

Evaluating Urban Resilience to Flood Risk using the IHWP Method with Emphasis on Building Parcels: A case study of Kan Neighbourhood in Tehran

Shahin Lale Arefi ¹ , Mahdi Bitarafan ² , Alireza Taherizadeh ³, Sajjad Abazarlou ⁴

1. (Corresponding Author) *Department of Civil Engineering, Faculty of Mechanical and Civil Engineering, Esfarayen University of Technology, Esfarayen, Iran*

Email: sh.arefi@esfarayen.ac.ir

2. *Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran*

Email: mahdi.bitarafan@iiecs.ac.ir

3. *Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University of Rudehen, Tehran, Iran*

Email: alirezataherizade64@gmail.com

4. *Department of Crisis Management, Faculty of Crisis Management, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran*

Email: abazarlou@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

7 July 2025

Revised:

11 October 2025

Accepted:

20 November 2025

Available online:

24 December 2025

Keywords:

Flood,

Natural Hazards,

Building,

Resilience,

IHWP Method.

ABSTRACT

In recent decades, flood management in large cities has become one of the most difficult aspects of urban governance. Uncoordinated physical development, land impermeability, destruction of river and valley paths, and inefficiency of drainage systems have increased the vulnerability of Tehran city to heavy rainfall. The main goal of this study is to investigate the resilience of the Kan neighborhood of Tehran against flood risk and present an efficient model. Therefore, in this study, first, using library resources and interviews with the expert community, indicators affecting urban resilience against floods were extracted. Then, using the IHWP method, the weight of each indicator was obtained. 18 layers were selected to assess the resilience of this area against floods, and then using the ARC GIS database, resilience against floods was calculated with an emphasis on the building parcel. The results show that 17.07 percent of the neighborhood is in the very low resilience range, which is in the eastern part of the neighborhood and around the Kan River. 32.52 percent of the neighborhood is in the low resilience range, which includes large parts of the northwest and southwest of the neighborhood. 26.02 percent of the neighborhood is in the medium resilience range, concentrated in the east and southeast parts of the neighborhood. 12.99 percent of the neighborhood is in the high resilience range, which includes the northeast parts of the neighborhood. 10.81 percent of the neighborhood is in the very high resilience range, which includes the northeast of the neighborhood.

Cite this article: Lale Arefi, Sh., Bitarafan, M., Taherizadeh, A., & Abazarlou, S. (2025). Evaluating Urban Resilience to Flood Risk using the IHWP Method with Emphasis on Building Parcels: A case study of Kan Neighbourhood in Tehran. *Geographical Urban Planning Research Quarterly*, 13 (4), 119-136.

<http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2025.405766.2128>



Extended Abstract

Introduction

Urban flooding is a complex and recurring phenomenon that poses a significant challenge to cities worldwide, especially those experiencing rapid urbanization. For instance, some causes of flooding in cities such as Tehran include rapid population growth, uncontrolled land transformation, increased impervious surface area, occupation of waterways, and insufficient stormwater drainage infrastructure. In essence, flooding in cities such as Tehran has shifted from a hydrological phenomenon to a complex, multidimensional one that triggers cascading effects.

The geomorphological characteristics of Tehran City, together with its high level of urbanization and extensive river-valley systems, make some of its neighbourhoods highly vulnerable to flash flooding. To be more specific, areas along river valleys are more affected by direct exposure to flooding and sediment transport. Under such conditions, the effectiveness of traditional approaches to flood management, which are primarily based on structural measures and disaster response, has proven limited. As such, the concept of urban resilience has been proposed as a holistic approach to addressing this issue by focusing on the system's ability to absorb changes, adapt to new conditions, and restore its basic functions within a given time frame.

Urban flood resilience transcends hazard mitigation and involves various physical, social, economic, and institutional aspects. Despite the growing research on flood resilience assessment, existing studies have mostly examined urban- or district-scale flood resilience, failing to consider micro-scale characteristics at the parcel or building level. This is a significant limitation, particularly since flood damage and recovery are local processes influenced by parcel-level characteristics, such as building quality, building materials, building elevation, proximity to flood sources, and surrounding land cover.

With the aforementioned gap in mind, the current research aims to assess the concept of flood resilience at the building parcel

scale. To achieve this objective, the Kan Neighbourhood in Tehran has been chosen as a study area. The Kan Neighbourhood lies in the north-western part of Tehran and is bordered by the Kan River. The Kan River has historically been a flood-prone drainage area. The overall objective of the current research is to apply the Inverse Hierarchical Weighting Process (IHWP) to assess the concept of flood resilience using a multi-criteria decision-making approach coupled with Geographic Information Systems (GIS).

Methodology

This research is considered applied research, as it is descriptive and analytical in nature. The research methodology is descriptive-analytical, combining both qualitative expert judgment and quantitative spatial analysis. The methodological framework is divided into three main stages:

- (1) Identifying and classifying flood resilience indicators;
- (2) Weighting the indicators through the application of the IHWP method, which is based on expert consensus;
- (3) Spatial implementation and mapping of resilience at the parcel level through geographic information systems.

The original set of indicators was established through an exhaustive review of the scientific literature related to urban resilience, flood risk, and disaster management. Expert opinions from subject matter specialists supplemented this review. The pool of experts comprised specialists in urban planning, civil engineering, disaster management, and environmental science. Consequently, 84 indicators related to flood resilience were identified and grouped into five major dimensions:

- Physical–spatial,
- Social–cultural,
- Safety and security,
- Economic,
- Institutional–organizational.

The exhaustive set of indicators captures the multidimensional nature of resilience and can be refined based on the level of applicability and the availability of information. To improve the set of indicators and reach consensus on their

importance, the Delphi method was used. Experts assessed the relevance and significance of each indicator on flood resilience through various rounds of feedback. Indicators were scored and deliberated upon until a stable level of agreement was reached. This phase resulted in a validated set of indicators with relative importance scores assigned by experts, which were used to weigh the indicators in the subsequent process. The Inverse Hierarchical Weighting Process (IHWP) was used to determine the relative weights of the indicators. The IHWP technique is particularly useful in decision-making situations where mixed qualitative and quantitative data integration is required and where uncertainty exists in expert judgments. The technique also differs from other traditional hierarchical weighting methods in that it emphasizes the use of inverse ranking logic to ensure that more important indicators play a greater role in the final assessment. The expert judgments obtained through the Delphi technique were used in IHWP calculations to produce normalized weights for each indicator. The weights were then used in the spatial analysis process. The technique's flexibility makes it particularly useful for assessing resilience at finer scales. Following the weighting phase, spatial data layers for the selected indicators were developed and standardized in a geographic information system (GIS) environment. Based on the availability of the data and their relevance to parcel-scale analysis, a total of 18 spatial layers were selected for use in the model, covering slope, aspect, elevation, geology, river and channel buffers, green spaces, population distribution, age of buildings, quality of constructions, building materials, and urban texture. Using ArcGIS software and related tools (e.g., Raster Calculator), a composite flood resilience score for each parcel was calculated as a weighted sum of selected indicators. The final output is a flood resilience zoning map that distinguishes five classes of flood resilience as very low, low, moderate, high, and very high. To test the consistency and reliability of IHWP-derived weights, a comparative analysis was conducted using the Analytic Hierarchy Process (AHP) approach. The

indicator weights were recalculated using the same hierarchy, and the results were compared using correlation analysis. The results showed a high degree of consistency between the two methods, which proved the reliability and credibility of IHWP.

Results and discussion

The results of the weighting analysis suggest that the physical-spatial dimension has the most impact on flood resilience, followed by the social-cultural dimension. The safety-security and economic dimensions are the next two dimensions, while the institutional-organizational dimension has the least impact. This reflects the direct and immediate impact of the physical characteristics of the landscape on the impact of floods at the parcel scale. Among the specific indicators, proximity to rivers and channels has the greatest impact, followed by vegetation cover, site location, and building structural quality. Overall, the results suggest the importance of both exposure and resistance indicators. The topography of the Kan Neighbourhood is complex, with steep slopes and proximity to the Kan River. Past floods and observations in the Neighbourhood are clear manifestations of the risks associated with flash flooding, particularly during intense precipitation. Additionally, the Neighbourhood has old, vulnerable buildings that pose a threat in the event of a flood. The analysis from the GIS results shows that there is considerable spatial heterogeneity in flood resilience in the Kan Neighbourhood. The proportion of each class of flood resilience is as follows:

- Very low resilience: 17.07% (along the river corridor);
- Low resilience: 32.52% (northwest and southwest areas)
- Moderate resilience: 26.02%;
- High resilience: 12.99%;
- Very high resilience: 10.81% (north-eastern areas).

The results indicate that nearly half of the population in the Kan Neighbourhood is in the low or very low flood resilience class. The identified spatial patterns can be explained by the combined effects of three major factors. First, the spatial distribution of parcels relative to the river and flood

channels significantly affects resilience, as parcels closer to the Kan River are more prone to overflow and debris flow. Second, the natural environment's conditions, such as slope and soil permeability, affect the dynamics of flood intensity. Third, the characteristics of the built environment, such as the age and materials of buildings, affect their ability to withstand flood intensity and to recover from it. The high significance of the physical dimension in the results should not be considered to exclude the role of social, economic, and institutional factors; rather, it indicates the level of analysis. In parcel-level analysis, the role of physical attributes is easier to capture and has a more significant short-term impact. This indicates opportunities for short-term improvements in flood resilience through interventions in the physical environment.

Conclusion

The current study aims to present and implement an integrated approach to assess urban flood resilience at the building-parcel scale, combining expert-based weighting techniques with GIS spatial analysis. The results show that flood resilience in the Kan Neighbourhood is unevenly distributed, and many building parcels exhibit low resilience.

The key factors are proximity to rivers, vegetation cover, parcel location, and the quality of structures. The physical-spatial element was found to be the major influencing factor, which highlights the importance of spatial design.

Based on these results, the following recommendations have been made:

- Enforce stringent land use and development controls in river buffer zones;
- Upgrade and improve green infrastructure to reduce surface runoff;
- Upgrade stormwater management facilities in high-risk zones;
- Retrofit and structurally reinforce vulnerable building clusters;
- Regulate incompatible land uses in flood-prone zones.

