



Research Paper

Investigating and evaluating the physical resilience of urban spaces against earthquakes (Case study: Mashhad city)

Bahadur Pasandideh Talemi ^a, Masoumeh Hafez Rezazadeh ^{b,*}, Maryam Karimian Bostani ^c

^a Ph.D student, Department of Geography and Urban Planning, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

^b Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

^c Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 03 September 2024;

Accepted: 16 December 2024;

Available online 03 February 2025

Keywords:

Physical resilience, Earthquake, Urban spaces, Mashhad city.

ABSTRACT

Earthquakes are always among the most important natural hazards, and every year a large number of people around the world are affected by their undesirable effects. Therefore, resilience plays a vital role in reducing the vulnerability of cities and strengthening the abilities of citizens to cope with earthquake hazards. In this regard, the aim of the present study is to Investigating and evaluating the physical resilience of urban spaces against earthquakes (Case study: Mashhad city). This research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of method. Data collection is done through library studies (documents) and statistical information collection which includes documents, observation and documentation. The information required in this research is collected through library method. Most of the information related to the indicators of this research was obtained by referring to the Statistics and Information Analysis Department of the Human Capital Development and Planning Deputy of Mashhad Municipality, using the Mashhad City Statistics in 2023. The statistical population of the present study is experts and elites of Mashhad city; 20 people were selected through a purposeful method. Arc GIS software, Analytical Hierarchy Process (AHP) model, and Weighted Linear Combination (WLC) method were used to analyze the data. The final output of Mashhad city's vulnerability to earthquakes shows that 1147 hectares (3.55%) are in a completely unsuitable condition and only 2155 hectares (6.66%) are in a completely suitable condition. According to the results, among the seventeen districts of Mashhad city, districts 7 and 9 have the highest level of vulnerability.

1. Introduction

One of the most fundamental and threatening hazards is earthquakes. The risk of earthquakes is one of the most significant dangers that constantly threaten cities. Therefore, understanding the current state of resilience plays a vital role in reducing urban vulnerability and enhancing citizens' ability to cope with the risks posed by natural disasters. This is because earthquakes occur suddenly and can have widespread impacts across a region, even affecting national issues. The most critical factors leading to a crisis during

an earthquake are the physical vulnerabilities of the city.

Among these, Mashhad in Razavi Khorasan is one of the major and important cities in Iran, located in a very high-risk zone. Its proximity to 55 active and seismic faults, along with a population of over 3,057,679, and the presence of vast human, cultural, and religious assets, have positioned Mashhad as a highly significant city in terms of seismic risk. The Razavi Khorasan region, structurally, lies within the tectonic zones of Kopet Dag, Binalud, and Sabzevar (subzones of

*Corresponding Author.

Email Addresses: pasandidehtalemi.m2020@gmail.com (M. Pasandideh Talemi), rezazadeh2008@gmail.com (M. Hafez Rezazadeh), Maryam_Karimian55@yahoo.com (M. Karimian Bostani).

To cite this article:

Pasandideh Talemi, B, Hafez Rezazadeh, M, Karimian Bostani, M. (2025). Investigating and evaluating the physical resilience of urban spaces against earthquakes (Case study: Mashhad city). *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 5 (20), 155-176.



Doi: 10.22034/gsma.2025.2050785.1053

Central Iran). In all three zones, there are highly active and dynamic faults. Movements along these faults can lead to severe earthquakes with substantial damage.

Additionally, for the religious metropolis of Mashhad, with its large population and vast area, factors such as unprincipled excavations, lack of attention to building safety, the presence of deteriorated structures in most parts of the city, poor-quality construction materials, inadequate design and construction of buildings and vital infrastructure relative to potential seismic intensity, lack of operational plans and capabilities for disaster management during response and recovery phases, and numerous vulnerable and deteriorated areas have made resilience, particularly in terms of physical aspects, a critical issue.

Over the past two decades, various multi-criteria decision-making (MCDM) methods based on Geographic Information Systems (GIS) have been developed to assess urban resilience against earthquake risks. Therefore, research on the physical resilience of urban spaces in Mashhad against earthquakes using these methods and approaches is essential. The results can be used in formulating laws and regulations related to natural disaster management, vulnerability reduction, risk mitigation policies, and enhancing resilience, as well as in decision-making, planning, and policy-making by officials in Mashhad regarding natural disaster management.

2. Methodology

This research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of method. Data collection is done through library studies (documents) and statistical information collection which includes documents, observation and documentation. The information required in this research is collected through library method. Most of the information related to the indicators of this research was obtained by referring to the Statistics and Information Analysis Department of the Human Capital Development and Planning Deputy of Mashhad Municipality, using the Mashhad City Statistics in 2023. The statistical population of the present study is experts and elites of Mashhad city; 20 people were selected through a purposeful method. Arc GIS software, Analytical Hierarchy Process (AHP) model, and

Weighted Linear Combination (WLC) method were used to analyze the data

3. Results

The final output of Mashhad city's vulnerability to earthquakes shows that 1147 hectares (3.55%) are in a completely unsuitable condition and only 2155 hectares (6.66%) are in a completely suitable condition. According to the results, among the seventeen districts of Mashhad city, districts 7 and 9 have the highest level of vulnerability.

4. Discussion

In this study, indicators such as the ratio of building height to street width, access to open spaces, access to service centers (fire stations, etc.), population density, distance from healthcare facilities, distance from faults, distance from gas stations and fuel depots, building age, location in dead-end alleys, type of facade materials, and access to main city roads were examined. These indicators are determining factors that reflect the level of vulnerability in different urban areas. By using this set of factors and defining their boundaries, vulnerable areas of the city were identified.

The results showed that 1,147 hectares (3.55%) are in a completely unsuitable condition, 7,964 hectares (24.64%) are in an unsuitable condition, 15,254 hectares (47.21%) are in a moderate condition, 5,789 hectares (17.91%) are in a suitable condition, and only 2,155 hectares (6.66%) are in a completely suitable condition. According to the results, among the seventeen districts of Mashhad, districts 7 and 9 have the highest vulnerability, while districts 4 and 16 have the lowest vulnerability.

5. Conclusion

The overall results indicate that Mashhad, like many other cities, is located on several active faults, making it a sensitive and high-risk area for earthquake hazards. Sooner or later, the city will face such a challenge. Therefore, reducing damage, managing crises, and ultimately enhancing the resilience of cities against hazards such as earthquakes is essential and necessary.

Acknowledgments

This research did not receive any specific grant. From funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.



دانشگاه لرستان

شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۳۲۵

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

<http://www.gsma.lu.ac.ir>



مقاله پژوهشی

بررسی و ارزیابی تاب آوری کالبدی فضاهای شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر مشهد)

بهادر پسندیده طالعی^۱، معصومه حافظ رضازاده^{۲*}، مریم کریمیان بستانی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

^{۲*} دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

^۳ استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۳/۰۶/۱۳

پذیرش نهایی:

۱۴۰۳/۰۹/۲۶

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۱۱/۱۵

چکیده

زلزله همواره جزء مهم‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله تعداد زیادی از مردم جهان گرفتار آثار نامطلوب آن می‌شوند، بنابراین تاب‌آوری وضع موجود نقش حیاتی در کاهش آسیب‌پذیری شهرها و تقویت توانایی‌های شهروندان برای مقابله با خطرات ناشی از زلزله دارد. در این راستا هدف پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی تاب‌آوری کالبدی فضاهای شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر مشهد)، می‌باشد. این تحقیق به لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد. گردآوری داده‌ها، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (اسنادی) و جمع‌آوری اطلاعات آماری که شامل اسناد و مدارک، مشاهده و مستندسازی می‌باشد، صورت می‌پذیرد. اطلاعاتی که در این پژوهش مورد نیاز است بوسیله روش کتابخانه‌ای گردآوری شده‌است. عمده اطلاعات مربوط به شاخص‌های این تحقیق از طریق مراجعه به اداره آمار و تحلیل اطلاعات معاونت توسعه و برنامه‌ریزی سرمایه انسانی شهرداری مشهد، استفاده از آمارنامه شهر مشهد در سال ۱۴۰۲ به‌دست آمده‌است. جامعه آماری پژوهش حاضر کارشناسان و نخبگان شهر مشهد می‌باشد که به روش هدفمند، ۲۰ نفر انتخاب شدند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Arc GIS و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش ترکیب خطی وزنی (WLC) و استفاده شد. خروجی نهایی آسیب‌پذیری شهر مشهد در برابر زلزله را نشان که ۱۱۴۷ هکتار (۳،۵۵ درصد) در وضعیت کاملاً نامناسب و فقط ۲۱۵۵ هکتار (۶،۶۶ درصد) در وضعیت کاملاً مناسب قرار دارند. طبق نتایج از میان مناطق هدفه‌گانه شهر مشهد مناطق ۷ و ۹، بیشترین میزان آسیب‌پذیری را دارند.

واژگان کلیدی:

تاب‌آوری کالبدی، زلزله، فضاهای شهری، شهر مشهد.

۱. مقدمه

در جهان امکان وقوع دارند و برآیند آن خسارات جانی و مالی عمده است (Heydarifar et al, 2020: 55). با وجود درک رو به رشد و پذیرش اهمیت کاهش خطر بلایای طبیعی

امروزه مخاطرات طبیعی مشکلات عظیمی برای زندگی بشر ایجاد کرده است (Heydarifar & Razayi, 2017: 38). مخاطرات طبیعی حوادثی ویرانگر و ناگهانی‌اند که هر لحظه

* نویسنده مسئول: معصومه حافظ رضازاده

پست الکترونیک نویسندگان: psandidehtalemi.m2020@gmail.com (ب، پسندیده‌طالعی)، rezazadeh2008@gmail.com (م، حافظ رضازاده)، Maryam_Karimian55@yahoo.com (م، کریمیان بستانی)

بستانی)

نحوه استنادی به مقاله: پسندیده طالعی، بهادر، حافظ رضازاده، معصومه، کریمیان بستانی، مریم (۱۴۰۳). بررسی و ارزیابی تاب‌آوری کالبدی فضاهای شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر مشهد).

