Housing and Rural Environment
Print ISSN: 2008 - 4994 Online ISSN: 2588 - 6215
Homepage: https://jhre.ir

# Analysis of the spatial pattern of the rural settlements vulnerability to earthquakes; case study: rural settlements in the Tehran metropolitan area

**Bahman Tahmasi** [1], **Hassanali Faraji Sabokbar** [2] ✉, and **SeyedAli Badri** [3]

1. PhD in geography and rural planning, department of human geography and planning, faculty of geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: bahman.tahmasi@ut.ac.ir
2. Corresponding author, Professor, department of human geography and planning, faculty of geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hfaraji@ut.ac.ir
3. Associate Professor, department of human geography and planning, faculty of geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: sabadri@ut.ac.ir

## Article Info

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
Received 7 May 2024
Received in revised form 13 July 2024
Accepted 1 November 2024
Available online 31 December 2024

***Keywords***:
Vulnerability,
Spatial Pattern,
Rural Settlements,
Earthquake Hazard,
Tehran Metropolitan Area.

## ABSTRACT

**Objective**: The Tehran metropolitan area is recognized as a region with a high seismic hazard. The accumulation and compaction of the built environment, coupled with the high population density in this region, have amplified concerns regarding the potential damage and casualties resulting from a possible earthquake. While various dimensions of vulnerability to earthquake hazards have been studied by researchers at the neighborhood and district levels within the Tehran metropolitan area, the vulnerability of rural settlements in this region has not been adequately investigated. Due to this scientific and practical gap, the aim of the present research is to analyze the spatial pattern of vulnerability in rural settlements in the Tehran metropolitan area.

**Method**: This research was conducted using quantitative methodology and is classified as applied research. The study population includes 1,082 inhabited rural settlements in Tehran and Alborz provinces. Among them, 914 villages with accessible statistical data were included in the analysis. Data collection was conducted using a library method, mainly using statistical data from the Statistical Center of Iran. Fuzzy inference systems, kriging interpolation methods, and hot spot analysis techniques were used for data analysis.

**Results:** The research findings indicate that all rural settlements located within the Tehran metropolitan area have a high potential for earthquake vulnerability. Moreover, the spatial pattern reveals a higher level of vulnerability among settlements located in the peripheral zones compared to those located in the central areas of the Tehran metropolitan area.

**Conclusions**: The spatial distribution of rural settlements within the metropolitan area of Tehran shows different levels of vulnerability to earthquake hazards. This disparity is influenced by both natural spatial dynamics and socio-economic structures, as well as the interactions between these two factors. Rural settlements closer to the urban center generally have more favorable conditions due to better access to essential infrastructure. Conversely, those further from the center have limited accessibility and resources.

**Cite this article:** Tahmasi, B., Faraji Sabokbar, H., & Badri, S.A. (2024). Analysis of the spatial pattern of the rural settlements vulnerability to earthquakes; case study: rural settlements in the Tehran metropolitan area. *Housing and Rural Environment*, 43 (189), 77-90. https://doi.org/10.22034/43.188.77

© The Author(s).
Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).
DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

## Introduction

Natural hazards have always had a significant impact on human life, ecosystems, and infrastructure. Among these hazards, earthquakes stand out because of their devastating effects on human life and infrastructure, as well as their immense destructive power. Earthquakes are sudden events that cause the most damage in the immediate aftermath. Despite advances in science and technology, the complex nature of earthquakes makes accurate prediction difficult, resulting in continued high casualties. Iran, located on the seismic belt, is recognized as one of the most earthquake-prone countries in the world. The Tehran metropolitan area, which includes Tehran and Alborz provinces, is particularly vulnerable due to its history of seismic activity and numerous active faults. In addition, the high population density and level of activity in the region significantly exacerbate its vulnerability to earthquakes. While numerous studies have examined the vulnerability of urban neighborhoods and areas within the Tehran metropolitan area, the vulnerability of rural settlements in the area has received less attention from researchers. The importance of studying the vulnerability of rural settlements in the Tehran metropolitan area lies in the fact that these settlements have experienced rapid population growth, high population density, non-compliant construction practices, development near active faults, expansion into geologically unstable areas, and weak economic foundations in recent decades. These factors raise concerns about the potential for irreparable damage to rural settlements in the Tehran metropolitan area in the event of a major earthquake. Therefore, this research aims to assess the overall vulnerability of rural settlements to earthquake hazards and to identify and analyze the spatial pattern of vulnerability in the Tehran metropolitan area.

## Method

This research is quantitative in nature and is classified as applied research in terms of its objectives. Data collection was done through literature review. Research components and indicators were identified through a systematic review of the literature. The opinions of 40 experts were sought to refine and validate the vulnerability components and indicators. The statistical data used in this research was obtained from official domestic and foreign sources such as the Statistical Center of Iran, the Ministry of Roads and Urban Development, and the United States Geological Survey. Some data such as distances and accessibility were calculated in ArcMap software environment. The statistical population in this research includes all rural settlements in Tehran and Alborz provinces, which is equal to 1082 rural points according to the Statistical Center of Iran. Of these, 914 villages for which data were available were studied.

In addition to descriptive statistics, fuzzy inference systems, kriging interpolation, and hotspot analysis were used to analyze the data. The software used in the research was Matlab R2019a and ArcMap.

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

## Results

Three indicators were used to assess seismic hazard exposure: seismic hazard zoning (based on Building Code 2800), distance to faults, and distance to historical earthquake epicenters. The results of the seismic hazard exposure assessment indicate that all rural settlements in the Tehran metropolitan area are exposed to a high risk of earthquakes. However, the level of seismic hazard exposure is not uniform across the region. Rural areas in the west, northwest, north, and east of the Tehran metropolitan area are more exposed to earthquake hazards than some central and southern areas. Ten indicators were used to assess the sensitivity of rural settlements to earthquake hazards: the proportion of buildings with resistant materials, the proportion of high-rise housing units, the population density per housing unit, the household density per housing unit, the proportion of vulnerable population groups, the gender ratio, the household size, the natural site, the geology of the region, and the slope. The results of the sensitivity assessment show that rural areas in the northwestern, eastern, central, and southern parts of the Tehran metropolitan area are more sensitive to earthquake hazards than other areas. Ten indicators were used to assess the adaptive capacity of rural settlements: distance to transportation routes, distance to emergency response centers, distance to fire stations, distance to hospitals, access to health centers, access to health houses, access to health bases, literacy rate, employment rate, and economic activity rate. The results of adaptive capacity assessment show that rural areas in the northwest, east, south and southwest of Tehran metropolitan area have lower adaptive capacity, while central areas have higher adaptive capacity to earthquake hazards.

## Conclusions

The results indicate a highly precarious situation and extremely high vulnerability for all rural settlements within the Tehran metropolitan area. No rural settlement shows moderate or low vulnerability. However, the spatial pattern of vulnerability shows that rural settlements located in the central region of the metropolitan area generally have lower levels of vulnerability compared to the peripheral areas. This spatial disparity in vulnerability is primarily influenced by spatial dynamics, both in terms of natural processes and socio-economic structures, as well as the interactions between the two. Rural settlements located in the center have more favorable conditions due to better access to essential infrastructure, while those located further from the center have limited accessibility and resources. In fact, natural conditions, topography, land and housing prices, general economic conditions of the country, policy and planning systems, allocation of disaster management funds, population changes, high migration rates, weaknesses in establishing building codes and standards, and incomplete implementation of regulations are among the most important macro and micro factors influencing the vulnerability of rural settlements and the main drivers of the spatial pattern of vulnerability of rural settlements in the Tehran metropolitan area.

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

### *Author Contributions*

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

### *Data Availability Statement*

Not applicable

### *Acknowledgements*

Not applicable

### *Ethical considerations*

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

### *Funding*

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

### *Conflict of interest*

The authors declare no conflict of interest

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

مسکن و محیط روستا
شاپا چاپی: ۴۹۹۴ - ۲۰۰۸ شاپا الکترونیکی: ۶۲۱۵ - ۲۵۸۸
Homepage: https://jhre.ir

# تحلیل الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله؛ مطالعه موردی: سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران

بهمن طهماسی[۱]، حسنعلی فرجی سبکبار[۲]✉، سیدعلی بدری[۳]

۱. دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: bahman.tahmasi@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استاد، گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hfaraji@ut.ac.ir
۳. دانشیار، گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: sabadri@ut.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۲/۱۸
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۴/۲۳
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۸/۱۱
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

**کلیدواژه‌ها:**
آسیب‌پذیری،
الگوی فضایی،
سکونتگاه‌های روستایی،
مخاطره زلزله،
منطقه کلان‌شهری تهران.

**چکیده**

**هدف:** منطقه کلان‌شهری تهران به‌عنوان یکی از مناطق با ریسک بالای مخاطره زلزله شناخته می‌شود. انباشت و فشردگی کالبدی و همچنین تراکم بالای جمعیت در این منطقه باعث افزایش نگرانی‌ها در مورد خسارات و آسیب‌های ناشی از زلزله احتمالی در این منطقه شده است. تاکنون ابعاد مختلف موضوع آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زلزله در سطح محلات و مناطق شهری واقع در منطقه کلان‌شهری تهران موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است؛ اما آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی این منطقه چندان موردتوجه قرار نگرفته است. به دلیل وجود این خلأ علمی و اجرایی، هدف پژوهش حاضر تحلیل الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران است.