The key contribution of this research lies in its parcel-scale analysis and application of the IHWP method to derive transparent and accurate indicator weights. The spatial

results provide valuable insights for urban planners and decision-makers, enabling the precise prioritization of flood-resilience strategies. The framework appears flexible and applicable to other flood-prone areas of Tehran and similar urban settings, helping inform evidence-based approaches to disaster risk reduction and resilient urban development strategies.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری

ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر خطر سیل با استفاده از روش IHWP با تأکید بر قطعات ساختمانی؛ مطالعه موردی: محله کن شهر تهران

شاهین لعل عارفی^۱ ✉، مهدی بیطرفان^۲ ^b، علیرضا طاهری زاده^۳، سجاد ابادزلو^۴

۱- نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی مکانیک و عمران، مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، اسفراین، ایران. رایانامه: sh.arefi@esfarayen.ac.ir

۲- پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. رایانامه: mahdi.bitarafan@iiees.ac.ir

۳- گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران. رایانامه: alirezataherizade64@gmail.com

۴- گروه مدیریت بحران، دانشکده مدیریت بحران، دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران. رایانامه: abazarlou@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

در دهه‌های اخیر، مدیریت سیلاب در شهرهای بزرگ به یکی از دشوارترین ابعاد حکمرانی شهری بدل شده است. توسعه کالبدی ناهماهنگ، نفوذناپذیری اراضی، تخریب مسیر رود دره‌ها و ناکارآمدی سامانه‌های زهکشی، آسیب‌پذیری شهر تهران را در برابر بارش‌های شدید فزونی داده است. هدف اصلی این پژوهش بررسی تاب‌آوری محله کن شهر تهران در برابر خطر سیل و ارائه یک مدل کارآمد است. لذا در این پژوهش ابتدا با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و مصاحبه با جامعه نخبگان شاخص‌های تأثیرگذار بر تاب‌آوری شهری در برابر سیل استخراج شد. سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره IHWP وزن هر یک از شاخص‌ها به دست آمد. در ادامه با توجه به اطلاعات موجود محله کن ۱۸ لایه برای ارزیابی تاب‌آوری این منطقه در برابر سیل انتخاب گردید و با استفاده از پایگاه داده اطلاعات ARC GIS تاب‌آوری با تأکید بر قطعات ساختمانی در برابر سیل محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد ۱۷/۰۷ درصد مساحت محله در تاب‌آوری خیلی کم که در بخش شرقی محله و در اطراف رودخانه کن هستند. ۳۲/۵۲ درصد محله از میزان تاب‌آوری کم که بخش‌های وسیعی از شمال غربی و جنوب غربی محله را شامل می‌شود. ۲۶/۰۲ درصد محله در میزان تاب‌آوری متوسط در بخش‌های شرق و جنوب شرق محله متمرکز می‌باشد. ۱۲/۹۹ درصد محله در محدوده تاب‌آوری زیاد شامل بخش‌های شمال شرق محله است. ۱۰/۸۱ درصد محله در محدوده تاب‌آوری خیلی بالا که شمال شرق محله را شامل می‌شود.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۴/۱۶

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۸/۲۹

تاریخ چاپ:

۱۴۰۴/۱۰/۰۳

واژگان کلیدی:

سیلاب،
مخاطرات طبیعی،
ساختمان،
تاب‌آوری،
روش IHWP

استناد: لعل عارفی، شاهین؛ بیطرفان، مهدی؛ طاهری زاده، علیرضا و ابادزلو، سجاد. (۱۴۰۴). ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر خطر سیل با استفاده از روش IHWP با تأکید بر قطعات ساختمانی؛ مطالعه موردی: محله کن شهر تهران. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۱۳ (۴)، ۱۱۹-۱۳۶.

<http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2025.405766.2128>

مقدمه

مخاطرات طبیعی را می‌توان به‌عنوان یک پدیده غیرمترقبه و ناگهانی دانست که موجب تضعیف و از بین رفتن توانمندی تمامی سطوح اقتصادی، اجتماعی، فیزیکی در جامعه انسانی می‌گردد. این بلایا، به زیرساخت‌ها، شریان‌های حیاتی و تأسیسات، صدمه وارد می‌سازند و موجب از بین رفتن دارایی‌ها، اختلال در برنامه‌ریزی، افزایش مرگ‌ومیر، وارد آمدن جراحات و صدمات روحی می‌شود. در همین راستا یکی از عمده‌ترین مسائل و مشکلاتی که بیشتر کلان‌شهرهای جهان با آن دست به‌گریبان‌اند، مخاطرات طبیعی است. سازه‌ها و ساختمان‌ها در شهرها در طول عمر خود تحت تأثیر مخاطرات و بحران‌های طبیعی قرار می‌گیرند (Arefi et al., 2020). در شهر تهران دو مخاطره طبیعی زلزله و سیل از اهمیت فراوانی برخوردار است (Bitarafan et al., 2023). سیل یکی از مخاطرات طبیعی است که همه مناطق شهری ممکن است با آن مواجه شوند و ارتباط نزدیک و پیچیده‌ای با اقلیم، برنامه‌ریزی شهری، زهکشی و فعالیت‌های انسانی دارد (Adeyeye, Emmitt, 2017). این پدیده به دلیل بارش‌های شدید، طغیان رودخانه‌ها یا مدیریت ناکافی منابع آبی رخ می‌دهد و در شهرهای با زهکشی ضعیف، اثرات مخرب‌تری دارد. سیل علاوه بر خسارات مالی، می‌تواند منجر به تلفات جانی، آوارگی مردم و شیوع بیماری‌ها شود. با رشد سریع ساخت‌وساز شهری و شهرسازی و همچنین ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر شده است (Bhattacharya, 2010).

آمارها نشان می‌دهد که بلایای سیل از نظر خسارات یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است. نرخ شهرنشینی به‌سرعت در حال افزایش است و یادگیری نحوه زندگی با سیل با کاهش پیامدهای آن در حال و آینده مهم است. این نگرانی به مفهوم تاب‌آوری اشاره دارد. با گنجاندن مفهوم تاب‌آوری در تجزیه و تحلیل ریسک سیل و تصمیم‌گیری، شهرها می‌توانند به سمت پایداری در برابر این مخاطره مهم حرکت کنند. شناسایی تهدیدات و نوع خرابی‌ها در سازه‌ها، ساختمان‌ها و شهرها نقش مهمی در آمادگی و افزایش تاب‌آوری در شهرها ایفا می‌کند (Rahim et al., 2013, Arefi & Gholizad, 2020). در زمینه تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات ناشی از سیلاب مطالعات گوناگونی انجام شده است که در ذیل به چند مورد آن اشاره می‌شود؛

در سال ۲۰۱۸، سر و همکاران به ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر سیل در شهر با استفاده از طراحی محله پرداختند. آن‌ها جهت ارزیابی مدل خود از شهری در هامبورگ استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که اقدامات طراحی شامل زیرساخت‌های حمل‌ونقل، کاربری زمین (فضاهای عمومی باز) و ساختمان‌ها سهم اصلی در انعطاف‌پذیری محله در برابر سیل دارند (Serre et al., 2018). مطالعات مربوط به تاب‌آوری کشور تونگا در برابر سیلاب‌ها و طوفان‌های دریایی ناشی از تغییر اقلیم و گرمای جهانی بیانگر این است که این کشور شدیداً در برابر بحران‌های آسیب‌های طبیعی ناشی از گرمای پذیر است (Fakhruddin et al., 2019). در کلان‌شهر تهران، تاب‌آوری در برابر سیلاب‌های ناشی از سرریز رودخانه‌ها و آب‌های سطحی خیابان در مناطق ۸ و ۲۲ زیاد است، اما منطقه یک کمترین تاب‌آوری را دارد (Moghadas et al., 2019). از تحقیقات دیگری که در مورد تاب‌آوری، آسیب‌پذیری در بحران‌های طبیعی مانند سیل و زلزله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. (Bitarafan et al., 2012; Bitarafan et al., 2023; Hosseini et al., 2016; Bitarafan et al., 2013).

به‌طور کلی، تاب‌آوری شهری در برابر سیل نیز تجسم مقاومت در برابر بلایای شهری است. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ یک مدل انعطاف‌پذیری مبتنی بر سلول شبکه را برای ارزیابی تاب‌آوری سیل شهری ارائه نمودند و بر اساس این مدل ارزیابی خود را در شهر دالیان چین انجام دادند (Wang et al., 2019). ژو و همکاران در سال ۲۰۲۱ یک چارچوب ارزیابی جامع را برای ارزیابی تاب‌آوری سیل شهری با روش VIKOR و تحلیل رابطه‌ای

خاکستری (GRA) پیشنهاد کردند (Zhu et al., 2021). پاتاک و کولشرستا در سال ۲۰۲۱ روشی را برای ارزیابی تاب‌آوری در برابر مخاطره سیل ارائه دادند. آن‌ها جهت ارزیابی تاب‌آوری از ۱۶ شاخص فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، جمعیتی و مبتنی بر امکانات زیرساخت استفاده کردند و به ارزیابی تاب‌آوری ۲۱ ناحیه در امتداد رودخانه نارمادا در مرکز هند پرداختند (Pathak & Kulshrestha, 2021). ژانگ و همکاران در سال ۲۰۲۱ بر روی اندازه‌گیری تاب‌آوری در برابر سیل در شهرهای مهم چین پرداختند. آن‌ها از یک مدل ارزیابی جامع بر اساس روش TOPSIS با وزن آنتروپی در مطالعات خود استفاده نمودند و تاب‌آوری در برابر مخاطرات سیل را در ۳۱ شهر مهم در سراسر چین ارزیابی نمودند (Zhang et al., 2021).

وانگ و همکاران در سال ۲۰۲۱ به ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های زهکش شهری در برابر سیل پرداختند. آن‌ها در مطالعات خود از مدل 'do-nothing' استفاده کردند و تحلیل‌های خود را بر روی شهر Chizhou چین ارائه نمودند (Wang et al., 2021). طیب و همکاران در سال ۲۰۲۱ یک مدل مبتنی بر GIS، روش سنجش از دور و روش AHP در ارزیابی تاب‌آوری سیل شهری پیشنهاد کرد. آن‌ها جهت نشان دادن کارایی مدل خود، شهر پیشاور در پاکستان را انتخاب نمودند و تاب‌آوری این شهر را در برابر سیل به دست آوردند (Tayyab et al., 2021).