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال پنجم، شماره ۴ (۲۰)، صص ۱۷۶-۱۵۵.

اکولوژیکی به منظور جذب اختلالات و نیز برای حفظ بازخوردها، فرایندها و ساختارهای لازم و ذاتی سیستم به کار می‌برد (Adger et al, 2005: 1037)؛ در تعریفی دیگر تاب‌آوری عبارت است از توانایی بازیابی پس از شرایط یا رویدادهای غیرمنتظره و شدت اختلالی که سیستم می‌تواند آن را جذب کند (Kärrholm et al, 2014: 124). لذا با توجه به رشد جمعیت در شهرها و عملکرد آنها ارزیابی میزان تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی همچون زلزله اهمیت فراوانی دارد (Hook et al., 2020, 98). شهرها باید به گونه‌ای طراحی شوند که خطر را کاهش دهند و برای کاهش خسارت‌های ناشی از بلایا و بهبود سریع از بلایا انعطاف‌پذیری ایجاد کنند (Burton, 2015: 69).

تاب‌آوری دارای ابعاد و شاخص‌های مختلفی است که تشخیص یک جامعه تاب‌آور از یک جامعه غیرتاب‌آور را از طریق بررسی و سنجش و مقایسه ممکن می‌سازد. که شامل، (کالبدی، اقتصادی، اجتماعی و نهادی) می‌باشد (Abdi et al, 2022: 7).

در رابطه با موضوع مورد بررسی پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج کشور انجام شده که در ذیل به تعدادی از آنها اشاره خواهد شد. (Mohaqeqi et al (2021) در پژوهشی به بررسی تاب‌آوری در برابر زلزله با تاکید بر فرم شهری (مطالعه موردی: منطقه‌ی دوازده شهر تهران) ، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که به ترتیب مولفه‌های شبکه‌ی حرکت و دسترسی، وضعیت ساختمان و نظام کاربری بیشترین تاثیر را بر تاب‌آوری منطقه مطالعاتی ایفا می‌نمایند. Maleki et al (2022) در پژوهشی به سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری نواحی شهری در برابر زلزله (موردی: ناحیه غربی شهر ایذه) ، پرداخته‌اند. نتایج بررسی‌ها با استفاده از نرم افزار Arc GIS و مدل سلسله مراتبی فازی (FAHP) نشان داد که محدوده مرکزی ناحیه غربی شهر ایذه به دلایل: قدمت بالا ابنیه‌ها و کیفیت پایین ساخت‌وساز را به‌عنوان مناطقی با پایین‌ترین سطح تاب‌آوری در کل ناحیه مشخص نمود.

و افزایش توانایی پاسخگویی به فاجعه، مدیریت مطلوب برای کاهش خطر مخاطرات محیطی، همچنان چالشی جهانی است (UNISDR, 2016: 14). مدیریت مطلوب بحران‌ها، درخواست و نیاز ذی‌نفعان و اعضای جامعه از مسئولان و دست‌اندرکاران است؛ زیرا مدیریت بحران به‌صورت مستقیم بر آینده و پایداری سیستم اقتصادی و اجتماعی جامعه اثرگذار خواهد بود (Tokakisa et al., 2019: 36).

یکی از اساسی‌ترین این مخاطرات تهدیدآمیز، زلزله می‌باشد. خطر وقوع زلزله، یکی از مهم‌ترین مخاطراتی است که همواره شهرها را تهدید می‌نماید (Ahmadi et al, 2024: 330). بنابراین شناخت تاب‌آوری وضع موجود نقش حیاتی در کاهش آسیب‌پذیری شهرها و تقویت توانایی‌های شهروندان برای مقابله با خطرات ناشی از تهدیدات وقوع سوانح طبیعی دارد. چراکه وقوع زلزله، ناگهانی است و می‌تواند در سطح وسیعی از یک منطقه بازتاب داشته باشد و حتی مسائل ملی را تحت شعاع قرار دهد (Mohaqeqi et al, 2021: 245). مهم‌ترین عواملی که در هنگام بروز زلزله منجر به بروز بحران می‌شود، آسیب‌پذیری کالبدی شهر می‌باشد (Gharakhlou, 2009: 25).

رویکرد اخیر برنامه‌های مقابله با سوانحی همچون، افزایش تاب‌آوری جوامع می‌باشد که ابعاد مختلفی دارد. یکی از آن‌ها بعد کالبدی تاب‌آوری شهری است که با مولفه‌های برنامه ریزی کاربری اراضی پیوند می‌خورد. از این رو یکی از مهم‌ترین الزامات، پرداختن به مسائل کالبدی در شهرها، تبیین مفهوم تاب‌آوری و پیرو آن مقاوم‌سازی این بافت‌ها در مواجهه با حوادث و مخاطرات احتمالی است (Pourahmad et al, 2018: 115). امروزه در سطح جهان، تغییرات چشمگیری در نگرش به بافت‌های مسکونی دیده می‌شود؛ به طوری که دیدگاه غالب از تمرکز صرف بر کاهش آسیب‌پذیری به افزایش تاب‌آوری در مقابل هرگونه مخاطره تغییر یافته است؛ این قلمرو با رویکرد چندرشته‌ای و برنامه‌ریزی، تاب‌آوری را برای افزایش ظرفیت سیستم‌های

میزان تاب‌آوری در مقابل زلزله برخوردار است و کمترین میزان تاب‌آوری مربوط به نواحی شرقی و شمال شرقی شهر می‌باشد. (Antonioni et al (2007) با بررسی ارزیابی کمی احتمال خطر حوادث بزرگ ایجاد شده با زمین‌لرزه دریافتند میزان تاب‌آوری تأسیسات صنعتی موجود با کیفیت ساخت فعلی در ارتباط با میزان آسیب‌پذیری پیش‌بینی شده است. (Allan & Bryant (2010) در پژوهشی به تاب‌آوری شهرها و نقش فضاهای باز را در تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه مطرح و بر نقش برنامه‌ریزی شهری و برنامه‌بازتوانی در بازسازی تاب‌آور تأکید کرده‌اند. بانیکا و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل چندمعیاری آسیب‌پذیری شهری در مقبل زمین‌لرزه به بررسی شهر لاسی در رومانی پرداخته‌اند. آنها شاخص‌های کالبدی و اجتماعی را برای مطالعه انتخاب کرده و با روش PCA و AHP به وزن‌دهی لایه‌های مختلف پرداخته‌اند و شاخص آسیب‌پذیری برای مناطق مختلف به دست آورده‌اند. (Tokakisa et al (2019) در پژوهشی با عنوان "استراتژی‌هایی برای بهبود تاب‌آوری شهری در اروپا" در با معرفی شاخص‌های تاب‌آوری به طور عمده به این مطلب می‌پردازند که در حال حاضر روش‌ها و ابزارهای سنجش قابلیت تاب‌آوری کامل نیستند و ارتباط مناسبی میان آنها برقرار نیست. در این تحقیق بیان می‌شود که سیستم‌های زیربنایی حیاتی به شدت به یکدیگر متصل هستند و اختلال در یک زیرساخت ممکن است در سیستم‌های تکنولوژیکی سایر مناطق نیز اثر داشته باشد. (Shahpari Sani (2022) در پژوهشی به ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی در برابر مخاطرات طبیعی در سرپل ذهاب، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که بیش از ۶۰ درصد از منطقه مورد مطالعه در گروه تاب‌آوری اجتماعی پایین قرار می‌گیرد که به عنوان آسیب‌پذیرترین مناطق طبقه‌بندی می‌شود. (Sun (2023) در پژوهشی به با عنوان "ارزیابی تاب‌آوری شهری و هماهنگی پیوند زیرسیستم در تراکم شهری پکن-تیانجین-هبی" نشان دادند که: (۱) از نظر فضایی، شکاف قابل توجهی بین شاخص تاب‌آوری شهرهای استان هبی و پکن-تیانجین، وجود دارد. (۲) به طور کلی،

(Peyvastehgar et al (2023) در پژوهشی به تبیین ابعاد تاب‌آوری کالبدی شهری در برابر زلزله مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد پژوهی شهر یاسوج، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد شهر یاسوج به دلیل استفاده از معابر منظم و با عرض استاندارد و تراکم ساختمانی مناسب از مطلوبیت مناسبی در برابر زلزله برخوردار است. ولی مهم‌ترین عاملی که باعث می‌شود در برابر زلزله تاب‌آوری ضعیفی داشته باشد نوع سازه و اسکلتی است که مورد استفاده قرار می‌دهند. (Tavasoli et al (2023) در پژوهشی به تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر شهر مشهد جهت طراحی و اجرای زیرساخت‌های شهری و برون شهری، پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که حداکثر شتاب افقی سنگ بستر در منطقه مورد مطالعه با روش تعیینی g49/1 و همچنین با استفاده از روش احتمالاتی، مقادیر آن برای دوره بازگشت‌های مختلف در طول عمر مفید ۵۰ سال با احتمال ۲ درصد، ۵ درصد و ۱۰ درصد به ترتیب g61/0، g43/0 و g34/0 بدست آمده و طیف خطر یکنواخت شهر مشهد به کمک روش‌های مختلف و رابطه کاهندگی طیفی قدرتی و همکاران ارائه شده است. (Heydari et al (2024) در پژوهش به ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی بافت مرکزی شهر شیراز در برابر سوانح، پرداخته‌اند. به نتایج پژوهش نشان داد که از مجموع ۱۲۷۱۷ واحد ابنیه‌ای که در این منطقه وجود دارد ۲۳۷۱ واحد معادل ۱۸/۶ درصد در وضعیت تاب‌آوری مطلوب هستند؛ و ۳۵۸۷ واحد معادل ۲۸/۲۰ درصد در وضعیت تاب‌آوری نامطلوب هستند و ۶۷۵۹ واحد معادل ۵۳/۱۴ درصد نیز در وضعیت تاب‌آوری متوسط هستند. به‌طور کلی بخش اعظم بافت منطقه ۸ شهر شیراز در خوشه‌های غیرتاب‌آور و تاب‌آوری متوسط قرار گرفته است؛ که در صورت بروز سانحه مستعد تلفات جانی و مالی بسیار هستند؛ بنابراین نیازمند اقدام سریع در راستای ایجاد تاب‌آوری هستند. (Haseli et al (2024) در پژوهشی به ارزیابی تاب‌آوری در مقابل زلزله در شهر اسلام‌آباد غرب، پرداخته‌اند. نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری تولید شده توسط مدل WLC نشان داد که نواحی غربی و جنوبی شهر اسلام‌آبادغرب از بیشترین

