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]
- Naeini, A.M. (2010). CompaRrative Analysis of Triple Threats, Hard, Semi Hard and Soft Threats. *DEFENSE STRATEGY*, 8(30), 157-177. [In Persian]
- National Security Study Group (2008). Threats of national power, indicators and dimensions, Tehran, National Defense University Publications. [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]
- PourAhmad, A., Ziyari, K. and Sadeghi, A. (2018). Spatial Analysis of Physical Resilience Components of Urban attrited/beaten tissues against Earthquakes (Case Study: District 10 of Tehran Municipality). *Spatial Planning*, 8(1), 111-130. doi: 10.22108/sppl.2018.109941.1178. [In Persian]
- Rahimi, R., Shabanpour, F., & Irvanloo, A. (2025). Assessing the Physical Resilience of the Urban Fabric with a Crisis Management Approach Based on GIS (Case Study: Hadi Shahr Babolsar). *Urban Structure and Function Studies*, 12(1), 119-150. doi: 10.22080/usfs.2024.27435.2454. [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.
- 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]
- 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]
- 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]
- Singh, R., Prasad, S., Vinay S., 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]
- Zarghami, S., Teymouri, A., Mohammadian, H., & Shamaei, A. (2017). Measuring and evaluating urban neighborhood's resilience against earthquake: the case of Zanjan downtown, *Journal of Research and Urban Planning*, 7(27), 77-92. [In Persian]