Journal of Safe City

Safe City, 9(3) (2026) 332-358

DOI: 10.22034/jsc.2026.2105301.1278

Research Paper

Urban Seismic Resilience Zoning Using the GIS–IHWP Method with Emphasis on Building Parcels: A Case Study of Bagh-e Feiz Neighborhood, Tehran

Mahdi Bitarafan[1], Shahin Lale Arefi[2*], Sajjad Abazarlou[3]

[1] *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran*
[2] *Department of Civil Engineering, Esfarayen University of Technology, Esfarayen, Iran*
[3] *Department of Crisis Management*, Moshanir Company, Tehran, Iran

Received: 07 September 2026 Revised: 01 November 2026 Accepted: 03 November 2026

Abstract

Earthquakes do not affect all parts of an urban neighborhood in the same way. Differences in building characteristics, street networks, and access to essential services can shape both the potential consequences of seismic events and the capacity of urban areas to withstand disruption. Capturing these spatial variations requires an assessment approach that goes beyond neighborhood-wide averages. This study evaluates the spatial distribution of urban resilience to earthquakes in Bagh-e Feyz, Tehran, with particular attention to building parcels. Relevant resilience indicators were first identified and assessed through a review of the literature and consultation with domain experts. Eighteen selected indicators were then incorporated into a geographic information system (GIS), using the Inverse Hierarchical Weighting Process (IHWP) to support the weighting and spatial integration of the assessment criteria. The resulting resilience map classified the study area into five categories. The findings indicate that 26.64% and 30.50% of the neighborhood's area fall within the very low and low resilience categories, respectively. Together, these categories account for 57.14% of the study area. Moderate, high, and very high resilience levels cover 10.43%, 26.25%, and 6.18%, respectively. Spatial differences are particularly evident in the eastern, southeastern, and parts of the central neighborhood, where very low resilience is concentrated, whereas several western and southern areas exhibit more favorable conditions. These findings highlight the importance of tailoring earthquake risk-reduction measures to local spatial characteristics rather than applying uniform interventions across the neighborhood. The assessment provides a basis for identifying priority areas, improving emergency accessibility, and guiding targeted improvements to the built environment.

Keywords: Urban seismic resilience; Spatial assessment; Geographic information system (GIS); Inverse Hierarchical Weighting Process (IHWP) Method; Building parcels; Urban crisis management.

* Corresponding Author: Email: sh.arefi@esfarayen.ac.ir

Introduction

Urban resilience to earthquakes is shaped by more than the structural characteristics of individual buildings. Street connectivity, access to emergency services, population distribution, and local environmental conditions also influence how urban communities may respond to seismic disruptions. These characteristics vary considerably within cities, sometimes even between adjacent streets or building parcels. Assessments conducted at broader administrative scales can therefore obscure local conditions that are particularly important for earthquake risk reduction and emergency planning.

Although multidimensional resilience assessment has received increasing attention, translating its conceptual dimensions into measurable spatial indicators remains challenging. Differences in data availability, measurement scales, and indicator importance make it difficult to develop assessments that are both comprehensive and useful for local decision-making. Building-parcel-based analysis offers an opportunity to identify these variations at a finer spatial resolution.

This study examines the spatial distribution of urban seismic resilience in the Bagh-e Feiz neighborhood of Tehran, Iran. It integrates the Inverse Hierarchical Weighting Process (IHWP) with Geographic Information System (GIS) analysis to identify areas with relatively unfavorable resilience conditions. Particular attention is given to building parcels and their surrounding urban environment, with the aim of supporting geographically targeted earthquake risk reduction strategies.

Methodology

The study adopted an applied, descriptive–analytical approach combining a literature review, expert assessment, multicriteria weighting, and spatial analysis. An initial set of 76 indicators was identified from previous research and organized into five conceptual dimensions: physical, cultural and social, economic, safety and security, and institutional and organizational resilience.

The relative importance of the indicators was assessed through a two-round Delphi process involving 16 experts in structural and civil engineering, architecture and urban design, disaster management, and urban planning. All participants completed both rounds. Expert judgments were collected using a ten-point scoring scale and subsequently incorporated into the IHWP weighting procedure. Agreement among experts was examined using Kendall's coefficient of concordance, while the internal consistency of the assessment instrument was evaluated using Cronbach's alpha.

Because not all conceptual indicators could be represented reliably at the building-parcel scale, 18 indicators with available spatial data were selected for GIS implementation. These covered building and population characteristics, street-network conditions, access to essential facilities, proximity to potentially hazardous land uses, and environmental and seismic factors. Relevant variables included the number of building stories, road width, street enclosure, distance from faults, peak ground acceleration, and access to hospitals, fire stations, and crisis-management facilities.

The spatial datasets were prepared and classified according to their measurement characteristics. Quantitative variables were classified using the Natural Breaks method where appropriate, and accessibility-related indicators were processed through spatial analysis. IHWP-derived scores were then assigned to the corresponding indicator classes, accounting for whether their relationship with resilience was favorable or unfavorable. Finally, the 18 spatial layers were integrated using GIS-based map algebra to calculate composite resilience scores and classify the neighborhood into five relative resilience categories.

Results and Discussion

The Delphi assessment demonstrated an improvement in agreement among participating experts. Kendall's coefficient increased from 0.6852 in the first round to 0.7423 in the second, while Cronbach's alpha reached 0.76, indicating acceptable internal consistency of the assessment instrument. Among the five conceptual dimensions, the physical dimension received the highest importance, followed by the cultural and social, economic, safety and security, and institutional and organizational dimensions. This ranking emphasizes the importance assigned to the built environment in the assessment framework, while also recognizing that seismic resilience depends on broader social, economic, and institutional capacities.

The GIS-based assessment revealed considerable spatial variation in seismic resilience across Bagh-e Feiz. Approximately 26.64% of the neighborhood's area was classified as having very low resilience, while another 30.50% fell within the low-resilience category. Together, these two categories accounted for 57.14% of the study area. This finding is particularly relevant for local disaster risk management, as it indicates that a substantial proportion of the neighborhood exhibits relatively unfavorable conditions under the selected assessment criteria.

Moderate resilience covered 10.43% of the neighborhood, whereas high and very high resilience accounted for 26.25% and 6.18%, respectively. The spatial distribution of these categories was far from uniform. Very low resilience was concentrated mainly in the eastern and southeastern sections and parts of the central neighborhood, while low-resilience areas were also found in northern and central locations. In contrast, relatively favorable conditions were more common in the western and southern sections, with very high resilience appearing in smaller, scattered areas (Figures 1 and 2).

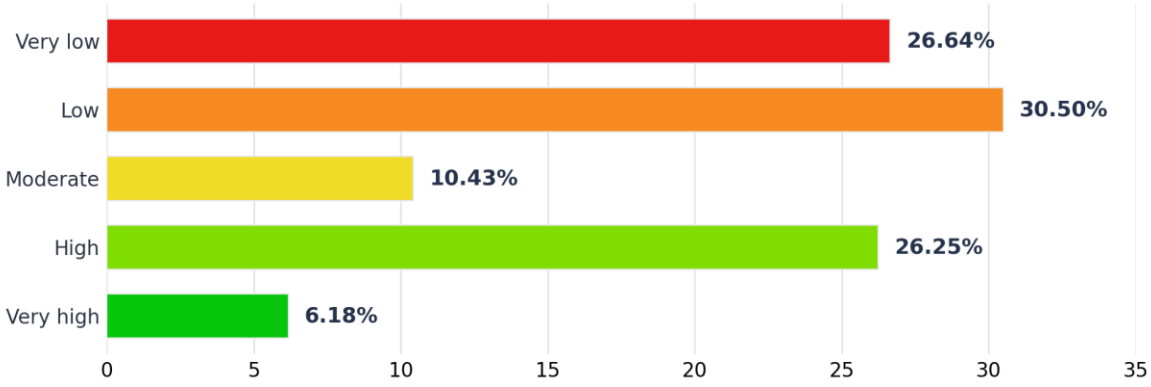


Figure 1. Distribution of the Bagh-e Feiz neighborhood area across the five relative seismic-resilience classes



Figure 2. GIS-based seismic-resilience zoning of Bagh-e Feiz

The individual indicator maps helped clarify these spatial differences. Narrow streets, greater street enclosure, and deteriorated urban fabric characterized some of the less favorable central locations. Differences in building density, access to essential services, and seismic exposure also contributed to the patterns captured by the composite assessment. These findings indicate that neighborhood resilience cannot be adequately understood through building characteristics alone. The surrounding street network and the availability of emergency services are also relevant to the conditions under which residents may experience and respond to earthquake disruptions.

The observed contrasts have implications for intervention planning. In the central parts of Bagh-e Feiz, improving street accessibility and addressing deteriorated urban fabric may deserve particular attention. Eastern areas could benefit from further investigation of healthcare accessibility, while the adequacy of firefighting coverage in western sections warrants examination. Rather than prescribing uniform measures across the neighborhood, the spatial results can help urban managers identify locations where more detailed technical assessments and targeted improvements are needed.

The integration of IHWP and GIS also demonstrates how expert-based multicriteria assessment can be translated into a geographically interpretable planning tool. However, the results require careful interpretation. The spatial model incorporates only indicators for which usable geographic information was available, and therefore does not capture all

dimensions of resilience equally. In addition, the relative weights depend partly on expert judgments, while potential overlap between indicators and sensitivity to alternative weighting assumptions remain sources of uncertainty. Most importantly, the resulting classifications describe relative pre-earthquake resilience conditions; they should not be interpreted as direct predictions of structural damage, service disruption, or recovery time.

Conclusion

This study provides a building-parcel-oriented assessment of urban seismic resilience through the integration of IHWP and GIS in the Bagh-e Feiz neighborhood of Tehran. The results reveal pronounced spatial inequalities, with more than half of the neighborhood classified within the two lowest resilience categories.

The findings highlight the value of spatially differentiated planning for earthquake risk reduction. Rather than applying uniform interventions across an entire neighborhood, urban authorities can use the identified patterns to guide more detailed investigations, prioritize physical improvements, and strengthen emergency-service accessibility.

The proposed approach offers a practical spatial screening tool for neighborhood-level resilience planning. Future applications would benefit from more detailed building and socioeconomic data, sensitivity analysis, and evaluation across neighborhoods with different urban characteristics. Such extensions could improve confidence in the resulting priorities and strengthen their usefulness in evidence-informed urban disaster risk management.

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.

نشریه شهـــر ایمـــن

نشریه شهر ایمن، دوره ۹، شماره ۳، سال ۱۴۰۵، صفحه ۳۳۲ تا ۳۵۸

DOI: 10.22034/jsc.2026.2105301.1278

مقاله پژوهشی

پهنه بندی تاب آوری شهری در برابر زلزله با استفاده از روش GIS–IHWP و تأکید بر پارسل های ساختمانی: مطالعه موردی محله باغ فیض تهران

مهدی بیطرفان[۱]، شاهین لعل عارفی[۲]*، سجاد اباذرلو[۳]

[۱] پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.

[۲] گروه مهندسی عمران، مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، اسفراین، ایران.

[۳] گروه مدیریت بحران، شرکت مشانیر، تهران، ایران.

چکیده

تفاوت در ویژگی های کالبدی ساختمان ها، ساختار شبکه معابر و دسترسی به خدمات ضروری سبب می شود پیامدهای زلزله و ظرفیت مواجهه با آن در بخش های مختلف یک محله یکسان نباشد. از این رو، ارزیابی تاب آوری شهری نیازمند رویکردی است که بتواند این تفاوت های مکانی را در مقیاسی دقیق تر شناسایی کند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی فضایی تاب آوری محله باغ فیض تهران در برابر زلزله، با تأکید بر پارسل های ساختمانی، انجام شده است. در این راستا، ابتدا شاخص های مؤثر بر تاب آوری شهری از طریق بررسی منابع علمی و بهره گیری از دیدگاه متخصصان شناسایی و ارزیابی شدند. سپس، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و تلفیق ۱۸ شاخص منتخب در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS)، الگوی فضایی تاب آوری محدوده مطالعه در پنج طبقه مختلف تعیین شد. نتایج نشان داد که ۲۶/۶۴ درصد از مساحت محله در تاب آوری بسیار کم و ۳۰/۵۰ درصد در تاب آوری کم قرار دارد. به این ترتیب، بیش از نیمی از محدوده مورد بررسی، معادل ۵۷/۱۴ درصد، در دو طبقه پایین تاب آوری جای می گیرد. سهم طبقه متوسط، زیاد و بسیار زیاد نیز به ترتیب ۱۰/۴۳، ۲۶/۲۵ و ۶/۱۸ درصد به دست آمد. از نظر پراکنش مکانی، نواحی با تاب آوری بسیار کم عمدتاً در بخش های شرقی، جنوب شرقی و قسمت هایی از مرکز محله متمرکز شده اند، درحالی که بخش هایی از نواحی غربی و جنوبی وضعیت مطلوب تری دارند. این تفاوت ها نشان می دهد که مداخلات کاهش خطر زلزله باید متناسب با شرایط مکانی و ویژگی های هر محدوده اولویت بندی شوند. یافته های پژوهش می تواند مبنایی برای شناسایی نواحی نیازمند مداخله، بهبود دسترسی های اضطراری و هدایت برنامه های بهسازی کالبدی در مقیاس محله فراهم آورد.

واژگان کلیدی

تاب آوری لرزه ای شهری
تحلیل فضایی
سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)
روش IHWP
پارسل های ساختمانی
مدیریت بحران شهری

تاریخ ارسال: ۱۴۰۵/۰۶/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۱۲

* نویسنده مسئول: sh.arefi@esfarayen.ac.ir

۱- مقدمه

زلزله در محیط های شهری تنها به تخریب ساختمان ها و آسیب های مستقیم سازه ای محدود نمی شود. اختلال در شبکه معابر، کاهش دسترسی به مراکز امدادی، آسیب دیدگی زیرساخت های حیاتی و دشواری ارائه خدمات ضروری می تواند آثار اولیه زمین لرزه را تشدید کند و روند بازگشت شهر به شرایط قابل قبول را با مشکلات بیشتری روبه رو سازد. شدت این پیامدها در همه بخش های یک شهر یکسان نیست؛ حتی در محدوده یک محله نیز تفاوت در ویژگی های ساختمانی، تراکم جمعیت، ساختار شبکه ارتباطی و توزیع امکانات خدماتی ممکن است به شکل گیری سطوح متفاوتی از آسیب پذیری و ظرفیت مواجهه با بحران منجر شود. از این رو، شناخت وضعیت تاب آوری شهری مستلزم عبور از ارزیابی های کلی و توجه به تفاوت های مکانی در مقیاس های کوچک تر است. در چنین رویکردی، تاب آوری نه تنها به توانایی مقاومت در برابر آثار یک سانحه، بلکه به ظرفیت جذب اختلال، حفظ کارکرد های ضروری، سازگاری با شرایط جدید و بازیابی عملکرد نیز اشاره دارد. کاتر و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی پراکنش جغرافیایی تاب آوری جوامع نشان دادند که ظرفیت های تاب آوری از توزیع مکانی یکنواختی برخوردار نیستند. میرو و همکاران (۲۰۱۶) نیز با مرور تعاریف تاب آوری شهری، بر ماهیت چند بعدی و پویای این مفهوم و ضرورت توجه هم زمان به ساختارهای اجتماعی، محیطی و فنی شهر تأکید کردند. این دیدگاه، مبنایی برای بررسی تاب آوری به عنوان ویژگی یک سامانه شهری به هم پیوسته فراهم می کند؛ سامانه ای که عملکرد هر بخش از آن می تواند از شرایط سایر بخش ها تأثیر بپذیرد.