**روش پژوهش:** این پژوهش در چهارچوب روش‌شناسی کمی انجام شده و جزء تحقیقات کاربردی به‌حساب می‌آید. جامعه آماری تحقیق شامل ۱۰۸۲ سکونتگاه روستایی دارای سکنه در دو استان تهران و البرز است. از بین آن‌ها، تعداد ۹۱۴ روستا که دارای داده‌های آماری قابل‌دسترس بوده‌اند موردمطالعه قرار گرفته‌اند. گردآوری داده‌ها به‌صورت کتابخانه‌ای و عمدتاً با استفاده از آمارنامه‌های مرکز آمار ایران انجام شده است. جهت تحلیل داده‌ها از سیستم استنباط فازی، روش درون‌یابی کریجینگ و تحلیل لکه‌های داغ استفاده شده است.

**یافته‌ها:** نتایج پژوهش نشان می‌دهد، تمام سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران دارای پتانسیل بالای آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زلزله هستند. همچنین، الگوی فضایی آن نشان‌دهنده سطح بالای آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های واقع در محدوده‌های پیرامونی نسبت به محدوده‌های مرکزی منطقه کلان‌شهری تهران است.

**نتیجه‌گیری:** تفاوت بین پهنه‌های مختلف در محدوده منطقه کلان‌شهری تهران به لحاظ پتانسیل آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره زلزله تحت تأثیر پویایی‌های فضایی هم به لحاظ فرایندهای طبیعی و هم به لحاظ ساختارهای اجتماعی–اقتصادی و تعاملات بین این دو است. به‌طوری‌که سکونتگاه‌های روستایی واقع در مرکز به لحاظ برخورداری و میزان دسترسی به زیرساخت‌های موردنیاز دارای شرایط مساعدتری هستند و سکونتگاه‌های دور از مرکز دارای دسترسی و برخورداری کمتری هستند.

**استناد:** طهماسی، بهمن؛ فرجی سبکبار، حسنعلی؛ بدری، سیدعلی. (۱۴۰۳). تحلیل الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله؛ مطالعه موردی: سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران. *مسکن و محیط روستا*، ۴۳ (۱۸۹)، ۷۷-۹۰. https://doi.org/10.22034/43.188.77

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.
© نویسندگان.



[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

## مقدمه

در میان انواع مخاطرات، زلزله‌ها به دلیل تأثیر ویرانگر بر زندگی انسان و زیرساخت‌ها و قدرت بالای تخریب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. زلزله به شکل گسترده باعث تخریب ساختمان‌ها، انواع زیرساخت‌ها و به‌طورکلی سکونتگاه‌های انسانی می‌شود (Zahrah et al., 2022; Kumar & Singh, 2021; Dollet & Gueguen, 2022). زلزله ازجمله مخاطراتی است که به‌صورت ناگهانی به وقوع می‌پیوندد و بیشترین آسیب را در لحظات اولیه پس از رخداد به همراه دارد (Zlatanovic et al., 2020; Kim et al., 2022). زلزله برخلاف بسیاری از مخاطرات دیگر، باوجود توسعه علم و پیشرفت‌های گسترده تکنولوژی به دلیل ماهیت پیچیده آن قابلیت پیش‌بینی دقیق ندارد (Malkocoglu et al., 2022; Wang et al., 2017; Shams & Ramezani Kiasejmahalehe et al., 2016; Shabani Asl, 2020). به همین دلیل است که تلفات ناشی از زلزله همچنان قابل‌توجه است. به‌طوری‌که بر اساس آمارهای سازمان جهانی بهداشت[1] و دفتر کاهش ریسک بلایای ملل متحد[2] بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ نزدیک به ۷۵۰ هزار نفر براثر زلزله کشته شده‌اند. همچنین طی این دوره زمانی بیش از ۱۲۵ میلیون نفر به اشکال مختلف مانند مجروح شدن، بی‌خانمانی، آواره شدن و تخریب اموال تحت تأثیر زلزله قرار گرفته‌اند (WHO, 2024; UNDRR, 2018).

کشور ایران به دلیل موقعیت زمین‌شناسی و قرارگیری بر روی کمربند زلزله، به‌عنوان یکی از زلزله‌خیزترین کشورهای جهان شناخته می‌شود و همواره با خطر بالای زلزله مواجهه بوده است (Kalantari et al., 2023; Pasari, 2023; Farajisabokbar et al., 2021; Farahani et al., 2014)، به‌طوری‌که از بین ده زلزله مرگبار شناسایی‌شده در طول تاریخ، یک مورد از آن‌ها در ایران با بزرگی ۷/۹ ریشتر رخ‌داده و بیش از ۲۰۰ هزار نفر کشته بر جای گذاشته است (Ourworldindata, 2024).

در بین مناطق مختلف کشور، منطقه کلان‌شهری تهران شامل دو استان تهران و البرز ازجمله مناطقی است که به دلیل وجود گسل‌های فعال متعدد دارای خطر بسیار بالای وقوع زلزله است. علاوه بر آن به دلیل تراکم بالا و بارگذاری گسترده جمعیت و فعالیت پتانسیل آسیب‌پذیری آن در برابر مخاطره زلزله به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است (Khodadadi et al., 2020; Nasiri Hendeh Khaleh, 2021; Qaed Rahmati & Qanei Bafghi, 2012;).

تعداد زیادی از مراکز شهری و نقاط روستایی در منطقه کلان‌شهری تهران واقع شده‌اند. تاکنون مطالعات متعددی موضوع خطر زلزله و آسیب‌پذیری در برابر زلزله در سکونتگاه‌های شهری این منطقه را مورد کاوش قرار داده‌اند. اما آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در این منطقه و تحلیل ابعاد مختلف آن کمتر موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است. اهمیت مطالعه آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران ازاین‌جهت است که این سکونتگاه‌ها طی دهه‌های اخیر مکانی برای جذب سرریز جمعیت شهری منطقه کلان‌شهری تهران بوده‌اند. بنابراین رشد بیش‌ازاندازه جمعیت، تراکم بالای جمعیت و فعالیت، انجام ساخت‌وسازهای غیراصولی، توسعه کالبدی در مجاورت گسل‌های فعال، توسعه فیزیکی در بسترهای زمین‌شناسی ناپایدار و همچنین ضعف بنیادهای اقتصادی روستاها، این دغدغه را ایجاد نموده که در صورت وقوع زلزله‌ای بزرگ سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران متحمل خسارت‌های غیرقابل جبرانی خواهند شد (Darban Astane et al., 2018).

نکته حائز اهمیت دیگر این است که سکونتگاه‌های روستایی واقع در این منطقه به لحاظ ویژگی‌های طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و کالبدی دارای تفاوت‌های زیادی هستند که این تنوع و تفاوت باعث شکل‌گیری الگوهای فضایی متفاوتی از آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در پهنه‌های مختلف منطقه کلان‌شهری تهران می‌شود. شناخت دقیق و علمی الگوی فضایی آسیب‌پذیری برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان حوزه مدیریت بحران و مدیریت بلایای طبیعی بسیار کارآمد و اثرگذار خواهد بود. ازاین‌رو، پیش از هر نوع برنامه‌ریزی و اقدام عملیاتی برای کاهش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله

1. World Health Organization
2. United Nations Office for Disaster Risk Reduction

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

احتمالی، لازم است ابتدا وضعیت موجود و پتانسیل آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی به‌صورت کلی پیش‌بینی گردد و سپس سطح آسیب‌پذیری بالقوه در پهنه‌های مختلف منطقه کلان‌شهری تهران بصری‌سازی و مورد تحلیل قرار گیرد. به همین دلیل سؤالات اصلی پژوهش به‌صورت زیر مطرح می‌شود:

– وضعیت کلی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران در برابر مخاطره زلزله به چه صورت است؟

– الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران در برابر مخاطره زلزله به چه صورت است؟

## ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

مفهوم آسیب‌پذیری در علوم و حوزه‌های تحقیقاتی مختلف با معانی متفاوتی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Wei et al., 2004; Aksha et al., 2019). همچنین مفهوم آسیب‌پذیری در طول زمان با تغییراتی همراه بوده و تعاریف متفاوتی از آن شده است که در ادامه به‌مرور برخی از این تعاریف پرداخته می‌شود. از دیدگاه تیمرمن[3] (۱۹۸۱)، آسیب‌پذیری شرایط خاصی برای سیستم است که ممکن است بعد از یک مخاطره، همراه با آثار منفی ایجاد شود. به اعتقاد داو[4] (۱۹۹۲)، آسیب‌پذیری به میزان توانایی جامعه برای مقابله با بلایا بستگی دارد که این توانایی نشأت‌گرفته از شرایط محیط طبیعی یا اجتماعی آن‌ها است. اینارسون و راوسند[5] (۱۹۹۸)، آسیب‌پذیری را شامل شرایطی می‌دانند که به دلیل وجود یک تهدید، توانایی سیستم را برای بقا و انجام مأموریتش تضعیف کند. الوانگ[6] و همکاران (۲۰۰۱)، آسیب‌پذیری را تابعی از حساسیت و سطح تاب‌آوری در کنار سطح دانش یک جامعه تعریف می‌کنند. از نگاه ترنر[7] (۲۰۰۳)، آسیب‌پذیری درجه‌ای از خسارت برای یک سیستم است که براثر قرار گرفتن در معرض خطر یا استرس ایجاد می‌شود. ایون[8] (۲۰۰۷)، آسیب‌پذیری را کمبود یا ضعفی می‌داند که توانایی سیستم را برای بقاء در مقابل تهدیدها کاهش می‌دهد. از دیدگاه ویزنر[9] (۲۰۱۰)، آسیب‌پذیری به معنای پتانسیل از دست دادن در دو بعد است. یک بعد شامل در معرض قرار داشتن و یک بعد دیگر شامل داشتن یا نداشتن ظرفیت کافی برای واکنش مؤثر در برابر فشارها است. از نگاه کاتر[10] و همکاران (۲۰۱۲)، آسیب‌پذیری به‌عنوان شرایط مخاطره‌آمیز برای یک مکان شناخته می‌شود که شامل خطرات بیوفیزیکی در کنار کنش و واکنش اجتماعی است. به اعتقاد بروت[11] و همکاران (۲۰۱۸)، آسیب‌پذیری نشان‌دهنده درجه از دست دادن عملکرد یک سیستم در زمانی است که تحت‌فشار انواع مخاطرات قرار می‌گیرد و با سازگاری سیستم نسبت معکوس دارد. نگی[12] و همکاران (۲۰۱۹)، آسیب‌پذیری را پتانسیل دارایی‌ها برای تأثیرپذیری منفی از مخاطرات تعریف می‌کنند که شامل قرار گرفتن در معرض، حساسیت، پیامدهای احتمالی و قابلیت سازگاری است. هوک[13] و همکاران (۲۰۲۰)، معتقدند آسیب‌پذیری درجه‌ای از تهدید است که با میزان خاصی از قرار گرفتن در معرض، حساسیت و سازگاری رخ دهد. بادینا[14] و همکاران (۲۰۲۲) آسیب‌پذیری جامعه را ترکیبی از: در معرض بودن، حساسیت (زیرساخت‌های عمومی، تغذیه، درآمد و چهارچوب کلی اقتصادی)؛ فقدان ظرفیت کافی برای مقابله (آمادگی سازمان‌ها، مراقبت‌های پزشکی و امنیت) و فقدان ظرفیت‌های سازگاری می‌دانند.

بنابراین باتوجه‌به تعاریفی که طی سالیان اخیر صاحب‌نظران حوزه مخاطرات و بلایا در مورد مفهوم آسیب‌پذیری ارائه کرده‌اند، می‌توان بیان داشت که سه مؤلفه اصلی و تشکیل‌دهنده آسیب‌پذیری شامل؛ در معرض مخاطره بودن، حساسیت نسبت به مخاطره و ظرفیت سازگاری با مخاطره است که در ادامه به تشریح این سه مؤلفه پرداخته می‌شود. مؤلفه‌های آسیب‌پذیری تحت تأثیر عوامل اجتماعی، اقتصادی، محیطی و کالبدی هستند که این عوامل فرایند آسیب‌پذیری را تسریع یا کاهش می‌دهند

3. Timmermann
4. Dow
5. Einarsson & Rausand
6. Alwang
7. Turner
8. Aven
9. Wisner
10. Cutter
11. Berrouet
12. Nagy
13. Huq
14. Badina

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

(Baum et al., 2008).

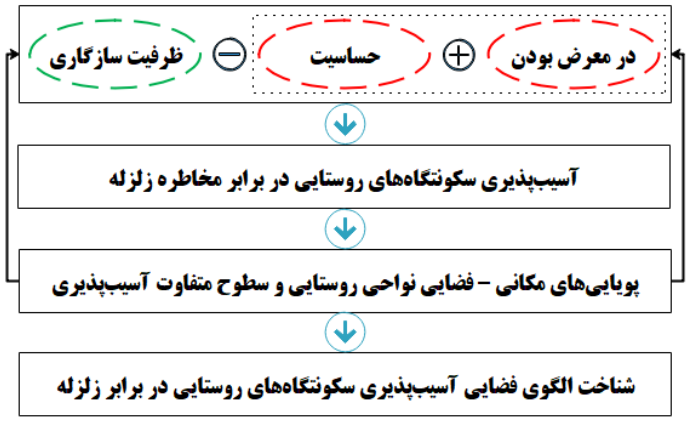
قرار گرفتن در معرض[15] عامل اصلی آسیب‌پذیری است (Adger, 2006). این مؤلفه به سطح یا مقداری اشاره دارد که انسان، انسان، انواع فعالیت‌های انسانی، دارایی‌ها، زیرساخت‌ها و به‌طورکلی اجزاء تشکیل‌دهنده یک سیستم در مناطق با احتمال وقوع یک مخاطره واقع شده باشند (Shi et al., 2010; Chen et al., 2016).

حساسیت[16] شامل وضعیت ساختارهای اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و محیطی یک سیستم است. ویژگی خاص هرکدام از این ساختارها می‌تواند آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زلزله را افزایش یا کاهش دهد (Baum et al., 2008; Fatemi et al., 2017).

ظرفیت سازگاری[17] شامل قابلیت‌های اجتماعی–اقتصادی، بهداشتی–درمانی، نهادی و زیرساختی یک سیستم، جامعه یا گروه برای مقاومت، پذیرش، سازگاری و درنهایت بازیابی از آثار مخاطره زلزله است. بازیابی نیز فرایندی به‌موقع و کارآمد است که منجر به احیای زیرساخت‌ها و عملکردهای اساسی سیستم می‌شود (Aubrecht et al., 2013; Bouzelha et al., 2018; Chen et al., 2013).

بنابراین در موقعیت‌های مخاطره‌آمیز یک سیستم به دلیل قرار گرفتن در معرض مخاطره مستعد دریافت آسیب می‌شود، اما درنهایت متناسب با حساسیت سیستم و همچنین میزان ظرفیت سازگاری آن، سطح آسیب‌پذیری سیستم تعیین می‌شود (Gautam & Dong, 2018). درواقع آسیب‌پذیری تابعی از در معرض بودن به‌علاوه حساسیت سیستم، منهای ظرفیت سازگاری آن برای بازیابی است.

درک الگوهای فضایی مخاطرات و آثار آن‌ها به‌ویژه هنگامی‌که با اطلاعات مربوط به نظام‌های اجتماعی تحت تأثیر ترکیب می‌شود، برای اقدامات کاهش خطر در قبل از وقوع و تلاش برای بازیابی بعد از وقوع بسیار مهم است (Holub et al., 2012; Kienholz, 2003). فرایندهای ایجادکننده چشم‌انداز و همچنین ساختارها و ویژگی‌های اجتماعی–اکولوژیک به‌طور پیوسته و تعاملی در فضا تغییر می‌کنند که این تعاملات با پویایی‌ها و تغییراتی در فضا همراه است (Hufschmidt et al., 2005; Cutter & Finch, 2008). باتوجه‌به این پویایی‌ها و تحولات متقابل، آسیب‌پذیری فزاینده سکونتگاه‌های روستایی نه‌تنها متأثر از فرایندهای طبیعی بلکه به ویژگی‌های اجتماعی و سطح توسعه‌یافتگی جامعه نیز بستگی دارد (Aubrecht et al., 2013) که این موضوع تاکنون به‌اندازه کافی موردمطالعه و توجه قرار نگرفته است. بنابراین در پژوهش حاضر، بر اساس مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده مفهوم آسیب‌پذیری و با در نظر گرفتن تفاوت‌ها و پویایی موجود در فضاهای روستایی به تحلیل الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران پرداخته شده است. در همین زمینه مدل مفهومی پژوهش به شکل زیر ارائه می‌شود (شکل ۱).




**شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش**

15. Exposure
16. Susceptibility
17. Adaptive Capacity

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

## روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در چهارچوب روش‌شناسی کمی انجام شده و ازنظر هدف جزء تحقیقات کاربردی به‌حساب می‌آید. گردآوری داده و اطلاعات موردنیاز به‌صورت کتابخانه‌ای بوده است. به‌طوری‌که در مرحله اول؛ ازطریق مرور نظام‌مند منابع، مؤلفه‌ها و شاخص‌های تحقیق شناسایی شده‌اند. برای این کار ازطریق جستجو در پایگاه‌های علمی داخلی و خارجی معتبر مقالات علمی مشابه با موضوع تحقیق شناسایی شدند. بعد از پالایش این منابع تعداد ۳۸ مقاله که به لحاظ محتوایی دارای تطابق بیشتری با موضوع پژوهش حاضر بوده و همچنین دارای روش‌شناسی شفاف بوده‌اند، انتخاب شده و از بررسی محتوای آن‌ها مؤلفه‌ها و شاخص‌های آسیب‌پذیری احصاء گردید. در مرحله دوم جهت پالایش و اعتبارسنجی مؤلفه‌ها و شاخص‌های آسیب‌پذیری از نظرات ۴۰ نفر خبره استفاده شد. این افراد شامل اعضای هیئت‌علمی دانشگاه‌ها، اعضای هیئت‌علمی و کارشناسان پژوهشکده‌ها و پژوهشگاه‌ها و همچنین کارشناسان و مدیران دستگاه‌های اجرایی مرتبط بوده‌اند و به لحاظ سطح تحصیلات نیز غالباً دارای تحصیلات دکتری و بعضاً کارشناسی ارشد بوده‌اند. درنهایت از این طریق مؤلفه‌ها و شاخص‌های آسیب‌پذیری تعیین شد. داده‌های آماری مورداستفاده در این تحقیق نیز از مراجع رسمی داخلی و خارجی مانند؛ مرکز آمار ایران، وزارت راه و شهرسازی و سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده آمریکا[18]، استخراج شده است. برخی از داده‌ها نیز مانند فواصل و دسترسی‌ها، در محیط نرم‌افزار ArcMap محاسبه شده‌اند.

جامعه آماری در این تحقیق شامل تمام سکونتگاه‌های روستایی واقع در محدوده تقسیمات سیاسی دو استان تهران و البرز است که بر اساس داده‌های مرکز آمار ایران تعداد آن‌ها برابر با ۱۰۸۲ نقطه روستایی است. در پژوهش حاضر از بین آن‌ها، تعداد ۹۱۴ روستا که داده‌های موردنیاز برای آن‌ها در دسترس بوده است موردمطالعه قرار گرفته‌اند. جهت تحلیل داده‌ها نیز از علاوه بر آمارهای توصیفی مانند میانگین، درصد و درصد تجمعی، از سیستم استنباط فازی، روش درون‌یابی کریجینگ و تحلیل خوشه‌های داغ استفاده شده است. نرم‌افزارهای مورداستفاده در تحقیق نیز شامل Matlab R2019a و ArcMap بوده است.

### منطقه موردمطالعه

قلمروی جغرافیایی موردمطالعه در این پژوهش منطبق بر مرز تقسیمات سیاسی دو استان تهران و البرز است که از آن به‌عنوان منطقه کلان‌شهری تهران نام برده می‌شود. استان تهران به مرکزیت کلان‌شهر تهران با وسعت ۱۳۸۴۱ کیلومترمربع بین ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۶ درجه ۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه و ۵۳ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است. استان تهران از شمال به استان مازندران از جنوب شرقی به استان قم، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود شده است. به لحاظ تقسیمات سیاسی استان تهران دارای ۱۶ شهرستان، ۴۹ شهر، ۷۳ دهستان و ۷۵۱ آبادی دارای سکنه است. همچنین استان البرز به مرکزیت کلان‌شهر کرج با وسعتی حدود ۵۱۸۲ کیلومترمربع بین ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است. استان البرز از شمال به استان مازندران، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان قزوین، از شرق و جنوب شرقی به استان تهران محدود می‌شود. ازنظر تقسیمات سیاسی استان البرز دارای ۷ شهرستان، ۱۸ شهر، ۳۱ دهستان و ۳۳۱ آبادی دارای سکنه است (Statistical Center of Iran, 2022). بنابراین دو استان تهران و البرز با وسعتی حدود ۱۹۰۲۳ کیلومترمربع ۱/۲ درصد از کل مساحت کشور را پوشش می‌دهد، درحالی‌که این منطقه با جمعیتی نزدیک به ۱۷ میلیون نفر حدود ۲۰ درصد از کل جمعیت کشور را در خود جای‌داده است. همچنین درمجموع تعداد ۱۰۸۲ سکونتگاه روستایی دارای سکنه در این منطقه واقع شده است (شکل ۲).

## یافته‌های پژوهش

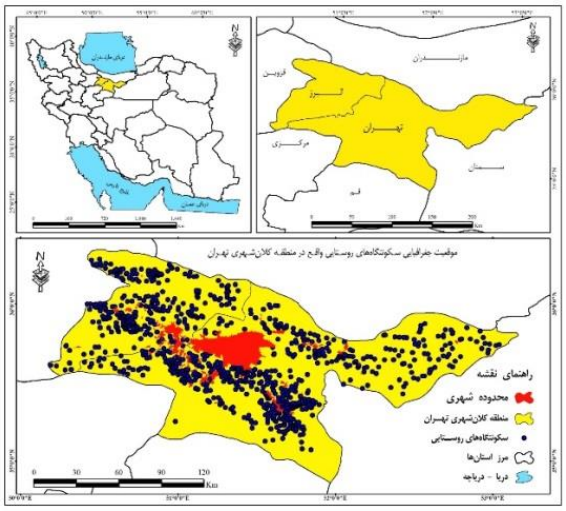
در این مطالعه جهت شناسایی و تحلیل الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله مجموعاً تعداد ۲۱ شاخص در قالب سه مؤلفه اصلی تشکیل‌دهنده مفهوم آسیب‌پذیری شامل؛ ۱) مؤلفه میزان در معرض خطر زلزله قرار گرفتن، ۲) مؤلفه حساسیت سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره زلزله، ۳) ظرفیت سازگاری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله، به

18. The United States Geological Survey (USGS)

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

شرح زیر موردبررسی قرار گرفته است.

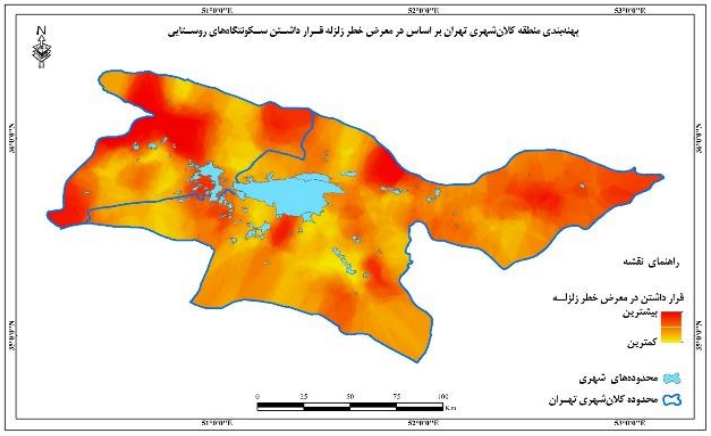



**شکل ۲. موقعیت منطقه موردمطالعه**

## ۱. مؤلفه قرار گرفتن در معرض خطر زلزله

بر اساس مرور ادبیات و نظرات خبرگان، جهت تحلیل وضعیت سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران به لحاظ میزان قرار داشتن در معرض خطر وقوع زلزله سه شاخص مهم شامل؛ ۱) پهنه‌بندی خطر زلزله بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ وزارت راه و شهرسازی، ۲) فاصله سکونتگاه‌های روستایی از گسل‌های فعال و ۳) فاصله سکونتگاه‌های روستایی از کانون زلزله‌های تاریخی موردبررسی قرار گرفته است.

برای پهنه‌بندی میزان در معرض خطر زلزله قرار داشتن، مقادیر هر یک از شاخص‌های سه‌گانه مربوط به مؤلفه در معرض خطر قرار گرفتن برای ۹۱۴ سکونتگاه روستایی موردمطالعه محاسبه شد. سپس با استفاده از سیستم استنباط فازی، مقادیر به‌دست‌آمده به تفکیک روستاها برای سه مؤلفه پهنه‌بندی خطر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، فاصله از گسل‌های فعال و فاصله از کانون زلزله‌های تاریخی باهم ترکیب گردید و درنهایت وضعیت قرار داشتن در معرض خطر زلزله برای ۹۱۴ روستای موردمطالعه در قالب یک مقدار عددی به دست آمد. در ادامه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ بر اساس مقدار عددی به‌دست‌آمده برای روستاها به پهنه‌بندی محدوده کلان‌شهری تهران پرداخته شد که بر مبنای نتایج آن می‌توان بیان نمود که کل سکونتگاه‌های روستایی منطقه کلان‌شهری تهران در معرض خطر بالای زلزله و دارای وضعیت نامطلوب هستند. بااین‌وجود وضعیت قرار گرفتن در معرض خطر زلزله در کل منطقه یکسان نیست، بلکه نواحی روستایی در غرب، شمال غربی، شمال و شرق منطقه کلان‌شهری تهران بیشتر از برخی محدوده‌های مرکزی و جنوبی در معرض خطر زلزله قرار دارند (شکل ۳).