ژو و همکاران در سال ۲۰۲۱ به ارائه یک مدل ترکیبی ارزیابی تاب‌آوری سیل شهری بر اساس ساختار تفسیری و روش تحلیل شبکه (ISM-ANP) پرداختند. سپس با استفاده از شاخص‌های ارائه‌شده تاب‌آوری سیل در سه شهر مختلف چین (ووهان، نانجینگ و هفی) را به دست آوردند (Xu et al., 2021). لو و سان در سال ۲۰۲۳ به منظور بهبود تاب‌آوری شهری در برابر سیل، یک مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیکی مبتنی بر سناریو از استراتژی‌های تطبیقی را ارائه نمودند. مدل آن‌ها بر روی شهر مینگژو پیاده‌سازی شد و در نهایت نتایج نشان داد که این استراتژی‌های فضایی تطبیقی می‌تواند به‌عنوان راه‌حلی برای توسعه تاب‌آوری عمل کند (Lu & Sun, 2023). درنکمپ و همکاران در سال ۲۰۲۴ رویکردی ترکیبی برای ارزیابی تأثیر پروژه‌های مدیریت ریسک سیل بر تاب‌آوری شهری ارائه می‌دهد، با تمرکز بر پروژه اصلاح سیلاب در کرایست‌چرچ، نیوزیلند. نتایج نشان می‌دهد که این پروژه تاب‌آوری منطقه را بهبود بخشیده، اما توجه بیشتر به تعامل با شهروندان می‌توانست تأثیرات مثبت بیشتری داشته باشد (Doornkamp et al., 2024). کائو و همکاران در سال ۲۰۲۵ به ارزیابی کمی تاب‌آوری سیل در شهرهای استان ژجیانگ چین و بررسی روند تکامل آن در طول زمان می‌پردازد. نتایج نشان‌دهنده نیاز به بهبود زیرساخت‌ها و سیاست‌گذاری برای افزایش تاب‌آوری در برابر سیل است. این مطالعه راهکارهای عملی برای برنامه‌ریزی شهری در مناطق مستعد سیل ارائه می‌دهد.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و مطالعات اخیر، مشاهده شد که در هیچ‌یک از آن‌ها تاب‌آوری در برابر سیلاب شهری با تأکید بر قطعات ساختمانی ارزیابی نشده است. همچنین از لحاظ در نظر گرفتن تعداد شاخص محدودی برای ارزیابی تاب‌آوری در برابر سیل در نظر گرفته شده است. بنابراین هدف این پژوهش، طراحی و پیاده‌سازی یک مدل جامع ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر سیل با تأکید بر تحلیل پازل‌های ساختمانی است که بر مبنای تحلیل‌های منطقه‌ای و استفاده از شاخص‌های کلیدی تاب‌آوری تدوین شده است. این مدل با بهره‌گیری از شاخص‌های چندگانه به شناسایی نقاط قوت و ضعف تاب‌آوری در مقیاس محلی می‌پردازد. برای ارزیابی دقیق تاب‌آوری، از ادغام داده‌های مکانی و شاخص‌های استخراج‌شده در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است تا تحلیل‌های فضایی با دقت بالا و قابلیت کاربرد عملی فراهم شود. این رویکرد امکان ارائه راهکارهای هدفمند برای بهبود مدیریت ریسک سیل و تقویت تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری را فراهم می‌کند. در این تحقیق ابتدا روش تحقیق مطرح می‌گردد و سپس با استفاده از منابع کتابخانه‌ای شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری شهرها در برابر سیل شناسایی شد و سپس با استفاده از تکنیک دلفی و

روش‌های تصمیم‌گیری وزن شاخص‌ها محاسبه گردید و در ادامه با استفاده از داده‌های مکانی محله کن شهر تهران، تاب‌آوری قطعات ساختمانی این منطقه محاسبه گردید.

مبانی نظری

تاب‌آوری شهری^۱

مفهوم تاب‌آوری می‌تواند برای شهرها به کار برده شود. برای ارتباط دادن این مفهوم به شهرها، تاب‌آوری شهری به‌سادگی به‌صورت «ظرفیت یک شهر در پس جهیدن از یک ویرانی» تعریف می‌شود. متون تخصصی که در تلاش برای شناسایی وجود تاب‌آوری در شهرها هستند، به‌طور سنتی روی سنجش یا ارزیابی دارایی‌ها یا سیستم‌های شهری تمرکز کرده‌اند. با توجه به وجود چالش‌های بی‌سابقه محیطی، اجتماعی و اقتصادی در قرن ۲۱، ضروری است که به دنبال راهکارهایی برای افزایش تاب‌آوری شهرها و ساکنین آن‌ها باشیم. در حال حاضر آسیب‌پذیری شهرها اغلب به خاطر وقوع بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت است که موجب زیان‌های کالبدی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی شده است (Baibarac & Petrescu, 2017). بنابراین لازم است در قرن حاضر مفهوم توسعه شهری بر اساس قابلیت تاب‌آوری شهرها تعریف شود. کاربرد مفهوم تاب‌آوری در سیستم‌های شهری امری نوآورانه است که این اصل به ظرفیت شهرها به‌عنوان سیستم پیچیده که از اجزاء ناهمگن تشکیل شده، تأکید دارد. شهرها می‌توانند در معرض انواع بحران‌ها قرار بگیرند که هر کدام نیاز به رویکرد خاصی برای تعریف تاب‌آوری دارند (Kwon & Kang, 2016). با این حال، شناسایی انواع الگوهای خاص ارتقاء تاب‌آوری و به اشتراک گذاشتن آن‌ها در سطح جهان به‌منظور اعمال در تمام محیط‌های شهری کار آسانی نیست (Rose, 2007). دلیل این امر این است که هر شهر دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود بوده و خطرات مختلفی هریک از این شهرها را تهدید می‌نماید.

شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری

در مرور ادبیات، شاخص‌های تاب‌آوری شهری در پنج بُعد اصلی طبقه‌بندی شده‌اند. در بُعد کالبدی، معیارهای کاربری زمین (از جمله سازگاری/ناسازگاری کاربری‌ها، مکان‌یابی، تنوع عملکردی و ملاحظات حریم تأسیسات و زیرساخت‌های پرخطر) مورد تأکید است (Talaei et al., 2008; Nieuwenhuis et al., 2021). همچنین «ساختار فضایی شهر» و کیفیت شبکه‌های حیاتی (آب، برق، گاز و زیرساخت‌های سایبری/فناوری اطلاعات) و نیز ویژگی‌های بافت، فرم و خوانایی شهری به‌عنوان مؤلفه‌های اثرگذار گزارش شده‌اند (Dassopoulos & Monnat, 2011). در معیار سازه، متغیرهایی مانند قدمت بنا، مصالح و کیفیت سازه، تراکم و ارتفاع، و رعایت آیین‌نامه‌های ساخت از مهم‌ترین عوامل شناخته شده‌اند (Bitarafan & Nemati, 2026; Lale Arefi et al., 2020; Lale Arefi et al., 2014). و همکاران، ۱۴۰۴).

در معماری ساختمان‌ها نیز نقش ویژگی‌هایی مانند بازشوها و ورودی‌ها و برخی ویژگی‌های عملکردی فضا مطرح شده است (Bitarafan et al., 2015; Nakhaei et al., 2015). افزون بر این، عوامل طبیعی (ویژگی‌های خاک و زمین‌شناسی) و نیز شاخص‌های مرتبط با شبکه ارتباطی (دسترسی و ویژگی‌های معابر) در ادبیات به‌عنوان عناصر کلیدی ذکر شده‌اند.

در بُعد اجتماعی- فرهنگی، معیار جمعیت شامل تراکم و توزیع، رشد جمعیتی، ساختار سنی، سواد، نسبت جنسیت و

جمعیت نیازمند حمایت است (Normandin et al., 2011; Ran et al., 2020). همچنین در معیار سرمایه اجتماعی، آگاهی و آموزش، همبستگی اجتماعی، احساس تعلق/رضایت‌مندی و ناهنجاری‌های اجتماعی به‌عنوان پیشران‌های مهم تاب‌آوری معرفی شده‌اند (Suárez et al., 2016; Cozens, 2011). در بُعد اقتصادی، معیار درآمد با مؤلفه‌هایی نظیر پوشش بیمه، درآمد سرانه، GDP، دسترسی به تسهیلات بانکی و قیمت مسکن سنجیده می‌شود و معیار اشتغال نیز با نرخ اشتغال، جمعیت فعال، اشتغال زنان و ماهیت شغل سرپرست خانوار مرتبط دانسته شده است (Normandin et al., 2011). در بُعد ایمنی و امنیت، دسترسی به فضاهای امدادرسانی شامل بیمارستان، آتش‌نشانی، فضاهای باز، مراکز اسکان موقت، مسیرهای تخلیه، فضاهای چندمنظوره، ارتباطات اضطراری و مراکز پلیس از مهم‌ترین شاخص‌هاست (Rahmani et al., 2023; Davis, 2012). نهایتاً در بُعد سازمانی و نهادی، بستر نهادی (تشکل‌های مردمی، نهادهای مدیریت بحران، مشارکت عمومی و آیین‌نامه‌ها)، روابط نهادی (تعامل با نهادهای محلی و برنامه‌های آمادگی) و عملکرد نهادی (کاهش ریسک، سامانه فرماندهی و ارزیابی خسارت، تیم‌های واکنش سریع، سامانه هشدار سریع و ظرفیت نهادی) به‌عنوان مؤلفه‌های کلیدی گزارش شده‌اند (Razafindrabe et al., 2015).

روش پژوهش

روش IHWP به‌عنوان یکی از رویکردهای تحلیلی در سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، به‌ویژه در شرایطی که داده‌ها با عدم قطعیت و ابهام همراه‌اند، کاربرد دارد. این روش به‌عنوان جایگزینی برای مدل‌های کلاسیک سلسله‌مراتبی نظیر AHP و همچنین مدل‌های فازی توسعه‌یافته است و بر پایه منطق رتبه‌بندی معکوس شاخص‌ها عمل می‌کند. مهم‌ترین مزیت IHWP در مقایسه با سایر روش‌ها، امکان در نظر گرفتن توأمان نظر خبرگان، رتبه‌بندی شاخص‌ها، و محاسبه وزن‌های معکوس است. در کاربردهای ارزیابی آسیب‌پذیری، به‌ویژه در حوزه‌های شهری، حمل‌ونقل، تاب‌آوری، بافت فرسوده و مقاوم‌سازی، IHWP توانسته است انعطاف‌پذیری بالایی در ترکیب داده‌های کمی و کیفی از خود نشان دهد.

فرایند اولیه شامل شناسایی شاخص‌های مؤثر با استفاده از منابع علمی، مطالعات میدانی و مشورت با خبرگان است. سپس، این شاخص‌ها بر اساس درجه اهمیت، در یک طیف پنج‌درجه‌ای رتبه‌بندی می‌شوند. در این مرحله از روش دلفی (Delphi) برای گردآوری و تجمیع دیدگاه‌های خبرگان حوزه‌های مرتبط (مدیریت بحران، مهندسی عمران و برنامه‌ریزی شهری) استفاده می‌شود. در این مدل، وزن نهایی هر شاخص با استفاده از معکوس امتیاز آن محاسبه می‌شود، به‌نحوی که هرچه شاخصی رتبه بالاتری داشته باشد، وزن نهایی آن (با لحاظ فرمول معکوس) کمتر و تأثیر آن در مدل بیشتر خواهد بود.