با وجود گسترش مطالعات تاب آوری شهری، تبدیل این مفهوم چند بعدی به شاخص های قابل اندازه گیری همچنان یکی از چالش های اصلی پژوهشگران و مدیران شهری است. شاخص هایی مانند کیفیت سازه، تراکم ساختمانی، عرض معابر، دسترسی به خدمات اضطراری، وضعیت اقتصادی و ظرفیت نهادی، ماهیت و مقیاس اندازه گیری یکسانی ندارند و اهمیت آنها نیز در مواجهه با مخاطرات مختلف متفاوت است. در نتیجه، ارزیابی تاب آوری به روشی نیاز دارد که بتواند اطلاعات ناهمگون را در چارچوبی منسجم ترکیب کند، بدون آنکه تفاوت های واقعی میان محدوده های شهری نادیده گرفته شود. مرزی و همکاران (۲۰۱۹) در تدوین شاخص جامع تاب آوری در برابر سوانح در ایتالیا، نشان دادند که انتخاب روش نرمال سازی و تجمیع شاخص ها می تواند بر رتبه بندی نهایی مناطق اثر بگذارد و از این رو، بررسی استحکام نتایج اهمیت ویژه ای دارد. همچنین، آنلی و همکاران (۲۰۲۲) با توسعه چارچوبی مبتنی بر شاخص ها و تصمیم گیری چند معیاره برای ارزیابی خطر مخاطرات طبیعی در شهر رم، امکان شناسایی و نمایش مکانی محدوده های دارای شرایط نامطلوب را نشان دادند. این مطالعات بیانگر آن است که ارزش کاربردی شاخص های ترکیبی صرفاً به تولید یک امتیاز نهایی وابسته نیست، بلکه به توانایی آنها در آشکارسازی تفاوت های فضایی و پشتیبانی از تصمیم گیری شهری نیز بستگی دارد.

در حوزه تاب آوری لرزه ای، پژوهش های متعددی تلاش کرده اند ابعاد گوناگون این مفهوم را در مقیاس ساختمان، محله و منطقه شهری بررسی کنند. اصلانی و همکاران (۲۰۲۰) چارچوبی برای ارزیابی تاب آوری محلات در برابر زلزله ارائه کردند که در آن، مؤلفه های کالبدی و اجتماعی با معیارهایی مانند استحکام، افزونگی، سرعت بازیابی و ظرفیت تأمین منابع ارتباط داده شدند. این پژوهش نشان داد که ارزیابی تاب آوری در مقیاس محله نیازمند توجه به عواملی فراتر از مقاومت ساختمان هاست. هان و همکاران (۲۰۲۴) نیز با بررسی ویژگی های پویای تاب آوری منطقه ای پس از زلزله، اهمیت تغییر عملکرد سامانه ها در مراحل مختلف پس از سانحه را مورد توجه قرار دادند. در مطالعه ای دیگر، ایلریسوی و گوکگوز (۲۰۲۴) با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره، عوامل مؤثر بر تاب آوری لرزه ای ساختمان های بلندمرتبه استانبول را بررسی کردند. در همین زمینه، احمدی و همکاران (۲۰۲۴) با تلفیق شاخص های مرتبط با زلزله و سیل و بهره گیری از روش $DEMATEL$ ، روابط اثرگذاری میان مؤلفه های تاب آوری را تحلیل کردند و نشان دادند که ظرفیت پاسخ گویی و شبکه حمل و نقل و دسترسی از جایگاه مهمی در عملکرد سامانه شهری برخوردارند. مجموعه این مطالعات بیانگر حرکت تدریجی پژوهش های تاب آوری از ارزیابی منفرد ویژگی های کالبدی به سمت تحلیل چند بعدی و توجه به روابط میان مؤلفه های شهری است. با این حال، تفاوت مقیاس مکانی، روش های وزن دهی و نوع داده های مورد استفاده سبب می شود نتایج آنها لزوماً قابل انتقال مستقیم به یک محله مشخص نباشد.

در ایران نیز ارزیابی تاب آوری شهری با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره مورد توجه قرار گرفته است. بیطرفان و همکاران (۲۰۲۳) با ارائه رویکردی تلفیقی برای ارزیابی مخاطرات طبیعی شهر تهران، نشان دادند که ترکیب دیدگاه خبرگان و روش های چند معیاره می تواند به شناسایی و اولویت بندی مخاطرات مؤثر بر محیط شهری کمک کند. در پژوهشی دیگر، بیطرفان و همکاران (۲۰۲۶) چارچوبی مبتنی بر روش فازی $RANCOM$ برای ارزیابی تاب آوری شهری در برابر زلزله توسعه دادند. آنان با شناسایی ۱۴ معیار و ۷۸ زیرمعیار و به کارگیری ۱۸ لایه مکانی در منطقه پنج تهران، اهمیت مؤلفه های سازه ای، کاربری زمین و عوامل طبیعی را در ارزیابی تاب آوری نشان دادند. این پژوهش از آن جهت اهمیت دارد که علاوه بر تعیین وزن معیارها، روابط میان آنها را نیز در فرایند تصمیم گیری مورد توجه قرار داده است.

در کنار توسعه چارچوب های جدید تصمیم گیری، روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس *(IHWP)* نیز در پژوهش های مرتبط با ارزیابی کالبدی و تاب آوری شهری مورد استفاده قرار گرفته است. بیطرفان و همکاران (۲۰۱۵) با ترکیب روش های *AHP* و *IHWP*به ارزیابی گزینه های آرایش فرم های معماری از منظر پدافند غیرعامل پرداختند و کاربرد این روش ها را در مقایسه معیارهای متنوع کالبدی بررسی کردند. در مطالعه ای دیگر، بیطرفان و امینی حسینی (۲۰۲۳) از روش *IHWP* و سامانه اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی تاب آوری منطقه پنج تهران در برابر حملات هوایی استفاده کردند و تفاوت اهمیت مؤلفه های کالبدی، ایمنی، اجتماعی و نهادی را در این نوع مخاطره نشان دادند. لعل عارفی و همکاران (۲۰۲۵) نیز با به کارگیری روش *IHWP* در محله کن تهران، ارزیابی تاب آوری در برابر سیل را با تأکید بر پارسل های ساختمانی دنبال کردند. اهمیت این مطالعات در آن است که قابلیت استفاده از یک چارچوب وزن دهی و تحلیل مکانی را در مسائل متفاوت شهری نشان می دهند. با این وجود، ماهیت مخاطره نقش تعیین کننده ای در انتخاب معیارها و تفسیر آنها دارد؛ برای مثال، نزدیکی به مسیر آبراهه در تحلیل سیل و ویژگی های لرزه ای زمین و سازه در ارزیابی زلزله از اهمیت متفاوتی برخوردارند. بنابراین، استفاده از *IHWP* در مطالعه تاب آوری لرزه ای نیازمند تعیین دقیق شاخص های مرتبط، مشخص کردن جهت اثرگذاری آنها و تبیین مراحل امتیازدهی و تلفیق داده های مکانی است.

اهمیت ویژگی های ساختمانی در ارزیابی تاب آوری شهری را می توان از منظر مطالعات سازه ای و انتخاب مصالح نیز بررسی کرد. حسینی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش های *AHP* و فازی، گزینه های مختلف دیوارهای خارجی را برای بازسازی ساختمان ها در مناطق زلزله زده اهر، هریس و ورزقان مقایسه کردند. یافته های این پژوهش بر اهمیت تصمیم گیری فنی در انتخاب اجزای ساختمانی و تأثیر آن بر فرایند بازسازی تأکید دارد. در پژوهشی جدیدتر، نعمتی و همکاران (۲۰۲۶) چارچوبی تصمیم یار برای انتخاب مصالح و اجزای ساختمانی مقاوم در برابر مخاطرات چندگانه ارائه کردند که در آن، معیارهای عملکردی، عدم قطعیت و قابلیت تفسیر نتایج به صورت یکپارچه مورد توجه قرار گرفتند. اگرچه این مطالعات در مقیاسی متفاوت از ارزیابی تاب آوری محلات انجام شده اند، نشان می دهند که ویژگی های ساختمانی را نمی توان صرفاً بر اساس یک مشخصه، مانند نوع مصالح یا تعداد طبقات، تفسیر کرد. عملکرد لرزه ای ساختمان به مجموعه ای از عوامل مرتبط با سامانه باربر، کیفیت طراحی و اجرا، شرایط بهره برداری و وضعیت اجزای سازه ای و غیرسازه ای وابسته است. از این رو، در مدل های ارزیابی فضایی که به داده های تفصیلی همه ساختمان ها دسترسی ندارند، شاخص های کالبدی باید با آگاهی از محدودیت های اطلاعاتی آنها به کار گرفته شوند و امتیاز حاصل از چنین شاخص هایی نباید معادل عملکرد واقعی سازه در هنگام زلزله تلقی شود.

با مرور مطالعات انجام شده می توان دریافت که هر یک از رویکردهای موجود بخشی از مسئله تاب آوری شهری را روشن کرده اند. برخی پژوهش ها بر توسعه چارچوب های مفهومی و شناسایی شاخص ها تمرکز داشته اند، گروهی اهمیت نسبی معیارها را با روش های تصمیم گیری چند معیاره تعیین کرده اند و برخی دیگر از ابزارهای مکانی برای نمایش توزیع آسیب پذیری و تاب آوری استفاده کرده اند. با این حال، در کاربرد عملی این روش ها همچنان چند مسئله اساسی وجود دارد. نخست آنکه انتقال نتایج ارزیابی از مقیاس منطقه شهری به محله یا پارسل ساختمانی، نیازمند توجه به مقیاس، کیفیت و نحوه تخصیص داده هاست. دوم اینکه تعدادی از شاخص های مورد استفاده ممکن است از نظر مفهومی یا آماری با یکدیگر هم پوشانی داشته باشند؛ برای نمونه، عرض معبر، درجه محصوریت و ویژگی های شبکه دسترسی می توانند جنبه های مشترکی از ساختار فضایی محله را بازنمایی کنند. در صورت بی توجهی به این موضوع، احتمال محاسبه مضاعف اثر برخی مؤلفه ها در امتیاز نهایی وجود دارد. مسئله دیگر به نقش قضاوت خبرگان و نحوه تعیین وزن شاخص ها مربوط می شود. تفاوت دیدگاه متخصصان، انتخاب روش نرمال سازی یا تغییر وزن معیارها ممکن است طبقه بندی نهایی تاب آوری را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، شفافیت در انتخاب و حذف شاخص ها، مستندسازی منابع و کیفیت داده های مکانی و بررسی پایداری نتایج، از الزامات مهم تفسیر و استفاده از ارزیابی های شاخص محور به شمار می روند.

ضرورت توجه به این مسائل در محلات شهری تهران، به ویژه محدوده هایی که از نظر الگوی ساخت و ساز، تراکم فعالیت ها و ساختار شبکه معابر ناهمگون هستند، بیشتر آشکار می شود. محله باغ فیض در منطقه پنج تهران، به دلیل تنوع ویژگی های ساختمانی، تفاوت عرض و پیوستگی معابر و پراکنش نامتوازن برخی خدمات شهری، بستری برای مطالعه تفاوت های مکانی تاب آوری در برابر زلزله فراهم می کند. در چنین محدوده ای، اتکا به یک امتیاز کلی برای توصیف وضعیت محله ممکن است تفاوت میان بخش هایی را که از نظر دسترسی اضطراری، شرایط کالبدی و مواجهه با خطر لرزه ای وضعیت متفاوتی دارند، پنهان کند. از سوی دیگر، برنامه ریزی برای بهسازی ساختمان ها، اصلاح شبکه دسترسی، جانمایی امکانات امدادی و تخصیص منابع محدود مدیریت شهری مستلزم شناخت دقیق تر محدوده هایی است که در اولویت مداخله قرار دارند. به همین دلیل، ارزیابی فضایی در

مقیاس محله و با توجه به پارسل های ساختمانی می تواند فاصله میان مطالعات کلان تاب آوری و نیازهای اجرایی مدیریت محلی را کاهش دهد.

بر این اساس، مسئله اصلی پژوهش حاضر آن است که تفاوت های مکانی تاب آوری محله باغ فیض تهران در برابر زلزله چگونه و با چه مجموعه ای از شاخص های قابل اندازه گیری قابل شناسایی است و کدام بخش های محله از نظر وضعیت نسبی تاب آوری در اولویت مداخله قرار می گیرند. هدف اصلی پژوهش، ارزیابی و پهنه بندی فضایی تاب آوری محله باغ فیض در برابر زلزله با تأکید بر پارسل های ساختمانی و با بهره گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس *(IHWP)* و سامانه اطلاعات جغرافیایی *(GIS)* است. در راستای این هدف، پژوهش به دنبال شناسایی و ارزیابی شاخص های مؤثر بر تاب آوری، تعیین اهمیت نسبی معیارها، تلفیق اطلاعات مکانی منتخب و نمایش الگوی توزیع طبقات تاب آوری در محدوده مطالعه است. همچنین، نتایج ارزیابی با هدف شناسایی نواحی دارای وضعیت نامطلوب تر و ارائه جهت گیری هایی برای اولویت بندی اقدامات کاهش خطر مورد استفاده قرار می گیرد. وجه تمایز کاربردی این پژوهش، تمرکز بر تفاوت های درون محله ای و تلاش برای تبدیل مجموعه ای از اطلاعات کالبدی، محیطی و خدماتی به خروجی مکانی قابل استفاده در تصمیم گیری محلی است. با این حال، باید توجه داشت که ارزیابی حاضر یک سنجش شاخص محور از وضعیت نسبی تاب آوری پیش از وقوع زلزله است و به تنهایی بیانگر میزان خسارت واقعی ساختمان ها، اختلال عملکرد پس از سانحه یا زمان مورد نیاز برای بازیابی خدمات شهری نیست. با رعایت این تمایز، نتایج پژوهش می تواند به عنوان ابزاری برای غربالگری فضایی، شناسایی محدوده های نیازمند بررسی دقیق تر و پشتیبانی از برنامه ریزی کاهش خطر زلزله در مقیاس محله مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مبانی نظری

۲-۱- مفهوم تاب آوری شهری در برابر زلزله

تاب آوری شهری مفهومی فراتر از مقاومت فیزیکی ساختمان ها در برابر مخاطرات است و به توانایی یک سامانه شهری برای مواجهه با اختلال، حفظ کارکردهای ضروری و بازگشت به سطح قابل قبولی از عملکرد اشاره دارد. این مفهوم در محیط های شهری از پیچیدگی بیشتری برخوردار است؛ زیرا ساختمان ها، زیرساخت ها، شبکه های ارتباطی، نهادهای خدمات رسان و جمعیت ساکن به یکدیگر وابسته اند و آسیب دیدگی هر یک می تواند بر عملکرد سایر اجزا تأثیر بگذارد. به همین دلیل، شهری که از ساختمان های نسبتاً مقاوم برخوردار است، لزوماً در برابر زلزله تاب آوری بالایی ندارد. اختلال در دسترسی های اضطراری، قطع خدمات زیربنایی یا ضعف هماهنگی سازمانی می تواند حتی در صورت محدود بودن خسارات سازه ای، پیامدهای سانحه را تشدید کند.

برونئو و همکاران (۲۰۰۳) در چارچوبی برای ارزیابی کمی تاب آوری لرزه ای جوامع، چهار ویژگی استحکام، افزونگی، تدبیر و توانایی بسیج منابع و سرعت بازیابی را از مؤلفه های اصلی تاب آوری معرفی کردند. استحکام به توانایی سامانه در تحمل اثرات مخاطره بدون افت شدید عملکرد اشاره دارد؛ افزونگی بیانگر وجود ظرفیت ها یا مسیرهای جایگزین برای حفظ خدمات است؛ تدبیر و توانایی بسیج منابع، امکان شناسایی مشکلات و تخصیص منابع لازم برای مقابله با آنها را نشان می دهد و سرعت بازیابی نیز به مدت زمان مورد نیاز برای بازگرداندن عملکرد سامانه مربوط می شود. اهمیت این چارچوب در آن است که تاب آوری را صرفاً یک ویژگی ایستا در نظر نمی گیرد، بلکه آن را حاصل تعامل میان قابلیت های موجود پیش از سانحه و عملکرد سامانه در مراحل مواجهه و بازیابی می داند.

در همین راستا، میرو و همکاران (۲۰۱۶) بر ضرورت مشخص کردن موضوع، مقیاس مکانی و زمانی و گروه های بهره مند از تاب آوری تأکید کرده اند. این تمایز در ارزیابی محلات شهری اهمیت ویژه ای دارد؛ زیرا تاب آوری یک ساختمان، یک شبکه خدماتی و یک محله، اگرچه با یکدیگر ارتباط دارند، از نظر معیارهای سنجش و نوع عملکرد مورد انتظار یکسان نیستند. برای مثال، مقاومت یک ساختمان در برابر تغییر مکان های ناشی از زلزله، تنها بخشی از ظرفیت آن برای حفظ قابلیت سکونت یا بهره برداری پس از سانحه را توضیح می دهد. در مقیاس محله، شرایط معابر، دسترسی به خدمات امدادی و امکانات پشتیبان نیز بر پیامدهای نهایی اثرگذارند.