**شکل ۳. پهنه‌بندی منطقه کلان‌شهری تهران بر اساس در معرض خطر زلزله قرار داشتن سکونتگاه‌های روستایی**

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

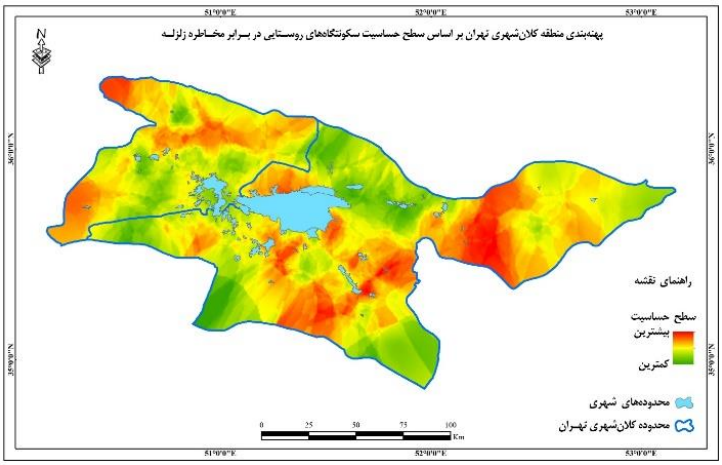
## ۲. مؤلفه حساسیت در برابر مخاطره زلزله

بر اساس مرور ادبیات و نظرات خبرگان، جهت تحلیل وضعیت سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران به لحاظ میزان حساسیت به مخاطره زلزله ۱۰ شاخص مهم شامل؛ ۱) نسبت مساکن با مصالح مقاوم، ۲) نسبت واحدهای مسکونی بلندمرتبه، ۳) تراکم جمعیت در واحد مسکونی، ۴) تراکم خانوار در واحد مسکونی، ۵) نسبت جمعیت گروه‌های آسیب‌پذیر، ۶) نسبت جنسی، ۷) بعد خانوار، ۸) موقعیت طبیعی، ۹) زمین‌شناسی منطقه و ۱۰) شیب، موردبررسی قرار گرفته است. وضعیت کلی هر یک از این شاخص‌ها در سطح ۹۱۴ سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه در منطقه کلان‌شهری تهران به شرح جدول زیر است (جدول ۱).

**جدول ۱. وضعیت سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران بر اساس شاخص‌های حساسیت**

| شاخص | تشریح وضعیت سکونتگاه‌های روستایی |
|---|---|
| نسبت مساکن با مصالح مقاوم | به‌طور متوسط ۴۷ درصد از کل مساکن روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران با مصالح مقاوم و ۵۳ درصد آن‌ها با مصالح غیر مقاوم ساخته شده‌اند. |
| نسبت واحدهای مسکونی بلندمرتبه | به‌طور متوسط ۱۴ درصد از کل واحدهای مسکونی روستایی به‌صورت بلندمرتبه و آپارتمانی ساخته شده‌اند. |
| تراکم جمعیت در واحد مسکونی | متوسط تراکم جمعیت در واحد مسکونی برابر با ۴/۴ نفر در هر واحد است. |
| تراکم خانوار در واحد مسکونی | متوسط در تراکم خانوار در واحد مسکونی برابر با ۱/۲ خانوار در هر واحد است. |
| نسبت جمعیت گروه‌های آسیب‌پذیر | به‌طور متوسط ۳۰ درصد از کل جمعیت روستاهای موردمطالعه شامل گروه‌های جمعیتی آسیب‌پذیر (بالای ۶۵ و کمتر از ۱۵ سال) است. |
| نسبت جنسی | متوسط نسبت جنسی در روستاهای موردمطالعه برابر با ۱۱۳ است. |
| بعد خانوار | متوسط بعد خانوار در روستاهای موردمطالعه برابر با ۳/۶ است. |
| موقعیت طبیعی | ۵۷ درصد از سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه دارای موقعیت دشتی و ۴۳ درصد دارای موقعیت کوهستانی هستند. |
| زمین‌شناسی منطقه | ۴۸ درصد از روستاهای موردمطالعه بر روی سازندهای زمین‌شناسی با حساسیت بالا، ۴۷ درصد با حساسیت متوسط و ۴ درصد با حساسیت کم واقع شده‌اند. |
| شیب | متوسط شیب محل استقرار روستاهای موردمطالعه برابر با ۲/۴ درصد است. |

بعد از گردآوری داده‌های هریک از شاخص‌های ده‌گانه حساسیت به تفکیک روستاهای موردمطالعه، با استفاده از سیستم استنباط فازی، شاخص‌های حساسیت با هم ترکیب گردید و درنهایت سطح حساسیت برای ۹۱۴ روستای موردمطالعه در قالب یک مقدار عددی به دست آمد. بعدازآن با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ بر اساس مقدار عددی به‌دست‌آمده برای روستاها به پهنه‌بندی محدوده کلان‌شهری تهران پرداخته شد که بر مبنای نتایج آن می‌توان بیان نمود که برخی نواحی روستایی واقع در شمال غربی، شرق، نواحی مرکزی و جنوبی منطقه کلان‌شهری تهران نسبت به سایر محدوده دارای حساسیت بیشتری در برابر مخاطره زلزله هستند (شکل ۴).




**شکل ٤. پهنه‌بندی منطقه کلان‌شهری تهران بر اساس سطح حساسیت سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره زلزله**

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

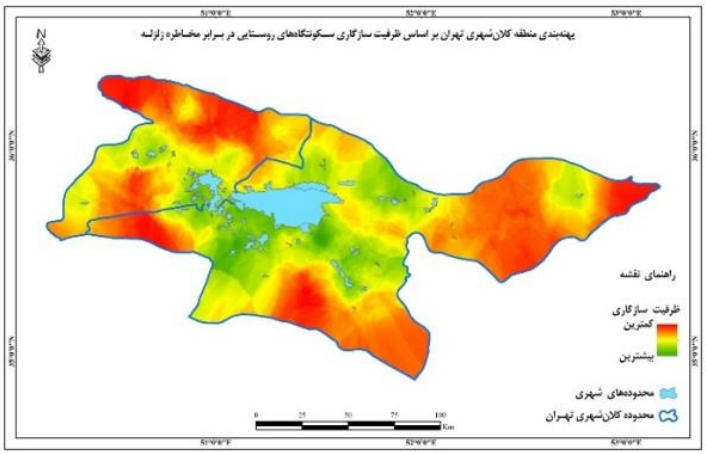
### ۳. مؤلفه ظرفیت سازگاری در برابر مخاطره زلزله

بر اساس مرور ادبیات و بهره‌گیری از نظرات خبرگان، جهت تحلیل وضعیت سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران به لحاظ ظرفیت سازگاری با مخاطره زلزله ۱۰ شاخص مهم شامل؛ ۱) فاصله از راه‌های ارتباطی، ۲) فاصله از پایگاه امداد و نجات، ۳) فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی، ۴) فاصله از بیمارستان، ۵) برخورداری از مرکز بهداشت، ۶) برخورداری از خانه بهداشت، ۷) برخورداری از پایگاه بهداشت، ۸) نرخ باسوادی، ۹) نرخ اشتغال، ۱۰) نرخ فعالیت اقتصادی، موردبررسی قرار گرفته است. وضعیت کلی این شاخص‌ها در سطح سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه در منطقه کلان‌شهری تهران به شرح جدول ۲ است.