محاسبات امتیاز لایه‌ها با استفاده از روابط ریاضی مشخص شده در این روش انجام شد (حبیبی، ۱۳۸۵)

$$X = \frac{D}{N} \quad (1)$$

$$j = D - (N - i)X \quad (2)$$

X = امتیاز اولیه هر شاخص D = امتیاز به‌دست‌آمده از مدل دلفی

N = تعداد دسته‌های هر شاخص j = امتیاز به‌دست‌آمده برای دسته‌های هر شاخص

i = رقم اختصاص داده‌شده برای دسته‌های مختلف هر شاخص

در مرحله نخست، مدیران ارشد دارای تجربه گسترده در مدیریت بحران، به همراه گروهی از متخصصان مهندسی زلزله و برنامه‌ریزی شهری، در یک نشست تخصصی به‌منظور پشتیبانی از فرایند تصمیم‌گیری در این حوزه گرد هم آمدند. در

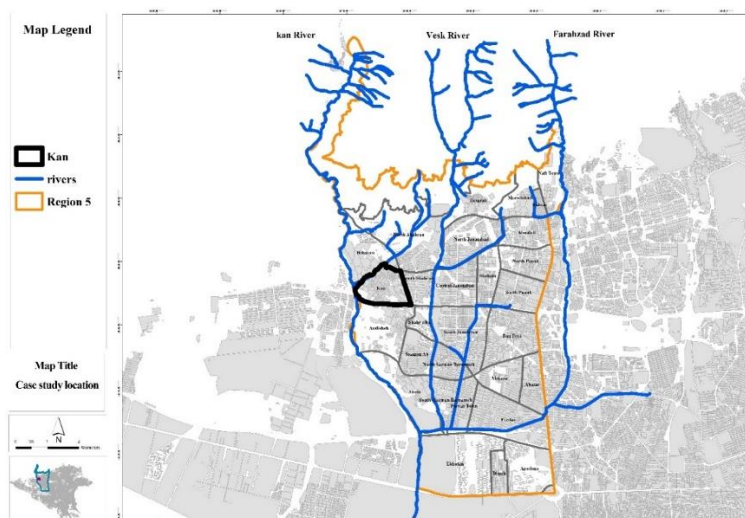
این فرایند، از روش دلفی به‌عنوان یک رویکرد ساخت‌یافته و تعاملی برای گردآوری و اجماع نظر خبرگان استفاده شد. این روش شامل چندین دور مشورت و بازخورد متوالی بود که طی آن، نظرات اولیه کارشناسان جمع‌آوری، تحلیل و مجدداً در اختیار آنان قرار گرفت تا به اجماع نهایی برسند.

بر اساس تحلیل‌ها و مباحث مقدماتی حاصل از این فرایند، تیم تصمیم‌گیری پنج معیار اساسی برای ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر سیل شناسایی کرد. داده‌های گردآوری‌شده عمدتاً از طریق پرسشنامه‌های تخصصی و بحث‌های گروهی (Focus Group) تکمیل شدند. این گروه متشکل از متخصصانی با تخصص‌های متنوع شامل مهندس عمران آب، طراحی شهری، مدیریت بحران و مدیران ارشد می‌باشد که با مشارکت فعال خود، در تعیین معیارهای تاب‌آوری شهری در برابر زلزله نقش اساسی داشته‌اند.

محدوده مورد مطالعه

محلۀ کن در شمال غربی تهران و در منطقه ۵ شهرداری واقع شده است. این محلۀ به دلیل موقعیت کوهپایه‌ای و نزدیکی به رودخانه کن، ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی خاصی دارد که همواره بر ساختار و کاربری آن تأثیرگذار بوده است. محلۀ کن در گذشته به‌عنوان یکی از روستاهای قدیمی تهران شناخته می‌شد و امروزه ترکیبی از بافت‌های مسکونی سنتی و جدید را در خود جای داده است.

از نظر اقلیمی، محلۀ کن دارای اقلیم نیمه‌خشک است که تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب را تجربه می‌کند. میزان بارش در این منطقه نسبتاً کم و متغیر است، اما بارش‌های رگباری و ناگهانی در فصل بهار و پاییز باعث ایجاد خطراتی مانند سیل‌های ناگهانی می‌شود. رودخانه کن که از میان این محلۀ عبور می‌کند، در زمان بارش‌های شدید می‌تواند به منبع سیلاب و تهدید جدی برای ساکنان تبدیل شود. تاریخچه وقوع سیل در محلۀ کن نشان می‌دهد که این منطقه چندین بار با سیلاب‌های جدی مواجه شده است. از جمله سیل ۳ مرداد ۱۳۶۰ که منجر به فوت دو نفر و مجروح شدن پنج نفر شد. همچنین سیل ۲۸ تیر ۱۳۹۴ با بارش شدید و طغیان رودخانه کن خسارات مالی و جانی در پی داشت. در سال‌های اخیر نیز در تاریخ ۵ مرداد ۱۴۰۱، بارش باران شدید سبب وقوع سیلاب و گل‌ولای در منطقه امامزاده داوود شد که منجر به فوت پنج نفر و مجروح شدن هشت نفر گردید.



شکل ۱. موقعیت رودخانه محلۀ کن شهر تهران

یافته‌ها

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا بر اساس امتیازهای داده شده توسط جامعه نخبگان و استفاده از روش IHWP امتیاز نهایی ابعاد و شاخص‌ها به دست آمد و در ادامه نتایج به دست آمده جهت محاسبه تاب‌آوری در برابر سیل بر روی نمونه موردی پیاده‌سازی شده است.

محاسبه امتیاز شاخص‌ها با روش IHWP

در مرحله حاضر پژوهش، وزن دهی به هر یک از شاخص‌ها با بهره‌گیری از مدل وزن دهی سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) محاسبه گردید که این مدل ترکیبی از رویکرد منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است. به منظور تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری، ابتدا شناسایی معیارهای مؤثر بر این پدیده ضروری است. در این مطالعه، ابتدا از طریق بررسی سیستماتیک تحقیقات پیشین، ۸۴ شاخص کلیدی تأثیرگذار بر تاب‌آوری شهری در برابر سیل شناسایی شدند. سپس، با استفاده از روش دلفی و کسب نظرات متخصصان و کارشناسان، این شاخص‌ها امتیازدهی و ارزیابی گردیدند؛ به نحوی که شاخص‌های با اهمیت بالاتر امتیاز ۱۰ و شاخص‌های با اهمیت پایین‌تر امتیاز ۱ را دریافت کردند. در گام بعدی، رتبه معکوس هر شاخص به منظور تعیین وزن آن‌ها برای اعمال در مدل IHWP محاسبه شد. برای هر یک از ۸۴ شاخص مورد بررسی، فرضیه مربوطه اعمال می‌گردد. برای نمونه، با افزایش کیفیت سازه (نوع سازه)، سطح آسیب‌پذیری قطعه زمین (قطعات) مورد مطالعه افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش تراکم جمعیتی، سطح تاب‌آوری کاهش می‌یابد. به همین ترتیب، برای سایر معیارهای مورد بررسی، فرضیه‌های لازم تعریف می‌شود.

همان‌طور که در بخش قبل مطرح شد پنج بعد برای ارزیابی شاخص‌های تاب‌آوری شهرها در برابر سیل در نظر گرفته شد که بر اساس نتایج به دست آمده از روش دلفی بعد کالبدی بیشترین امتیاز را کسب نموده که دلیل آن می‌تواند رابطه مستقیم و قوی این بعد با سطح آسیب‌پذیری و خسارات و تلفات انسانی باشد و در رتبه بعدی بعد فرهنگی و اجتماعی قرار دارد و به ترتیب بعدها ایمنی و امنیت و اقتصادی و در نهایت بعد سازمانی و نهادی قرار گرفته است.

در بعد کالبدی شش شاخص تعریف شده است که شاخص سازه رتبه اول قرار گرفته و به ترتیب شاخص‌های کاربری زمین، شبکه ارتباطی، ساختار فضایی شهری، عوامل طبیعی و معماری ساختمان قرار گرفته است و همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌کنید نوع سازه با امتیاز ۱۲ بیشترین امتیاز را به دست آورده و جنس مصالح با امتیاز ۱۰.۲۹ در رتبه دوم، تعداد طبقات با امتیاز ۸.۵۷ در رتبه سوم قرار گرفته است و تراکم ساختمانی، رعایت آیین‌نامه‌های ساخت و ساز، سال ساخت ابنیه، جنس نما و سطح اشغال در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در شاخص کاربری زمین حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها و مکان‌یابی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است.

جدول ۱. امتیاز شاخص‌ها بر اساس نتایج IHWP

شاخص	طبقه‌بندی	X	i	امتیاز	شاخص	طبقه‌بندی	X	i	امتیاز
بیمارستان و مراکز امدادی	۱	۸	۹/۰۰	۸	نوع سازه (کیفیت)	۱	۷/۷۱	۷	۱۲/۰۰
فضاهای سبز و باز	۱	۷	۷/۸۸	۷	جنس مصالح	۱	۱۰/۲۹	۶	۱۰/۲۹
آتش‌نشانی	۱	۶	۶/۷۵	۶	تعداد طبقات	۱	۸/۵۷	۵	۸/۵۷
مسیرهای تخلیه	۱	۵	۵/۶۳	۵	تراکم ساختمانی	۱	۶/۸۶	۴	۶/۸۶
مراکز اسکان موقت	۱	۴	۴/۵۰	۴	رعایت آیین‌نامه‌های ساخت و ساز	۱	۵/۱۴	۳	۵/۱۴
فضاهای چندمنظوره	۱	۳	۳/۲۸	۳	سال ساخت ابنیه (قدمت)	۱	۲/۴۳	۲	۲/۴۳
شبکه ارتباطات مخابراتی اضطراری	۱	۲	۲/۲۵	۲	سطح اشغال	۱	۱/۷۱	۱	۱/۷۱
مراکز پلیس و نیروی انتظامی	۱	۱	۱/۱۳	۱	حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها	۱	۱۴	۷	۲/۰۰
ویژگی‌های ورودی ساختمان	۱	۵	۷/۰۰	۵	مکان‌یابی	۱	۱۲	۶	۲/۰۰