در تبیین این مفهوم، لازم است میان مخاطره، آسیب پذیری و تاب آوری نیز تمایز قائل شد. مخاطره لرزه ای به ویژگی های زمین لرزه و شدت احتمالی اثرات آن در یک موقعیت مکانی مربوط می شود، درحالی که آسیب پذیری بیانگر استعداد عناصر در معرض خطر برای تحمل خسارت است. تاب آوری علاوه بر این مؤلفه ها، ظرفیت پاسخ گویی، سازگاری و بازیابی را نیز در بر می گیرد. کاتر و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده اند که آسیب پذیری و تاب آوری با یکدیگر ارتباط دارند، اما الزاماً دو مفهوم کاملاً معکوس نیستند. از این رو، پایین بودن آسیب پذیری کالبدی یک محدوده را نمی توان به تنهایی معادل تاب آوری بالای آن دانست.

بر این اساس، در پژوهش هایی که از داده های موجود پیش از وقوع زلزله استفاده می کنند، آنچه اندازه گیری می شود عمدتاً مجموعه ای از شرایط و ظرفیت های مرتبط با تاب آوری است، نه عملکرد واقعی سامانه در جریان یک سانحه مشخص. بنابراین، نقشه های حاصل از تلفیق شاخص های کالبدی، محیطی، جمعیتی و خدماتی باید به عنوان ارزیابی نسبی شرایط تاب آوری تفسیر شوند. این تمایز از آن جهت اهمیت دارد که مانع از یکسان تلقی کردن امتیازهای ترکیبی با میزان خسارت ساختمان ها یا زمان بازیابی خدمات شهری می شود.

۲-۲- ابعاد و مؤلفه های مؤثر بر تاب آوری لرزه ای شهری

تاب آوری محلات شهری حاصل تأثیر مجموعه ای از عوامل است که در ابعاد مختلف کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی قابل بررسی اند. با این حال، مرز میان این ابعاد همواره کاملاً مشخص نیست و برخی مؤلفه ها ممکن است به صورت هم زمان بر چند جنبه از عملکرد شهر اثر بگذارند. چارچوب های شاخص محور تلاش می کنند این پیچیدگی را با سازمان دهی عوامل در قالب ابعاد، معیارها و زیرمعیار های مشخص به ساختاری قابل ارزیابی تبدیل کنند. در پژوهش حاضر، چارچوب مفهومی تاب آوری شهری در پنج بُعد کالبدی، فرهنگی و اجتماعی، اقتصادی، ایمنی و امنیت و نهادی و سازمانی سازمان دهی شده است.

بُعد کالبدی به ویژگی های محیط ساخته شده و شرایط طبیعی مؤثر بر میزان مواجهه و آسیب پذیری عناصر شهری در برابر زلزله مربوط می شود. نوع سامانه سازه ای، کیفیت مصالح، رعایت ضوابط ساخت و ساز، قدمت ساختمان، ویژگی های معماری، تراکم ساختمانی، کاربری زمین و ساختار شبکه ارتباطی از جمله مؤلفه های این بُعد هستند. علاوه بر این، ویژگی هایی مانند شرایط زمین، شیب، موقعیت نسبت به گسل ها و شدت لرزش مورد انتظار می توانند بر سطح خطر و پیامدهای لرزه ای تأثیر بگذارند. البته این عوامل ماهیت یکسانی ندارند؛ برای مثال، بیشینه شتاب زمین بیانگر شدت حرکت لرزه ای مورد انتظار است، درحالی که کیفیت سازه به ظرفیت مقاومت و عملکرد ساختمان مربوط می شود. تفکیک این دو گروه در تفسیر نتایج ضروری است، زیرا شدت مخاطره و ظرفیت مقاومت عناصر شهری دو مفهوم متفاوت اند.

در ارزیابی ویژگی های کالبدی، جهت تأثیرگذاری شاخص ها باید با دقت مشخص شود. افزایش کیفیت طراحی و اجرای سازه و رعایت الزامات لرزه ای، در شرایط مشابه، معمولاً با کاهش آسیب پذیری مورد انتظار همراه است؛ در مقابل، افزایش شدت لرزش زمین می تواند تقاضای لرزه ای وارد بر ساختمان را افزایش دهد. با این حال، برای برخی متغیر ها نمی توان رابطه ای ساده و یکنواخت تعریف کرد. برای نمونه، تعداد طبقات به تنهایی شاخص مناسبی برای تعیین عملکرد لرزه ای ساختمان نیست و اثر آن به نوع سامانه باربر، ارتفاع، دوره تناوب، کیفیت اجرا و شرایط زمین وابسته است. همچنین، نوع سازه یک متغیر طبقه ای محسوب می شود و تبدیل آن به امتیاز عددی باید بر اساس ویژگی های عملکردی هر گروه صورت گیرد، نه صرفاً با مرتب سازی اسمی انواع سازه. مطالعات مربوط به انتخاب اجزای ساختمانی و مصالح مقاوم در برابر مخاطرات، از جمله پژوهش حسینی و همکاران (۲۰۱۶) و نعمتی و همکاران (۲۰۲۶)، نیز اهمیت ارزیابی چند معیاره ویژگی های فنی ساختمان را نشان می دهند.

بُعد فرهنگی و اجتماعی به ویژگی های جمعیتی و ظرفیت تعامل ساکنان در مواجهه با شرایط بحرانی مربوط می شود. ترکیب سنی جمعیت، حضور گروه های نیازمند حمایت، میزان آگاهی از خطر، سرمایه اجتماعی، احساس تعلق مکانی و همکاری میان ساکنان از جمله مؤلفه هایی هستند که می توانند بر آمادگی و پاسخ گویی محله تأثیر بگذارند. در این میان، تراکم جمعیت از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ زیرا افزایش تعداد افراد در معرض خطر ممکن است تقاضا برای تخلیه اضطراری، امدادرسانی و خدمات موقت را افزایش دهد. با این حال، تراکم جمعیت الزاماً به معنای تاب آوری پایین نیست. اثر این شاخص باید با توجه به ظرفیت خدمات، کیفیت شبکه دسترسی، امکانات محلی و ساختار جمعیت تفسیر شود. همچنین، وجود روابط اجتماعی و شبکه های همکاری می تواند به بسیج منابع و حمایت از گروه های آسیب پذیر در مراحل اولیه بحران کمک کند. از این رو، تحلیل این بُعد نباید صرفاً به تعداد جمعیت یا ویژگی های جمعیت شناختی محدود شود.

بُعد اقتصادی بیانگر ظرفیت خانوارها، فعالیت های محلی و نهادهای اقتصادی برای تحمل پیامدهای مالی زلزله و تأمین منابع مورد نیاز در دوره بازسازی و بازیابی است. وضعیت درآمد، اشتغال، پوشش بیمه ای، ارزش دارایی ها و دسترسی به منابع مالی می توانند در این زمینه نقش داشته باشند. خانوارهایی که منابع مالی محدودتری دارند، ممکن است برای تعمیر ساختمان، تأمین سکونت موقت یا جبران وقفه در فعالیت های اقتصادی با دشواری بیشتری روبه رو شوند. با این حال، انتخاب شاخص های اقتصادی باید با مقیاس مکانی پژوهش سازگار باشد؛ برای مثال، شاخص های کلان اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی را نمی توان بدون داده های تفکیک شده و مبنای تخصیص معتبر، مستقیماً به پارسل های ساختمانی نسبت داد. از این رو، در مطالعات محله محور لازم است میان اهمیت نظری یک شاخص و قابلیت اندازه گیری آن در محدوده مورد مطالعه تمایز برقرار شود.

بُعد ایمنی و امنیت به مجموعه شرایط و امکاناتی اشاره دارد که در کاهش پیامدهای ثانویه زلزله، تسهیل امدادرسانی و حفظ ایمنی ساکنان مؤثرند. دسترسی به مراکز درمانی و آتش نشانی، مسیرهای تخلیه اضطراری، فضاهای باز و مراکز اسکان موقت، امکانات ارتباطی اضطراری و موقعیت کاربری های خطرزا در این بُعد قابل توجه اند. اهمیت این مؤلفه ها زمانی آشکارتر می شود که آسیب به شبکه راه یا انسداد معابر، امکان دسترسی نیروهای امدادی به مناطق آسیب دیده را محدود کند. با این حال، نزدیکی هندسی یک ساختمان به مرکز امدادی لزوماً به معنای دسترسی مؤثر نیست؛ وضعیت معابر، ظرفیت خدمت رسانی و امکان حفظ عملکرد مراکز پس از زلزله نیز باید مورد توجه قرار گیرد. به همین دلیل، شاخص های دسترسی در صورت امکان باید بر پایه ویژگی های شبکه ارتباطی و نه صرفاً فاصله مستقیم تفسیر شوند.

بُعد نهادی و سازمانی، ظرفیت مدیریت شهری و نهادهای مسئول برای برنامه ریزی، هماهنگی و استمرار خدمات در شرایط بحران را در بر می گیرد. وجود برنامه های مدیریت بحران، سامانه های اطلاع رسانی و هشدار، تیم های واکنش سریع، هماهنگی میان دستگاه های مسئول و مشارکت شهروندان در تصمیم گیری از جمله مؤلفه های این بُعد محسوب می شوند. در یک محله شهری، ضعف هماهنگی سازمانی می تواند اثربخشی امکانات کالبدی و خدماتی موجود را کاهش دهد؛ همان طور که برنامه ریزی مناسب و بهره گیری از ظرفیت های محلی ممکن است بخشی از محدودیت های منابع را جبران کند. با این حال، بسیاری از شاخص های نهادی ماهیت غیرمکانی دارند و اندازه گیری آنها در سطح پارسل ساختمانی نیازمند داده های مناسب یا روش تخصیص مشخص است. بنابراین، وجود این مؤلفه ها در چارچوب نظری به معنای آن نیست که همه آنها الزاماً در نقشه نهایی پارسل محور نیز قابل استفاده اند.

۲-۳- مبانی انتخاب شاخص ها و روابط میان آنها

تدوین یک چارچوب ارزیابی تاب آوری، صرفاً به گردآوری تعداد زیادی شاخص وابسته نیست. اهمیت اصلی در انتخاب معیارهایی است که از یک سو بتوانند جنبه های اساسی مسئله را پوشش دهند و از سوی دیگر، از نظر مفهومی روشن، قابل اندازه گیری و متناسب با هدف پژوهش باشند. یک شاخص ممکن است در ارزیابی تاب آوری یک شهر اهمیت داشته باشد، اما به دلیل فقدان داده معتبر یا نامتناسب بودن مقیاس آن، برای تحلیل پارسل های ساختمانی مناسب نباشد. به همین ترتیب، شاخصی که در تحلیل سیل نقش تعیین کننده ای دارد، الزاماً برای ارزیابی تاب آوری لرزه ای همان درجه از اهمیت را نخواهد داشت. از مطالعات مبتنی بر IHWP در زمینه تاب آوری شهری در برابر سیل و تهدیدات مختلف می توان به پژوهش های بیطرفان، امینی حسینی (۲۰۲۵)؛ لعل عارفی و همکاران (۲۰۲۶) و بیطرفان و همکاران (۲۰۲۵) که نمونه هایی از کاربرد چارچوب های چند معیاره در مخاطرات متفاوت می باشند اشاره کرد.

از منظر نظری، تناسب شاخص ها را می توان بر اساس چند ویژگی بررسی کرد: ارتباط با سازوکارهای آسیب یا ظرفیت تاب آوری، تعریف عملیاتی روشن، قابلیت اندازه گیری، سازگاری با مقیاس تحلیل، کیفیت و به روز بودن داده ها و میزان اطلاعات مستقلی که هر شاخص به مدل اضافه می کند. وجود این ویژگی ها به کاهش ابهام در تفسیر نتایج کمک می کند. در مقابل، استفاده از شاخص های فاقد تعریف مشخص یا داده های نامتجانس از نظر زمان و مقیاس ممکن است موجب شود تفاوت های مشاهده شده در نقشه نهایی، بیش از آنکه بازتاب شرایط واقعی محله باشند، تحت تأثیر محدودیت های داده ای قرار گیرند.

یکی دیگر از مسائل مهم، احتمال هم پوشانی و وابستگی میان شاخص هاست. برای نمونه، عرض معبر، درجه محصوریت و سلسله مراتب شبکه راه ممکن است بخش هایی از یک ویژگی مشترک، یعنی کیفیت دسترسی و ساختار شبکه ارتباطی، را بازنمایی کنند. همچنین، فاصله از گسل و بیشینه شتاب زمین هر دو با خطر لرزه ای ارتباط دارند، هرچند از نظر ماهیت و اطلاعاتی که ارائه می کنند یکسان نیستند. در چنین شرایطی، ورود هم زمان شاخص ها به یک مدل تجمیعی، بدون بررسی روابط میان آنها، ممکن است به افزایش نامتناسب سهم برخی مؤلفه ها در امتیاز نهایی منجر شود.

در این زمینه، باید میان هم پوشانی مفهومی و هم بستگی آماری تفاوت قائل شد. هم پوشانی مفهومی زمانی رخ می دهد که دو شاخص عملاً جنبه های مشابهی از یک پدیده را اندازه گیری کنند، درحالی که هم بستگی آماری بیانگر وجود رابطه میان مقادیر مشاهده شده آنهاست. این دو وضعیت الزاماً به حذف یکی از شاخص ها منجر نمی شوند. برای مثال، دو شاخص ممکن است هم بستگی بالایی داشته باشند، اما از نظر سازوکار اثرگذاری بر تاب آوری متفاوت باشند. در مقابل، برخی شاخص های ظاهراً متمایز ممکن است یک ویژگی مشترک را به صورت تکراری در مدل وارد کنند. بنابراین، تصمیم درباره حفظ، حذف یا ادغام شاخص ها باید بر اساس ترکیبی از استدلال نظری، بررسی داده ها و هدف مدل انجام شود.

موضوع دیگری که بر اعتبار ارزیابی های چند معیاره اثر می گذارد، جهت رابطه شاخص ها و شیوه تجمیع آنهاست. شاخص های دارای اثر مثبت بر تاب آوری، مانند بهبود دسترسی مؤثر به خدمات امدادی، از نظر تفسیر با شاخص های دارای اثر منفی،

مانند افزایش شدت لرزش مورد انتظار، متفاوت اند. در نتیجه، پیش از ترکیب آنها لازم است جهت اثرگذاری به درستی مشخص شود و مقادیر در مقیاسی سازگار قرار گیرند. مرزی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده اند که انتخاب روش نرمال سازی، تجمیع و وزن دهی می تواند بر رتبه بندی نهایی تاب آوری اثر بگذارد.

۲-۴- ارزیابی فضایی تاب آوری و جایگاه پارسل های ساختمانی

مقیاس مکانی یکی از عوامل تعیین کننده در تفسیر نتایج ارزیابی تاب آوری است. شاخص هایی که در سطح شهر یا منطقه محاسبه می شوند، معمولاً تصویری کلی از شرایط ارائه می دهند، اما ممکن است تفاوت های موجود میان خیابان ها، بلوک ها و قطعات ساختمانی را آشکار نکنند. در مقابل، تحلیل در مقیاس های کوچک تر امکان بررسی جزئی تر رابطه میان ویژگی های کالبدی، شبکه دسترسی و موقعیت خدمات شهری را فراهم می سازد. کاتر و همکاران (۲۰۰۸) در چارچوب مکان مبنای تاب آوری جوامع، بر اهمیت شرایط محلی و ویژگی های محیطی و اجتماعی در شکل گیری ظرفیت تاب آوری تأکید کرده اند.

سامانه اطلاعات جغرافیایی با فراهم کردن امکان سازمان دهی، پردازش و تلفیق لایه های مکانی، ابزار مناسبی برای بررسی این تفاوت هاست. در ارزیابی تاب آوری لرزه ای، بخشی از اطلاعات به خود ساختمان یا قطعه زمین مربوط می شود، مانند تعداد طبقات و ویژگی های ساختمانی؛ بخشی دیگر ماهیت شبکه ای یا نقطه ای دارد، مانند معابر و مراکز امدادی؛ و گروهی نیز به صورت سطوح پیوسته مکانی، مانند شدت لرزش زمین یا ویژگی های توپوگرافی، نمایش داده می شود. تلفیق این داده ها نیازمند توجه به واحد مکانی تحلیل و سازگاری مقیاس لایه هاست.

در مطالعات مبتنی بر پارسل ساختمانی، لازم است میان داده هایی که مستقیماً برای یک پارسل ثبت شده اند و داده هایی که از لایه های پیرامونی به آن تخصیص می یابند تفاوت قائل شد. برای مثال، تعداد طبقات می تواند مشخصه مستقیم یک ساختمان باشد، درحالی که فاصله از مرکز امدادی یا مقدار شتاب زمین باید از طریق عملیات مکانی مناسب برای هر پارسل استخراج شود. چنانچه پردازش اولیه بر پایه داده های رستری انجام شود، نحوه تبدیل یا انتساب مقادیر رستری به قطعات ساختمانی باید روشن باشد؛ زیرا تغییر روش تخصیص می تواند بر امتیاز نهایی برخی قطعات، به ویژه در مرز طبقات مکانی، تأثیر بگذارد.

از سوی دیگر، افزایش تفکیک مکانی به تنهایی تضمین کننده افزایش دقت نتایج نیست. داده های قدیمی، ناهماهنگی هندسی لایه ها، فقدان اطلاعات برخی ساختمان ها یا استفاده از مقادیر میانگین برای محدوده های کوچک می توانند عدم قطعیت ارزیابی را افزایش دهند. بنابراین، کیفیت و تناسب داده ها باید هم زمان با انتخاب مقیاس تحلیل مورد توجه قرار گیرد. در این چارچوب، استفاده از پارسل ساختمانی می تواند جزئیات بیشتری برای تصمیم گیری فراهم کند، مشروط بر آنکه نحوه تولید و تخصیص داده ها با سطح دقت ادعا شده سازگار باشد.

بر مبنای مباحث مطرح شده، چارچوب نظری پژوهش حاضر بر ارتباط میان شرایط کالبدی و محیطی، ویژگی های جمعیتی و اجتماعی، ظرفیت های اقتصادی، امکانات ایمنی و خدمات رسانی و توانمندی های نهادی استوار است. این ابعاد، زمینه مفهومی شناسایی شاخص های مؤثر بر تاب آوری شهری را فراهم می کنند. در مرحله ارزیابی مکانی، شاخص های قابل استفاده با توجه به داده های موجود و روش وزن دهی انتخاب شده به کار گرفته می شوند تا الگوی نسبی تاب آوری محله باغ فیض در برابر زلزله مشخص شود. بنابراین، خروجی مدل باید در چارچوب دامنه پوشش شاخص های به کار رفته تفسیر شود و از تعمیم آن به همه ابعاد عملکرد واقعی شهر در دوره پس از سانحه خودداری گردد. چنین رویکردی می تواند زمینه ای برای شناسایی نواحی نیازمند مداخله و تدوین اولویت های برنامه ریزی کاهش خطر زلزله فراهم آورد.

۳- روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر نوع تحقیق در زمره تحقیقات کاربردی-توسعه ای و از نظر ماهیت تحقیق در زمره تحقیقات توصیفی-تحلیلی محسوب می شود. روش تحقیق مورد استفاده در این مطالعه از نوع ترکیبی (توصیفی-تحلیلی- اکتشافی- نمونه موردی) می باشد. ابتدا با استفاده از منابع کتابخانه ای و اینترنتی، تجارب جهانی در زمینه تاب آوری شهری بررسی شد و سپس با تحلیل مدل های مختلف و بررسی شاخص های تاب آوری که در هر کدام از این مدل ها استفاده شده بود و همچنین مصاحبه با جامعه نخبگان این تحقیق شاخص های تاب آوری در برابر زلزله شناسایی گردید و سپس با استفاده از پرسشنامه ای که توسط جامعه نخبگان تکمیل گردید امتیاز هر یک از شاخص ها بدست آمد و در ادامه با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره IHWP وزن هر یک از شاخص ها بدست آمد و سپس با استفاده نرم افزار تحلیل داده های مکانی GIS مدل ایجاد شده بر روی نمونه موردی پیاده شد.

۳-۱- شناسایی و انتخاب شاخص های ارزیابی تاب آوری شهری

شناسایی شاخص های مؤثر بر تاب آوری شهری در برابر زلزله، نخستین مرحله تدوین چارچوب ارزیابی پژوهش حاضر را تشکیل می دهد. با توجه به ماهیت چند بعدی تاب آوری و تنوع عوامل تأثیرگذار بر عملکرد محیط های شهری در شرایط بحرانی، استخراج شاخص ها بر پایه مرور و تحلیل مطالعات پیشین، چارچوب های نظری و پژوهش های مرتبط با ارزیابی تاب آوری در برابر سوانح انجام شد. در این فرایند، تلاش شد مجموعه ای از معیارها شناسایی شود که بتواند جنبه های مختلف تاب آوری شهری را پوشش دهد. شاخص های استخراج شده در قالب پنج بُعد کالبدی، فرهنگی و اجتماعی، اقتصادی، ایمنی و امنیت و نهادی و سازمانی سازمان دهی شدند. این ساختار، مبنای مفهومی پژوهش را تشکیل داده و امکان بررسی اهمیت نسبی مؤلفه های مختلف تاب آوری را فراهم می کند. استفاده از چنین رویکردی با اصول تدوین شاخص های ترکیبی نیز سازگار است؛ زیرا در این چارچوب ها، انتخاب معیارها باید پیش از هر چیز بر مبنای ارتباط نظری آنها با مسئله پژوهش و قابلیت تفسیر نتایج صورت گیرد(OECD, 2008) .

با این حال، میان شناسایی شاخص های مؤثر بر تاب آوری و امکان استفاده عملی از آنها در یک مدل ارزیابی مکانی تفاوت وجود دارد. هرچند مجموعه اولیه شاخص ها با هدف پوشش ابعاد مختلف تاب آوری تدوین شد، تمامی آنها قابلیت ورود مستقیم به تحلیل فضایی محله را نداشتند. بخشی از شاخص ها، به ویژه متغیر ها ی مرتبط با سرمایه اجتماعی، آگاهی شهروندان، توانمندی های سازمانی و برخی ویژگی های اقتصادی، ماهیتی دارند که اندازه گیری آنها مستلزم گردآوری اطلاعات پیمایشی یا داده های تخصصی در مقیاس مناسب است. این متغیر ها بدون برخورداری از اطلاعات کافی و امکان انتساب معتبر داده ها به واحدهای مکانی، قابلیت استفاده مستقیم در مدل *GIS* را ندارند. در مقابل، برخی دیگر از شاخص ها از نظر ماهیت امکان تحلیل مکانی داشتند، اما لایه های اطلاعاتی مورد نیاز برای آنها در مجموعه داده های در دسترس پژوهش موجود نبود. بنابراین، محدود شدن تعداد شاخص های مورد استفاده در مرحله پیاده سازی، ناشی از الزامات اجرایی تحلیل فضایی و دسترسی به داده های مکانی بوده است و نباید به معنای فقدان اهمیت نظری شاخص های کنار گذاشته شده تلقی شود.

بر همین اساس، از میان شاخص های شناسایی شده در چارچوب اولیه، ۱۸ شاخص که اطلاعات مورد نیاز برای پیاده سازی آنها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در دسترس بود، برای ارزیابی فضایی محله باغ فیض مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص ها شامل دسترسی به بیمارستان، دسترسی به تأسیسات آب، دسترسی به تأسیسات برق، فاصله از پل ها، تعداد جمعیت، تعداد طبقات ساختمان، فاصله از بافت فرسوده، دسترسی به مراکز آتش نشانی، دسترسی به مراکز مدیریت بحران، فاصله از گسل، بیشینه شتاب زمین، سلسله مراتب شبکه راه، فاصله از جایگاه های سوخت، دسترسی به مراکز انتظامی، دسترسی به مراکز چندمنظوره، عرض معابر، درجه محصوریت و توپوگرافی هستند. این مجموعه، جنبه هایی از شرایط کالبدی و جمعیتی، ویژگی های محیطی، مخاطره لرزه ای، ساختار شبکه ارتباطی و دسترسی به خدمات ضروری را در بر می گیرد. در واقع، انتخاب این شاخص ها با هدف تبدیل چارچوب نظری پژوهش به مجموعه ای از متغیر ها ی قابل استفاده در تحلیل مکانی و متناسب با اطلاعات موجود در محدوده مطالعه صورت گرفته است.

برخی از شاخص های عملیاتی، صورت مکانی و قابل اندازه گیری معیارهای کلی تر موجود در چارچوب اولیه محسوب می شوند. برای مثال، فاصله از مراکز خدماتی به عنوان یکی از متغیر ها ی مرتبط با دسترسی به امکانات ضروری و فاصله از جایگاه های سوخت به عنوان یکی از مؤلفه های مرتبط با مجاورت کاربری های خطر زا مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، تعدادی از شاخص ها با وجود ارتباط موضوعی، جنبه های متفاوتی از شرایط تاب آوری را توصیف می کنند. برای نمونه، عرض معبر، درجه محصوریت و سلسله مراتب شبکه راه، هر سه با ساختار ارتباطی محله ارتباط دارند؛ با این حال، عرض معبر بیانگر ویژگی هندسی مسیر، درجه محصوریت نشان دهنده محدودیت های ناشی از ساختار کالبدی پیرامون و سلسله مراتب شبکه راه معرف جایگاه ارتباطی مسیرها در شبکه شهری است. به همین ترتیب، فاصله از گسل و بیشینه شتاب زمین، اگرچه هر دو با مخاطره لرزه ای مرتبط اند، از نظر مفهوم و نحوه اندازه گیری یکسان نیستند. از این رو، وجود ارتباط مفهومی میان برخی معیارها لزوماً به معنای تکراری بودن آنها نیست؛ هرچند احتمال هم پوشانی اطلاعاتی باید در تفسیر نتایج ترکیبی مورد توجه قرار گیرد.

در مرحله امتیاز دهی نیز ماهیت و جهت تأثیرگذاری شاخص ها بر تاب آوری اهمیت دارد. برای مثال، افزایش کیفیت سازه و بهبود دسترسی مؤثر به مراکز امدادی، در شرایط مشابه، می تواند به کاهش آسیب پذیری و تقویت ظرفیت پاسخ گویی منجر شود؛ درحالی که افزایش شدت لرزش مورد انتظار یا محدودیت دسترسی اضطراری ممکن است شرایط نامطلوب تری ایجاد کند. با این وجود، برخی متغیر ها مانند تعداد طبقات، نوع سازه و تراکم جمعیت دارای روابط پیچیده تری هستند و نمی توان اثر آنها را مستقل از شرایط فنی، کالبدی و خدماتی تفسیر کرد. بنابراین، تعیین امتیاز هر طبقه از شاخص ها باید با توجه به ماهیت متغیر و جهت رابطه آن با تاب آوری انجام شود تا افزایش یا کاهش امتیاز نهایی، از نظر مفهومی با شرایط مورد ارزیابی سازگار باشد.

پس از تعیین مجموعه شاخص های مورد استفاده، امتیازهای حاصل از ارزیابی متخصصان در چارچوب روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس *(IHWP)* برای وزن دهی معیارها به کار گرفته شد. سپس، اطلاعات مربوط به ۱۸ شاخص منتخب متناسب با ماهیت داده ها در محیط *GIS* پردازش و برای تلفیق در مدل ارزیابی آماده شد. به این ترتیب، چارچوب اولیه که دامنه گسترده ای از مؤلفه های تاب آوری شهری را در بر می گرفت، در مرحله اجرا به مجموعه ای از شاخص های دارای اطلاعات مکانی قابل استفاده تبدیل شد. بر این اساس، خروجی نهایی پژوهش، ارزیابی نسبی شرایط تاب آوری محله باغ فیض بر مبنای شاخص های منتخب و اطلاعات موجود است و باید در چارچوب دامنه پوشش همین متغیر ها تفسیر شود. در شکل ۱ نحوه دستیابی به مدل نشان داده شده است.



شکل ۱- فرایند توسعه مدل تاب آوری شهری با منطق فازی IHWP

۳-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس(IHWP)

در پژوهش حاضر، برای تعیین اهمیت نسبی شاخص های تاب آوری شهری و تبدیل قضاوت های تخصصی به امتیازهای قابل استفاده در تحلیل فضایی، از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) استفاده شد. این روش با سازمان دهی معیارها در سطوح مختلف، امکان تعیین اهمیت شاخص ها و اختصاص امتیاز به طبقات آنها را فراهم می کند. از آنجا که شاخص های تاب آوری شهری از نظر ماهیت، مقیاس اندازه گیری و جهت تأثیرگذاری متفاوت اند، استفاده از یک ساختار مشخص برای وزن دهی و امتیاز دهی آنها اهمیت ویژه ای دارد. کاربرد روش IHWP در مسائل ارزیابی کالبدی و تصمیم گیری شهری در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (بیطرفان و همکاران، ۲۰۱۵, لعل عارفی و همکاران، ۲۰۲۵). در این پژوهش، فرایند ارزیابی در سه گام شامل تشکیل ماتریس داده ها، تعیین اهمیت شاخص ها از طریق روش دلفی و محاسبه امتیاز طبقات بر اساس IHWP انجام شد.

۳-۲-۱ گام اول: تشکیل ماتریس داده ها و سازمان دهی شاخص ها

در مرحله نخست، شاخص های شناسایی شده از طریق مرور پیشینه پژوهش در ساختاری سلسله مراتبی شامل ابعاد، معیارها و زیر معیارها سازمان دهی شدند. این ساختار بر پنج بُعد کالبدی، فرهنگی و اجتماعی، اقتصادی، ایمنی و امنیت و نهادی و سازمانی استوار بود و امکان بررسی مؤلفه های مختلف تاب آوری را در چارچوبی منسجم فراهم کرد. در ادامه، با توجه به ماهیت شاخص ها و قابلیت استفاده از اطلاعات موجود در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، داده های مربوط به ۱۸ شاخص منتخب برای مطالعه موردی محله باغ فیض آماده سازی شدند. این داده ها شامل اطلاعات ساختمانی و جمعیتی، ویژگی های شبکه معابر، موقعیت مراکز خدماتی و لایه های مرتبط با شرایط محیطی و مخاطره لرزه ای بودند. از آنجا که داده های مورد استفاده از نظر نوع و مقیاس اندازه گیری یکسان نبودند، برای هر گروه از متغیر ها فرایند آماده سازی و طبقه بندی متناسب با ماهیت آن در نظر گرفته شد.

۳-۲-۲ گام دوم: تعیین اهمیت نسبی شاخص ها با استفاده از روش دلفی

به منظور بهره گیری از قضاوت های تخصصی در تعیین اهمیت نسبی شاخص ها، فرایند دلفی در دو دور متوالی با مشارکت ۱۶ نفر از متخصصان حوزه های مهندسی عمران و سازه، معماری و طراحی شهری، مدیریت بحران و مدیریت و برنامه ریزی شهری انجام شد. ترکیب تخصصی گروه با هدف بهره گیری از دیدگاه های فنی، کالبدی و مدیریتی در ارزیابی تاب آوری شهری در برابر زلزله در نظر گرفته شد. در هر دو دور، تمامی ۱۶ متخصص در فرایند ارزیابی مشارکت داشتند؛ بنابراین، نرخ پاسخ گویی در هر مرحله ۱۰۰ درصد بود و هیچ یک از مشارکت کنندگان در فاصله دو دور از فرایند نظرخواهی خارج نشدند. حفظ ترکیب یکسان گروه خبرگان، امکان مقایسه نتایج دو مرحله را بدون تغییر در تعداد مشارکت کنندگان فراهم ساخت. در جدول ۱ مشخصات گروه نخبگان در فرآیند ارزیابی ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات گروه نخبگان در فرآیند ارزیابی

حوزه تخصصی	دکتری	کارشناسی ارشد	مجموع
مهندسی عمران و سازه	۳	۲	۵
معماری و طراحی شهری	۲	۱	۳
مدیریت بحران	۲	۱	۳
مدیریت و برنامه ریزی شهری	۳	۲	۵
مجموع	۱۰	۶	۱۶

در دور نخست، شاخص های استخراج شده از پیشینه پژوهش برای ارزیابی اهمیت نسبی در اختیار متخصصان قرار گرفت. خبرگان اهمیت هر معیار را با استفاده از مقیاس امتیازدهی ۱ تا ۱۰ ارزیابی کردند؛ به گونه ای که مقادیر بالاتر بیانگر اهمیت بیشتر شاخص در ارزیابی تاب آوری شهری بود. در دور دوم نیز همان گروه از متخصصان مجدداً به ارزیابی شاخص ها پرداختند. برای بررسی میزان هماهنگی قضاوت ها و تغییر آن در طول فرایند نظرخواهی، از ضریب توافق کندال[1] استفاده شد. این ضریب میزان هماهنگی رتبه بندی های ارائه شده از سوی خبرگان را نشان می دهد و مقدار آن در محدوده صفر تا یک قرار می گیرد.

نتایج محاسبات نشان داد که ضریب توافق کندال در دور نخست برابر با ۰/۶۸۵۲ بود. این مقدار در دور دوم به ۰/۷۴۲۳ افزایش یافت که بیانگر افزایش ۵/۷۱ واحد درصدی میزان توافق میان قضاوت های خبرگان است. افزایش ضریب کندال در دور دوم نشان می دهد که رتبه بندی های ارائه شده از سوی مشارکت کنندگان نسبت به مرحله نخست از هماهنگی بیشتری برخوردار بوده اند. با این حال، مقدار نهایی ضریب بیانگر توافق کامل نیست و همچنان تفاوت هایی میان دیدگاه های تخصصی وجود داشته است. نتایج این دو مرحله در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج بررسی توافق خبرگان در دو دور دلفی

شاخص	دور دوم	دور اول
تعداد خبرگان	۱۶	۱۶
تعداد پاسخ های دریافت شده	۱۶	۱۶
نرخ مشارکت	۱۰۰ درصد	۱۰۰ درصد
ضریب توافق کندال *(W)*	۰/۷۴۲۳	۰/۶۸۵۲
میزان توافق (درصد)	۷۴/۲۳	۶۸/۵۲

در کنار بررسی توافق میان خبرگان، پایایی درونی ابزار گردآوری داده ها نیز با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ[2] ارزیابی شد. مقدار این ضریب برابر با ۰/۷۶ به دست آمد که بیانگر سطح قابل قبول سازگاری درونی پرسش نامه است. البته باید میان پایایی ابزار و توافق خبرگان تمایز قائل شد؛ آلفای کرونباخ میزان هماهنگی درونی گویه های ابزار اندازه گیری را نشان می دهد، درحالی که ضریب کندال برای ارزیابی هماهنگی رتبه بندی های خبرگان به کار می رود. در مجموع، نتایج حاصل از این دو شاخص، شواهدی از پایایی قابل قبول ابزار و افزایش توافق میان مشارکت کنندگان در دور دوم فراهم می کند.

پس از تکمیل فرایند نظرخواهی، امتیازهای نهایی حاصل از ارزیابی خبرگان مبنای تعیین اهمیت نسبی شاخص ها در روش *IHWP* قرار گرفتند. در این مرحله، میان امتیاز اهمیت هر معیار و امتیاز طبقات آن تمایز در نظر گرفته شد؛ زیرا اهمیت نسبی

1 *Kendall's Coefficient of Concordance*
2 *Cronbach's Alpha*

یک شاخص لزوماً بیانگر مطلوب یا نامطلوب بودن مقدار مشاهده شده آن نیست. برای مثال، شاخص کیفیت سازه می تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد، اما اثر طبقات آن بر تاب آوری باید با توجه به کیفیت و عملکرد لرزه ای ساختمان تفسیر شود. این تمایز برای جلوگیری از خطا در جهت امتیازدهی و حفظ سازگاری مفهومی نتایج ضروری است.

۳-۲-۳ گام سوم: طبقه بندی و محاسبه امتیاز شاخص ها بر اساس IHWP

پس از تعیین اهمیت نسبی شاخص ها، داده های مربوط به ۱۸ معیار منتخب متناسب با ویژگی های آنها طبقه بندی شدند. در این مرحله، برای داده های اسمی و ترتیبی، از جمله برخی مشخصات ساختمانی، طبقات متناسب با ماهیت متغیر تعریف شد. متغیر ها ی کمی مانند عرض معابر، تعداد طبقات و درجه محصوریت نیز با استفاده از روش شکست های طبیعی ۱ در محیط GIS طبقه بندی شدند. برای شاخص های مرتبط با فاصله و دسترسی، عملیات تحلیل مکانی متناسب با نوع داده انجام گرفت تا وضعیت واحدهای مورد مطالعه نسبت به مراکز خدماتی، تأسیسات شهری و سایر عناصر مؤثر مشخص شود.

در ادامه، برای تبدیل اهمیت نسبی شاخص ها به امتیازهای قابل استفاده در لایه های مکانی، ابتدا فاصله امتیازی طبقات هر شاخص بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد.

$$X_k = \frac{D_k}{N_k} \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، X_k بیانگر فاصله امتیازی میان طبقات متوالی شاخص *(k)* است که از تقسیم امتیاز اختصاص یافته به آن شاخص بر تعداد طبقات تعریف شده به دست می آید. در این رابطه، D_k نشان دهنده امتیاز نهایی اختصاص یافته به شاخص *(k)* در فرایند وزن دهی *IHWP* و N_k تعداد طبقات در نظر گرفته شده برای همان شاخص است. همچنین، *(k)* به شاخص مورد بررسی اشاره دارد. به این ترتیب، فاصله امتیازی طبقات متناسب با اهمیت نسبی هر شاخص و تعداد گروه های تعریف شده برای آن تعیین می شود.

پس از محاسبه فاصله امتیازی، امتیاز هر طبقه بر اساس جایگاه آن در ترتیب امتیازدهی و مطابق رابطه (۲) تعیین شد.

$$J_{ki} = D_k - (N_k - i)X_k = iX_k \quad (۲)$$

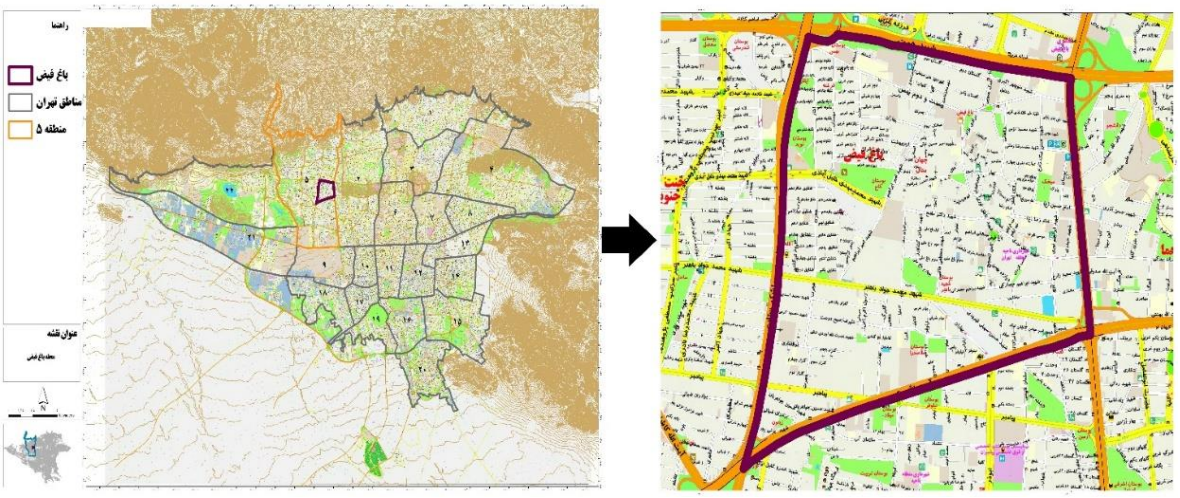
در رابطه (۲)، J_{ki} امتیاز اختصاص یافته به طبقه *(i)* از شاخص *(k)* را نشان می دهد. در این رابطه، D_k امتیاز شاخص، N_k تعداد طبقات آن و X_k فاصله امتیازی محاسبه شده از رابطه (۱) است. همچنین، *(i)* بیانگر رتبه طبقه مورد بررسی است که از یک تا تعداد کل طبقات تغییر می کند. بر این اساس، امتیاز هر طبقه متناسب با جایگاه آن در ترتیب تعیین شده محاسبه می شود. در این مرحله، جهت اثرگذاری شاخص بر تاب آوری مورد توجه قرار گرفت تا طبقات دارای وضعیت مطلوب تر، امتیاز بیشتری دریافت کنند. برای نمونه، افزایش شدت لرزش زمین از نظر مخاطره لرزه ای شرایط نامطلوب تری ایجاد می کند؛ بنابراین، امتیازدهی این شاخص باید در جهت معکوس شدت خطر انجام شود. در مقابل، بهبود دسترسی مؤثر به خدمات امدادی می تواند با افزایش امتیاز تاب آوری همراه باشد.

در مرحله بعد، امتیازهای محاسبه شده به طبقات متناظر در لایه های مکانی اختصاص یافتند. سپس با استفاده از ابزارهای تحلیل فضایی و تلفیق لایه ها در محیط *GIS*، امتیاز ترکیبی تاب آوری برای واحدهای مکانی مورد مطالعه محاسبه شد. در نهایت، مقادیر حاصل در پنج طبقه بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد دسته بندی شدند تا الگوی فضایی تاب آوری محله باغ فیض در برابر زلزله مشخص شود. نقشه نهایی حاصل از این فرایند، مبنایی برای شناسایی تفاوت های درون محله ای و تعیین محدوده های نیازمند بررسی و مداخله فراهم می کند.

۳-۳- محدوده مورد مطالعه

نمونه موردی پژوهش حاضر، محله باغ فیض واقع در ناحیه ۳ از منطقه ۵ شهر تهران می‌باشد که از جنوب به بزرگراه رسالت، از شمال به بزرگراه شهید همت، از غرب به بزرگراه شهید ستاری و از شرق به بزرگراه اشرفی اصفهانی محدود میشود و با وسعت ۲۶۰ هکتار، حدود ۱۴۳۰۰ خانوار (۴۶۷۴۲ نفر) را در خود جای داده است. بخش بزرگی از قسمت مرکزی محله (به مساحت ۶/ ۴۱ هکتار) را بافت فرسوده و نفوذ ناپذیر تشکیل میدهد. در شکل ۲ موقعیت محله باغ فیض در منطقه ۵ تهران و شهر تهران نشان داده شده است.

1 *Natural Breaks*



شکل ۲- موقعیت محله باغ فیض الف) در منطقه ۵ تهران، ب) در شهر تهران

۴- یافته ها

جهت تجزیه و تحلیل داده ها ابتدا بر اساس امتیازهای داده شده توسط جامعه نخبگان و استفاده از روش IHWP امتیاز نهایی ابعاد و شاخص ها بدست آمد و در ادامه نتایج بدست آمده جهت محاسبه تاب آوری در برابر زلزله بر روی نمونه موردی پیاده سازی شده است.

۴-۱- محاسبه امتیاز شاخص ها با روش IHWP

در این مرحله پژوهش، وزن هر یک از شاخص‌ها با استفاده از مدل وزن دهی سلسله مراتبی معکوس که ترکیبی از روش منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی است، محاسبه شده است. برای تهیه نقشه های آسیب پذیری، ابتدا لازم است که معیارهای موثر بر این موضوع شناسایی شوند. در این پژوهش، ابتدا با مروری بر مطالعات صورت گرفته، ۷۶ مورد از مهم ترین شاخص های موثر بر تاب آوری شهر ها در برابر زلزله شناسایی شدند. سپس با بهره گیری از روش دلفی و پرسش از متخصصان و صاحبنظران به این شاخص ها امتیاز دهی شدند و مورد بررسی قرار گرفتند. به این صورت که شاخص با اهمیت بیشتر رتبه ۱۰ و شاخص با اهمیت کمتر رتبه ۱ را به خود اختصاص داده است. در مرحله بعد، رتبه معکوس هر یک از شاخصها جهت تعیین وزن شاخص ها، برای اعمال در مدل IHWP مشخص گردید. برای هر یک از ۷۶ شاخص مورد بررسی، فرض مورد بررسی اعمال میشود. برای مثال، بهبود کیفیت طراحی و اجرای سازه، در شرایط مشابه، معمولاً با کاهش آسیب پذیری لرزه ای ساختمان و پارسل ها همراه است. همچنین با افزایش تراکم جمعیتی، میزان تاب آوری کاهش می یابد. به همین ترتیب، برای دیگر معیارهای مورد بررسی، فرض لازم قید میگردد. سپس ارزش گذاری داده‌های موجود در سه مرحله صورت میگیرد:

۱. در مرحله اول امتیاز اولیه هر بعد محاسبه میشود .
۲. در مرحله بعدی، ارزش هر معیار تعیین می شود و در مرحله سوم امتیاز شاخص ها محاسبه می گردد و معادله مورد استفاده در روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس همان معادله شماره ۱ می باشد.
۳. در نهایت و در مرحله سوم، امتیاز شاخص ها در *جدول ۳* آورده شده است.

همانطور که در بخش قبل مطرح شد پنج بعد برای ارزیابی شاخص های تاب آوری شهرها در برابر زلزله در نظر گرفته شد که بر اساس نتایج بدست آمده از روش دلفی بعد کالبدی بیشترین امتیاز را کسب نموده که دلیل آن می تواند رابطه مستقیم و قوی این بعد با سطح آسیب پذیری و خسارات و تلفات انسانی باشد و در رتبه بعدی بعد فرهنگی و اجتماعی قرار دارد و به ترتیب بعد های اقتصادی, ایمنی و امنیت و در نهایت بعد نهادی و سازمانی قرار گرفته است.

در بعد کالبدی شش شاخص تعریف شده است که شاخص سازه رتبه اول قرارگرفته و به ترتیب شاخص های کاربری زمین، شبکه ارتباطی، ساختار فضایی شهری، عوامل طبیعی و معماری ساختمان قرار گرفته است و همانطور که در جدول ۳ مشاهده می کنید نوع سازه با امتیاز ۱۴ بیشترین امتیاز را بدست آورده و جنس مصالح با امتیاز ۱۲.۲۵ در رتبه دوم، تعداد طبقات با امتیاز ۱۰.۵ در رتبه سوم قرار گرفته است و تراکم ساختمانی، رعایت آیین نامه های ساخت و ساز، سال ساخت ابنیه، جنس نما و سطح اشغال در رتبه های بعدی قرار دارند. در شاخص کاربری زمین حریم گسل ها و نقاط زمین لغزش بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است.