**جدول ۲. وضعیت سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران بر اساس شاخص‌های ظرفیت سازگاری**

| شاخص | تشریح وضعیت سکونتگاه‌های روستایی |
|---|---|
| فاصله از راه‌های ارتباطی | متوسط فاصله سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه از راه‌های ارتباطی اصلی ۳/۳ کیلومتر است. |
| فاصله از پایگاه امداد و نجات | متوسط فاصله سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه از پایگاه‌های امداد و نجات ۱۳/۲ کیلومتر است. |
| فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی | متوسط فاصله سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه از ایستگاه‌های آتش‌نشانی ۸/۸ کیلومتر است. |
| فاصله از بیمارستان | متوسط فاصله سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه از بیمارستان‌ها ۱۱ کیلومتر است. |
| برخورداری از مرکز بهداشت | ۲۷ درصد سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه برخوردار از مرکز بهداشت و ۷۳ درصد فاقد آن هستند. |
| برخورداری از خانه بهداشت | ۴۱ درصد سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه برخوردار از خانه بهداشت و ۵۹ درصد فاقد آن هستند. |
| برخورداری از پایگاه بهداشت | ۱۰ درصد سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه برخوردار از پایگاه بهداشت و ۹۰ درصد فاقد آن هستند. |
| نرخ باسوادی | متوسط نرخ باسوادی در روستاهای موردمطالعه برابر با ۸۰/۵ درصد است. |
| نرخ اشتغال | متوسط نرخ اشتغال در روستاهای موردمطالعه برابر با ۹۳/۸ درصد است. |
| نرخ فعالیت اقتصادی | متوسط نرخ فعالیت در روستاهای موردمطالعه برابر با ۴۱/۱ درصد است. |

بعد از گردآوری داده‌های هریک از شاخص‌های ده‌گانه ظرفیت سازگاری به تفکیک سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران، با استفاده از سیستم استنباط فازی، این شاخص‌ها با هم ترکیب شدند و درنهایت ظرفیت سازگاری برای ۹۱۴ روستای موردمطالعه در قالب یک مقدار عددی محاسبه شد. بعدازآن با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ بر اساس مقدار عددی به‌دست‌آمده برای روستاها به پهنه‌بندی محدوده کلان‌شهری تهران پرداخته شد. نتایج این پهنه‌بندی نشان می‌دهد که برخی نواحی روستایی واقع در پیرامون منطقه کلان‌شهری تهران ازجمله شمال غربی، شرق، جنوب و جنوب غربی منطقه کلان‌شهری تهران دارای ظرفیت سازگاری کمتر و نواحی مرکزی دارای ظرفیت سازگاری بیشتری در برابر مخاطره زلزله هستند (شکل ۵).



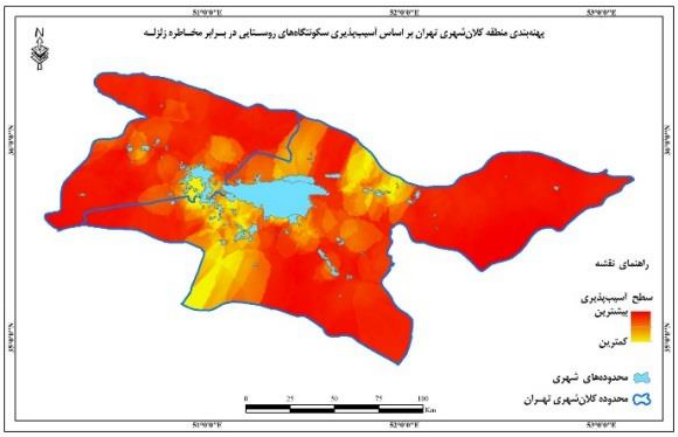

**شکل ۵. پهنه‌بندی منطقه کلان‌شهری تهران بر اساس ظرفیت سازگاری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره زلزله**

### ۴. وضعیت آسیب‌پذیری

برای محاسبه مقدار آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره زلزله، مقادیر و خروجی حاصل از سه مؤلفه موردبررسی و تشکیل‌دهنده مفهوم آسیب‌پذیری شامل؛ در معرض خطر زلزله بودن، حساسیت و ظرفیت سازگاری، ازطریق سیستم استنباط فازی با

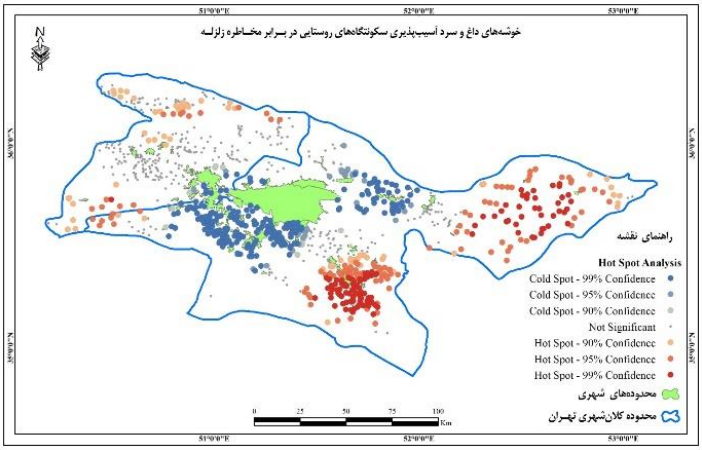
[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

هم ترکیب و مقدار نهایی آسیب‌پذیری برای سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه حاصل شد. خروجی آسیب‌پذیری ۹۱۴ روستای موردمطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ به کل منطقه کلان‌شهری تهران تعمیم داده شد و از این طریق منطقه کلان‌شهری تهران به لحاظ سطح آسیب‌پذیری در برابر زلزله پهنه‌بندی شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان می‌دهد که کل منطقه کلان‌شهری تهران دارای سطح بالایی از آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله است. بااین‌وجود برخی از نواحی روستایی واقع در مرکز، جنوب و شمال منطقه کلان‌شهری تهران نسبت به سایر محدوده‌ها دارای سطح آسیب‌پذیری کمتری هستند (شکل ۶).




**شکل ٦. پهنه‌بندی منطقه کلان‌شهری تهران بر اساس آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره زلزله**

جهت شناسایی الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله از تحلیل خوشه‌های داغ استفاده شده است. برای انجام این کار بر اساس مقادیر عددی مربوط به آسیب‌پذیری ۹۱۴ سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه، به تحلیل خوشه‌های داغ و سرد در سطح منطقه کلان‌شهری تهران پرداخته شده است. نتایج خوشه‌بندی داغ و سرد نشان‌دهنده شکل‌گیری دو خوشه داغ اصلی در شرق و جنوب منطقه کلان‌شهری تهران و دو خوشه داغ فرعی در غرب و شمال غرب منطقه کلان‌شهری تهران است که این خوشه‌ها محل تجمع و کانون فضایی روستاهایی است که دارای سطح بالاتری از آسیب‌پذیری در برابر زلزله هستند، این خوشه‌های به لحاظ آماری نیز با سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد معنادار هستند. همچنین یک خوشه سرد اصلی منطبق بر محدوده‌های از مرکز، شمال و جنوب غربی منطقه کلان‌شهری تهران ایجاد شده است که این خوشه به‌عنوان کانون فضایی و محل تمرکز روستاهایی شناخته می‌شود که دارای سطح پایین‌تری از آسیب‌پذیری در برابر زلزله نسبت به سایر سکونتگاه‌های روستایی این منطقه هستند و این خوشه نیز به لحاظ آماری عمدتاً با سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد معنادار است (شکل ۷).




**شکل ۷. خوشه‌های داغ و سرد آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره زلزله**

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی مؤلفه قرار داشتن در معرض خطر نشان می‌دهد که تمام محدوده کلان‌شهری تهران دارای ریسک بسیار بالای زلزله است و سکونتگاه‌های روستایی واقع در این منطقه در معرض خطر بالای وقوع زلزله قرار دارند. این بخش از نتایج با یافته‌های حاصل از پژوهش قائد رحمتی و قانعی بافقی (۲۰۱۲)، کریمی کردآبادی و نجفی (۲۰۱۵)، خدادادی و همکاران (۲۰۲۰)، نصیری هنده خاله (۲۰۲۱) همسو است. توزیع فضایی این مؤلفه نیز نشان می‌دهد که نواحی روستایی واقع در غرب، شمال، شمال غربی و شرق منطقه کلان‌شهری نسبت به نواحی مرکزی و جنوبی بیشتر در معرض مخاطره زلزله قرار دارند.

برای بررسی مؤلفه حساسیت سکونتگاه‌های روستایی نسبت به مخاطره زلزله از ۱۰ شاخص جمعیتی، کالبدی و طبیعی استفاده شد. نتایج آن بیانگر این مهم است که سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران دارای حساسیت بالایی نسبت به مخاطره زلزله هستند و در صورت وقوع زلزله، این سکونتگاه‌ها آسیب‌های قابل‌توجهی را به بار خواهند آورد. همچنین توزیع فضایی حساسیت نواحی روستایی به مخاطره زلزله در سطح منطقه کلان‌شهری نشان می‌دهد که برخی محدوده‌ها در غرب، شمال غرب، شرق، مرکزی و قسمت‌های جنوبی منطقه کلان‌شهری دارای آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر نواحی هستند. درواقع تمام پهنه‌هایی که دارای تراکم قابل‌توجهی به لحاظ استقرار سکونتگاه‌های روستایی هستند از حساسیت بالایی در برابر مخاطره زلزله برخوردارند. این یافته‌ها منعکس‌کننده وجود ضعف در ساختارهای اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و محیطی سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران است. این بخش از نتایج تحقیق با یافته‌های حاصل از مطالعه باوم[19] و همکاران (۲۰۰۸)، فاطمی[20] و همکاران (۲۰۱۷)، زاکور و سوئگر[21] (۲۰۱۸)، پوخرل و سئو[22] (۲۰۱۹) همسو است.