ردیف	میزان	وزن	توضیح	میزان	وزن	میزان	توضیح	گروه
۱۰	۵	۲/۰۰	حرایم تأسیسات خطرزا (تأسیسات قابل انفجار، قابل اشتعال و نشر مواد سمی)	۵/۶۰	۴	۱/۴۰	بازشوهای ساختمانی	سرمایه انسانی
۸	۴	۲/۰۰	هم‌جواری و سازگاری کاربری‌ها	۴/۲۰	۳	۱/۴۰	فضاهای داخلی ساختمان	
۶	۳	۲/۰۰	حرایم بافت‌های فرسوده	۲/۸۰	۲	۱/۴۰	استقلال فضاهای ساختمان	
۴	۲	۲/۰۰	اختلاط و تنوع عملکردی کاربری‌ها	۱/۴۰	۱	۱/۴۰	ترتیبات ساختمان	
۲	۱	۲/۰۰	حرایم صنایع و زیرساخت‌ها	۶/۰۰	۵	۱/۲۰	آموزش ضوابط ایمنی در برابر تهدید	
۱۰/۰۰	۸	۱/۲۵	توزیع و تراکم جمعیتی	۴/۸۰	۴	۱/۲۰	همبستگی اجتماعی در مواقع بروز بحران	
۸/۷۵	۷	۱/۲۵	بعد خانوار	۳/۶۰	۳	۱/۲۰	میزان آگاهی از وقوع تهدید	
۷/۵۰	۶	۱/۲۵	رشد جمعیتی	۲/۴۰	۲	۱/۲۰	میزان احساس تعلق و رضایت‌مندی	
۶/۲۵	۵	۱/۲۵	جمعیت بومی	۱/۲۰	۱	۱/۲۰	میزان ناهنجاری‌های اجتماعی	
۵/۰۰	۴	۱/۲۵	نسبت جنسیت	۵	۵	۱	پوشش بیمه	
۳/۷۵	۳	۱/۲۵	سن جمعیت	۴	۴	۱	میزان درآمد سرانه	درآمد
۲/۵۰	۲	۱/۲۵	سواد جمعیت	۳	۳	۱	سرانه ناخالص داخلی (GDP)	
۱/۲۵	۱	۱/۲۵	میزان جمعیت نیازمند حمایت	۲	۲	۱	دسترسی به تسهیلات بانکی مرتبط	
۱۳/۰۰	۱۰	۱/۳۰	پوشش گیاهی	۱	۱	۱	قیمت مسکن	
۱۱/۷۰	۹	۱/۳۰	ارتفاع رواناب	۴/۰۰	۵	۰/۸۰	داشتن برنامه کاهش ریسک	
۱۰/۴۰	۸	۱/۳۰	شکل حوضه	۳/۲۰	۴	۰/۸۰	وجود سامانه فرماندهی حوادث و ارزیابی خسارات	
۹/۱۰	۷	۱/۳۰	نرخ نفوذپذیری آب	۲/۴۰	۳	۰/۸۰	وجود تیم‌های واکنش سریع	
۷/۸۰	۶	۱/۳۰	مساحت حوزه و حجم آب	۱/۶۰	۲	۰/۸۰	وجود سامانه هشدار سریع در ارتباط با تهدید	
۶/۵۰	۵	۱/۳۰	دوره بازگشت سیل	۰/۸۰	۵	۰/۸۰	ظرفیت‌ها و توانمندی نهادها	
۵/۲۰	۴	۱/۳۰	توپوگرافی و شیب زمین	۳/۰۰	۴	۰/۷۵	وجود تشکلهای مردمی	
۳/۹۰	۳	۱/۳۰	بافت خاک	۲/۲۵	۳	۰/۷۵	وجود نهادهای مرتبط با مدیریت بحران	بستر نهادی
۲/۶۰	۲	۱/۳۰	جنس زمین	۱/۵۰	۲	۰/۷۵	میزان مشارکت مردم در تصمیم‌گیری برای مقابله با بحران	
۱/۳۰	۱	۱/۳۰	لیتولوژی (سنگ‌شناسی زمین)	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	وجود برنامه‌ها و آیین‌نامه‌های مرتبط با مدیریت بحران	روابط نهادی
۱۱/۰۰	۹	۱	میزان وابستگی و اندرکنش زیرساخت‌ها	۲	۲	۱	برنامه‌های آمادگی (تمرین، مانور و...)	
۹/۷۸	۸	۱	بافت و الگوی شهری	۱	۱	۱	میزان تعامل ساکنان با نهادهای محلی	
۸/۵۶	۷	۱	میزان برخورداری از برق	۱/۰۰	۴	۰/۲۵	میزان جمعیت فعال	اشتغال
۷/۲۳	۶	۱	میزان برخورداری از آب	۰/۷۵	۳	۰/۲۵	نرخ اشتغال	
۶/۱۱	۵	۱	فرم شهری	۰/۵۰	۲	۰/۲۵	اشتغال زنان	
۴/۸۹	۴	۱	میزان برخورداری از گاز	۰/۲۵	۱	۰/۲۵	ماهیت شغل سرپرست خانوار	
۳/۶۷	۳	۱	میزان برخورداری از زیرساخت سایبری (فناوری اطلاعات)	۸/۰۰	۵	۲	دسترسی به راه	
۲/۴۴	۲	۱	میزان خوانایی شهری	۶/۴۰	۴	۲	عرض راه	شبکه ارتباطی
۱/۲۲	۱	۱	درصد ساخت‌وسازهای غیرمجاز	۴/۸۰	۳	۲	درجه محصوریت	
				۳/۲۰	۲	۲	حرایم پل‌ها	
				۱/۶۰	۱	۲	سلسله‌مراتب راه	

اعتبارسنجی نتایج IHWP با روش AHP

به‌منظور ارزیابی روایی و استحکام نتایج حاصل از روش IHWP، در این بخش یک تحلیل تطبیقی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شد. بدین منظور، ساختار شاخص‌ها مطابق چارچوب پژوهش در قالب یک مدل سلسله‌مراتبی شامل سطح اول (ابعاد اصلی) و سطوح پایین‌تر (زیرمعیارها و زیرشاخص‌ها) حفظ گردید. سپس در هر سطح، ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل و وزن‌های نسبی معیارها با روش بردار ویژه استخراج شد. به‌منظور اطمینان از سازگاری قضاوت‌ها، شاخص سازگاری و نرخ ناسازگاری (CR) برای ماتریس‌ها محاسبه گردید و نتایج، سازگاری قابل قبول مقایسه‌ها را نشان داد.

در ادامه، وزن‌های به‌دست‌آمده از AHP با وزن‌های محاسبه‌شده در IHWP در سطوح مختلف مقایسه شد. علاوه بر این، برای فراهم‌سازی امکان مقایسه جامع، وزن‌های هر شاخص از طریق ترکیب (ضرب) وزن‌های سلسله‌مراتبی محاسبه و رتبه‌بندی نهایی شاخص‌ها در هر دو روش استخراج گردید. درنهایت، میزان هم‌جهتی رتبه‌بندی شاخص‌ها در دو روش با استفاده از معیارهای همبستگی رتبه‌ای (اسپیرمن و کندال) سنجیده شد. مجموعه این نتایج مبنایی برای ارزیابی همخوانی الگوی وزن دهی و پایداری رتبه‌ها میان IHWP و AHP فراهم می‌کند.

جدول ۲. مقایسه وزن شاخص‌های اصلی بر اساس روش IHWP و AHP

بُعد	وزن IHWP	درصد IHWP	وزن AHP	درصد AHP
کالبدی	۰/۶۵۷	٪۶۵/۷	۰/۶۸۹	٪۶۸/۹
اجتماعی و فرهنگی	۰/۱۵۰	٪۱۵/۰	۰/۱۴۳	٪۱۴/۳
ایمنی و امنیت	۰/۰۹۷	٪۹/۷	۰/۰۹۴	٪۹/۴
سازمانی و نهادی	۰/۰۵۴	٪۵/۴	۰/۰۴۰	٪۴/۰
اقتصادی	۰/۰۴۲	٪۴/۲	۰/۰۳۴	٪۳/۴

جدول ۳. میزان هم‌جهتی رتبه‌بندی وزن‌ها در روش IHWP و AHP

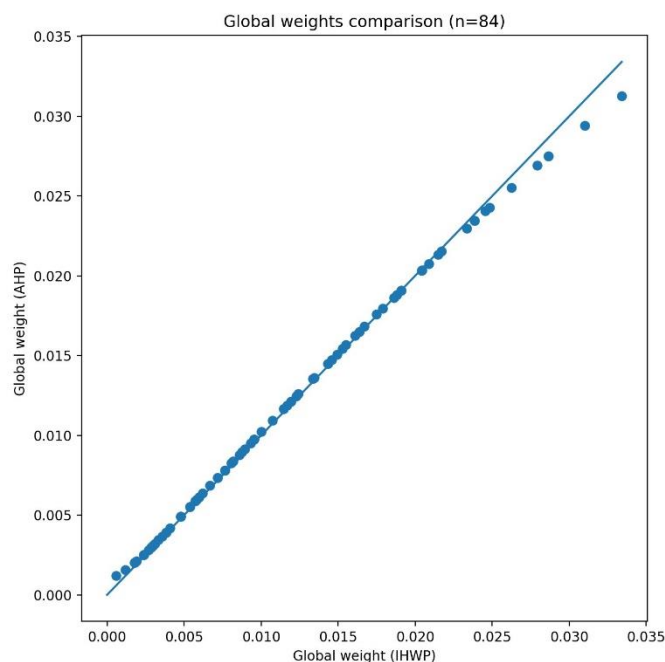
تفسیر	p-value	ضریب شاخص
همبستگی رتبه‌ای	۱/۱۸ e-۱۷۴	Spearman ρ ۱/۰۰۰
توافق رتبه‌ها	۷/۳۱ e-۴۱	Kendall τ ۰/۹۹۹
همبستگی خطی وزن‌ها	۶/۹۸ e-۷۵	Pearson r ۰/۹۹۲

جدول ۴. ده زیر شاخص با بیشترین وزن به‌دست‌آمده و مقایسه روش IHWP و AHP

بُعد	شاخص — طبقه	رتبه IHWP	وزن IHWP	رتبه AHP	وزن AHP
کالبدی	کاربری زمین — حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها	۱	۰/۰۳۳۴	۱	۰/۰۴۰۵
کالبدی	عوامل طبیعی — پوشش گیاهی	۲	۰/۰۳۱۰	۲	۰/۰۳۷۶
کالبدی	سازه — نوع سازه (کیفیت)	۳	۰/۰۲۸۶	۳	۰/۰۳۵۱
کالبدی	کاربری زمین — مکان‌یابی	۳	۰/۰۲۸۶	۳	۰/۰۳۵۱
کالبدی	عوامل طبیعی — ارتفاع رواناب	۵	۰/۰۲۷۹	۵	۰/۰۳۳۷
کالبدی	ساختار فضایی شهر — میزان وابستگی و اندرکنش زیرساخت‌ها	۶	۰/۰۲۶۳	۶	۰/۰۳۱۷
کالبدی	عوامل طبیعی — شکل حوضه	۷	۰/۰۲۴۸	۷	۰/۰۲۹۳
کالبدی	سازه — جنس مصالح	۸	۰/۰۲۴۶	۸	۰/۰۲۸۸
اجتماعی و فرهنگی	جمعیت — توزیع و تراکم جمعیتی	۹	۰/۰۲۳۹	۹	۰/۰۲۷۴
کالبدی	کاربری زمین — حرایم تأسیسات خطرزا (تأسیسات قابل انفجار، قابل اشتعال و نشر مواد سمی)	۹	۰/۰۲۳۹	۹	۰/۰۲۷۴

نتایج مقایسه IHWP و AHP نشان می‌دهد که دو روش از نظر الگوی کلی وزن دهی و اولویت‌بندی، هم‌جهتی بالایی دارند. در سطح اول، وزن‌های تجمعی ابعاد در هر دو روش تصویر یکسانی از ساختار اهمیت ارائه می‌کنند؛ به این معنا که بُعد کالبدی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده و پس از آن ابعاد اجتماعی-فرهنگی و ایمنی-امنیت قرار می‌گیرند، درحالی‌که ابعاد اقتصادی و سازمانی-نهادی سهم کمتری دارند. در سطح شاخص‌ها نیز مقایسه وزن‌های جهانی نشان می‌دهد نقاط عمدتاً پیرامون خط $y=x$ متمرکزند؛ یعنی شاخص‌هایی که در IHWP وزن بالاتری دارند، در AHP نیز عموماً وزن بالاتری می‌گیرند و تفاوت‌ها عمدتاً در شدت تخصیص وزن است نه در جهت‌گیری رتبه‌ها. از منظر آماری، ضرایب همبستگی گزارش شده (پیرسون، اسپیرمن و کندال) همگی بالا و معنادار هستند؛ بدین معنا که هم رابطه

خطی بین وزن‌ها (پیرسون) قوی است و هم پایداری رتبه‌بندی (اسپیرمن و کندال) در سطح مطلوبی قرار دارد. اختلاف‌های عددی محدود قابل‌انتظار است، زیرا AHP به دلیل اتکا به مقایسه‌های زوجی و لحاظ «شدت ترجیح» معمولاً وزن‌ها را اندکی متمرکزتر روی معیارهای غالب توزیع می‌کند، درحالی‌که IHWP مبتنی بر امتیاز/رتبه بوده و توزیع متوازن‌تری ایجاد می‌کند. در مجموع، هم‌راستایی در سطح ابعاد، نزدیکی وزن‌های جهانی، و همبستگی‌های بالای رتبه‌ای و خطی نشان می‌دهد نتایج IHWP از نظر جهت‌گیری و اولویت‌بندی با AHP سازگار بوده و از پایداری و روایی قابل دفاع برخوردار است.