جدول ۳- امتیاز شاخص ها براساس نتایج IHWP

شاخص	طبقه بندی	x	i	امتیاز	شاخص	طبقه بندی	x	i	امتیاز
ساختار فضایی شهر	میزان خوانایی شهری	۱	۲	۲	سازه	نوع سازه (کیفیت)	۱/۷۵	۸	۱۴
	درصد ساخت و سازهای غیرمجاز	۱	۱	۱		جنس مصالح	۱/۷۵	۷	۱۲/۲۵
دسترسی ها به فضاهای امدادرسانی	بیمارستان و مراکز امدادی	۱	۸	۸		تعداد طبقات	۱/۷۵	۶	۱۰/۵
	فضاهای سبز و باز	۱	۷	۷		تراکم ساختمانی	۱/۷۵	۵	۸/۷۵
	آتش نشانی	۱	۶	۶		رعایت آیین نامه های ساخت و ساز	۱/۷۵	۴	۷
	مسیرهای تخلیه	۱	۵	۵		سال ساخت ابنیه (قدمت)	۱/۷۵	۳	۵/۲۵
	مراکز اسکان موقت	۱	۴	۴		جنس نما	۱/۷۵	۲	۳/۵
	فضاهای چندمنظوره	۱	۳	۳		سطح اشغال	۱/۷۵	۱	۱/۷۵
	شبکه ارتباطات مخابراتی اضطراری	۱	۲	۲	کاربری زمین	حریم گسل ها و نقاط زمین لغزش	۲/۱۷	۶	۱۳
	مراکز پلیس و نیروی انتظامی	۱	۱	۱		مکانیابی	۲/۱۷	۵	۱۰/۸۳
معماری ساختمان ها	ویژگی های ورودی ساختمان	۱/۴	۵	۷		حرایم تأسیسات خطرزا	۲/۱۷	۴	۸/۶۷
	بازشو های ساختمان	۱/۴	۴	۵/۶		حرایم صنایع و زیرساخت ها	۲/۱۷	۳	۶/۵
	فضاهای داخلی ساختمان	۱/۴	۳	۴/۲		همجواری و سازگاری کاربری ها	۲/۱۷	۲	۴/۳۳
	استقلال فضاهای ساختمان	۱/۴	۲	۲/۸		اختلاط و تنوع عملکردی کاربری ها	۲/۱۷	۱	۲/۱۷
	تزئینات ساختمان	۱/۴	۱	۱/۴	جمعیت	توزیع و تراکم جمعیتی	۱/۵	۸	۱۲
سرمایه اجتماعی	آموزش ضوابط ایمنی در برابر تهدید	۱/۲	۵	۶		بُعد خانوار	۱/۵	۷	۱۰/۵
	همبستگی اجتماعی در مواقع بروز بحران	۱/۲	۴	۴/۸		رشد جمعیتی	۱/۵	۶	۹
	میزان آگاهی از وقوع تهدید	۱/۲	۳	۳/۶		جمعیت بومی	۱/۵	۵	۷/۵
	میزان احساس تعلق و رضایت مندی	۱/۲	۲	۲/۴		نسبت جنسیت	۱/۵	۴	۶
	میزان ناهنجاری های اجتماعی	۱/۲	۱	۱/۲		سن جمعیت	۱/۵	۳	۴/۵
درآمد	پوشش بیمه	۱	۵	۵		سواد جمعیت	۱/۵	۲	۳
	میزان درآمد سرانه	۱	۴	۴		میزان جمعیت نیازمند حمایت	۱/۵	۱	۱/۵
	سرانه ناخالص داخلی (GDP)	۱	۳	۳	عوامل طبیعی	بیشینه شتاب زمین (شدت زلزله)	۲/۷۵	۴	۱۱
	دسترسی به تسهیلات بانکی مرتبط	۱	۲	۲		توپوگرافی و شیب زمین	۲/۷۵	۳	۸/۲۵
	قیمت مسکن	۱	۱	۱		بافت خاک	۲/۷۵	۲	۵/۵۰
عملکرد نهادی	داشتن برنامه کاهش ریسک	۰/۸	۵	۴		جنس زمین	۲/۷۵	۱	۲/۷۵
	وجود سامانه فرماندهی حوادث و ارزیابی خسارات	۰/۸	۴	۳/۲	شبکه ارتباطی	دسترسی به راه	۲	۵	۱۰
	وجود تیم های واکنش سریع	۰/۸	۳	۲/۴		عرض راه	۲	۴	۸
	وجود سامانه هشدار سریع در ارتباط با تهدید	۰/۸	۲	۱/۶		درجه محصوریت	۲	۳	۶
	ظرفیت ها و توانمندی نهادها	۰/۸	۱	۰/۸		حریم پل ها	۲	۲	۴
بستر نهادی	وجود تشکل های مردمی	۰/۷۵	۴	۳		سلسله مراتب راه	۲	۱	۲
	وجود نهادهای مرتبط با مدیریت بحران	۰/۷۵	۳	۲/۳	ساختار فضایی شهر	میزان وابستگی و اندرکنش زیرساخت ها	۱	۹	۹
	میزان مشارکت مردم در تصمیم گیری برای مقابله با بحران	۰/۷۵	۲	۱/۵		بافت و الگوی شهری	۱	۸	۸
	وجود برنامه ها و آیین نامه های مرتبط با مدیریت بحران	۰/۷۵	۱	۰/۷۵		میزان برخورداری از برق	۱	۷	۷
روابط نهادی	برنامه های آمادگی(تمرین، مانور و...)	۱	۲	۲		میزان برخورداری از آب	۱	۶	۶
	میزان تعامل ساکنان با نهادهای محلی	۱	۱	۱		فرم شهری	۱	۵	۵

شاخص	طبقه بندی	x	i	امتیاز	شاخص	طبقه بندی	x	i	امتیاز
اشتغال	میزان جمعیت فعال	۰/۲۵	۴	۱		میزان برخورداری از گاز	۱	۴	۴
	نرخ اشتغال	۰/۲۵	۴	۱		میزان برخورداری از زیرساخت سایبری	۱	۳	۳

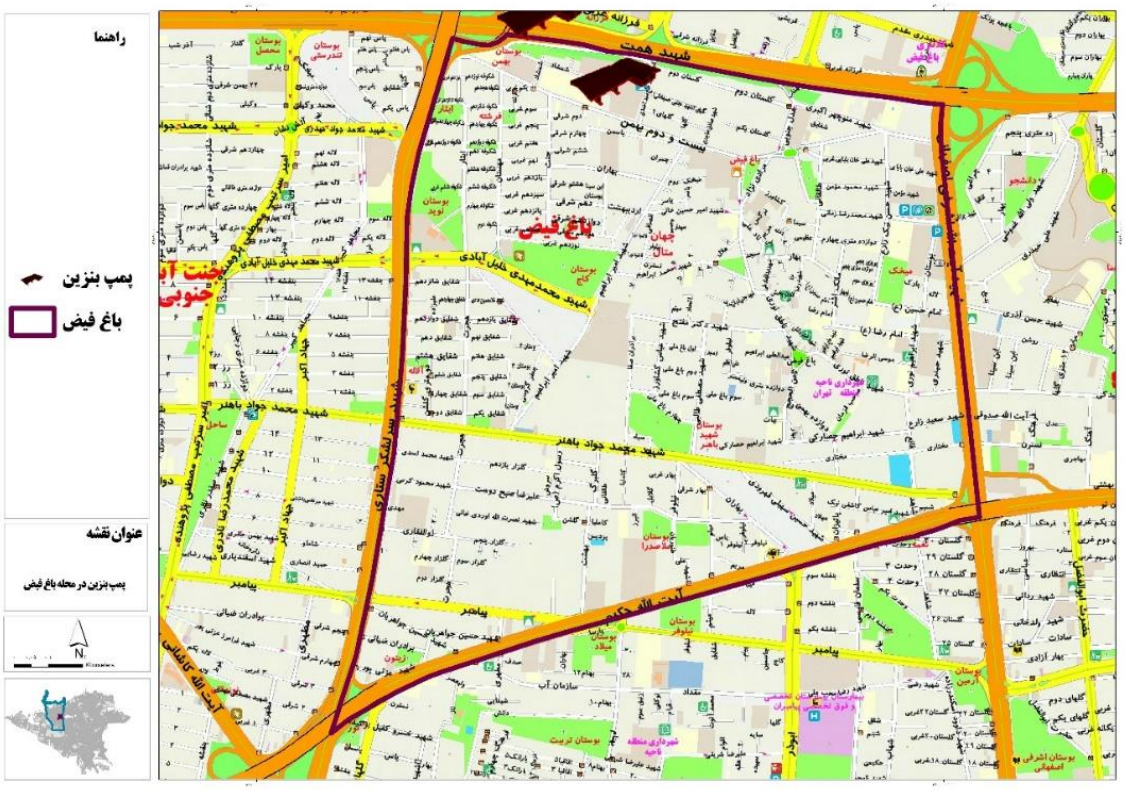
۲-۴- محاسبه میزان تاب آوری نمونه موردی در برابر زلزله

به منظور بررسی میزان تاب آوری محدوده مورد مطالعه در برابر زلزله، ۱۸ شاخص انتخاب شده است که عبارتند از: دسترسی به بیمارستان، دسترسی به تاسیسات آب، دسترسی به تاسیسات برق، فاصله از پل‌ها، تعداد جمعیت، تعداد طبقات، فاصله از بافت فرسوده، دسترسی به مراکز آتش نشانی، دسترسی به مراکز مدیریت بحران، فاصله از گسل، بیشینه شتاب زمین، سلسله مراتب شبکه راه، فاصله از پمپ بنزین، دسترسی به مراکز انتظامی، دسترسی به مراکز چند منظوره، عرض معابر، درجه محصوریت، توپوگرافی. **شکل ۳** الی شکل ۸ چند شاخص مهم در محله باغ فیض تهران را نشان می‌دهد.

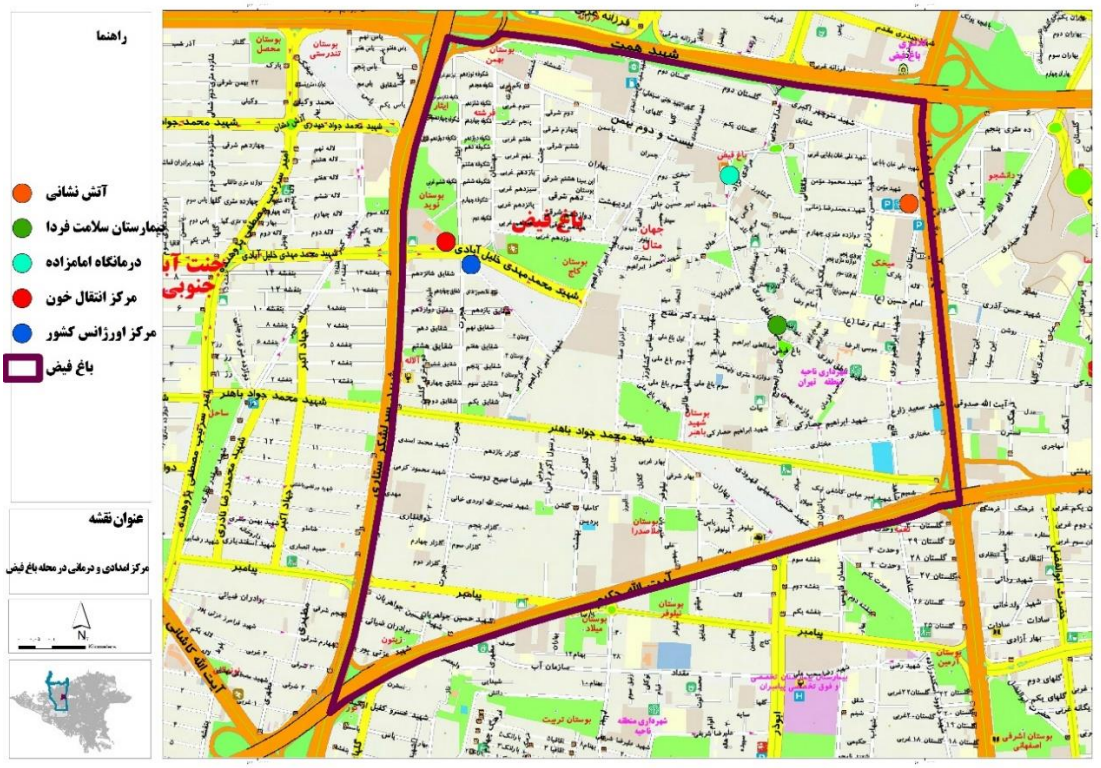
در ادامه وضعیت محله باغ فیض با توجه به ۱۸ شاخص مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شاخص دسترسی به بیمارستان، در محله یک بیمارستان در مقیاس فرامنطقه‌ای به اسم بیمارستان سلامت فردا در خیابان ناطق نوری نزدیک به شهرداری ناحیه سه منطقه پنج قرار دارد که حول این بیمارستان، کاربری های ناسازگار مکانیکی و تعمیرات خودرو قرار دارد و همچنین عرض معبر کم بوده که در مواقع بحران زلزله، امدادرسانی با مشکل مواجه می‌شود. شاخص دسترسی به تأسیسات آب در محله از وضعیت مطلوبی برخوردار است کل محله تحت شبکه آب و فاضلاب بوده و با توجه به چشمه باغ فیض که از محله عبور می‌کند در مواقع وقوع زلزله موضوع آبرسانی محله با مشکل حل نشدنی ای مواجه نمی‌شود. دسترسی به تأسیسات برق که از محدوده بلوار خلیل آبادی، خطوط فشار قوی برق عبور می‌کند و دو پست برق دارد که عبور خطوط فشار قوی در محله در مواقع بروز زلزله، خطرآفرین می‌باشد. پست‌های برق محله نیز در جانمایی به دلیل نزدیکی به پمپ بنزین با مشکل مواجه است. شاخص فاصله از پل‌ها که در محدوده محله، پل بزرگراه حکیم و بزرگراه همت قرار دارد که در مواقع بروز زلزله در صورت تخریب، دسترسی محله از سمت بزرگراه حکیم و همت قطع می‌گردد. شاخص تعداد جمعیت، که شمال و بخصوص جنوب محله دارای جمعیت بیشتری است و در مواقع بروز زلزله از آسیب پذیری بیشتری برخوردار است.