اصولی، عدم توجه به ایمنی ساختمان‌ها، وجود بافت فرسوده در اکثر نقاط شهر، عدم کیفیت و مصالح بنا، طراحی و اجرای ساختمان‌ها و تاسیسات حیاتی نامناسب با شدت لرزه‌خیزی احتمالی، نبود برنامه و توانمندی‌های عملیاتی لازم برای مدیریت سوانح در مرحله پاسخ و مقابله با تبعات وقوع سانحه و بافت‌های آسیب‌پذیر و فرسوده متعدد، سبب شده تاب‌آوری، بخصوص از بعد کالبدی به عنوان مسئله‌ای مهم مورد توجه قرار گیرد. طی دو دهه اخیر جهت ارزیابی تاب‌آوری شهری در مقابل خطر زلزله، روش‌های متعدد تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسعه یافته است. لذا پژوهش در خصوص تاب‌آوری کالبدی فضاهای شهری مشهد در برابر زلزله، با استفاده از این روش‌ها و رویکردها ضروری است. زیرا نتایج آن می‌تواند در تدوین قوانین و مقررات مربوط به حوزه مدیریت سوانح طبیعی، آسیب‌پذیری، سیاست‌های تقلیل خطر بحران و افزایش تاب‌آوری و همچنین جهت تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های مجریان امر در شهر مشهد در خصوص مدیریت سوانح طبیعی استفاده شود.

۲. روش تحقیق

این تحقیق از نظر روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و به لحاظ هدف کاربردی است. گردآوری داده‌ها، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (اسنادی) و جمع‌آوری اطلاعات آماری که شامل اسناد و مدارک، مشاهده و مستندسازی می‌باشد، صورت می‌پذیرد. اطلاعاتی که در این پژوهش مورد نیاز است بوسیله‌ی روش کتابخانه‌ای گردآوری شده است. عمده اطلاعات مربوط به شاخص‌های این تحقیق از طریق مراجعه به اداره آمار و تحلیل اطلاعات معاونت توسعه و برنامه‌ریزی سرمایه انسانی شهرداری مشهد، استفاده از آمارنامه شهر مشهد در سال ۱۴۰۲ به‌دست آمده است. جامعه آماری پژوهش حاضر کارشناسان و نخبگان شهر مشهد می‌باشد که به روش هدفمند، ۲۰ نفر انتخاب شدند.

زیرسیستم انعطاف‌پذیری شهری به آرامی در حال افزایش است. (Ahmadi, 2024) در پژوهشی با عنوان "ادغام تاب‌آوری سیل و زلزله: چارچوبی برای ارزیابی تاب‌آوری جامعه شهری در برابر خطرات متعدد" ۱۳ خوشه علت و ۱۴ خوشه تأثیری شاخص‌های تاب‌آوری در برابر زلزله و سیل را شناسایی کردند. خوشه «ظرفیت پاسخ» بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری لرزه‌ای و سیل دارد، در حالی که خوشه «حمل و نقل و دسترسی» بیشترین تأثیر را بر روی تاب‌آوری زلزله دارد. این مقاله چارچوبی برای ارزیابی تاب‌آوری سیل و لرزه ای ارائه می‌دهد و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه می‌دهد.

هر ساله به طور متوسط ۲۷ زلزله خسارت بار در جهان رخ می‌دهد که طی آنها ۱۹ هزار نفر تلف و ۳۶ هزار نفر بی‌خانمان می‌شوند (Badrazar et al, 2021: 871). یکی از شناخته‌شده‌ترین و مخرب‌ترین سوانح طبیعی در کشور ایران، زلزله می‌باشد (Haseli et al, 2024: 139). نقشه پهنه‌بندی زلزله ایران نشان می‌دهد که اکثر نواحی شهر و غیر شهری با خط وقوع زلزله روبرو می‌باشند (Sarvar & Kashani, 2016: 90).

در این میان شهر مشهد در خراسان رضوی یکی از شهرهای بزرگ و مهم ایران است که در جایگاه پهنه با خطر بسیار بالا قرار دارد. مجاورت با ۵۵ گسل فعال و لرزه‌زا و دارا بودن جمعیتی بالغ بر ۳۰۵۷۶۷۹ نفر وجود سرمایه‌های عظیم انسانی، فرهنگی- مذهبی شهر مشهد را به عنوان یک شهر با اهمیت بالا به لحاظ زلزله‌خیزی مورد توجه قرار داده است. منطقه خراسان رضوی، از نظر ساختاری در اقلیم‌های زمین‌ساختی کپه داغ، بینالود و سبزوار (از زیر پهنه‌های ایران مرکزی) قرار می‌گیرد. در هر سه پهنه، گسل‌های پرتکاپو و بسیار جنبایی وجود دارد. این گسل‌ها و حرکات روی داده در امتداد آن‌ها می‌تواند با رویداد زمین لرزه‌ای سهمگین و با خسارات زیاد همراه باشد. همچنین برای کلانشهر مذهبی مشهد با جمعیت و وسعت زیاد و وجود عواملی همچون گودبرداری‌های غیر

در معادله بالا، W نشان دهنده امتیاز وزن شاخص هر منطقه در نقشه، W_i نشان دهنده وزن هر یک است و شاخص X_i و n تعداد اندیکاتورها را نشان می‌دهد. پس از محاسبه امتیازها، نقشه شهری به تفکیک مناطق و امتیاز آنها در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. سپس به منظور تجزیه و تحلیل وضعیت موجود از مناطق مختلف بازدید میدانی صورت گرفت و از شرایط و مناطق مختلف عکس برداری شد. در نهایت نقشه نهایی تاب‌آوری شهری و عکس‌های مربوط به هر کدام تفسیر و تحلیل شدند. به علت موانعی مانند زمان، هزینه و کمبود منبع‌های انسانی، استفاده از تمامی شاخص‌ها امکان ندارد، در نتیجه بررسی یک سری شاخص‌ها به جای کل شاخص‌ها در تحقیقات استفاده می‌شود. در این پژوهش از شاخص‌های نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به عرض معابر، دسترسی به فضای باز، دسترسی به مراکز خدمات‌رسان (آتش‌نشانی و ...)، تراکم جمعیت، فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی، فاصله از گسل، فاصله از پمپ بنزین و گاز، عمر بنا، استقرار در کوچه بن بست، نوع مصالح نمای ساختمان و دسترسی به معابر اصلی شهر استفاده می‌شود. داده‌های مورد استفاده و لایه‌های مورد بررسی شهر مشهد در جدول (۱)، بیان شده‌است.

در این پژوهش ابتدا بر اساس مقالات و مطالعات مشابه جنبه‌های مختلف تاب‌آوری با تأکید بر بعد فیزیکی را مورد بررسی قرار داده شد. پس از تهیه پرسش‌نامه جهت سنجش میزان آسیب‌پذیری ابعاد مختلف شهر مشهد و تعیین امتیاز هر محله بر اساس میزان اهمیت، پرسش‌نامه در اختیار ۲۰ متخصص در رشته‌های برنامه‌ریزی شهری - منطقه‌ای، اقتصاد، معماری و ... قرار گرفت. پس از تکمیل پرسش‌نامه اقدام به تجزیه و تحلیل با استفاده از روش AHP و تعیین امتیاز آنها شد. در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان تاب‌آوری شهری در ابعاد کالبدی و محیطی در شهر مشهد در برابر زلزله از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. همچنین به منظور ترکیب شاخص‌ها و تهیه نقشه هم‌پوشانی نهایی از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) با اعمال وزن AHP هر شاخص در وزن خود شاخص وزنی نهایی آن در Arc-GIS استفاده شد. تمامی لایه‌های وزنی شاخص‌های آسیب‌پذیری و مؤلفه‌های فرعی آنها از طریق معادله زیر ترکیب شدند:

رابطه (۱):

$$w = \sum_{j=1}^n (w_i * x_i)$$

جدول (۱): لایه‌های مورد بررسی شهر مشهد

ردیف	لایه زیرساخت
۱	نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به عرض معابر
۲	دسترسی به فضای باز
۳	دسترسی به مراکز خدمات‌رسان
۴	پمپ بنزین و گاز
۵	تراکم جمعیت
۶	دسترسی به معابر اصلی شهر
۷	استقرار در کوچه بن بست
۸	عمر بنا
۹	نوع مصالح نمای ساختمان
۱۰	مراکز بهداشتی و درمانی
۱۱	فاصله از گسل

منبع: Research findings (2024)

بررسی وضعیت معیارها و شاخص‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه و طریقه‌ی ارزش‌گذاری استاندارد کردن آنها در این وهله، در قالب لایه‌های اطلاعاتی، هر کدام از شاخص‌ها به رساتر مبدل شده‌است. روش ارزش‌گذاری آنها در بازه ۱ تا ۹ برای همه‌ی فضا در عنوان پنج پهنه کاملاً نامناسب تا کاملاً مناسب دسته‌بندی شده است (جدول ۲). این فواصل و ارزش‌گذاری با در نظر گرفتن نظرات و ضوابط کارشناسان بوده است.