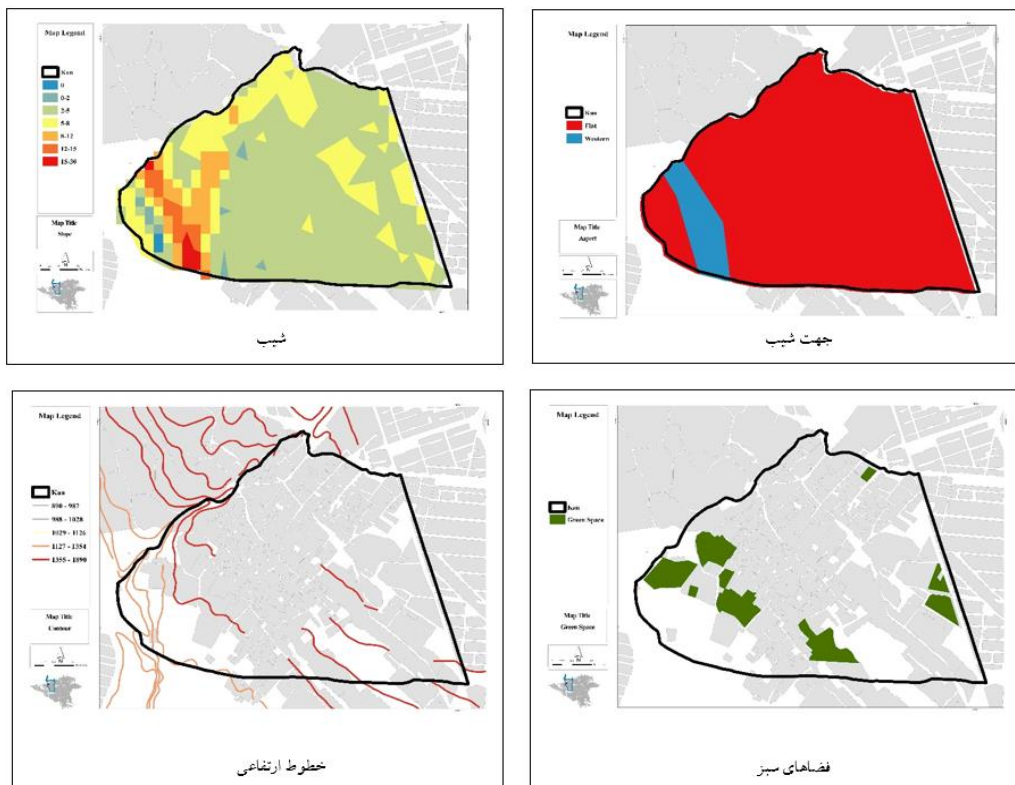
شکل ۲. مقایسه وزن‌های کلی IHWP و AHP (n=84)

این نمودار پراکنش رابطه بین وزن‌های جهانی به‌دست‌آمده از دو روش را نشان می‌دهد؛ خط مورب ترسیم‌شده، خط مرجع برابری ($y=x$) است. تمرکز نقاط در نزدیکی این خط بیانگر همخوانی بالا و توافق قابل‌توجه دو روش در تخصیص وزن‌های جهانی به شاخص‌هاست.

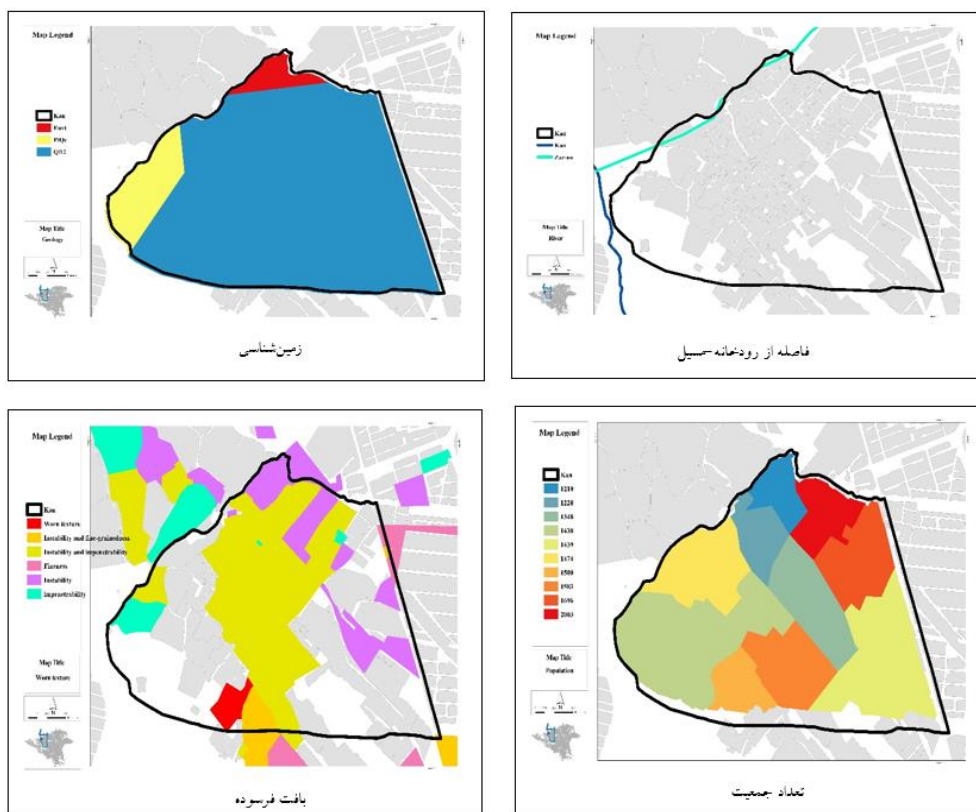
محاسبه میزان تاب‌آوری نمونه موردی در برابر مخاطره سیل

به‌منظور بررسی میزان تاب‌آوری محدوده مورد مطالعه در برابر سیل، ۱۸ شاخص انتخاب‌شده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، خطوط ارتفاعی، حریم رودخانه مسیل، فضاها، سبز و باز، تعداد جمعیت، کیفیت ابنیه، قدمت ابنیه، بافت فرسوده، جنس مصالح ابنیه. در ادامه وضعیت محله کن با توجه به ۱۸ شاخص مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته‌شده وضعیت تاب‌آوری در محله کن شهر تهران در برابر سیل مورد بررسی قرار گرفت که نقشه‌های مربوط به ارزیابی تاب‌آوری این محله در هریک از شاخص‌ها به تفکیک در زیر ارائه شده است.

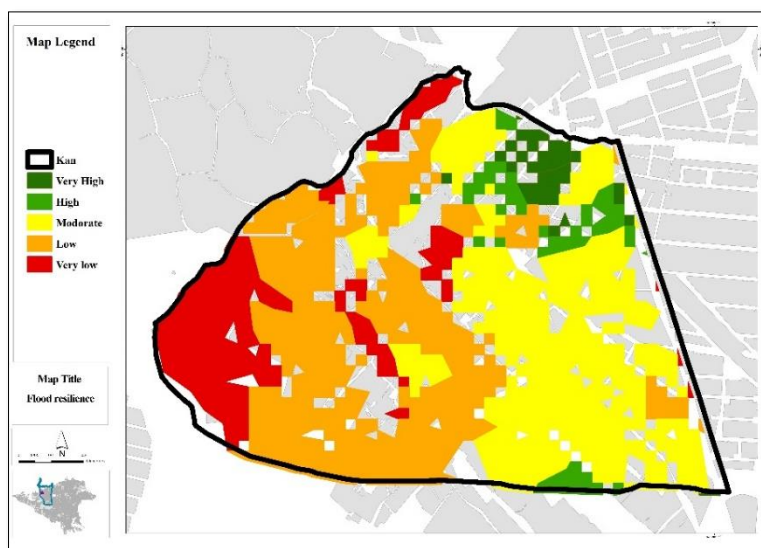


شکل ۳. ارزیابی تاب‌آوری در محله کن شهر تهران در برابر سیل در شاخص‌های جهت شیب، شیب، فضای سبز و خطوط ارتفاعی



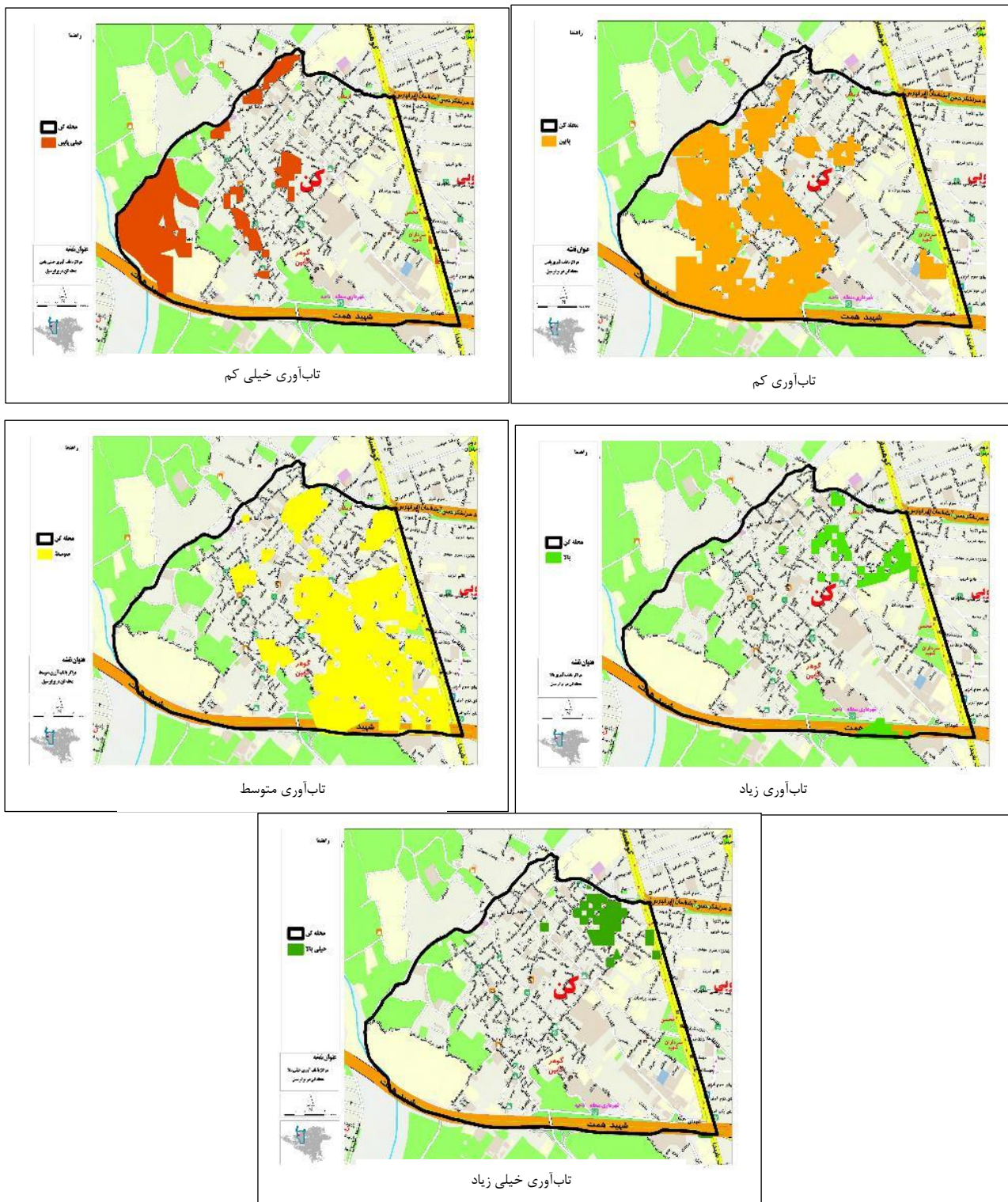
شکل ۴. ارزیابی تاب‌آوری در محله کن شهر تهران در برابر سیل در شاخص‌های فاصله از رودخانه-سیل، زمین‌شناسی، تعداد جمعیت و بافت فرسوده