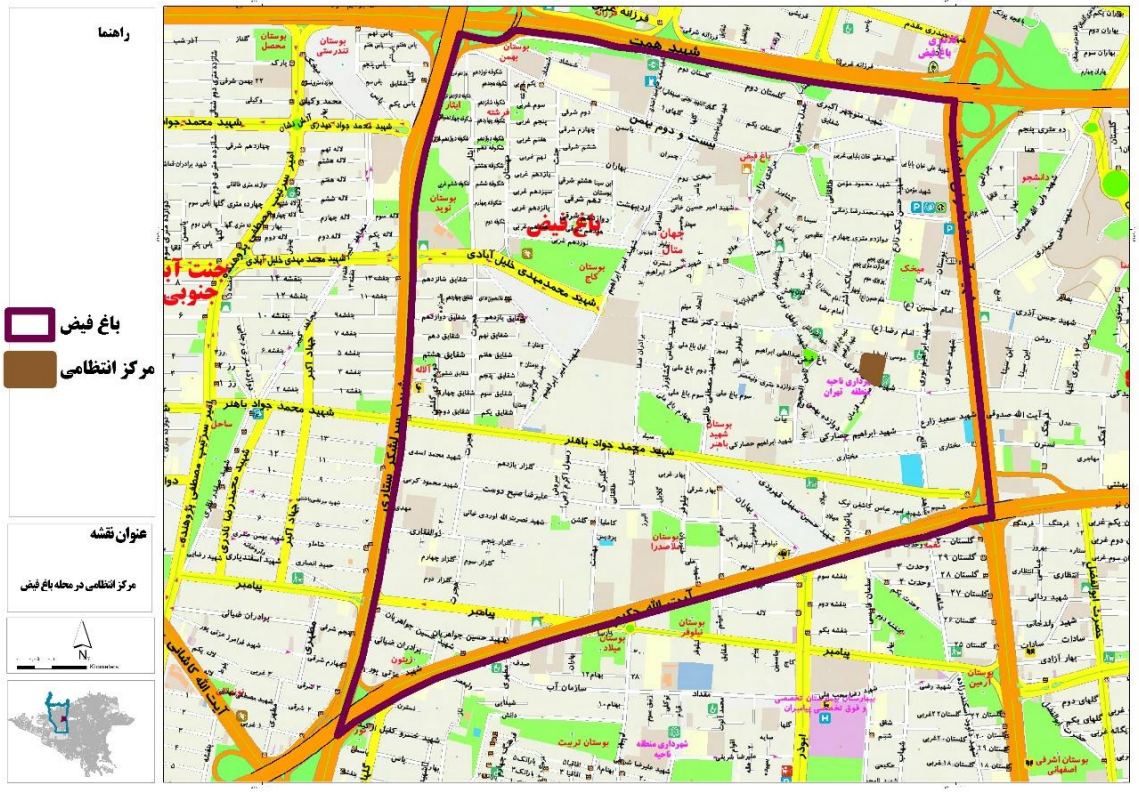
شکل ۳- بافت محله باغ فیض



شکل ۴-پمپ بنزین های موجود در محله باغ فیض



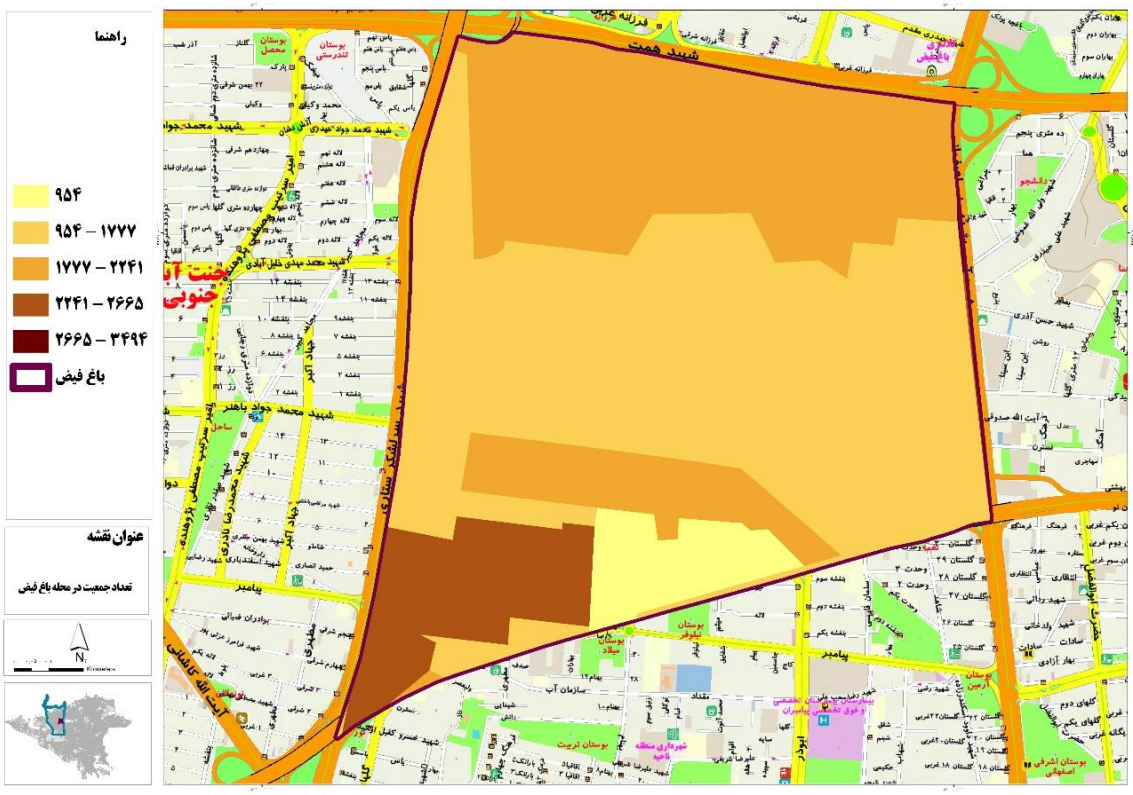
شکل ۵- مراکز امدادی محله باغ فیض



شکل ۶- مراکز انتظامی موجود در محله باغ فیض



شکل ۷- شبکه ارتباطی موجود در محله باغ فیض



شکل ۸- تراکم جمعیت در محله باغ فیض

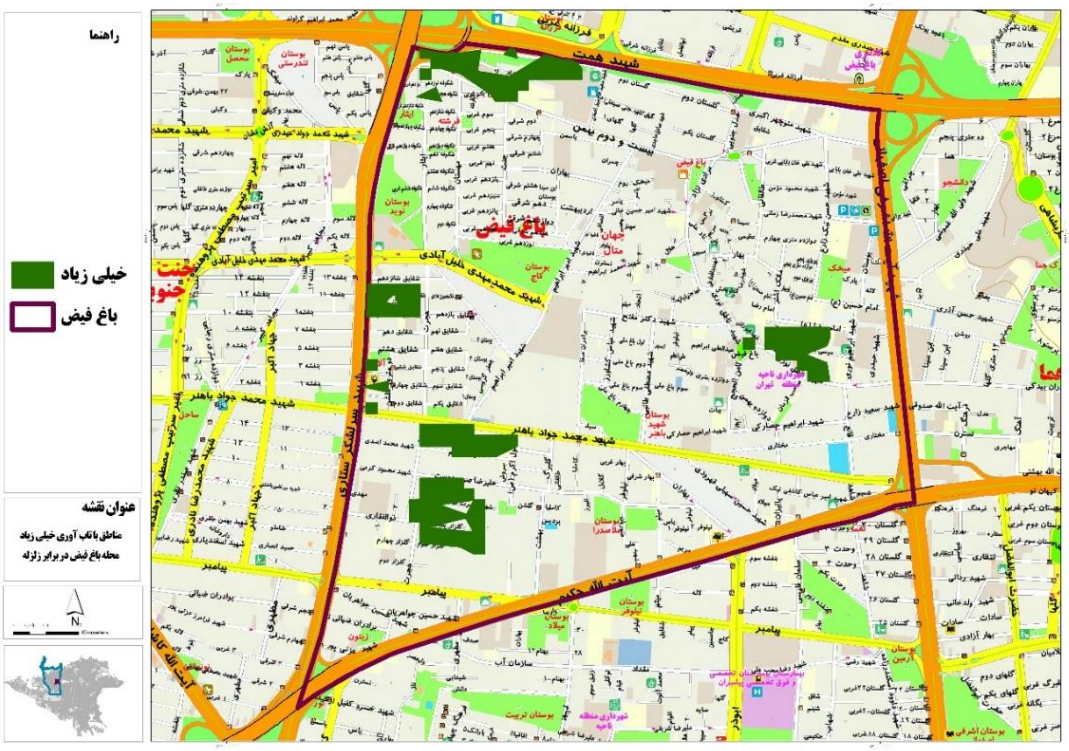
شاخص تعداد طبقات که بخش‌های جنوبی محله از تعداد طبقات بالایی برخوردار بوده و تاب آوری پایینی دارد و بخش عمده‌ای از ساختمان های باغ فیض را برج های مسکونی با تراکم جمعیتی بالا بخصوص در بخش اتوبان ستاری قرار دارد. شاخص فاصله از بافت فرسوده، محدوده مرکزی از بافت فرسوده بیشتری برخوردار است که موضوع امدادرسانی و حرکت آمبولانس و ماشین‌های آتش‌نشانی به سختی میسر خواهد بود. شاخص دسترسی به مراکز آتش نشانی نیز فقط یک مرکز آتش نشانی در شرق محله وجود دارد که قادر به خدمات رسانی به کل محله نبوده و حداقل یک مرکز آتش‌نشانی دیگر نیز مورد نیاز است. شاخص دسترسی به مراکز مدیریت بحران در محله شامل مرکز انتقال خون و مرکز اورژانس کشور است که محله از وضعیت نسبتاً مطلوبی برخوردار است. شاخص فاصله از گسل که گسل باغ فیض دارای سگمنت های مختلف و به عبارتی از قطعات خرد در امتداد شمال غرب – جنوب شرق تشکیل یافته که چون دارای طول بین ۲ تا ۱۰ کیلومتر است، جزء گسل های متوسط رده بندی می شود. انتهای شمال غربی این گسل در شرق محله باغ فیض شناسائی شده که این گسل از سمت شمال غربی از مجاورت ساختمان تیراژه واقع در بزرگراه اشرفی اصفهانی شروع می شود و پس از عبور از پارک نهج البلاغه و پارک پردیسان بزرگراه های یادگار امام و حکیم را به صورت مورب قطع می کند. گسل باغ فیض در ادامه با گذر از محلات مرزداران و شهرک ژاندارمری در محدوده شهرک آزمایش واقع در غرب تقاطع بزرگراه های شیخ فضل الله و جلال آل احمد (پل آل‌احمد) به انتهای جنوب شرقی خود می رسد. شاخص بیشینه شتاب زمین که بر اساس نقشه های سناریوی زلزله گسل شمال تهران در مطالعه جایکا (۲۰۰۰)، مقادیر آن در محدوده محله باغ فیض در بازه ۳۰۰ تا ۵۰۰ گال (معادل تقریبی ۰/۳۱ تا ۰/۵۱ برابر شتاب ثقل زمین) قرار دارد. بخش عمده محدوده در طبقه ۳۰۰ تا ۴۰۰ گال و بخش محدود تری در طبقه ۴۰۰ تا ۵۰۰ گال واقع شده است که نشان دهنده تفاوت مکانی شدت حرکت زمین در سناریوی مورد بررسی است. شاخص سلسله مراتب شبکه راه که مرز شمالی محله، بزرگراه همت، مرز جنوبی، بزرگراه حکیم، مرز شرقی، بزرگراه شهید ستاری و مرز غربی، بزرگراه اشرفی اصفهانی است. دسترسی به چهار بزرگراه یادشده از نظر امکان امدادرسانی در شرایط بحرانی اهمیت دارد؛ با این حال، در بخش های مرکزی محله، به دلیل وجود بافت فرسوده و معابر محلی با عرض کم، محدودیت هایی در دسترسی وجود دارد. شاخص فاصله از پمپ بنزین که در شمال غرب محله و در مجاورت بزرگراه همت قرار دارد و به دلیل استقرار در بافت مسکونی، به عنوان یک کاربری بالقوه خطرزا در شرایط وقوع زلزله مطرح است. شاخص دسترسی به مراکز انتظامی که در شمال غرب محله، کلانتری ۱۴۰ باغ فیض قرار دارد و می تواند در برقراری امنیت و انتظام بخشی به محدوده در شرایط پس از زلزله نقش داشته باشد. شاخص دسترسی به مراکز چند منظوره که در این پژوهش شامل بوستان های

منطقه ای کاج، نوید و باغ ملی، امامزاده سید جعفر و حمیده خاتون و مسجد جامع بعثت است. این فضاها در صورت برخورداری از شرایط ایمنی و امکانات لازم، می توانند در زمان وقوع بحران به عنوان مراکز اسکان موقت و نگهداری اقلام ضروری مورد استفاده قرار گیرند. شاخص های عرض معابر و درجه محصوریت که در بخش های مرکزی محله وضعیت نامناسب تری دارند، درحالی که بخش های جنوبی از شرایط مطلوب تری برخوردارند. شاخص توپوگرافی نیز که می تواند بر تقویت یا کاهش موضعی حرکت زمین در هنگام زلزله تأثیرگذار باشد، نشان می دهد بخش های شمالی محله نسبت به بخش های جنوبی دارای تغییرات توپوگرافی بیشتری هستند. در ادامه متناسب با معکوس رتبه کسب شده، وزن دهی به کلاس‌های هر لایه صورت گرفت و با استفاده از ابزار *Raster Calculator* ستون های امتیازات مربوط به هر یک از لایه های اطلاعاتی ایجاد شده با یکدیگر جمع می‌شود. به این ترتیب مجموع ۱۸ ستون مربوط به ۱۸ لایه اطلاعاتی در مورد هریک از قطعات امتیاز هر واحد ساختمانی را از نظر تاب آوری نسبت به سایر واحدها مشخص می کند. در این مرحله نقشه نهایی با کلاس بندی داده ها در ۵ طبقه متمایز شامل (خیلی کم، کم ، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) از نظر تاب آوری در مقابل زلزله فراهم می گردد. به عبارت دیگر امتیاز های مربوط به هر قطعه ساختمانی از ۱۸ شاخص و کلاس های طبقه بندی آنها جمع و نقشه تاب آوری منطقه در مقابل زلزله تولید شده است. در شکل ۹ میزان تاب آوری محله باغ فیض شهر تهران در برابر زلزله نشان داده شده است.

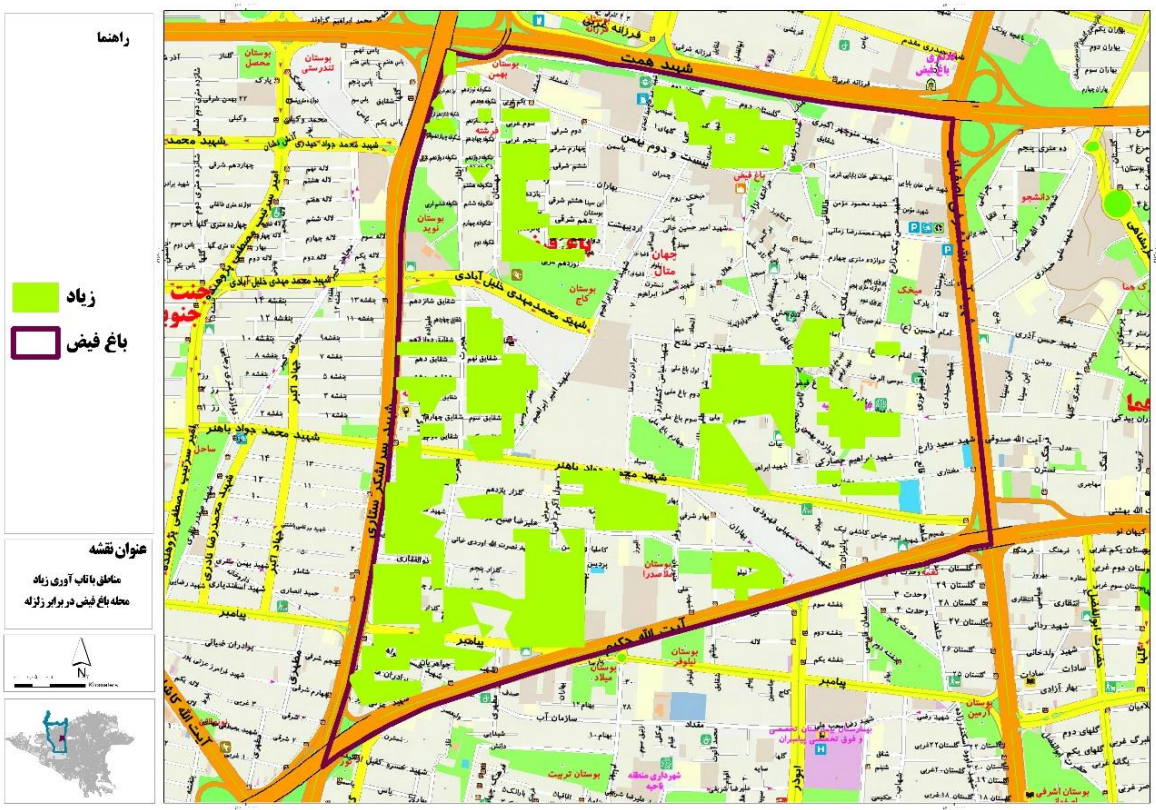
جهت مقایسه و فهم بهتر موضوع به تفکیک تاب آوری در کلاس بندی های مختلف در شکل ۱۰ تا شکل ۱۴ دسته بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد ۲۶/۶۴ درصد مساحت محله در تاب آوری خیلی کم که شرق و جنوب شرق و بخش‌هایی از مرکز محله را دربر می‌گیرد. ۳۰/۵۰ درصد محله از میزان تاب آوری کم که بخش‌های شمالی و مرکزی محله را شامل می‌شود. ۱۰/۴۳ درصد محله در میزان تاب آوری متوسط در بخش‌های جنوبی محله متمرکز در محدوده خیابان باهنر می‌باشد. ۲۶/۲۵ درصد محله در محدوده تاب آوری زیاد شامل بخش‌های جنوبی و غرب محله را دربر می‌گیرد. ۶/۱۸ درصد محله نیز در بخش‌های خیلی کمی از محله در شمال، غرب و جنوب را از تاب آوری خیلی زیادی برخوردار است.