جدول (۲): نحوه‌ی ارزش‌گذاری شاخص برای برای آسیب‌پذیری کالبدی شهر مشهد

نحوه ارزش‌گذاری			شاخص
مفهوم	امتیازات	بازه‌ها	
کاملاً نامناسب	۱	عرض معابر خیلی کم	نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به عرض معابر
نامناسب	۳	عرض معابر کم	
متوسط	۵	عرض معابر متوسط	
مناسب	۷	عرض معابر زیاد	
کاملاً مناسب	۹	عرض معابر خیلی زیاد	
کاملاً مناسب	۹	۰ تا ۲۰۰ متر	دسترسی به فضای باز
مناسب	۷	۲۰۰ تا ۳۰۰ متر	
متوسط	۵	۳۰۰ تا ۴۰۰ متر	
نامناسب	۳	۴۰۰ تا ۵۰۰ متر	
کاملاً نامناسب	۱	بیشتر از ۵۰۰ متر	
کاملاً مناسب	۹	۰ تا ۲۰۰ متر	دسترسی به مراکز خدمات‌رسان
مناسب	۷	۲۰۰ تا ۳۰۰ متر	
متوسط	۵	۳۰۰ تا ۴۰۰ متر	
نامناسب	۳	۴۰۰ تا ۵۰۰ متر	
کاملاً نامناسب	۱	بیشتر از ۵۰۰ متر	
کاملاً مناسب	۹	تراکم جمعیت خیلی کم	تراکم جمعیت
مناسب	۷	تراکم جمعیت کم	
متوسط	۵	تراکم جمعیت متوسط	
نامناسب	۳	تراکم جمعیت زیاد	
کاملاً نامناسب	۱	تراکم جمعیت خیلی زیاد	
کاملاً نامناسب	۱	۰ تا ۲۰۰۰ متر	فاصله از گسل
نامناسب	۳	۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر	
متوسط	۵	۵۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متر	
مناسب	۷	۸۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ متر	
کاملاً مناسب	۹	بیشتر از ۱۲۰۰۰ متر	
کاملاً مناسب	۹	۰ تا ۲۰۰ متر	دسترسی به معابر اصلی شهر
مناسب	۷	۲۰۰ تا ۳۰۰ متر	
متوسط	۵	۳۰۰ تا ۴۰۰ متر	

نامناسب	۳	۴۰۰ تا ۵۰۰ متر	استقرار در کوچه بن بست
کاملاً نامناسب	۱	بیشتر از ۵۰۰ متر	
کاملاً نامناسب	۱	کوچه بن بست	
متوسط	۵	کوچه باز	
مناسب	۷	فرعی	
کاملاً مناسب	۹	اصلی	عمر بنا
کاملاً نامناسب	۱	۰ تا ۵ سال	
نامناسب	۳	۵ تا ۱۰ سال	
متوسط	۵	۱۰ تا ۲۰ سال	
مناسب	۷	۲۰ تا ۳۰ سال	
کاملاً مناسب	۹	بیشتر از ۳۰ سال	نوع مصالح نمای ساختمان
کاملاً نامناسب	۱	شیشه‌ای	
نامناسب	۳	سنگ و آجر	
متوسط	۵	سنگی	
مناسب	۷	آجری	
کاملاً مناسب	۹	سیمانی	مراکز بهداشتی و درمانی
کاملاً نامناسب	۱	۰ تا ۳۰۰ متر	
نامناسب	۳	۳۰۰ تا ۶۰۰ متر	
متوسط	۵	۶۰۰ تا ۱۲۰۰ متر	
مناسب	۷	۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر	
کاملاً نامناسب	۹	بیشتر از ۱۵۰۰ متر	پمپ بنزین و گاز
کاملاً مناسب	۹	۰ تا ۳۰۰ متر	
مناسب	۷	۳۰۰ تا ۶۰۰ متر	
متوسط	۵	۶۰۰ تا ۱۲۰۰ متر	
نامناسب	۳	۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر	
کاملاً نامناسب	۱	بیشتر از ۱۵۰۰ متر	

منبع: Research findings (2024)

معیارها نسبت به یکدیگر در نرم‌افزار Expert Choice انجام شد و وزن‌دهی گزینه‌ها نسبت به هم محاسبه و وزن نهایی معیارها تعیین شد. جدول ۳، امتیازهای ترجیحی در مقیاس مقایسه زوجی را نشان می‌دهد.

اولویت‌بندی معیارها بر حسب نظر ۲۰ نفر از کارشناسان خبره و اساتید متخصص در مشهد تعیین گردید. به این صورت که هر یک از کارشناسان معیارها را بر اساس اهمیت آن‌ها در بررسی وضعیت میزان تاب‌آوری نسبت به یکدیگر اولویت‌بندی نمودند. سپس با استفاده از روش AHP مقایسه زوجی

جدول (۳): امتیازهای ترجیحی در مقیاس مقایسه زوجی

مقادیر عددی	ترجیح‌ها (قضاوت‌های شفاهی)
۱	ترجیح یا مطلوبیت یکسان
۳	کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر
۵	ترجیح یا مطلوبیت قوی

۷	ترجیح یا مطلوبیت خیلی قوی
۹	به طور کامل مرجح یا به طور کامل مطلوب تر
۲-۴-۶-۸	ترجیحات بینابین (وقتی حالت‌های میانه وجود دارد)

منبع: Research findings (2024)

هندسی به دست آمد و حساب شد. معیار وزن دادن به هر کدام از عنصرهای موجود در درون هر لایه میزان مؤثر بودن آن در شهر مشهد است. بعد از وزن دادن و انجام دادن محاسبه‌ها در نرم افزار Expert Choice و با در نظر گرفتن نرخ سازگاری وزن‌های نهایی ۰,۲۲ به دست آمد که در این روش بیشترین وزن به شاخص‌های نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به عرض معابر با ۰/۱۸ و کمترین آن نیز به استقرار در کوچه بن بست ۰/۰۲۳ تعلق گرفته است.

در ادامه در جدول ۴، وزن یا اولویت هر شاخصی نسبت به بقیه شاخص‌ها مشخص می‌شود. با در نظر گرفتن اینکه روش مقایسه‌ای دو به دو دارای خصوصیتی مناسب من جمله دقت بالا، آسانی در کاربرد و تئوری نیرومندی است، از این روش استفاده شد. پس در این مرحله پرسش‌نامه میان متخصصان و کارشناسان توزیع گردید. در مرحله بعدی، با وارد کردن وزن‌های نسبی درج شده در ماتریس، به نرم‌افزار Expert choice اوزان شاخص‌ها و معیارها با استفاده کردن از روش میانگین

جدول (۴): لایه‌های زیرساختی مورد بررسی شهر مشهد

وزن لایه‌ها	لایه زیرساخت
۰,۱۸	نسبت ارتفاع ساختمان‌ها به عرض معابر
۰,۱	دسترسی به فضای باز
۰,۱۱	دسترسی به مراکز خدمات‌رسان
۰,۰۷۵	پمپ بنزین و گاز
۰,۰۹۱	تراکم جمعیت
۰,۰۹	دسترسی به معابر اصلی شهر
۰,۰۲۳	استقرار در کوچه بن بست
۰,۰۷	عمر بنا
۰,۰۴	نوع مصالح نمای ساختمان
۰,۰۸	مراکز بهداشتی و درمانی
۰,۱۵	فاصله از گسل

منبع: Research findings (2024)

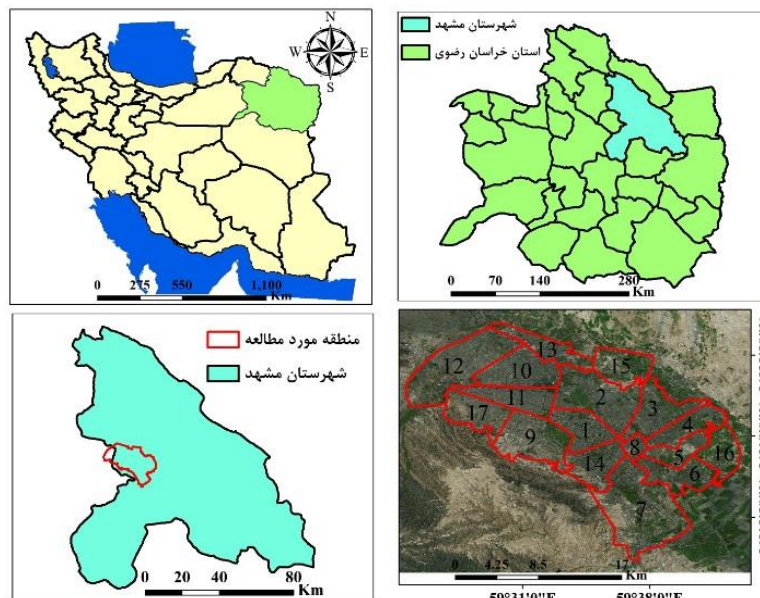
۲,۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

ترتیب از جنوب و شمال این شهر می‌گذرند. همچنین، ۴۸ درصد از کل سطح کلان‌شهر مشهد در پهنه با خطر زمین‌لرزه نسبی خیلی زیاد، ۲۲ درصد در پهنه نسبی زیاد، ۶ درصد در پهنه با خطر نسبی متوسط و ۲۴ درصد نیز در پهنه با خطر نسبی کم واقع شده‌است. این شهر به‌عنوان اولین کلان‌شهر مذهبی

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی، در شمال شرقی ایران قرار دارد. این شهر، در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه و بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع شده است. دو گسل اصلی جنوب مشهد و کشف‌رود به

است. شهر مشهد دارای ۱۷ منطقه شهرداری است و جمعیتی معادل ۳۰۵۷۶۷۹ نفر را در خود جای داده است.