برای بررسی مؤلفه ظرفیت سازگاری سکونتگاه‌های روستایی نسبت به مخاطره زلزله از ۱۰ شاخص بهداشتی–درمانی، دسترسی به راه‌های ارتباطی و مراکز امداد و نجات و همچنین برخی شاخص‌های اجتماعی–اقتصادی استفاده شد. نتایج آن نشان می‌دهد، به‌طورکلی سکونتگاه‌های روستایی موردمطالعه دارای ظرفیت سازگاری محدودی در برابر مخاطره زلزله هستند که این موضوع ضریب آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر زلزله را افزایش داده است. همچنین پراکندگی فضایی ظرفیت سازگاری سکونتگاه‌های روستایی در سطح منطقه کلان‌شهری تهران نشان می‌دهد که محدوده‌های پیرامونی منطقه مانند شمال غرب، جنوب غرب، شرق و جنوب دارای ظرفیت سازگاری کمتری نسبت به محدوده‌های مرکزی هستند. درواقع مناطق پیرامونی دارای سطح برخورداری و دسترسی کمتری به امکانات و زیرساخت‌های لازم برای مقابله، پاسخ، سازگاری و بازیابی از آثار مخاطره زلزله هستند. این بخش از نتایج در مطالعه اوبرخت[23] و همکاران (۲۰۱۳)، چن[24] و همکاران (۲۰۱۳)، اپستاین[25] و همکاران (۲۰۱۸)، شی[26] و همکاران (۲۰۲۱) نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

با ترکیب نتایج حاصل از سه مؤلفه در معرض خطر قرار داشتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری، وضعیت کلی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در منطقه کلان‌شهری تهران مشخص گردید. این نتایج نشان‌دهنده وضعیت بسیار نامناسب و آسیب‌پذیری بسیار بالا برای تمام سکونتگاه‌های روستایی این منطقه است، به‌طوری‌که هیچ سکونتگاه روستایی با آسیب‌پذیری متوسط و کمتر از آن وجود ندارد. بااین‌وجود پهنه‌بندی نواحی روستایی به لحاظ آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که محدوده‌های مرکزی نسبت به سایر پهنه‌ها دارای آسیب‌پذیری کمتری هستند. درنهایت با استفاده از تحلیل لکه‌های داغ و سرد و خوشه‌بندی به شناسایی و تحلیل الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی پرداخته شد. نتایج آن نشان داد که آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در جنوب غربی، شمال غربی، شرق، پهنه‌هایی در جنوب و جنوب شرقی منطقه دارای سطح آسیب‌پذیری

19. Baum
20. Fatemi
21. Zakour & Swager
22. Pokhrel & Seo
23. Aubrecht
24. Chen
25. Epstein
26. Shi

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

بیشتری نسبت به روستاهای واقع در محدوده مرکزی و حتی برخی پهنه‌های شمالی منطقه کلان‌شهری تهران هستند که این تفاوت بیش از هر چیزی تحت تأثیر پویایی‌های فضایی هم به لحاظ فرایندهای طبیعی و هم به لحاظ ساختارهای اجتماعی–اقتصادی و تعاملات بین این دو است. به‌طوری‌که سکونتگاه‌های روستایی واقع در مرکز به لحاظ برخورداری و میزان دسترسی به زیرساخت‌های موردنیاز دارای شرایط مساعدتری هستند و سکونتگاه‌های دور از مرکز دارای دسترسی و برخورداری کمتری هستند. درواقع موقعیت طبیعی، شرایط توپوگرافی، قیمت زمین و مسکن، شرایط کلی اقتصادی کشور، نظام سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی، نحوه تخصیص اعتبارات مربوط به مدیریت بلایا، تحولات جمعیتی و نرخ بالای مهاجرپذیری، ضعف در تعیین ضوابط و استانداردهای ساختمانی و همچنین اجرای ضوابط ازجمله مهم‌ترین عوامل خرد و کلان اثرگذار بر آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی و محرک‌های عمده ایجادکننده الگوی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در منطقه کلان‌شهری تهران هستند. باتوجه‌به این نتایج جهت کاهش پتانسیل آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در منطقه کلان‌شهری تهران، به لحاظ مؤلفه در معرض بودن امکان انجام برنامه‌های اجرایی مهمی در کوتاه‌مدت وجود ندارد. اما برای کاهش حساسیت و افزایش ظرفیت سازگاری سکونتگاه‌های روستایی لازم است مواردی مانند؛ تدوین ضوابط و مقررات ساختمانی، نظارت دقیق و مستمر بر اجرای مقررات ساختمانی، تدوین برنامه جامع شرایط و ضوابط توسعه فیزیکی روستاهای واقع در منطقه کلان‌شهری تهران، تعیین پهنه‌های غیرمجاز برای ساخت‌وساز در محدوده گسل‌های فعال، افزایش سرانه کاربری‌های بهداشتی–درمانی در نواحی روستایی، افزایش ضریب دسترسی به مراکز امداد و نجات، تقویت بنیادهای معیشتی، افزایش نرخ اشتغال و فعالیت اقتصادی، آموزش و ترویج روش‌های امدادرسانی و نحوه واکنش در هنگام وقوع زلزله موردتوجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

## References


Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, *16*(3), 268-281.

Aksha, S. K., Juran, L., Resler, L. M., & Zhang, Y. (2019). An analysis of social vulnerability to natural hazards in Nepal using a modified social vulnerability index. *International Journal of Disaster Risk Science*, *10*, 103-116. https://doi.org/10.1007/s13753-018-0192-7

Alwang, J., Siegel, P. B., & Jorgensen, S. L. (2001). *Vulnerability: a view from different disciplines* (Vol. 115, p. 60). Social protection discussion paper series.

Aubrecht, C., Fuchs, S., & Neuhold, C. (2013). Spatio-temporal aspects and dimensions in integrated disaster risk management. *Natural Hazards*, *68*, 1205-1216. doi.org/10.1007/s11069-013-0619-9

Aven, T. (2007). A unified framework for risk and vulnerability analysis covering both safety and security. *Reliability engineering & System safety*, *92*(6), 745-754. 10.1016/j.ress.2006.03.008

Badina, S., Babkin, R., Bereznyatsky, A., & Bobrovskiy, R. (2022). Spatial aspects of urban population vulnerability to natural and man-made hazards. *City and Environment Interactions*, *15*, 100082. https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100082

Baum, S., Horton, S., & Choy, D. L. (2008). Local urban communities and extreme weather events: mapping social vulnerability to flood. *Australasian Journal of Regional Studies, The*, *14*(3), 251-273. https://search.informit.org/doi/10.3316

Berrouet, L. M., Machado, J., & Villegas-Palacio, C. (2018). Vulnerability of socio—ecological systems: A conceptual Framework. *Ecological indicators*, *84*, 632-647. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.051

Bouzelha, K., Hammoum, H., Saradouni, F., & Benamar, A. (2018). Assessment of the vulnerability index of small dams to natural hazards: case study. In *Handbook of materials failure analysis* (pp. 329-350). Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101928-3.00015-X

Chen, W., Cutter, S. L., Emrich, C. T., & Shi, P. (2013). Measuring social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta region, China. *International Journal of Disaster Risk Science*, *4*, 169-181. https://doi.org/10.1007/s13753-013-0018-6

Chen, A. S., Hammond, M. J., Djordjevic, S., Butler, D., Khan, D. M., & Veerbeek, W. (2016). From hazard to impact: flood damage assessment tools for mega cities. *Natural Hazards*, *82*, 857-890. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2223-2

Cutter, S. L., & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the national academy of sciences*, *105*(7), 2301-2306. https://doi.org/10.1073/pnas.0710375105

Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2012). Social vulnerability to environmental hazards. In *Hazards vulnerability and environmental justice* (pp. 143-160). Routledge.

Darban Astane, A. R., Sheykhzadeh, M., & Bazgeer, S. (2018). The Strategies for Vulnerability Mitigation of Residential Context against the Earthquake (A Case Study for 6th Region of Tehran City). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, *6*(2), 265-288. https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2018.225776.657 (in persian)

Dollet, C., & Gueguen, P. (2022). Global occurrence models for human and economic losses due to earthquakes (1967–2018) considering exposed GDP and population. *Natural Hazards*, *110*(1), 349-372. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04950-z

Dow, K. (1992). Exploring differences in our common future (s): the meaning of vulnerability to global environmental change. *Geoforum*, *23*(3), 417-436. 10.1016/0016-7185(92)90052-6

Einarsson, S., & Rausand, M. (1998). An approach to vulnerability analysis of complex industrial systems. *Risk analysis*, *18*, 535-546. https://doi.org/10.1023/B:RIAN.0000005928.84074.e4

Epstein, K., DiCarlo, J., Marsh, R., Adhikari, B., Paudel, D., Ray, I., & Maren, I. E. (2018). Recovery and adaptation after the 2015 Nepal earthquakes. *Ecology and Society*, *23*(1). https://doi.org/10.5751/ES-09909-230129

Fatemi, F., Ardalan, A., Aguirre, B., Mansouri, N., & Mohammadfam, I. (2017). Social vulnerability indicators in disasters: Findings from a systematic review. *International journal of disaster risk reduction*, *22*, 219-227. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.09.006

Farahani, H., Einali, J., & Ghasemi Viari, H. (2014). The role of capacity building in the management of earthquake risk reduction in rural areas Case study: Rural District of Sombol Abad, Abhar


[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

County. *Journal of Housing and Rural Environment*, *33*(145), 63-74. (in persian)

Farajisabokbar, H., Tahmasi, B., Ghorbani, M., Sarmadiseifi, A., & SoltaniGhiasvand, N. (2021). Assessing the Vulnerability of Rural Settlements in Iran to Seismic Risk. *Journal of Housing and Rural Environment*, *40*(174), 103-118. DOI:%2010.22034/40.174.103 (In Persian)

Gautam, D., & Dong, Y. (2018). Multi-hazard vulnerability of structures and lifelines due to the 2015 Gorkha earthquake and 2017 central Nepal flash flood. *Journal of Building Engineering*, *17*, 196-201. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.02.016

Holub, M., Suda, J., & Fuchs, S. (2012). Mountain hazards: reducing vulnerability by adapted building design. *Environmental Earth Sciences*, *66*, 1853-1870. doi.org/10.1007/s12665-011-1410-4

Huq, M. E., Shoeb, A. Z. M., Hossain, M. A., Fahad, S., Kamruzzaman, M. M., Javed, A., ... & Sarven, M. S. (2020). Measuring vulnerability to environmental hazards: qualitative to quantitative. *Environment, climate, plant and vegetation growth*, 421-452. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_17

Hufschmidt, G., Crozier, M., & Glade, T. (2005). Evolution of natural risk: research framework and perspectives. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *5*(3), 375-387. https://doi.org/10.5194/nhess-5-375-2005

Kalantari, M., Firuzi, E., Ahmadipour, M., & Sorooshian, S. (2023). Estimating annualized earthquake loss for residential buildings in Tehran, Iran. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *21*(4), 2259-2280. https://doi.org/10.1007/s10518-022-01604-8

Karimi Kordabadi, M., & Najafi, E. (2015). Earthquake Risk Assessment Using AHP-FUZZY Mixed Model in Urban Security (Case Study: Region One of Tehran Metropolitan). *Journal of Urban Research and Planning*. 6(20), 17-34. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22285229.1394.6.20.2.4 (in persian)

Kim, B., Ji, Y., Kim, M., Lee, Y. J., Kang, H., Yun, N. R., ... & Lee, J. (2022). Building damage caused by the 2017 M5. 4 Pohang, South Korea, earthquake, and effects of ground conditions. *Journal of Earthquake Engineering*, *26*(6), 3054-3072. https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1785585

Kienholz, H. (2003). Early warning systems related to mountain hazards. In *Early warning systems for natural disaster reduction* (pp. 555-564). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55903-7_75

Khodadadi, F., Entezari, M., & Sasanpour, F. (2020). Urban Vulnerability Analysis Against earthquake hazard with the ELECTRE FUZZY method (Case Study: Karaj Metropolis). *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, *20*(56), 93-113. http://dx.doi.org/10.29252/jgs.20.56.93 (in persian)

Kumar, S., & Singh, A. K. (2021). Earthquake Hazards and Monitoring of Seismo-ionospheric Precursor. In *Recent Technologies for Disaster Management and Risk Reduction: Sustainable Community Resilience & Responses* (pp. 27-40). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76116-5_2

Malkocoglu, A. B. V., Orman, Z., & Samli, R. (2022). Earthquake risk prediction with artificial intelligence methods. In *Analyzing Multidisciplinary Uses and Impact of Innovative Technologies* (pp. 156-171). IGI Global. https://orcid.org/0000-0003-1856-9636

Nagy, G. J., Gutierrez, O., Brugnoli, E., Verocai, J. E., Gomez-Erache, M., Villamizar, A., ... & Amaro, N. (2019). Climate vulnerability, impacts and adaptation in Central and South America coastal areas. *Regional Studies in Marine Science*, *29*, 100683. 10.1016/j.rsma.2019.100683

Nasiri Hendeh Khaleh, E. (2021). The Analysis of Social Vulnerability of the Metered Urban Waste Metals of the Karaj Metropolitan Region against the Earthquake Crisis Using the VIKOR Model (Case Study: Karaj, Ancient). *Geography (Regional Planning)*, *11*(45), 31-50. https://doi.org/10.22034/jgeoq.2021.139985 (in persian)

Ourworldindata. (2024). The deadliest earthquakes in human history. Access: https://ourworldindata.org/natural-disasters

Pasari, S. (2023). Nowcasting earthquakes in Iran: A quantitative analysis of earthquake hazards through natural times. *Journal of African Earth Sciences*, *198*, 104821. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104821

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]

Pokhrel, J., & Seo, J. (2019). Natural hazard vulnerability quantification of offshore wind turbine in shallow water. *Engineering Structures*, *192*, 254-263. 10.1016/j.engstruct.2019.05.013

Qaed Rahmati, S., & Qanei Bafghi, R. (2012). Analysis of the effect of spatial expansion of Tehran city on increasing vulnerability to earthquakes. *Journal of Geographical Research*. 27(2), 169-190. (in persian)

Ramezani Kiasejmahaleh, R., Karimi, D. S., & Alavipoor, F. S. (2016). Zoning the Vulnerability of Urban Areas Against Earthquake by Using WLC and OWA Techniques Case Study: District No. 7, Tehran Municipality. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, *6*(21), 125-138. https://doi.org/10.22111/gaij.2016.2838 (in persian)

Shi, P., Shuai, J., Chen, W., & Lu, L. (2010). Study on large-scale disaster risk assessment and risk transfer models. *International Journal of Disaster Risk Science*, *1*, 1-8. https://doi.org/10.3974/j.issn.2095-0055.2010.02.001

Shi, M., Cao, Q., Ran, B., & Wei, L. (2021). A conceptual framework integrating "building back better" and post-earthquake needs for recovery and reconstruction. *Sustainability*, *13*(10), 5608. https://doi.org/10.3390/su13105608

Shams, S., & Shabani Asl, M. R. (2020). An Analysis of Earthquake Preparedness in Tehran with Emphasis on the Resilience Theory (Case Study of Tehran District 4). *Journal of Housing and Rural Environment*, *39*(171), 129-144. DOI:%2010.22034/39.171.12 (in persian)

Statistical Center of Iran. (2016). *General Population and Housing Census*. https://amar.org.ir/population-and-housing-census

Statistical Center of Iran. (2022). *Statistical Yearbook of Tehran and Alborz Provinces*. https://amar.org.ir/salnameh-amari

Timmermann, P. (1981). Vulnerability, resilience and the collapse of society. *Environmental Monograph*, *1*, 1-42.

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., ... & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, *100*(14), 8074-8079. 10.1073/pnas.1231335100

UNDRR. (2018). UN 20-year review: earthquakes and tsunamis kill more people while climate change is driving up economic losses. Access: https://www.undrr.org/news/un-20-year-review

Wang, Q., Guo, Y., Yu, L., & Li, P. (2017). Earthquake prediction based on spatio-temporal data mining: an LSTM network approach. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, *8*(1), 148-158. https://doi.org/10.1109/TETC.2017.2699169

Wei, Y. M., Fan, Y., Lu, C., & Tsai, H. T. (2004). The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method. *Environmental Impact Assessment Review*, *24*(4), 427-439. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2003.12.003

WHO. (2024). An overview of earthquakes. Access: https://www.who.int/health-topics/earthquakes#tab=tab_1

Wisner, B. (2010). *Risk reduction indicators… social vulnerability. Annex B-6*. TRIAMS Working Paper–Risk Reduction Indicators. Available at http://www. proventionconsortium. org/themes/default/pdfs/TRIAMS_social_vulnerability. pdf. Access date January.

Zahrah, S., Fawzul, M., & Afif, A. (2022). Vulnerability study of a two-story reinforced concrete school building structure in Banda Aceh toward earthquakes and tsunami hazards. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 340, p. 02007). EDP Sciences. doi.org/10.1051/e3sconf/202234002007

Zakour, M. J., & Swager, C. M. (2018). Vulnerability-plus theory: the integration of community disaster vulnerability and resiliency theories. In *Creating Katrina, Rebuilding Resilience* (pp. 45-78). Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809557-7.00003-X

Zlatanovic, E., Bonic, Z., & Davidovic, N. (2020). Contemporary approaches to natural disaster risk management in geotechnics. *Natural Risk Management and Engineering: NatRisk Project*, 115-141. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39391-5_6

DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77

[ Downloaded from jhre.ir on 2025-04-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.77 ]