شکل ۹- تاب آوری محله باغ فیض شهر تهران در برابر زلزله



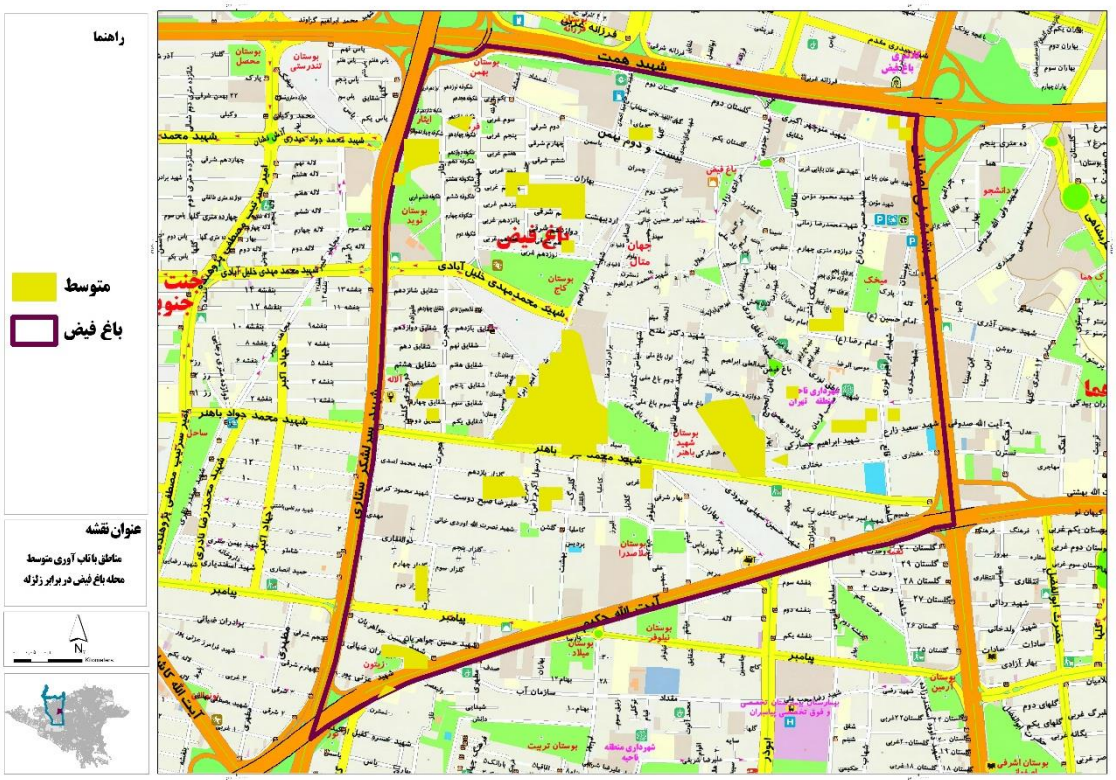
شکل ۱۰- مناطق با تاب آوری خیلی زیاد در محله باغ فیض



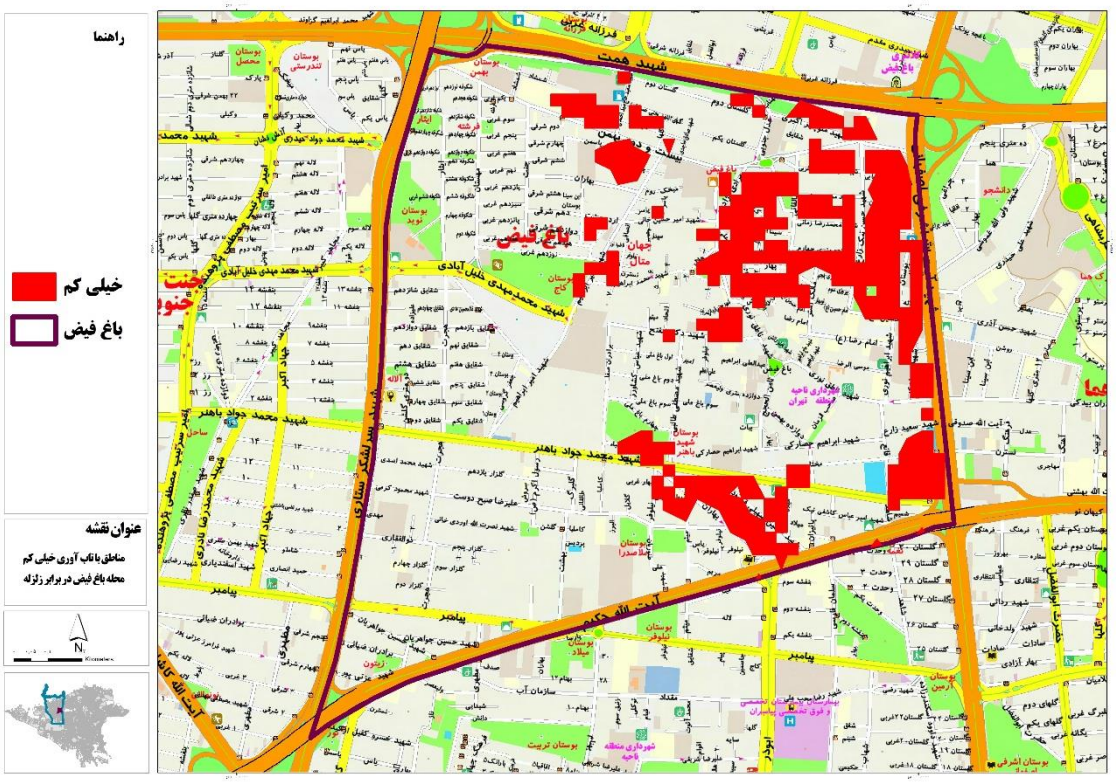
شکل ۱۱- مناطق با تاب آوری زیاد در محله باغ فیض



شکل ۱۲- مناطق با تاب آوری متوسط در محله باغ فیض



شکل ۱۳- مناطق با تاب آوری کم در محله باغ فیض



شکل ۱۴- مناطق با تاب آوری خیلی کم در محله باغ فیض

۵- نتیجه‌گیری

تاب آوری شهری در برابر زلزله، علاوه بر ویژگی های کالبدی ساختمان ها، به شرایط محیطی، ساختار شبکه های ارتباطی و امکان دسترسی به خدمات ضروری وابسته است. از این رو، شناخت تفاوت های مکانی این مؤلفه ها می تواند مبنای مناسبی برای شناسایی محدوده های نیازمند مداخله و هدایت برنامه های کاهش خطر در مقیاس محله فراهم کند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی فضایی تاب آوری محله باغ فیض تهران در برابر زلزله و با تأکید بر پارسل های ساختمانی انجام شد. در این راستا، ابتدا شاخص های مؤثر بر تاب آوری شهری بر اساس پیشینه پژوهش در قالب پنج بُعد کالبدی، فرهنگی و اجتماعی، اقتصادی، ایمنی و امنیت و نهادی و سازمانی شناسایی و سازمان دهی شدند. سپس، با بهره گیری از نظرات خبرگان و روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس(IHWP) ، اهمیت نسبی شاخص ها تعیین شد و در مرحله ارزیابی مکانی، ۱۸ شاخص دارای اطلاعات قابل استفاده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای مطالعه محدوده مورد نظر به کار گرفته شدند.

نتایج تحلیل فضایی نشان داد که وضعیت تاب آوری در سطح محله باغ فیض از توزیع یکنواختی برخوردار نیست و میان بخش های مختلف آن تفاوت های قابل توجهی وجود دارد. بر اساس نقشه نهایی، ۲۶/۶۴ درصد از مساحت محله در طبقه تاب آوری خیلی کم و ۳۰/۵۰ درصد در طبقه تاب آوری کم قرار گرفته است. در مجموع، این دو طبقه ۵۷/۱۴ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه را شامل می شوند که عمدتاً در بخش های شرقی، جنوب شرقی، شمالی و قسمت هایی از مرکز محله پراکنده اند. در مقابل، ۱۰/۴۳ درصد از مساحت محله دارای تاب آوری متوسط، ۲۶/۲۵ درصد دارای تاب آوری زیاد و ۶/۱۸ درصد در طبقه تاب آوری خیلی زیاد قرار گرفته است. محدوده های برخوردار از تاب آوری متوسط بیشتر در بخش های جنوبی و پیرامون خیابان باهنر مشاهده می شوند، درحالی که بخش هایی از جنوب و غرب محله وضعیت مطلوب تری دارند. طبقه تاب آوری خیلی زیاد نیز سهم محدودی از مساحت محله را به خود اختصاص داده و به صورت پراکنده در بخش هایی از شمال، غرب و جنوب مشاهده می شود.

بررسی الگوی مکانی شاخص ها نشان می دهد که تفاوت در ویژگی های شبکه معابر، درجه محصوریت، شرایط کالبدی و دسترسی به خدمات ضروری از جمله موضوعات مهم در تفسیر وضعیت تاب آوری محله هستند. در بخش های مرکزی باغ فیض، وجود معابر کم عرض و محدودیت های ناشی از ساختار کالبدی می تواند دسترسی اضطراری و جا به جایی نیروهای امدادی را در شرایط پس از زلزله دشوارتر کند. در مقابل، مجاورت محله با شبکه بزرگراهی پیرامونی، ظرفیتی برای ارتباط با سایر بخش های شهر فراهم می کند؛ هرچند بهره گیری مؤثر از این ظرفیت به حفظ عملکرد مسیرها و امکان دسترسی از شبکه معابر داخلی وابسته

است. همچنین، پراکنش مراکز خدماتی، وجود کاربری های بالقوه خطرزا و تفاوت شرایط محیطی و لرزه ای از دیگر عواملی هستند که در ارزیابی فضایی محدوده مورد توجه قرار گرفته اند. با این حال، نتایج این شاخص ها باید در چارچوب اطلاعات موجود تفسیر شوند و نمی توان صرفاً بر اساس فاصله مکانی، درباره عملکرد قطعی زیرساخت ها یا مراکز امدادی پس از وقوع زلزله قضاوت کرد.

یافته های پژوهش نشان می دهد که اقدامات ارتقای تاب آوری در محله باغ فیض باید متناسب با ویژگی ها و نیازهای هر محدوده مکانی اولویت بندی شوند. در این زمینه، بررسی امکان جا نمایی یک مرکز آتش نشانی در بخش غربی و تقویت دسترسی به خدمات درمانی در بخش شرقی محله می تواند در برنامه ریزی خدمات اضطراری مورد توجه قرار گیرد. همچنین، نو سازی و بهسازی بافت های فرسوده، بهبود وضعیت معابر کم عرض به ویژه در بخش های مرکزی و کاهش محدودیت های ناشی از درجه محصوریت، از جمله مداخلاتی هستند که می توانند شرایط کالبدی و دسترسی اضطراری را بهبود بخشند. سامان دهی ترافیک، به خصوص در محدوده میدان باغ فیض و پیرامون امامزاده، نیز از موضوعات قابل توجه در برنامه ریزی شهری محله است. در کنار این اقدامات، رعایت ضوابط استقرار و ایمنی کاربری های خطر زا، از جمله جایگاه سوخت، و توجه به ظرفیت فضاهای چند منظوره برای پشتیبانی از فعالیت های امدادی و اسکان اضطراری می تواند در تدوین برنامه های اجرایی مدیریت بحران مورد استفاده قرار گیرد. اولویت بندی و اجرای نهایی این پیشنهادها، مستلزم بررسی های تکمیلی فنی، خدماتی و اقتصادی است.

از منظر کاربردی، دستاورد اصلی پژوهش، فراهم کردن تصویری مکانی از تفاوت های نسبی تاب آوری در محدوده مورد مطالعه بر اساس مجموعه ای مشخص از شاخص های قابل اندازه گیری است. چنین ارزیابی ای می تواند به مدیران شهری کمک کند تا در تصمیم گیری درباره بهسازی کالبدی، توسعه خدمات ضروری و بهبود دسترسی های اضطراری، به جای اتخاذ رویکردی یکسان برای تمام محله، ویژگی های متفاوت بخش های مختلف آن را مورد توجه قرار دهند. با این وجود، طبقات تاب آوری ارائه شده در این پژوهش بیانگر امتیاز نسبی واحدهای مکانی در چارچوب مدل مورد استفاده هستند و نباید معادل پیش بینی مستقیم خسارات ساختمانی، تلفات انسانی یا میزان تداوم عملکرد محله پس از وقوع زلزله تلقی شوند.

۶- محدودیت های پژوهش

یکی از محدودیت های اصلی پژوهش به دسترسی به داده های مکانی و امکان عملیاتی سازی شاخص ها در مقیاس مورد مطالعه مربوط می شود. اگرچه در مرحله تدوین چارچوب نظری، مجموعه گسترده ای از شاخص های مؤثر بر تاب آوری شهری بر اساس پیشینه مطالعات شناسایی شد، تمامی آنها قابلیت ورود مستقیم به مدل فضایی را نداشتند. برخی شاخص ها به اطلاعات پیمایشی یا داده های تخصصی نیاز داشتند که امکان انتساب معتبر آنها به واحدهای مکانی مورد بررسی فراهم نبود و برای گروهی دیگر نیز لایه های GIS مورد نیاز در دسترس قرار نداشت. از این رو، تحلیل نهایی با استفاده از ۱۸ شاخص دارای داده های مکانی قابل استفاده انجام شد. این موضوع به معنای کم اهمیت بودن سایر مؤلفه های تاب آوری نیست، بلکه نشان می دهد دامنه ارزیابی فضایی پژوهش به شاخص هایی محدود شده است که امکان اندازه گیری و تحلیل آنها وجود داشته است. بنابراین، نقشه های حاصل، بازنمایی نسبی تاب آوری بر پایه متغیر ها ی منتخب هستند و پوشش یکسان و جامعی از تمام ظرفیت های اجتماعی، اقتصادی و نهادی محله ارائه نمی کنند.

محدودیت دیگر پژوهش به ماهیت شاخص محور مدل، استفاده از قضاوت های تخصصی در تعیین امتیاز معیارها و تمرکز مطالعه بر یک محله شهری مربوط است. هرچند نتایج دو دور دلفی افزایش میزان توافق میان خبرگان را نشان داد، امتیازهای حاصل همچنان ممکن است تحت تأثیر تفاوت دیدگاه های تخصصی قرار گیرند. همچنین، تحلیل مستقل حساسیت طبقه بندی نهایی نسبت به تغییر وزن شاخص ها و بررسی آماری هم پوشانی اطلاعاتی میان متغیر ها در پژوهش حاضر گزارش نشده است؛ از این رو، نمی توان درباره میزان پایداری نتایج در برابر این تغییرات قضاوت قطعی کرد. در مطالعات آینده، تکمیل پایگاه داده های مکانی، گردآوری اطلاعات اجتماعی و اقتصادی در مقیاس محلی، اجرای تحلیل حساسیت و بررسی مدل در محله هایی با ویژگی های متفاوت می تواند به افزایش جامعیت ارزیابی و قابلیت تعمیم یافته ها کمک کند.

منابع

Ahmadi, Z., Ghasemi, M., Khavarian-Garmsir, A. R., & Ahmadi, M. (2024). Integrating flood and earthquake resilience: A framework for assessing urban community resilience against multiple hazards. Journal of Safety Science and Resilience, 5(3), 330–343. https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2024.05.002

Anelli, D., Tajani, F., & Ranieri, R. (2022). Urban resilience against natural disasters: Mapping the risk with an innovative indicators-based assessment approach. Journal of Cleaner Production, 371, 133496. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133496

Aslani, F., Amini Hosseini, K., & Fallahi, A. (2020). A framework for earthquake resilience at

neighborhood level. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 11(4), 557–575. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-12-2019-0082

Bitarafan, M., & Amini Hosseini, K. (2023). Developing a model for assessing urban resilience to aerial attacks using the IHWP method: A case study of District 5, Tehran. Safe City, 6(1), 116–142. https://doi.org/10.22034/ISPDRC.2023.2001724.1030

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., Amini Hosseini, K., Hashemkhani Zolfani, S., & Ziari, K. (2026). Evaluating earthquake resilience in urban areas: A novel fuzzy RANCOM approach. Environment, Development and Sustainability, 28(1), 2483–2520. https://doi.org/10.1007/s10668-025-06393-z

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

Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. Earthquake Spectra, 19(4), 733–752. https://doi.org/10.1193/1.1623497

Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T. (2014). The geographies of community disaster resilience. Global Environmental Change, 29, 65–77. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.08.005

Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change, 18(4), 598–606. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013

Han, S., Liu, B., Shu, J., He, Z., Xia, X., Pan, K., & Ren, H. (2024). Quantitative assessment and dynamic characteristic measurement of regional resilience: From the perspective of post-earthquakes effects. Journal of Computational Science, 83, 102461. https://doi.org/10.1016/j.jocs.2024.102461

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), 328–340. https://doi.org/10.3846/1648715X.2016.1190794

İlerisoy, Z. Y., & Gökgöz, B. İ. (2024). Analysis of earthquake resilience factors for buildings: The case of Istanbul high-rise buildings. Open House International, 49(4), 773–790. https://doi.org/10.1108/OHI-08-2023-0191

Japan International Cooperation Agency. (2000). The study on seismic microzoning of the Greater Tehran area in the Islamic Republic of Iran: Final report (Main report). https://openjicareport.jica.go.jp/553/553/553_304_11611761.html

Lale Arefi, S., 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 (GUPR), 13(4), 119-136. https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2025.405766.2128

Marzi, S., Mysiak, J., Essenfelder, A. H., Amadio, M., Giove, S., & Fekete, A. (2019). Constructing a comprehensive disaster resilience index: The case of Italy. PLOS ONE, 14(9), e0221585. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221585

Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. Landscape and Urban Planning, 147, 38–49. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011

Nemati, A., Mikaeili, O., Bitarafan, M., & Lale Arefi, S. (2026). Material selection for multi-hazard resilient buildings using an uncertainty-aware, interpretable decision-support framework. Journal of Building Engineering, Article 117247. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2026.117247

OECD/European Union/EC-JRC. (2008). Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en