ایران و دومین آنها در جهان از جایگاه ویژه به لحاظ وسعت، جمعیت و اهمیت در مقیاس جغرافیایی و اداری برخوردار

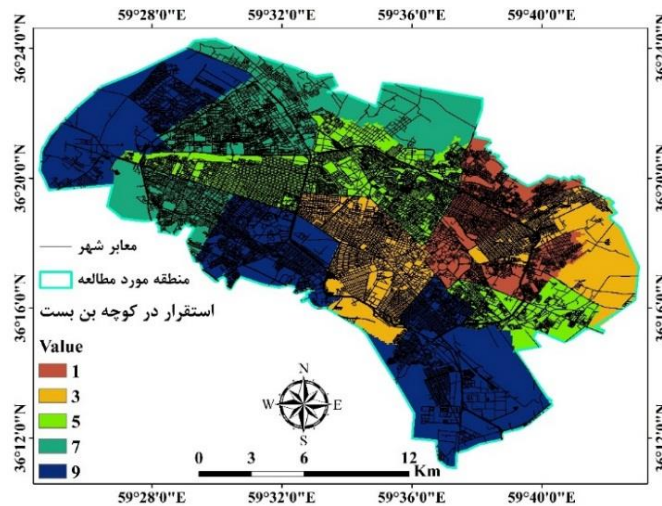


شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه، منبع: Authors, 2024

و کم عرض در این گونه بافت‌های شهری مشکل ساز می‌باشد حتی در سازه‌های جدید به دلیل رعایت نکردن تناسب بین تراکم ارتفاعی و عرض معبر شبکه ارتباطی در بافت جدید نیز با مشکل مواجه است. تحلیل‌های صورت گرفته نشان می‌دهد در کل شهر ۱۳,۵۲ درصد ساختمان‌های مسکونی در کوچه بن‌بست قرار گرفته‌اند که در تحلیل‌های منطقه‌ای منطقه سه و هشت با ۶,۱ درصد بیشترین ساختمان‌های مسکونی با موقعیت بن‌بست را دارد. بیشترین میزان کوچه بن‌بست در مناطق ۳، ۸، ۵ و ۴ وجود دارد.

۳. یافته‌های تحقیق

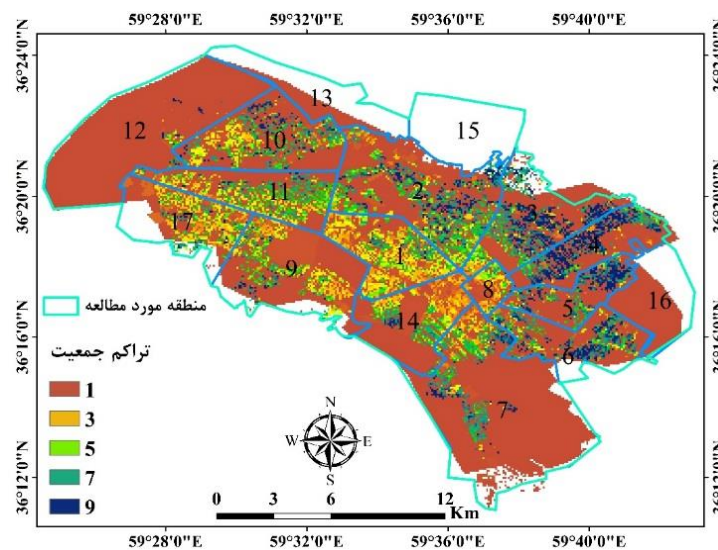
استقرار واحدهای مسکونی در کوچه بن‌بست: درجه محصوریت معابر پارامتر بسیار مهمی است با بالا رفتن درجه محصوریت و ریختن آوار در خیابان در اثر زلزله و یا مشکلات سایر بلاهای طبیعی تعداد انسداد بیشتر خواهد شد و در نتیجه در سرعت و نحوه گریز و پناه و امداد رسانی به هنگام بحران تأثیرگذار خواهد بود. در شهرهایی چون مشهد که بعضی مناطق دارای بافت قدیمی می‌باشد، از نظر دسترسی به بافت قدیم که عموماً مناطق مرکزی شهر را نیز شامل ساخت و ساز می‌شود وجود کوچه‌های بن‌بست و شبکه ارتباطی تنگ



شکل (۲): شاخص استاندارد شده میزان کوچه بن بست در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

حوادث طبیعی می باشد. طبق نتایج شهر مشهد بیشترین تراکم جمعیت در منطقه ۳، ۴، ۶ و ۲ وجود دارد.

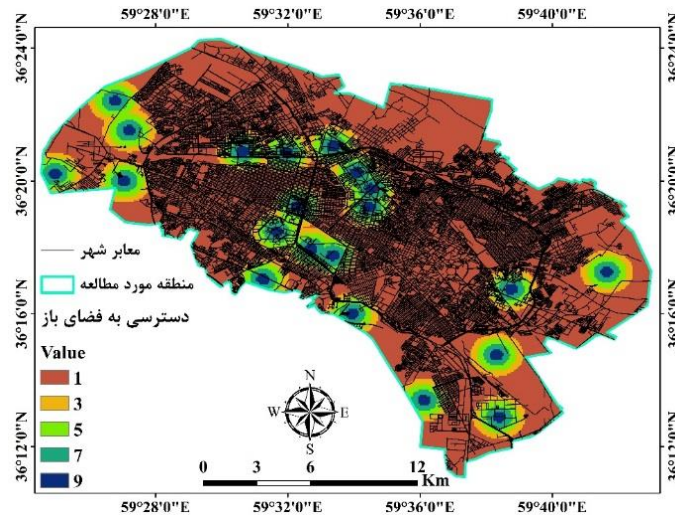
شاخص تراکم جمعیت: شاخص تراکم جمعیت که در شکل ۳ نشان داده شده یکی از اثرگذارترین عوامل در زمان



شکل (۳): شاخص استاندارد شده تراکم جمعیت در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

محدودیت های خاص مکانی و زمانی آن مقطع را کم رنگ تر می کند. در شکل (۴)، دسترسی به فضای باز را نشان می دهد طبق این نقشه در کل شهر دسترسی کمی به فضای باز شهری وجود دارد. همچنین بیشترین فضای باز در مناطق غرب و جنوب شهر قرار دارد.

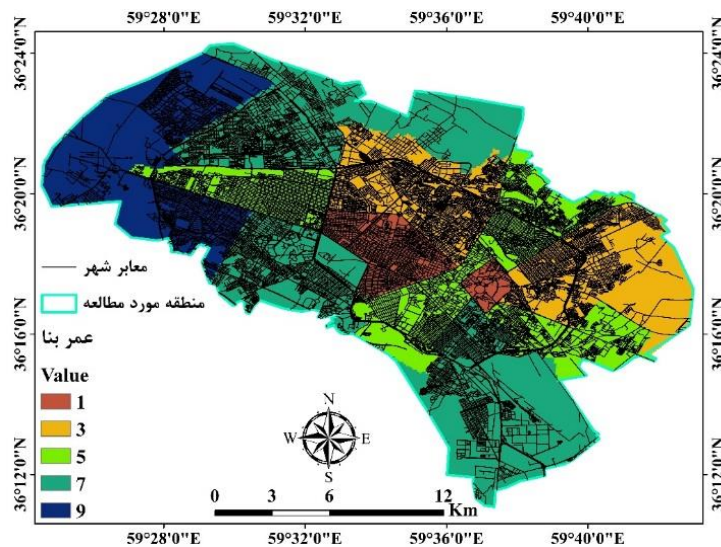
شاخص دسترسی به فضای باز: آگاهی از وضعیت دسترسی به فضاهای باز شهری برای اسکان موقت پس از زلزله، از مواردی است که می تواند در مدیریت بحران بسیار حیاتی باشد. شناسایی این نقاط پیش از وقوع زلزله سبب می شود مدیران در مقطع زمانی ناپایدار و غیرقطعی پس از زلزله تصمیم گیری منطقی داشته باشند. همچنین این مسئله تأثیر



شکل (۴): شاخص استاندارد شده دسترسی به فضای باز در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

مسکونی را بیان می‌دارد در تحلیل‌های صورت گرفته ۴۲،۲۲ درصد ساختمان‌های مسکونی عمر کمتر از ۱۰ سال را دارند و بیشترین فراوانی مربوط به ساختمان‌های مسکونی با عمر بین ۱۰ تا ۲۰ سال می‌باشد.

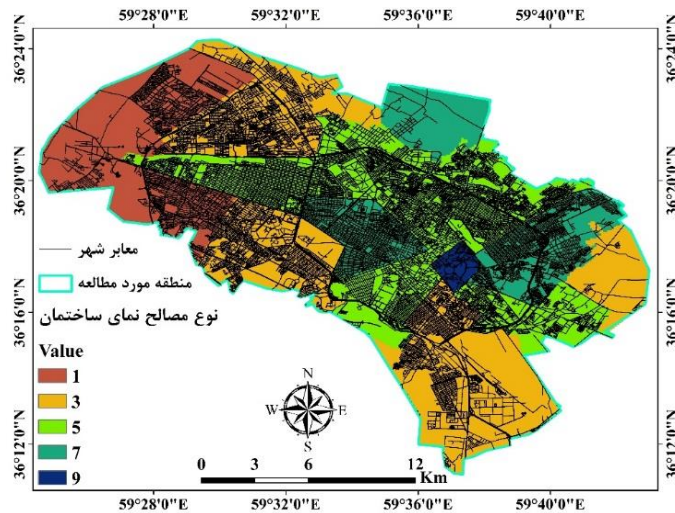
شاخص عمر بنا: عمر مفید ساختمان در آیین‌نامه‌های طراحی ۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود. بنا در ارتباط با مصالح به کار گرفته شده در ساخت آن گویای میزان استهلاک و فرسودگی واحد مسکونی است و یا دوام و استحکام واحد



شکل (۵): شاخص استاندارد شده عمر بنا در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

دارای نمای شیشه‌ای هستند که مناطق ۱۲، ۱۷، ۹ و ۱۳ بیشترین درصد فراوانی را دارا می‌باشند.