در ادامه با توجه به توضیحات گفته‌شده در بخش‌های اخیر، متناسب با معکوس رتبه کسب‌شده، وزن دهی به کلاس‌های هر لایه صورت گرفت و با استفاده از ابزار Raster Calculator ستون‌های امتیازات مربوط به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ایجادشده با یکدیگر جمع می‌شود. به این ترتیب مجموع ۱۸ ستون مربوط به ۱۸ لایه اطلاعاتی در مورد هر یک از قطعات امتیاز هر واحد را از نظر تاب‌آوری در برابر سیل نسبت به سایر واحدها مشخص می‌کند. در این مرحله نقشه نهایی با کلاس‌بندی داده‌ها در ۵ طبقه متمایز شامل (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) از نظر تاب‌آوری در مقابل مخاطره سیل فراهم می‌گردد. به عبارت دیگر امتیازهای مربوط به هر واحد از ۱۸ شاخص و کلاس‌های طبقه‌بندی آن‌ها جمع و نقشه تاب‌آوری منطقه در مقابل سیل تولیدشده است. در شکل ۴ میزان تاب‌آوری محله کن شهر تهران در برابر سیل نشان داده شده است.



شکل ۵. تاب‌آوری محله کن شهر تهران در برابر سیل

نتایج نشان می‌دهد ۱۷/۰۷ درصد مساحت محله در تاب‌آوری خیلی کم که در بخش شرقی محله و در اطراف رودخانه کن هستند. ۳۲/۵۲ درصد محله از میزان تاب‌آوری کم که بخش‌های وسیعی از شمال غربی و جنوب غربی محله را شامل می‌شود. ۲۶/۰۲ درصد محله در میزان تاب‌آوری متوسط در بخش‌های شرق و جنوب شرق محله متمرکز می‌باشد. ۱۲/۹۹ درصد محله در محدوده تاب‌آوری زیاد شامل بخش‌های شمال شرق محله است. ۱۰/۸۱ درصد محله در محدوده تاب‌آوری خیلی بالا که شمال شرق محله را شامل می‌شود. جهت مقایسه و فهم بهتر موضوع به تفکیک تاب‌آوری در پهنه‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۶. پهنه‌بندی تاب‌آوری محلۀ کن شهر تهران در برابر سیل

بحث

نتایج این تحقیق نشان دهد در محلۀ کن بخش شمال شرق آن تاب‌آوری زیادی در برابر سیل وجود دارد و بخش شرقی محلۀ در نزدیکی رودخانه کن نیز از تاب‌آوری خیلی کمی برخوردار است. در شاخص میزان شیب در غرب محلۀ در

محدوده خیابان شهید قربانی، حاج حسن‌علی، سید جمال و محدوده بزرگراه همت، بالا می‌باشد. به‌طور کلی بخشی که رودخانه کن عبور می‌کند از میزان شیب بالاتری برخوردار است. شاخص جهت شیب نیز مانند شاخص شیب در بخش غربی محله به سمت غرب بوده و در صورت بروز سیل محدوده غربی بیشتر در معرض سیل‌خیزی خواهد بود. در شاخص زمین‌شناسی، بالای ۹۰ درصد محله را ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای کم ارتفاع تشکیل می‌دهد که پوشیده از خاک‌های ماسه‌ای و رس می‌باشد که از میزان نفوذپذیری و ظرفیت پایین نگه‌داشت آب برخوردار است. و همچنین خاک‌های سطحی و کم‌عمق حوضه کن اغلب در شیب‌های تند گسترش دارند و به دلیل نفوذپذیری ضعیف در زمان بارش‌های شدید فرسایش‌پذیر هستند.

در شاخص خطوط ارتفاعی، شمال غرب محله از ارتفاع بالاتری نسبت به سایر بخش‌ها برخوردار است که نشان از سیل‌خیزی این بخش دارد. در شاخص حریم رودخانه-سیل، محله در غرب با رودخانه کن و در شمال با مسیل دره زرنو هم‌جوار بوده و سیل‌خیز است. در شاخص فضاهای سبز و باز، شمال و شمال شرق محله از وضعیت مناسبی برخوردار نبوده و جنوب شرق محله که هم‌جوار با رودخانه کن دارای وضعیت مناسبی بودی و از میزان خطر سیل می‌کاهد. حضور پوشش گیاهی به‌صورت فضاهای سبز در سطح حوزه کن، به‌واسطه تأثیراتی که بر مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیکی حوضه اعمال می‌کند، یکی از عوامل کاهش‌دهنده پتانسیل سیل‌خیزی به شمار می‌رود. میزان رواناب تولیدشده در جاهایی که پوشش گیاهی دارد، بسیار کمتر از سایر کاربری‌ها است. در شاخص تعداد جمعیت، شمال و شمال شرق محله دارای جمعیت بیشتری است و بخش جنوب و شرق به علت وجود فضاهای سبز و باز از جمعیت کمتری برخوردار بوده و تاب‌آوری بیشتر در برابر سیل دارد. در شاخص کیفیت و قدمت ابنیه، بافت مرکزی محله که دارای بافت فرسوده است از کیفیت ابنیه پایینی و قدمت بالایی برخوردار بوده و در مقابل سیل آسیب‌پذیر است. در شاخص بافت فرسوده، ناپایداری و نفوذپذیری ویژگی غالب محله کن می‌باشد و بیشتر نواحی مرکزی از این خصیصه برخوردار است. در شاخص جنس مصالح ابنیه، بیشتر محله از جنس سازه بنایی بوده که از تاب‌آوری پایینی در برابر سیل برخوردار است.

علی‌رغم آن که یافته‌های این پژوهش در کلیت با نتایج مطالعات پیشین همخوانی دارد، پژوهش حاضر از حیث مقیاس تحلیل، جامعیت شاخص‌ها و قلمرو مطالعه، واجد تمایز و نوآوری است. نخست، ارزیابی تاب‌آوری در این تحقیق در سطح پارسل (قطعه) ساختمانی انجام شده؛ درحالی که بخش قابل‌توجهی از مطالعات پیشین، تحلیل را در مقیاس‌های درشت‌تری مانند محله، منطقه یا شهر دنبال کرده‌اند. این امر سبب شده است الگوی فضایی تاب‌آوری با دقت بیشتری آشکار شود و پهنه‌های دارای ریسک بالاتر به‌صورت جزئی‌تر شناسایی شوند. دوم، استفاده از تعداد قابل‌توجهی از شاخص‌های مؤثر بر تاب‌آوری و تلفیق هم‌زمان آن‌ها در چارچوب ارزیابی، امکان ارائه تصویری چندبعدی و واقع‌بینانه‌تر از وضعیت تاب‌آوری را فراهم کرده است. سوم، از منظر مطالعه موردی، محله کن با وجود قرارگیری در معرض خطر سیلاب و برخورداری از ویژگی‌های خاص کالبدی و محیطی، تاکنون با چنین رویکردی مورد ارزیابی قرار نگرفته بود. از این‌رو، پژوهش حاضر ضمن تأیید برخی نتایج مطالعات پیشین، از نظر روش‌شناسی و حوزه کاربرد نیز بر غنای ادبیات تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب می‌افزاید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به ارزیابی میزان تاب‌آوری محله کن شهر تهران در برابر سیل پرداخته شده است. در این راستا جهت ارزیابی تاب‌آوری به شناسایی وضع موجود منطقه با استفاده از شاخص‌های معرفی‌شده گردیده است که این شاخص‌ها از مطالعات گوناگونی استخراج شده است. با توجه به این که معیارهای مؤثر در تاب‌آوری از اهمیت یکسانی برخوردار نبودند،

اهمیت نسبی شاخص‌ها توسط کارشناسان خبره وزن دهی شده و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری (روش *IHPW*) مورد محاسبه قرار گرفت و به این نتیجه رسیده شد که بعد کالبدی بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری شهری دارد و بعد سازمانی و نهادی کمترین تأثیر را بر تاب‌آوری دارد که دلیل این موضع هم تأثیر مستقیم بعد کالبدی بر میزان خسارت و تلفات انسانی می‌باشد.

در میان شاخص‌ها نوع سازه با امتیاز ۱۲ بیشترین امتیاز را به دست آورده و جنس مصالح با امتیاز ۱۰.۲۹ در رتبه دوم، تعداد طبقات با امتیاز ۸.۵۷ در رتبه سوم قرار گرفته است و تراکم ساختمانی، رعایت آیین‌نامه‌های ساخت‌وساز، سال ساخت ابنیه، جنس نما و سطح اشغال در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در شاخص کاربری زمین حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها و مکان‌یابی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. در مجموع شاخص حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها با امتیاز ۱۴ به‌عنوان مهم‌ترین شاخص تعیین گردید. در رتبه دوم پوشش گیاهی با امتیاز ۱۳ قرار دارد و مکان‌یابی و نوع سازه (کیفیت) با امتیاز ۱۲ به ترتیب در رتبه‌های بعدی تأثیرگذارترین شاخص‌ها بر تاب‌آوری قرار گرفتند.

درنهایت به این نتیجه رسیده شد که ۱۷/۰۷ درصد مساحت محله در تاب‌آوری خیلی کم که در بخش شرقی محله و در حول رودخانه کن هستند. ۳۲/۵۲ درصد محله از میزان تاب‌آوری کم که بخش‌های وسیعی از شمال غربی و جنوب غربی محله را شامل می‌شود. ۲۶/۰۲ درصد محله در میزان تاب‌آوری متوسط در بخش‌های شرق و جنوب شرق محله متمرکز می‌باشد. ۱۲/۹۹ درصد محله در محدوده تاب‌آوری زیاد شامل بخش‌های شمال شرق محله است. ۱۰/۸۱ درصد محله در محدوده تاب‌آوری خیلی بالا که شمال شرق محله را شامل می‌شود.

در ادامه پیشنهادهای تحقیق در جهت افزایش تاب‌آوری محله در برابر سیل شامل موارد زیر است:

- در مسیر خطر سیل موانع متحرکی به‌صورت پوشش گیاهی بخصوص در غرب محله ایجاد شود.
- در خیابان‌های با خطر سیل بالا، مخازن خاص ذخیره آب سیل بخصوص خیابان باغ تمشک، عسگری و جمال پیش‌بینی شود.

• ساخت‌وسازهای مسکونی در حال اجرا در نزدیکی رودخانه باید با رعایت حریم قانونی و حفظ فاصله ایمن از بستر آن انجام پذیرد.

• گسترش باغداری و فعالیت‌های کشاورزی پایدار با تمرکز بر بهره‌وری بلندمدت در بستر رودخانه ممنوع و متوقف شود؛ همچنین، در حریم رودخانه، این فعالیت‌ها بر اساس مقررات ویژه آن منطقه اعمال گردد.

• به‌منظور کاهش ریسک سیلاب، بهره‌برداری از مراتع و پوشش گیاهی در سراسر حوزه کن باید مدیریت و کنترل شود و مراتع آسیب‌دیده احیا گردد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رسانده‌اند، به‌ویژه افرادی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را انجام داده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

حبیبی، کیومرث. (۱۳۸۵). ارزیابی سیاست‌های توسعه کالبدی، بازسازی و احیای بافت‌های تاریخی شهری با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). رساله دکتری، دانشگاه تهران.

لعل عارفی، شاهین؛ حاتمی نژاد، حسین و غفوری زرنندی، علیرضا. (۱۴۰۴). ارزیابی روش‌های کنترل سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با رویکرد دومنظوره سازی و استفاده از روش AHP. شهر/ایمن، ۸ (۳)، ۸۲-۹۷.

References

- Adeyeye, K., & Emmitt, S. (2017). Multi-scale, integrated strategies for urban flood resilience. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 8(5), 494–520. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-11-2016-0044>
- Arefi, S. L., & Gholizad, A. (2020). Damage detection of truss structures by reduction of degrees of freedom using the SEREP method. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15(1), 1-25. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.459>
- Arefi, S.L., Gholizad, A., & Seyedpoor, S.M. (2020). A modified index for damage detection of structures using improved reduction system method. *Smart Structures and Systems*, 25(1), 1–25. <https://doi.org/10.12989/sss.2020.25.1.001>
- Baibarac, C., & Petrescu, D. (2017). Open-source resilience: A connected commons-based proposition for urban transformation. *Procedia Engineering*, 198, 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.157>
- Bhattacharya, N. (2010). *Flood risk assessment in Barcelona*. Enschede: University of Twente. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.
- Bitarafan, M., & Nemati, A. (2026). Constructed urban infrastructure safety prediction under explosive effects using hybrid explainable ML approaches. *Structures*, 84, 110928. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.110928>
- Bitarafan, M., Amini Hosseini, K., & Hashemkhani Zolfani, S. (2023). Evaluating natural hazards in cities using a novel integrated MCDM approach (case study: Tehran city). *Mathematics*, 11(8), 1936. <https://doi.org/10.3390/math11081936>
- Bitarafan, M., Hossainzadeh, Y., & Yaghmayi, S. (2013). Evaluating the connecting members of cold-formed steel structures in reconstruction of earthquake-prone areas in Iran using the AHP methods. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 711–716. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.07.007>
- Bitarafan, M., Hosseini, S.B., Abazarlou, S., & Mahmoudzadeh, A. (2015). Selecting the optimal composition of architectural forms from the perspective of civil defense using AHP and IHWP methods. *Architectural Engineering and Design Management*, 11(2), 137–148. <https://doi.org/10.1080/17452007.2013.802982>
- Bitarafan, M., Zolfani, S.H., Arefi, S.L., & Zavadskas, E.K. (2012). Evaluating the construction methods of cold-formed steel structures in reconstructing the areas damaged in natural crises, using the methods AHP and COPRAS-G. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12(3), 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2012.06.015>
- Cozens, P. M. (2011). Urban planning and environmental criminology: Towards a new perspective for safer cities. *Planning practice and research*, 26(4), 481-508. <https://doi.org/10.1080/02697459.2011.582357>
- Dassopoulos, A., & Monnat, S. M. (2011). Do perceptions of social cohesion, social support, and social control mediate the effects of local community participation on neighborhood satisfaction?. *Environment and Behavior*, 43(4), 546-565. <https://doi.org/10.1177/0013916510366821>
- Davis, D.E., (2012). *Urban resilience in situations of chronic violence*. Washington, DC: United States Agency for International Development (USAID).

- Doornkamp, T.J.L., Vinke-de Kruijf, J., Pahlow, M., & Matheson, D. (2024). How flood risk management projects can improve urban resilience: A combined assessment approach of functional resilience and adaptive capacity. *Australasian Journal of Water Resources*, 29(1), 8–18. <https://doi.org/10.1080/13241583.2024.2429226>
- Fakhruddin, B.S., Reinen-Hamill, R., & Robertson, R. (2019). Extent and evaluation of vulnerability for disaster risk reduction of urban Nuku'alofa, Tonga. *Progress in Disaster Science*, 2, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100017>
- Hosseini, S.T., Lale Arefi, S., Bitarafan, M., Abazarlou, S., & Zavadskas, E.K. (2016). Evaluation types of exterior walls to reconstruct Iran earthquake areas (Ahar Heris Varzeqan) by using AHP and fuzzy methods. *International Journal of Strategic Property Management*, 20(3), pp.328–340. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2016.1190794>
- Kwon, H. Y., & Kang, Y. O. (2016). Risk analysis and visualization for detecting signs of flood disaster in Twitter. *Spatial information research*, 24(2), 127-139. <https://doi.org/10.1007/s41324-016-0014-1>
- Lale Arefi, S., Gholizad, A., & Seyedpoor, S. M. (2020). Damage detection of structures using modal strain energy with guyan reduction method. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 8(4), 47-60. <https://doi.org/10.22075/jrce.2020.19803.1384>
- Lale Arefi, S., Naghipour, M., Turskis, Z., & Nematzadeh, M. (2014). Evaluation of grooving method to postpone debonding of FRP laminates in WPC-FRP beams. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(2), 237–246. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.878379>
- Lu, P., & Sun, Y. (2023). Scenario-based hydrodynamic simulation of adaptive strategies for urban design to improve flood resilience: A case study of the Mingzhu Bay Region, Guangzhou, Greater Bay Area. *River Research and Applications*, 39(7), 1425-1436. <https://doi.org/10.1002/tra.3913>
- Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35, 101069. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101069>
- Nakhaei, J., Forghani, S., Bitarafan, M., Lale Arefi, S., & Šaparauskas, J. (2015). Reinforcement of laminated glass facades against the blast load. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(8), 1085–1097. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1109544>
- Nieuwenhuis, E., Cuppen, E., Langeveld, J., & de Bruijn, H. (2021). Towards the integrated management of urban water systems: Conceptualizing integration and its uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124977>
- Normandin J. M., Therrien M. C., & Tanguay G. A. (2011), city strength in times of turbulence: strategic resilience indicators. *urban affairs associaton 41st conference, New Orleans*.
- Pathak, S.D., & Kulshrestha, M. (2021). Assessment of flood resilience using RAAR framework: The case of Narmada river basin, India. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(8), 1263–1276.
- Rahim, A.A.P., Bitarafan, M., & Arefi, S.L. (2013). Evaluation of types shapes of building roof against explosion. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.7763/IJET.2013.V5.498>
- Rahmani, M., Lotfata, A., Khoshnevis, S., Javanmardi, K., & Akdogan, M. E. (2023). Resilience assessment of health-care facilities within urban context: learning from a non-profit hospital in Tehran, Iran. *International journal of disaster resilience in the built environment*, 14(5), 669-699. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-11-2021-0151>
- Ran, J., MacGillivray, B. H., Gong, Y., & Hales, T. C. (2020). The application of frameworks for measuring social vulnerability and resilience to geophysical hazards within developing countries: A systematic review and narrative synthesis. *Science of the total environment*, 711, 134486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134486>
- Razafindrabe, B. H. N., Cuesta, M. A., He, B., Rañola Jr, R. F., Yaota, K., Inoue, S., & Kada, R. (2015). Flood risk and resilience assessment for Santa Rosa-Silang subwatershed in the Laguna Lake region, Philippines. *Environmental Hazards*, 14(1), 16-35. <https://doi.org/10.1080/17477891.2014.981497>
- Rose, A. (2007). Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. *Environmental hazards*, 7(4), 383-398. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.10.001>

- Serre, D., Barroca, B., Balsells, M., & Becue, V. (2018). Contributing to urban resilience to floods with neighbourhood design: The case of Am Sandtorkai/Dalmanckai in Hamburg. *Journal of Flood Risk Management*, 11(S1), S69–S83. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12253>
- Suárez, M., Gómez-Baggethun, E., Benayas, J., & Tilbury, D. (2016). Towards an urban resilience index: A case study in 50 Spanish cities. *Sustainability*, 8(8), 774. <https://doi.org/10.3390/su8080774>
- Talaei, M., Sharifi, A., Sliuzas, R., & Mesgari, M. (2008). Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(4), 414–426. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.11.002>
- Tayyab, M., Zhang, J.Q., Hussain, M., Ullah, S., Liu, X.P., Khan, S.N., Baig, M.A., Hassan, W., & Al-Shaibah, B. (2021). GIS-based urban flood resilience assessment using urban flood resilience model: A case study of Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Remote Sensing*, 13(9), p.1864. <https://doi.org/10.3390/rs13091864>
- Wang, M.M., Fang, Y.T., & Sweetapple, C. (2021). Assessing flood resilience of urban drainage system based on a ‘do-nothing’ benchmark. *Journal of Environmental Management*, 288, 112472. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112472>
- Wang, Y.T., Meng, F.L., Liu, H.X., Zhang, C., & Fu, G.T. (2019). Assessing catchment scale flood resilience of urban areas using a grid cell based metric. *Water Research*, 163, 114852. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114852>
- Xu, W.P., Cong, J.T., Proverbs, D., & Zhang, L.L. (2021). An evaluation of urban resilience to flooding. *Water*, 13(14), 2022. <https://doi.org/10.3390/w13142022>
- Zhang, H.M., Yang, J.Y., Li, L.S., Shen, D.Y., Wei, G., Khan, H.U.R., & Dong, S.J. (2021). Measuring the resilience to floods: A comparative analysis of key flood control cities in China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 59, 102248. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102248>
- Zhu, S.Y., Li, D.Z., Huang, G.Y., Chhipi-Shrestha, G., Nahiduzzaman, K.M., Hewage, K., & Sadiq, R. (2021). Enhancing urban flood resilience: A holistic framework incorporating historic worst flood to Yangtze River Delta, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61, 102355. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102355>