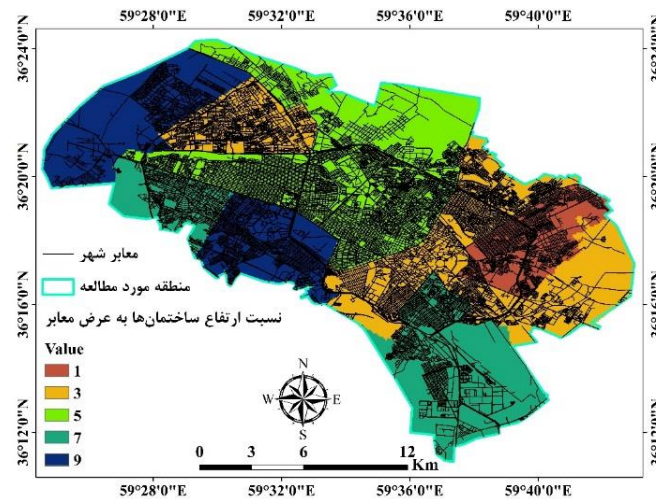
شاخص نوع مصالح نمای ساختمان: تحلیل‌ها نشان می‌دهد در سطح شهر مشهد ۱۲ درصد ساختمان‌های مسکونی



شکل (۶): شاخص استاندارد شده نوع مصالح نمای ساختمان در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

که ساخت و ساز در آن صورت می‌گیرد از ۶ تا ۸ متر باشد، تعداد طبقات مجاز برای ساختمان ذکر شده ۳ طبقه به همراه زیرزمین است. در صورتی که عرض گذر که ساخت و ساز در آن صورت می‌گیرد از ۸ تا ۱۰ متر باشد، تعداد طبقات مجاز برای ساختمان ذکر شده ۴ طبقه به همراه زیرزمین است. در صورتی که عرض گذر که ساخت و ساز در آن صورت می‌گیرد از ۱۰ تا ۱۲ متر باشد، تعداد طبقات مجاز برای ساختمان ذکر شده ۵ طبقه به همراه زیرزمین است. در صورتی که عرض گذر که ساخت و ساز در آن صورت می‌گیرد بیشتر از ۱۲ متر باشد، تعداد طبقات مجاز برای ساختمان ذکر شده ۶ طبقه به همراه زیرزمین است. در نتایج این شاخص مشخص شد بیشتر از ۳۰ درصد سطح شهر دارای استاندارد لازم نیستند و در وضعیت نامناسب و کاملاً نامناسب قرار دارند.

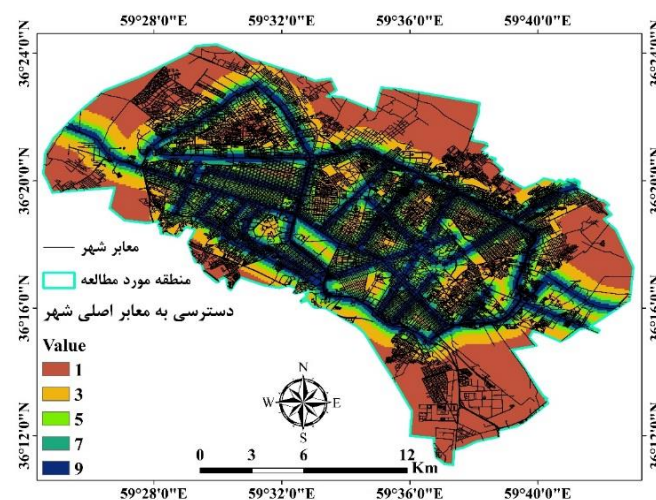
ارتفاع ساختمان نسبت به عرض معابر: شاخص دیگر
مورد بررسی ارتفاع ساختمان نسبت به عرض معابر می‌باشد. معیاری که برای محاسبه ارتفاع مجاز ساختمان در نظر گرفته می‌شود فاصله از کف زمین تا بام ساختمان می‌باشد. در مواردی که بام ساختمان شیب‌دار باشد، متوسط این شیب را به عنوان بلندترین نقطه ساختمان در نظر گرفته و ارتفاع بام بر اساس آن محاسبه می‌شود. هنگامی که محاسبه ارتفاع مجاز ساختمان مد نظر باشد، عواملی نظیر شرایط اقلیمی نیز تأثیر گذار بوده و در شرایط خاص تبصره‌هایی نیز وجود دارد که مهندسان می‌توانند طبق آن‌ها عمل نمایند. هر ساختمان با توجه به تعداد طبقاتی که دارد باید ارتفاع مشخصی را داشته باشد. در صورتی که عرض گذر که ساخت و ساز در آن صورت می‌گیرد از ۶ متر کمتر باشد، تعداد طبقات مجاز برای ساختمان ذکر شده ۲ طبقه است. در صورتی که عرض گذر



شکل (۷): شاخص استاندارد شده ارتفاع ساختمان نسبت به عرض معابر در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

قرار دارند. فضاهای باز نقش مهمی در کاهش وسعت، میزان عمل و نتایج اکثر حوادث طبیعی و مصنوعی دارند. از عمده‌ترین عملکردهای آن در هنگام بروز زلزله، جدا ساختن یک منطقه دارای پتانسیل خطر از دیگری و بدین ترتیب متمرکز کردن فعالیت نیروهای مخرب و جلوگیری از توسعه زنجیره‌ای وقایع می‌باشد.

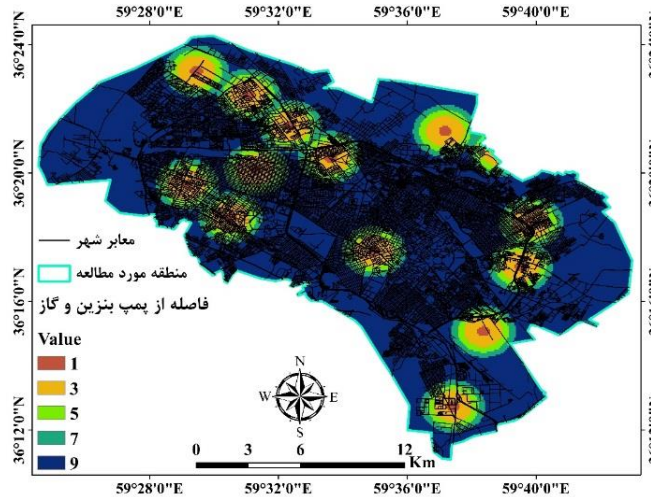
دسترسی به معابر اصلی شهری: دسترسی به معابر شهری یکی از عوامل اساسی برای مواقع خطر به خصوص زلزله می‌باشد. چون این معابر و دسترسی به آنها تا حد زیادی می‌تواند از آسیب‌های جانی و مادی جلوگیری کند. در شهر مشهد و میزان دسترسی به معابر اصلی بیشتر سطح شهر در وضعیت نامناسب قرار دارد. مناطق مناسب نیز در شرق و شمال محدوده



شکل (۸): شاخص استاندارد شده دسترسی به معابر شهری در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

طبق نتایج بالا ۱۲ درصد منطقه در وضعیت آسیب‌پذیری زیاد و ۶۰ درصد در وضعیت آسیب‌پذیری خیلی کم می‌باشد.

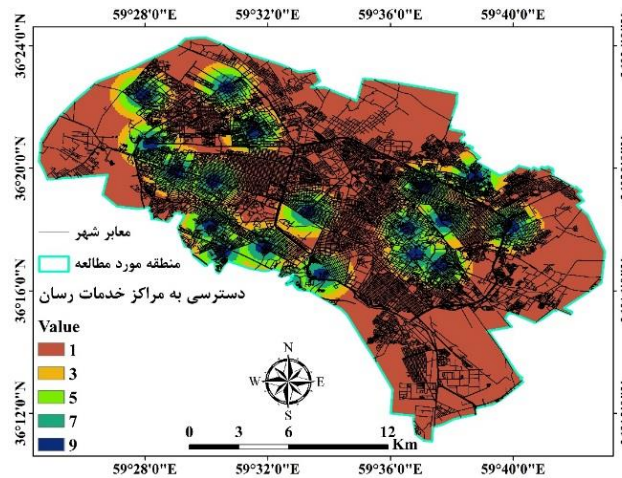
نزدیکی به پمپ بنزین و گاز: در شکل (۹)، نقشه استاندارد شده جایگاه‌های سوخت شهر مشهد را نشان می‌دهد.



شکل (۹): شاخص استاندارد شده نزدیکی به پمپ بنزین و گاز در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

به مراکز خدمات رسان غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه می باشد. اما در کل بیشتر از ۴۰ درصد از سطح شهر مشهد در وضعیت نامناسب قرار دارد.

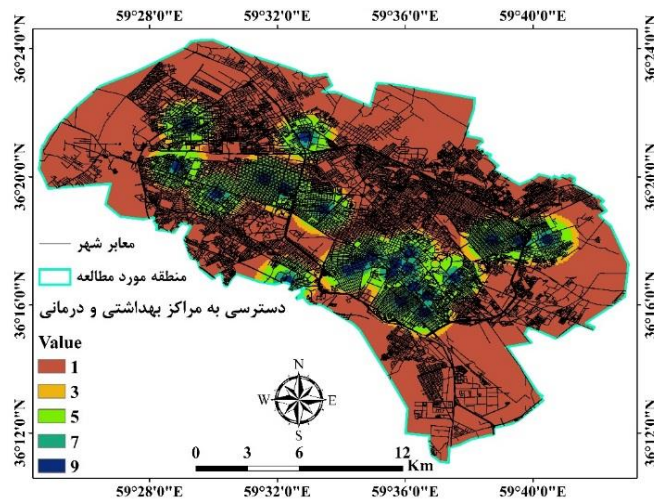
دسترسی به مراکز خدمات رسان: یکی دیگر از شاخص های مورد بررسی میزان دسترسی سطح شهر به مراکز خدمات رسان با توجه به معیار شهری می باشد. در نتایج این شاخص مشخص شد که بیشتر شهر در وضعیت نامناسب برای دسترسی به مراکز خدمات رسان قرار دارند. بهترین مناطق برای دسترسی



شکل (۱۰): شاخص استاندارد شده دسترسی به مراکز خدمات رسان در شهر مشهد، منبع: Research findings (2024)

باشد. طبق ارزیابی ها فقط ۱۰,۷ درصد در وضعیت دسترسی زیاد به مراکز درمانی هستند.

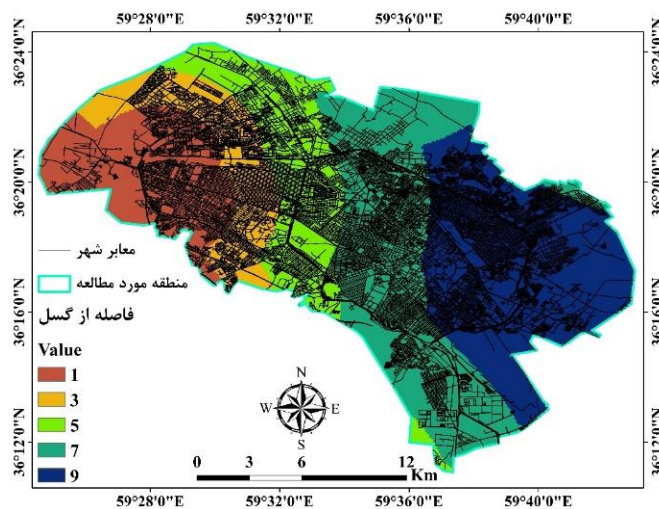
دسترسی مراکز بهداشتی و درمانی: طبق نتایج دسترسی به بیمارستان و مراکز درمانی در شهر مشهد کمی ضعیف می



شکل (۱۱): شاخص استاندارد شده دسترسی مراکز بهداشتی و درمانی در شهر مشهد، منبع: (2024) Research findings

نتیجه این امر در بیشتر شهر وقوع زلزله خواهد بود. لذا فاصله از گسل به عنوان معیاری برای تاب آوری به شمار می‌رود که فاصله هر چه بیشتر باشد بهتر است. طبق نتایج تقریباً ۱۷ درصد در وضعیت کاملاً آسیب‌پذیر و ۲۵ درصد نیز در وضعیت بدون آسیب‌پذیری قرار دارد.

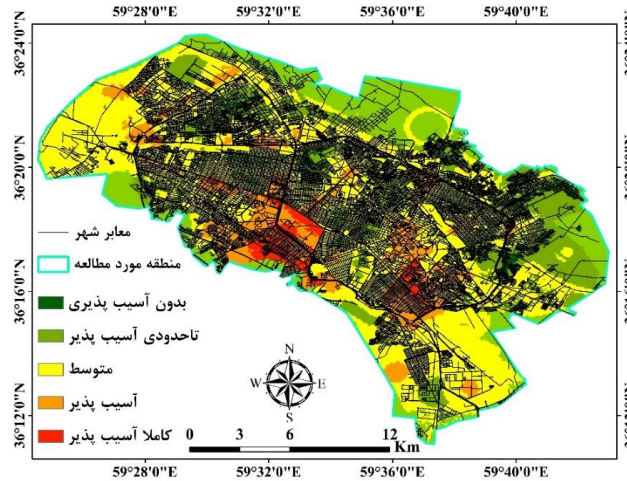
فاصله از گسل: شکل (۱۲)، شاخص استاندارد شده فاصله از گسل در شهر مشهد را نشان می‌دهد. گسل جنوب و شمال شهر مشهد یکی از گسل‌های خطرناک محدوده به‌شمار می‌رود. رعایت حریم گسل آسیب‌پذیری در ساخت و سازها در محدوده مورد مطالعه به‌طوری مناسب رعایت نشده است.



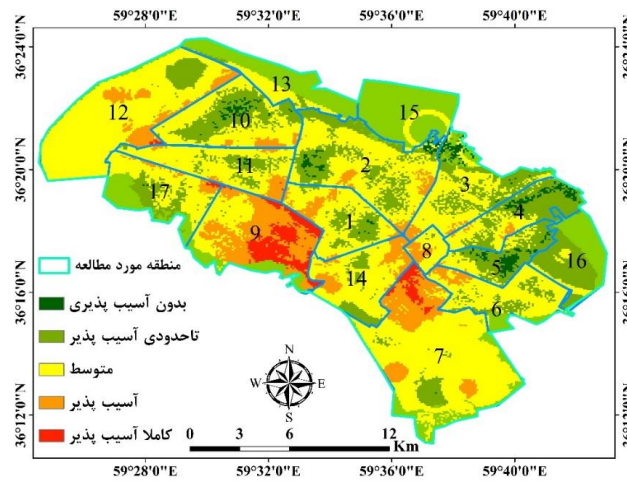
شکل (۱۲): شاخص استاندارد شده فاصله از گسل در شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳

در وضعیت متوسط)، ۵۷۸۹ هکتار (۱۷,۹۱ درصد) در وضعیت مناسب و فقط ۲۱۵۵ هکتار (۶,۶۶ درصد) در وضعیت کاملاً مناسب قرار دارند. طبق نتایج از میان مناطق هفده‌گانه شهر مشهد مناطق ۷ و ۹، بیشترین میزان آسیب‌پذیری را دارند.

در شکل (۱۳)، خروجی نهایی آسیب‌پذیری شهر مشهد در برابر زلزله را نشان داده است. طبق نتایج ۱۱۴۷ هکتار (۳,۵۵ درصد) در وضعیت کاملاً نامناسب، ۷۹۶۴ هکتار (۲۴,۶۴ درصد) در وضعیت نامناسب، ۱۵۲۵۴ هکتار (۴۷,۲۱ درصد)



شکل (۱۳): نقشه نهایی آسیب پذیری و تاب آوری شهر مشهد در برابر زلزله، منبع: Research findings (2024)



شکل (۱۴): نقشه نهایی آسیب پذیری و تاب آوری شهر مشهد در برابر زلزله، منبع: Research findings (2024)

است که دیر یا زود چنین چالشی را پیشرو خواهد داشت. لذا کاهش آسیب و مدیریت بحران و در نهایت تاب آور نمودن شهرها در برابر مخاطراتی همچون زلزله لازم و ضروری است. در این راستا هدف پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی تاب آوری کالبدی فضاهای شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر مشهد)، می باشد. در این پژوهش از شاخص های (نسبت ارتفاع ساختمان ها به عرض معابر، دسترسی به فضای باز، دسترسی به مراکز خدمات رسان (آتش نشانی و ...)، تراکم جمعیت، فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی، فاصله از گسل، فاصله از پمپ بنزین و گاز، عمر بنا، استقرار در کوچه بن بست، نوع مصالح نمای ساختمان و دسترسی به معابر اصلی

۴. بحث و نتیجه گیری

امروزه یکی از مهم ترین مخاطراتی که همواره شهرها را تهدید می نماید خطر وقوع زلزله است. زلزله همواره جزء مهم ترین مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله تعداد زیادی از مردم جهان گرفتار آثار نامطلوب آن می شوند. به منظور کاهش تلفات جانی و اقتصادی و تبعات اجتماعی آنها ضروری است که بر اساس دانش کنونی و آخرین فناوری های قابل اعتماد از خطر وقوع زمین لرزه در نقاط مختلف، شناختی دقیق به دست آورده شود. در این میان، شهر مشهد هم بمانند بسیاری از شهرها با توجه به قرار گرفتن بر روی چندین گسل فعال، از جمله مناطق حساس و در معرض خطرات ناشی از وقوع زلزله

شهرهای استان هبی و پکن-تیانجین، وجود دارد، هم‌راستا می‌باشد.

در نهایت با توجه به نتایج، پیشنهادات ذیل ارائه گردید:

- توجه به مقاوم‌سازی ساختمان‌ها (به‌ویژه در بافت‌های فرسوده، غیررسمی و ...).
- تعیین مناطق پرخطر: شناسایی مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا و محدودیت در ساخت‌وساز در این مناطق.
- ایجاد فضاهای باز و سبز: طراحی فضاهای باز و پارک‌ها به عنوان مناطق امن در زمان زلزله.
- توسعه چندمرکزی: جلوگیری از تمرکز بیش از حد فعالیت‌ها در یک نقطه و توزیع خدمات و زیرساخت‌ها در سطح شهر.
- سرمایه‌گذاری در تحقیقات مرتبط با زلزله و توسعه روش‌های جدید برای مقاوم‌سازی.
- استفاده از روش‌های خاص برای مقاوم‌سازی بناهای تاریخی و میراث فرهنگی بدون تغییر در ظاهر آن‌ها.
- تاسیس مراکز مدیریت بحران در سطح شهر برای هماهنگی سریع و موثر در زمان وقوع زلزله.
- اجرای مانورهای زلزله در مدارس، ادارات و محلات برای افزایش آمادگی عمومی.

فهرست منابع

- Abdi, Z., Ashnoi Noushabadi, A., Maskini, A. (2022). Assessment of physical resilience using the TOPSIS-AHP model with an emphasis on housing (a case study of the country's cities). *Safe City*, 5(1), 1-24. [doi:10.22034/ispdrc.2022.254318](https://doi.org/10.22034/ispdrc.2022.254318) (In Persian)
- Adger, W. N., (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in human geography*, University of East Anglia, Norwich, UK, 24 (3), 347-364. <https://doi.org/10.1191/030913200701540465>
- 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.

شهر) مورد بررسی قرار گرفت این شاخص‌ها از عوامل تعیین کننده و نشان‌دهنده‌ی میزان آسیب پذیری مناطق مختلف شهری می‌باشند. با استفاده از این مجموعه عوامل و تعیین حریم آن‌ها مناطق آسیب‌پذیر شهر شناسایی می‌شود. نتایج نشان داد ۱۱۴۷ هکتار (۳,۵۵ درصد) در وضعیت کاملاً نامناسب، ۷۹۶۴ هکتار (۲۴,۶۴ درصد) در وضعیت نامناسب، ۱۵۲۵۴ هکتار (۴۷,۲۱ درصد) در وضعیت متوسط، ۵۷۸۹ هکتار (۱۷,۹۱ درصد) در وضعیت مناسب و فقط ۲۱۵۵ هکتار (۶,۶۶ درصد) در وضعیت کاملاً مناسب قرار دارند. طبق نتایج از میان مناطق هفده‌گانه شهر مشهد مناطق ۷ و ۹، بیشترین و کمترین میزان آسیب‌پذیری را دارند.

نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های نتایج پژوهش‌های (2024) *Haseli et al* که نشان دادند، نواحی غربی و جنوبی شهر اسلام‌آبادغرب از بیشترین میزان تاب‌آوری در مقابل زلزله برخوردار است و کمترین میزان تاب‌آوری مربوط به نواحی شرقی و شمال شرقی شهر می‌باشد. *Maleki et al (2022)* که نشان دادند، که محدوده مرکزی ناحیه غربی شهر ایزه به دلایل: قدمت بالا ابنیه‌ها و کیفیت پایین ساخت‌وساز را به‌عنوان مناطقی با پایین‌ترین سطح تاب‌آوری در کل ناحیه مشخص نمود. *Sun et al (2023)* در پژوهشی نشان دادند، از نظر فضایی، شکاف قابل‌توجهی بین شاخص تاب‌آوری

<https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2024.05.002>. (In Persian)

Allan, P., & Bryant, M. (2010). The critical role of open space in earthquake recovery: a case study. In EN: Proceedings of the 2010 NZSEE Conference (2010, Nueva Zelandia) (pp. 1-10).

<https://www.semanticscholar.org/paper/TheCritical-Role-of-Open-Space-in-Earthquake-A-Allan-Bryant/90495244704ff29c627ee1aecb58434ce7b48f40>

Antonioni, G., Spadoni, G., & Cozzani, V. (2007). A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events. *Journal of hazardous materials*, 147(1-2), 48-59.

DOI: [10.1016/j.jhazmat.2006.12.043](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.043)

Badrazar, S, Hosseinzadeh Dalir, K. & Azar, A.

- (2021). Evaluation of vital impulses affecting earthquake resilience in Iranian metropolises (Case study: Tabriz metropolis). *Geography (Regional Planning)*, 11(42), 871-890. [20.1001.1.22286462.1400.11.2.46.6](https://doi.org/10.1001.1.22286462.1400.11.2.46.6)
- Banica, A., Rosu, L., Muntele, L., & Grozavu, A., (2017). Towards Urban Resilience: A Multi-Criteria Analysis of Seismic Vulnerability in Lasi City. (Romania). *Sustainability* 2017, 9, 270. [RePEc: gam:jsusta:v:9:y:2017:i:3:p:270-d:90385](https://doi.org/10.3390/s9030385)
- Burton, C.G. (2015). A validation of metrics for community resilience to natural hazards and disasters using the recovery from Hurricane Katrina as a case study. *Annals of The Association Of American Geographers*, 105(1), 67-86. <https://www.jstor.org/stable/24537949>
- Gharakhlou, M., (2009), crisis risk in urban slum, CAG, ETAVA, Canada, 25-31.
- Haseli, S. Pourkhabbaz, H, & Azmi, A. (2024). Evaluating Urban Resilience against Earthquakes (Case Study: Islamabad Gharb). *Geography and Urban Space Development*, 11(2), 139-159. [doi: 10.22067/jgusd.2023.78320.1241](https://doi.org/10.22067/jgusd.2023.78320.1241). (In Persian)
- Heydari, M. T., Hatami, H., Tahmasebi Moghadam, H. and akbari, B. (2024). Evaluating the Physical Resilience of the Central Texture of Cities against Hazards (Case Example: District 8 of Shiraz City). *Geography and Urban Space Development*, 10(4), 61-82. [doi: 10.22067/jgusd.2022.73288.1124](https://doi.org/10.22067/jgusd.2022.73288.1124)
- Heydarifar, M., & Razayi, N. (2017). The Needing to Attend Environmental Hazards from the View of National Security (Emphasizing the Environmental Security). *Environmental Law*, 2(1), 38-49. https://enlaw.journals.pnu.ac.ir/article_4227.html?lang=en. (In Persian)
- Heydarifar, M.R, Solimani rad, E, Hosseinisiahgoli, M. (2020). Investigating the Role of Natural Hazards and Crisis Management in Land Management (Case Study: Kermanshah Province). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 1(1), 55-76. https://www.srds.ir/article_122918.html?lang=en. (In Persian)
- Hook, A., Court, V., Sovacoo, B., & Sorrell, S. (2020). A systematic review of the energy and climate impacts of teleworking. *Environmental Research Letters*, 15(9), 89-119. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8a84>
- Kärrholm, M., Nylund, K., & de la Fuente, P. P., (2014). Spatial resilience and urban planning: Addressing the interdependence of urban retail areas, *Cities*, London, England, 36, 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.10.012>
- Kourti, N., Kempner, T., Marin Ferrer, M., Luoni, S., Antofie, T., Georgios, T., Negro, P., Giannopoulos, G., Galbusera, L., Krausmann, E., Girgin, S., Theocharidou, M. (2019). Strategies for improving Urban Resilience in Europe, 13th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ICASP13Seoul, South Korea, May 26-30. https://www.researchgate.net/publication/332682497_Strategies_for_improving_Urban_Resilience_in_Europe.
- Maleki, S., Razavii, S. M., & Ramazanpour Asadieh, K. (2022). Measurement and Evaluation of Resilience to Earthquake Urban Areas (Case Study: Western District of Izeh City). *12(47)*, 187-202. [doi: 10.30495/jupm.2022.4231](https://doi.org/10.30495/jupm.2022.4231). (In Persian)
- Mohaqqeqi, P, Ghadami, M, Azimi amoli, J, & Janbaz Ghobadi, G. R. (2021). An investigation of earthquake resilience with an emphasis on urban form: A case study on District 12 of Tehran. *Urban Structure and Function Studies*, 8(29), 245-273. [doi: 10.22080/usfs.2021.3445](https://doi.org/10.22080/usfs.2021.3445). (In Persian)
- Peyvastehgar, Y., Jafari, H., & Moradi, E. (2023). Explaining the dimensions of urban physical resilience against earthquakes based on multi-criteria decision making methods studied in Yasouj. *13(51)*, 73-88. [doi: 10.30495/jupm.2022.30043.4139](https://doi.org/10.30495/jupm.2022.30043.4139). (In Persian)
- Pourahmad, A, Ziyari, K, & Sadeghi, A. (2018). Spatial Analysis of Physical Resilience Components of Urban attrited/beaten tissues against Earthquakes (Case Study: District 10 of Tehran Municipality). *Spatial Planning*, 8(1), 111-130. [doi: 10.22108/sppl.2018.109941.1178](https://doi.org/10.22108/sppl.2018.109941.1178). (In Persian)
- Sarvar, H, & Kashani asl, A. (2016). Evaluation of ahar city's physical vulnerability against earthquake crisis. *Environmental based territorial planning (amayesh)*, 9(34), 87-108. [sid. https://sid.ir/paper/130684/en](https://sid.ir/paper/130684/en). (In Persian)
- Shahpari Sani, D., Heidari, M. T., Tahmasebi Mogaddam, H., Nadizadeh Shorabeh, S., Yousefvand, S., Karpmpour, A., & Jekar Arsanjani, J. (2022). An Assessment of Social

- Resilience against Natural Hazards through Multi-Criteria Decision Making in Geographical Setting: A Case Study of Sarpol-e Zahab, Iran. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14), Article 8304. <https://doi.org/10.3390/su14148304>
- Sun, J, Zhai, N, Mu, H, Miao, J, Li, W, Li, M, (2023), Assessment of urban resilience and subsystem coupling coordination in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, *Sustainable Cities and Society*, Volume 100, January 2024, 105058. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105058>
- Tavasoli, O, Asakereh, A, & Tavasoli, N. (2023). Seismic Hazard Analysis and Preparation of Risk Spectrum in Mashhad for Design, Construction Urban and Suburban Infrastructures. *Journal of Transportation Research*, 20(4), 155-166. doi: [10.22034/tri.2023.115391](https://doi.org/10.22034/tri.2023.115391). (In Persian)
- Tokakisa, V, Polychronioua, P, Boustras, G, (2019). Crisis management in public administration: The three phases model for safety incidents, *Safety Science*, 28(113): 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.11.013>
- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), (2016). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction.