



Evaluating the seismic potential of megacities in Iran

Hamid Ganjaeian¹

1- Ph.D. of Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran , Email: h.ganjaeian@ut.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2024/01/01

Date of last review:

2024/09/20

Date of accept:

2024/09/21

Date of online publication:

2024/09/24

Keywords:

Earthquake,
Vulnerability,
Megacity,
Iran

Extended Abstract

Introduction

Iran is one of the countries that is prone to natural hazards due to its geographical situation. One of the risks that has always threatened Iran is the risk of earthquakes. The land of Iran, as a part of the active tectonic zone of the Alps-Himalayas, has been affected by many tectonic activities over time, such as the appearance of the Zagros-Makran and Alborz-Kope Dagh mountain ranges in the Iranian plateau as a result of subduction of the Arabian plates. The Indian Ocean is one of the landforms resulting from this convergence. According to the geological situation of the Iranian plateau, this plateau is facing many disturbances and this problem has caused Iran to be one of the earthquake-prone countries in the world. Earthquake is the most important natural hazard that is always associated with a lot of human and financial losses. Due to its unpredictability and its power, this hazard has faced serious challenges in the seismic regions of the world. In fact, large earthquakes are one of the most destructive natural disasters, which often lead to widespread casualties and many deaths, and many cities are vulnerable to large earthquakes. Among the areas that are vulnerable to the risk of earthquakes are the metropolises because they house a large part of the country's population. According to the statistics of 2015, the metropolitan cities of Tehran, Mashhad, Isfahan, Karaj, Shiraz, Tabriz, Qom, Ahvaz and Kermanshah include about 27% of the country's population. Due to the importance of the subject, in this research, the seismic status of Iran's metropolises has been evaluated.

Materials and methods

In this research, information related to the epicenter of earthquakes recorded in Iran during the years 1286 to 1402 (1907 to 2023), demographic information of Iranian metropolises, statistical information related to the state of constructions of metropolises, and also The information obtained from satellite images has been used as the most important research data. ... ► Page 174

How to Cite:

Ganjaeian, H (2025). Evaluating the seismic potential of megacities in Iran. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 33(132), 173-188.

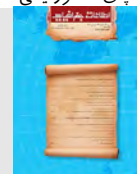
The most important research tools are ArcGIS (to prepare the required maps) and SPSS (to analyze the data). Also, in this research, the Analytical Hierarchy (AHP) model was used in order to weight the parameters. According to the desired goals, this research has been done in two general stages. In the first stage, a 100 km boundary is defined for each metropolis, and then the earthquakes that occurred in this area are identified. In the following, the earthquakes that occurred in metropolitan areas have been analyzed in terms of number and size. In the second stage, based on 6 parameters, the state of vulnerability of metropolises has been evaluated. After evaluating the metropolises in terms of the desired parameters, first the parameters were normalized and then the parameters were weighted using the AHP model.

Discussion and results

The results of the evaluation of earthquakes that occurred in the outskirts of 100 kilometers of metropolises have shown that the largest number of earthquakes with 390 recorded cases was related to the outskirts of Shiraz metropolis, and Isfahan and Qom metropolises recorded 19 and 20 respectively. Have the least number of earthquakes. Also, the results of the survey of the number of earthquakes with a magnitude greater than 6 on the Richter scale have shown that the outskirts of the metropolises of Shiraz and Kermanshah had the largest number of earthquakes with 4 earthquakes, and the outskirts of the metropolises of Isfahan and Ahvaz There has been no earthquake with a magnitude greater than 6 on the Richter scale. Considering that in addition to earthquakes, other factors are also effective in determining the vulnerability of metropolises against earthquake hazards, in this study, population parameters, population density, percentage of open space and percentage of worn-out fabric are also used. Has been According to the results, the largest population was related to Tehran city. The highest population density was related to the city of Mashhad. The highest percentage of worn out fabric was related to the city of Tehran and the lowest percentage of open space was related to the city of Tehran.

Conclusion

The results of this research have shown that Iran's metropolises have different seismic potentials due to their geo-structural position, and also, under the influence of various population factors and constructions, different potentials in terms of damage. They are resistant to earthquakes. In this research, in order to investigate the seismic status of metropolises, the earthquakes that occurred within 100 kilometers of them have been analyzed. According to the results, during the years 1286 to 1402, 999 earthquakes with a magnitude of more than 3 on the Richter scale occurred within a radius of 100 km from these metropolises, 15 of which had a magnitude of more than 6 on the Richter scale. Is. The results of the analysis of earthquakes have shown that the largest number of earthquakes occurred in the metropolitan areas of Shiraz, Ahvaz and Kermanshah, so that 390, 186 and 147 earthquakes occurred in these metropolitan areas, respectively. The lowest number of earthquakes with 19 and 20 cases respectively was related to the metropolitan areas of Isfahan and Qom. Also, the largest number of earthquakes with a magnitude greater than 6 on the Richter scale was related to the metropolitan areas of Shiraz and Kermanshah. The results of this section have shown that the seismic status of Iran's metropolises has been very different, and considering that in addition to the number of earthquakes, various human parameters are also effective in the degree of vulnerability to earthquakes, in this research Based on different parameters, the state of vulnerability of metropolises was evaluated. Based on the results, Shiraz metropolis with a total score of 17.68 is considered the most vulnerable metropolis in the country against earthquake risk. After this metropolis, Kermanshah and Tehran metropolises have the highest vulnerability potential with 13.12 and 10.87 points, respectively. Also, Isfahan metropolis with a total of 2.75 points has the lowest vulnerability potential among the metropolises of the country, and after that, Ahvaz and Qom metropolises have the lowest with 5.72 and 6.66 points, respectively. They are potential vulnerabilities.



ارزیابی استعداد لرزه‌خیزی کلان‌شهرهای ایران



حمید گنجائیان^۱

۱- دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران h.ganjaeian@ut.ac.ir

چکیده

موقعیت زمین‌ساختی ایران سبب شده است تا این کشور پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی داشته باشد. با توجه به اینکه کلان‌شهرها پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند، در این پژوهش به آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در حریم کلان‌شهرها (تهران، مشهد، اصفهان، کرج، شیراز، تبریز، قم، اهواز و کرمانشاه) و همچنین شناسایی کلان‌شهرهای آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین‌لرزه پرداخته شده است. در پژوهش حاضر از اطلاعات مربوط به کانون زمین‌لرزه‌های ثبت شده در ایران طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲ (۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳ میلادی)، اطلاعات جمعیتی کلان‌شهرهای ایران، اطلاعات آماری مربوط به وضعیت ساخت‌وسازهای کلان‌شهرها و همچنین اطلاعات به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش ArcGIS و SPSS بوده‌اند. همچنین در این تحقیق از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی به‌منظور وزندهی به پارامترها استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله، در طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲، ۹۹۹ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از کلان‌شهرها رخ داده است که بیشترین تعداد زمین‌لرزه در محدوده کلان‌شهرهای شیراز، اهواز و کرمانشاه بوده است، به‌طوری‌که در محدوده این کلان‌شهرها به ترتیب ۳۹۰، ۱۸۶ و ۱۴۷ زمین‌لرزه رخ داده است. همچنین نتایج ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری کلان‌شهرها نشان داده است که کلان‌شهر شیراز با مجموع ۱۷/۶۸ امتیاز، آسیب‌پذیرترین کلان‌شهر کشور در برابر مخاطره زمین‌لرزه محسوب می‌شود. بعد از این کلان‌شهر، کلان‌شهرهای کرمانشاه و تهران به ترتیب با ۱۳/۱۲ و ۱۰/۸۷ امتیاز، دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند. مجموع نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که کلان‌شهرهای شیراز، کرمانشاه و تهران پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند، بنابراین باید کنترل و نظارت بیشتری بر کیفیت ساخت‌وسازها و روند افزایشی جمعیت در این کلان‌شهرها صورت گیرد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۰/۱۱

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۳/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۶/۳۱

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۰۷/۰۳

واژه‌های کلیدی:

زمین‌لرزه؛

آسیب‌پذیری؛

کلان‌شهر؛

ایران

استناد به این مقاله:

گنجائیان، ح؛ (۱۴۰۳). ارزیابی استعداد لرزه‌خیزی کلان‌شهرهای ایران. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۳۳ (۱۳۲)، ۱۸۸-۱۷۳

۱- مقدمه

ایران از جمله کشورهایی است که تحت تأثیر وضعیت جغرافیایی اش، مستعد وقوع مخاطرات طبیعی است (گنجایان، ۱۳۹۹). یکی از مخاطراتی که ایران را همواره تهدید کرده، مخاطره زمین لرزه یا زلزله است (بودمنان^۱ و همکاران، ۲۰۲۳؛ آلویسیو^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). سرزمین ایران به عنوان بخشی از زون فعال زمین ساختی آلپ - هیمالیا در طول زمان تحت تأثیر فعالیت های تکتونیکی زیادی قرار گرفته (نگارش، ۱۳۸۴؛ رزاقیان و همکاران، ۱۳۹۲) که پیدایش رشته کوه های زاگرس - مکران و البرز - کپه داغ در فلات ایران در اثر زیر راندگی صفحات عربستان - اقیانوس هند از لندفرم های منتج از این همگرایی است (گورابی و امامی، ۱۳۹۶). با توجه به موقعیت زمین ساختی فلات ایران، این فلات با ناآرامی های زیادی مواجه است (آقانیاتی، ۱۳۸۳) و همین مسئله سبب شده تا ایران جزء کشورهای لرزه خیز دنیا باشد (قبری و همکاران، ۱۳۹۲؛ نوجوان و همکاران، ۱۳۹۹).

زمین لرزه مهم ترین مخاطره طبیعی است که همواره با خسارات جانی و مالی زیادی همراه است (دگلاس^۳ و همکاران، ۲۰۱۳؛ کویسون^۴ و همکاران، ۲۰۱۷؛ رنگزن و همکاران، ۱۳۹۵). این مخاطره با توجه به غیرقابل پیش بینی بودن و قدرتی که دارد، مناطق لرزه خیز دنیا را با چالش های جدی مواجه کرده است (دوناند و گوگن^۵، ۲۰۱۲). در واقع، زمین لرزه های بزرگ، از ویرانگرترین بلایای طبیعی هستند که اغلب منجر به تلفات گسترده و مرگ و میر زیاد می شوند (پن^۶ و همکاران، ۲۰۱۹) و بسیاری از شهرها در برابر زلزله های بزرگ آسیب پذیر هستند (فارفل^۷ و همکاران، ۲۰۱۱؛ بارتلز و ون روین^۸، ۲۰۱۲). از جمله مناطقی که در برابر مخاطره زمین لرزه آسیب پذیرند، کلان شهرها هستند زیرا که بخش زیادی از

جمعیت کشور را در خود جای داده اند. بر اساس آمار سال ۱۳۹۵، کلان شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، کرج، شیراز، تبریز، قم، اهواز و کرمانشاه در مجموع حدود ۲۷ درصد از جمعیت کشور را شامل می شوند. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی وضعیت لرزه خیزی کلان شهرهای ایران پرداخته شده است.

در ارتباط با زمین لرزه و اثرات آن تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آن ها می توان به تانگ و ون^۹ (۲۰۰۹) اشاره کرد که با استفاده از هوش مصنوعی به شبیه سازی اثرات زمین لرزه در شهر دیانگ کشور چین پرداختند. وانگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۴) به تجزیه و تحلیل زمین لرزه های رخ داده در تایوان در یک دوره زمانی ۱۱۰ ساله پرداخته اند. بوسارد^{۱۱} (۲۰۱۴) به تجزیه و تحلیل زمین لرزه های رخ داده در ژاپن با استفاده از توزیع پواسون پرداخته است و همچنین وانگ و چانگ^{۱۲} (۲۰۱۵) نیز با استفاده از توزیع پواسون، به تجزیه و تحلیل زمین لرزه های رخ داده در تایوان پرداخته اند. اومی^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۶) به آنالیز مکانی و زمانی پس لرزه ها و ارتباط آن ها با زمین لرزه اصلی در ژاپن پرداختند. ژو و لیو^{۱۴} (۲۰۱۸) به بررسی عوامل مؤثر در آسیب پذیری شهرها در برابر مخاطره زمین لرزه پرداختند. هاشمی و علی محمدی سراب (۱۳۸۹) به بررسی الگوهای زمانی - مکانی در داده های مربوط به زمین لرزه های تاریخی ایران با استفاده از شاخص ها و مدل های آمار فضایی پرداختند. معرب و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی آسیب پذیری بافت شهری تهران در برابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل پرداختند. لاله پور و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی آسیب پذیری محلات شهر ورزقان در برابر مخاطره زمین لرزه پرداختند. پرویزیان و ملکی (۱۴۰۱) با استفاده از مدل IHWP، به بررسی وضعیت آسیب پذیری

1- Bodenmann

2- Aloisio

3- Douglas

4- Coisson

5- Dunand & Gueguen

6- Pan

7- Farfel

8- Bartels & Van Rooyen

9- Tang & Wen

10- Wang

11- Bossard

12- Wang & Chin Chang

13- Omi

14- Xu & Lu



نگاره ۱: نقشه موقعیت کلان‌شهرهای ایران

۲-۲- روش تحقیق

در این پژوهش از اطلاعات مربوط به کانون زمین‌لرزه‌های ثبت شده در ایران (تهیه شده از سایت USGS) در طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲ (۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳ میلادی)، اطلاعات جمعیتی کلان‌شهرهای ایران، اطلاعات آماری مربوط به وضعیت ساخت‌وسازهای کلان‌شهرها و همچنین اطلاعات به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نیاز) و SPSS (به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها) بوده‌اند. همچنین در این پژوهش از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به‌منظور وزن‌دهی به پارامترها استفاده شده است. با توجه به اهداف مورد نظر، پژوهش حاضر در دو مرحله کلی انجام شده که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

- **مرحله اول (آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در محدوده کلان‌شهرها):** در این مرحله ابتدا برای هر کلان‌شهر، حریم ۱۰۰ کیلومتری تعریف و سپس زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده مشخص شده است. در ادامه زمین‌لرزه‌های رخ داده در حریم کلان‌شهرها از نظر تعداد و بزرگای آنالیز شده‌اند.

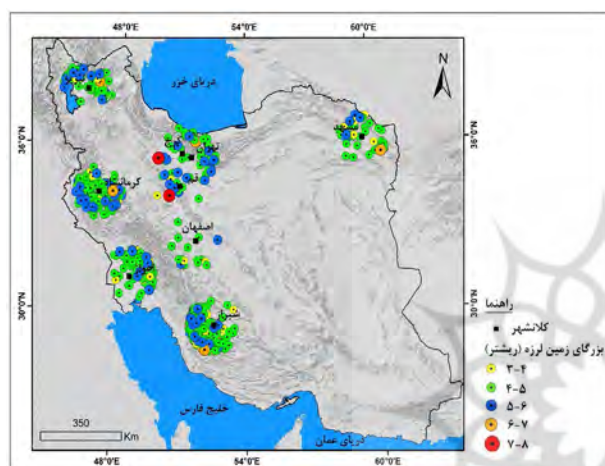
منطقه ۶ کلان‌شهر اهواز در برابر مخاطره زمین‌لرزه پرداختند. سالاری و همکاران (۱۴۰۱) به رتبه‌بندی آسیب‌پذیری شهر کرمان در برابر مخاطره زمین‌لرزه با استفاده از مدل ELECTRE FUZZY پرداختند. تحریری و صفاری (۱۴۰۲) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای لرزه‌خیزی در امتداد سامانه گسلی درون پرداختند. بررسی تحقیقات صورت‌گرفته پیشین و همچنین نتایج به‌دست آمده از مطالعات کتابخانه‌ای نشان داده است که بخش زیادی از شهرهای ایران در معرض مخاطره زمین‌لرزه قرار دارند. در این میان، کلان‌شهرهای ایران به دلیل جمعیت میلیونی که دارند، با تهدیدات جدی‌تری مواجه هستند. در واقع، تراکم بالای جمعیت در این کلان‌شهرها، پتانسیل آسیب‌پذیری آن‌ها را دوجندان کرده و همین موضوع سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر، مسئله تهدیدات ناشی از مخاطرات طبیعی، خصوصاً زمین‌لرزه در کلان‌شهرهای ایران بسیار مورد توجه قرار گیرد و باعث ایجاد نگرانی‌هایی نیز برای برنامه‌ریزان و همچنین مردم ساکن در آن‌ها شود. با توجه به اینکه در حال حاضر در ایران ۹ شهر با جمعیت بیش از ۱ میلیون نفر داریم و شهرها بخش زیادی از جمعیت ایران را شامل می‌شوند، در پژوهش حاضر به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری این کلان‌شهرها در برابر مخاطره زمین‌لرزه پرداخته شده است. بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر، آنالیز وضعیت پراکنش زمانی و مکانی زمین‌لرزه‌های رخ داده در حریم کلان‌شهرهای ایران و بررسی وضعیت آسیب‌پذیری آن‌ها است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل ۴ کلان‌شهر تهران، مشهد، اصفهان، کرج، شیراز، تبریز، قم، اهواز و کرمانشاه است (نگاره ۱). کلان‌شهرهای مورد مطالعه در مجموع حدود ۲۱/۷ میلیون نفر جمعیت دارند که حدود ۲۷ درصد از جمعیت ایران را شامل می‌شود (مرکز آمار کشور، ۱۳۹۵).

بیشتر خواهد بود، در این پژوهش به بررسی وضعیت تراکم کانون‌های زمین‌لرزه در مجاورت کلان‌شهرهای ایران پرداخته شده است. در ابتدا نه کلان‌شهر (شهرهای با بیش از ۱ میلیون نفر جمعیت) تهران، مشهد، اصفهان، کرج، شیراز، تبریز، قم، اهواز و کرمانشاه در نظر گرفته شده و زمین‌لرزه‌های رخ داده (طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲) تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری این شهرها بررسی شده است (نگاره ۲).



نگاره ۲: نقشه موقعیت زمین‌لرزه‌های رخ داده تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری کلان‌شهرها

• مرحله دوم (شناسایی کلان‌شهرهای آسیب‌پذیر): در این مرحله بر مبنای شش پارامتر (جدول ۱)، وضعیت آسیب‌پذیری کلان‌شهرها مورد ارزیابی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که انتخاب پارامترها بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای و نظرات کارشناسان بوده است و همچنین پارامترهایی انتخاب شده است که دارای خصوصیات کمی و قابل محاسبه هستند. پس از ارزیابی کلان‌شهرها از نظر پارامترهای مورد نظر، ابتدا پارامترها نرمالایز شده‌اند و سپس با استفاده از مدل AHP به پارامترها وزن داده شده است. پس از اعمال وزن بر روی پارامترها، در ادامه مجموع امتیازات هر کلان‌شهر بر مبنای شش پارامتر مورد استفاده محاسبه و در نهایت، کلان‌شهرهای آسیب‌پذیری شناسایی شده‌اند.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در مجاورت کلان‌شهرها

با توجه اینکه مناطق پرجمعیت پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری در برابر مخاطرات طبیعی از جمله زمین‌لرزه دارند و همچنین خسارات جانی و مالی در این مناطق

جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده به منظور شناسایی کلان‌شهرهای آسیب‌پذیر

ردیف	پارامتر	توضیحات
۱	تعداد زمین‌لرزه	تعداد کل زمین‌لرزه‌های رخ داده بیش از ۳ ریشتر در حریم ۱۰۰ کیلومتری کلان‌شهرها در طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲
۲	تعداد زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیش از ۶ ریشتر	تعداد کل زمین‌لرزه‌های رخ داده بیش از ۶ ریشتر در حریم ۱۰۰ کیلومتری کلان‌شهرها در طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲
۳	جمعیت	جمعیت کلان‌شهرها بر اساس اطلاعات مرکز آمار کشور در سال ۱۳۹۵ به‌دست آمده است
۴	تراکم جمعیت	تراکم جمعیت از تقسیم جمعیت سال ۱۳۹۵ بر مساحت کلان‌شهرها به‌دست آمده است
۵	درصد فضای باز	به‌منظور محاسبه درصد فضای باز کلان‌شهرها، از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. منظور از درصد فضای باز در این پژوهش، فضاهای خالی، فضاهای سبز و خطوط ارتباطی موجود در محدوده کلان‌شهرهاست
۶	درصد بافت فرسوده	به‌منظور بررسی درصد بافت فرسوده کلان‌شهرها، از اطلاعات بنیاد مسکن و شهرسازی کشور (۱۴۰۰) استفاده شده است

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)
 ارزیابی استعداد لرزه‌خیزی کلان‌شهرهای ایران / ۱۷۹

بین ۴ تا ۵ ریشتر، ۱۳ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر و ۱ زمین‌لرزه در طبقه بین ۶ تا ۷ ریشتر بوده است. همچنین در طی دوره زمانی مورد مطالعه، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در این محدوده رخ نداده است. بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۶/۳ ریشتر مربوط به سال ۲۰۰۴ بوده که با مرکزیت نوشهر ثبت شده است. در محدوده کلان‌شهر مشهد ۴۳ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۶/۱ ریشتر مربوط به سال ۲۰۱۷ بوده که با مرکزیت تربت‌جام ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های این محدوده نشان داده که ۶ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۲۹ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر، ۷ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر و ۱ زمین‌لرزه در طبقه بین ۶ تا ۷ ریشتر بوده است. همچنین در طی دوره زمانی مورد مطالعه، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در این محدوده رخ نداده است. در محدوده کلان‌شهر اصفهان، ۱۹ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۵/۵ ریشتر مربوط به سال ۱۹۳۱ بوده که با مرکزیت اردستان ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده نشان داده است که ۳ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۴ ریشتر، ۱۴ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر و ۲ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر بوده است. همچنین در طی دوره زمانی مورد مطالعه، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر در این محدوده رخ نداده است. در محدوده کلان‌شهر کرج، ۴۸ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۷ ریشتر مربوط به سال ۱۹۶۲ بوده که با مرکزیت تاکستان ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده نشان داده است که ۶ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۳۳ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر، ۷ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر، ۱ زمین‌لرزه بین ۶ تا ۷ ریشتر و ۱ زمین‌لرزه بین ۷ تا ۸ ریشتر رخ داده است. در محدوده کلان‌شهر شیراز، ۳۹۰ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر

آنالیز زمین‌لرزه‌های ثبت شده در مجاورت کلان‌شهرهای ایران نشان داده که در طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲، ۹۹۹ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از این کلان‌شهرها رخ داده است. بر اساس نتایج حاصله (جدول ۲ و نگاره ۳)، بیشترین تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده مربوط به طبقه ۴ تا ۵ ریشتر بوده است، به‌طوری‌که ۷۵۷ زمین‌لرزه دارای بزرگای بین ۴ تا ۵ ریشتر بوده‌اند. همچنین ۱۰۵ زمین‌لرزه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۱۲۳ زمین‌لرزه بین ۵ تا ۶ ریشتر، ۱۳ زمین‌لرزه بین ۶ تا ۷ ریشتر و ۲ زمین‌لرزه بین ۷ تا ۸ ریشتر رخ داده است.

جدول ۲: تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده

بزرگا (ریشتر)	۴ تا ۵	۵ تا ۶	۶ تا ۷	۷ تا ۸	مجموع
تعداد	۱۰۵	۷۵۷	۱۲۳	۱۳	۹۹۹



نگاره ۳: نمودار تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده

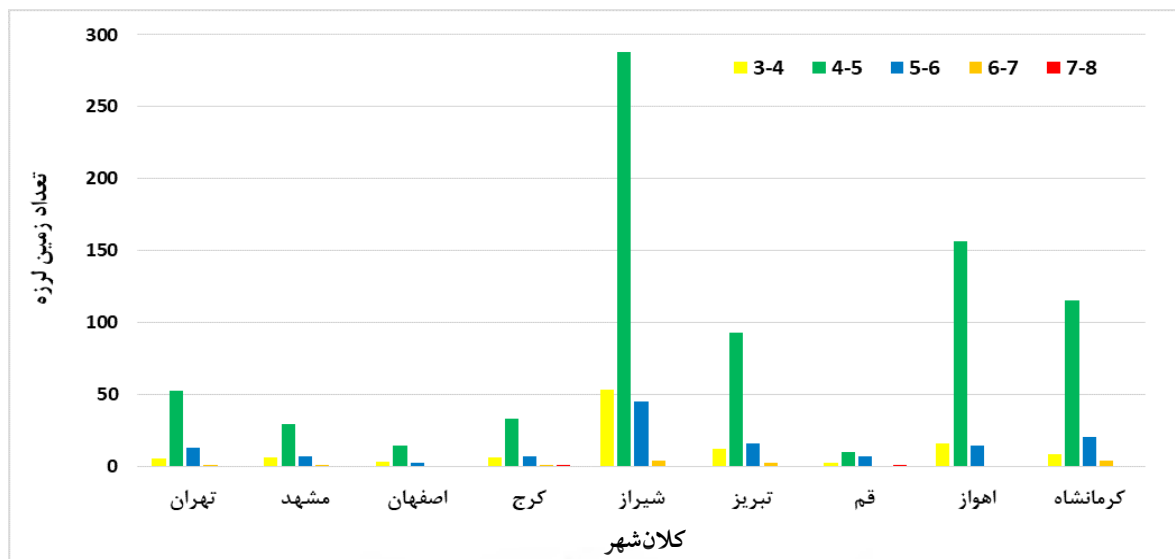
تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از کلان‌شهرهای ایران به تفکیک ریشتر

نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده به تفکیک ریشتر و کلان‌شهر نشان داده است (جدول ۳ و نگاره ۴) که در طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲ (۱۹۰۷ تا ۲۰۲۳ میلادی) در مجاورت (شعاع ۱۰۰ کیلومتری) کلان‌شهر تهران، ۷۱ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده است که ۵ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۵۲ زمین‌لرزه در طبقه

رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۶/۲ ریشتر مربوط به سال ۱۹۹۹ بوده که با مرکزیت کازرون ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده نشان داده است که ۵۳ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۲۸۸ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر، ۴۵ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر و ۴ زمین‌لرزه بین ۶ تا ۷ ریشتر بوده است. همچنین در طی دوره زمانی مورد مطالعه، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در این محدوده رخ نداده است. در محدوده کلان‌شهر تبریز، ۱۲۳ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۶/۴ ریشتر مربوط به سال ۲۰۱۲ بوده که با مرکزیت اهر ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده نشان داده است که ۱۲ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۹۳ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر، ۱۶ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر و ۲ زمین‌لرزه بین ۶ تا ۷ ریشتر بوده است. همچنین در طی دوره زمانی مورد مطالعه، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در این محدوده رخ نداده است. در محدوده کلان‌شهر قم، ۲۰ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۷/۳ ریشتر مربوط به سال ۱۹۰۹ بوده که با مرکزیت دلیجان ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده نشان داده است که ۲ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر، ۱۰ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر و ۱ زمین‌لرزه در طبقه بین ۶ تا ۷ ریشتر بوده است. در محدوده کلان‌شهر اهواز، ۱۸۶ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۵/۶ ریشتر در سال‌های ۱۹۵۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ با مرکزیت مسجدسلیمان ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده نشان داده است که ۱۶ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۱۵۶ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر و ۱۴ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر بوده است. همچنین در طی دوره زمانی مورد مطالعه، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر در این محدوده رخ نداده است. در محدوده کلان‌شهر کرمانشاه، ۱۴۷ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده و بزرگ‌ترین زمین‌لرزه این محدوده با بزرگای ۶/۷ ریشتر در سال ۱۹۵۸ با مرکزیت کنگاور ثبت شده است. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در این محدوده نشان داده است که ۸ زمین‌لرزه در طبقه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۱۱۵ زمین‌لرزه در طبقه بین ۴ تا ۵ ریشتر و ۲۰ زمین‌لرزه در طبقه بین ۵ تا ۶ ریشتر بوده است. همچنین در طی دوره زمانی

جدول ۳: تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از کلان‌شهرها به تفکیک ریشتر

ردیف	کلان‌شهر بزرگا (ریشتر)	۴ تا ۵	۵ تا ۶	۶ تا ۷	۷ تا ۸	مجموع
۱	تهران	۵	۵۲	۱۳	۱	۷۱
۲	مشهد	۶	۲۹	۷	۱	۴۳
۳	اصفهان	۳	۱۴	۲	۰	۱۹
۴	کرج	۶	۳۳	۷	۱	۴۸
۵	شیراز	۵۳	۲۸۸	۴۵	۴	۳۹۰
۶	تبریز	۱۲	۹۳	۱۶	۲	۱۲۳
۷	قم	۲	۱۰	۷	۱	۲۰
۸	اهواز	۱۶	۱۵۶	۱۴	۰	۱۸۶
۹	کرمانشاه	۸	۱۱۵	۲۰	۴	۱۴۷



نگاره ۴: نمودار تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از کلان‌شهرها به تفکیک ریشتر

مورد مطالعه، زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در این محدوده رخ نداده است.

تعداد زمین‌لرزه: نتایج ارزیابی زمین‌لرزه‌های رخ داده در حاشیه ۱۰۰ کیلومتری کلان‌شهرها نشان داده است (جدول ۴ و نگاره ۵) که بیش‌ترین تعداد زمین‌لرزه با ۳۹۰ مورد ثبت شده، مربوط به حاشیه کلان‌شهر شیراز بوده است و کلان‌شهرهای اصفهان و قم به ترتیب با ثبت ۱۹ و ۲۰ مورد، دارای کم‌ترین تعداد زمین‌لرزه رخ داده بوده‌اند. همچنین نتایج بررسی تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده با بزرگای بیش از ۶ ریشتر در حاشیه کلان‌شهرها نشان داده است که حاشیه کلان‌شهرهای شیراز و کرمانشاه با ثبت ۴ زمین‌لرزه، دارای بیش‌ترین تعداد بوده‌اند و حاشیه کلان‌شهرهای اصفهان و اهواز فاقد زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر بوده است.

جمعیت و تراکم جمعیت: میزان جمعیت ارتباط مستقیمی با میزان خسارات جانی و مالی دارد. در واقع، کلان‌شهرهایی

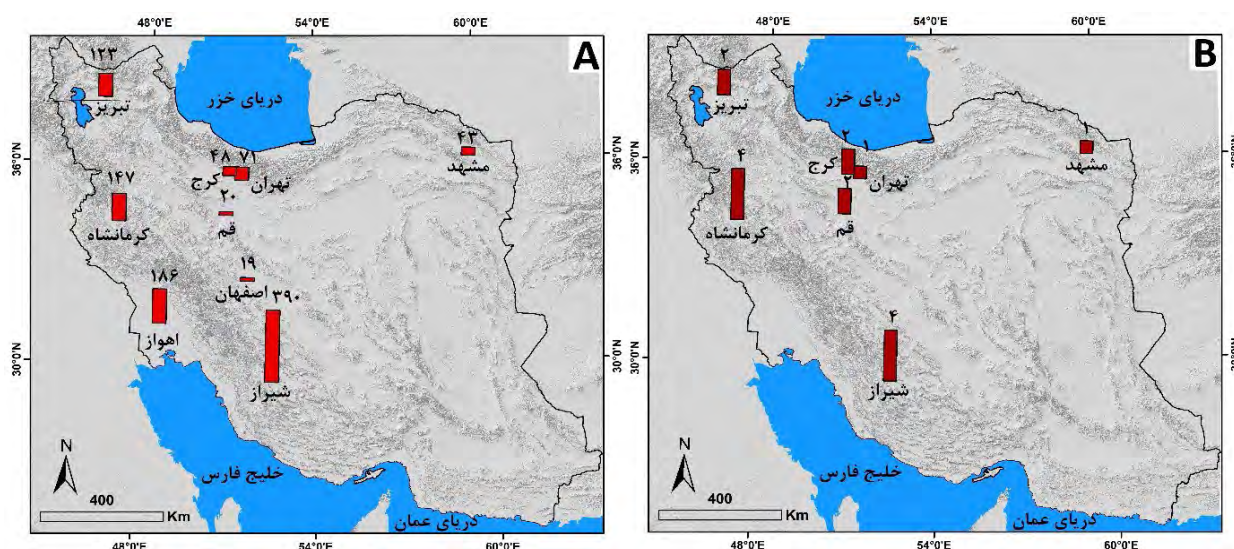
۳-۲- ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری کلان‌شهرها در برابر مخاطره زمین‌لرزه

الف) تشریح پارامترهای مورد نظر

با توجه به اینکه بخش زیادی از جمعیت ایران (حدود ۲۷ درصد) در نه کلان‌شهر مورد مطالعه قرار دارند، بنابراین بررسی وضعیت مخاطره‌پذیری آن‌ها حائز اهمیت است. در بخش قبلی وضعیت زمین‌لرزه‌های رخ داده در حاشیه ۱۰۰ کیلومتری این کلان‌شهر بررسی شد و در این بخش بر مبنای شش پارامتر شامل: تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده، تعداد زمین‌لرزه‌های بیش از ۶ ریشتر، جمعیت، تراکم جمعیت، درصد فضای باز و همچنین درصد بافت‌های فرسوده کلان‌شهرها، آسیب‌پذیرترین کلان‌شهرها در برابر مخاطره

جدول ۴: وضعیت کلان‌شهرها از نظر کل زمین‌لرزه‌ها و زمین‌لرزه‌های رخ داده با بزرگای بیش از ۶ ریشتر

کلان‌شهر	تهران	مشهد	اصفهان	کرج	شیراز	تبریز	قم	اهواز	کرمانشاه
تعداد زمین‌لرزه	۷۱	۴۳	۱۹	۴۸	۳۹۰	۱۲۳	۲۰	۱۸۶	۱۴۷
تعداد زمین‌لرزه‌های بیش از ۶ ریشتر	۱	۱	۰	۲	۴	۲	۱	۰	۴



نگاره ۵: نقشه وضعیت کلان‌شهرها از نظر (A) تعداد کل زمین‌لرزه‌های رخ داده (B) تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده با بزرگای بیش از ۶ ریشتر

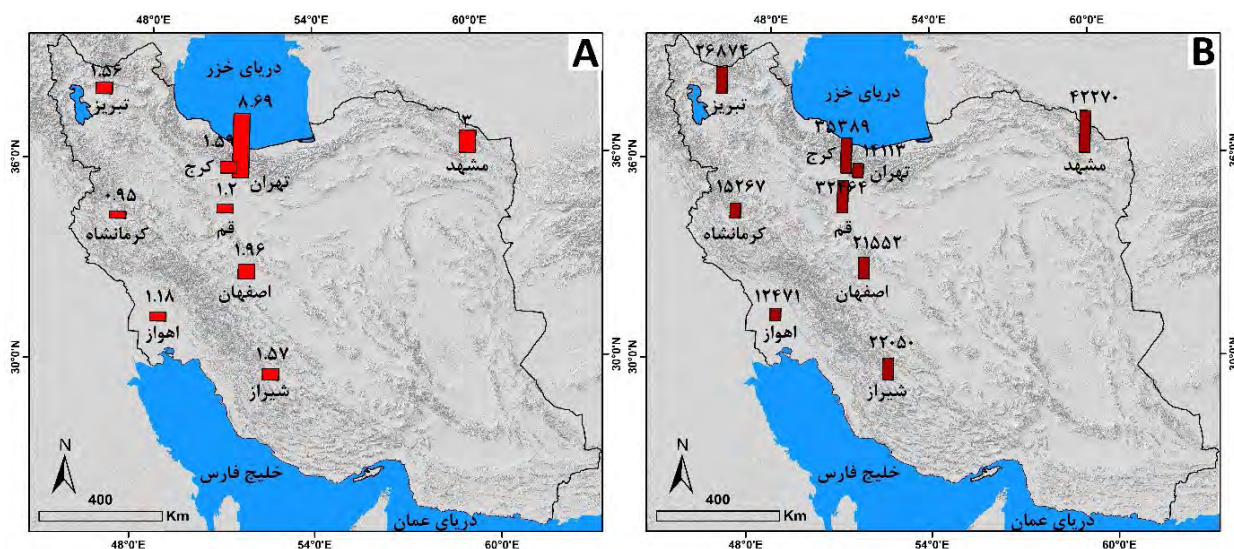
خسارات ناشی از زمین‌لرزه دارند. در واقع، فشردگی نواحی سکونتگاهی شهری، ارتباط مستقیمی با افزایش خسارات ناشی از زمین‌لرزه دارد. بررسی درصد فضای باز کلان‌شهرهای مورد مطالعه نشان داده است که کلان‌شهر کرج با ۲۳ درصد فضای باز، دارای بالاترین درصد است و کلان‌شهر تهران با ۱۵ درصد فضای باز، دارای کم‌ترین درصد است. همچنین در زمان وقوع زمین‌لرزه، بافت‌های فرسوده دارای بیش‌ترین میزان خسارت و آسیب‌پذیری هستند. به‌طور معمول، شهرهایی که دارای درصد بافت‌های فرسوده بیش‌تری هستند، پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند. بررسی درصد بافت‌های فرسوده در کلان‌شهرهای مورد مطالعه نشان داده است که کلان‌شهر تهران با داشتن ۳۷ درصد بافت فرسوده، دارای بالاترین درصد است و کلان‌شهرهای قم و اصفهان با داشتن

که جمعیت بیش‌تری دارند، پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند. همچنین تراکم جمعیت نیز حائز اهمیت است و کلان‌شهرهایی که دارای تراکم جمعیت بالاتری هستند، پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند. بررسی وضعیت جمعیت کلان‌شهرهای مورد مطالعه نشان داده است که کلان‌شهرهای تهران و کرمانشاه به ترتیب با ۸/۶۹ و ۰/۹۵ میلیون نفر جمعیت، پرجمعیت‌ترین و کم‌جمعیت‌ترین کلان‌شهرهای کشور هستند. همچنین از نظر تراکم جمعیت نیز کلان‌شهر مشهد با ۴۲۲۷۰ نفر در کیلومترمربع، متراکم‌ترین کلان‌شهر و کلان‌شهر اهواز با ۱۲۴۷۱ نفر در کیلومترمربع، کم‌تراکم‌ترین کلان‌شهر کشور است (جدول ۵ و نگاره ۶).

- درصد فضای باز و بافت فرسوده: فضاهای باز شهری در زمان وقوع زمین‌لرزه نقش اصلی را در تشدید

جدول ۵: وضعیت کلان‌شهرها از نظر جمعیت، وسعت و تراکم جمعیت

کلان‌شهر	تهران	مشهد	اصفهان	کرج	شیراز	تبریز	قم	اهواز	کرمانشاه
جمعیت (میلیون نفر)	۸/۶۹	۳	۱/۹۶	۱/۵۹	۱/۵۷	۱/۵۶	۱/۲	۱/۱۸	۰/۹۵
وسعت (کیلومترمربع)	۶۱۶	۷۱	۹۱	۴۵	۷۱	۵۸	۳۷	۹۵	۶۲
تراکم جمعیت (نفر در کیلومترمربع)	۱۴۱۱۳	۴۲۲۷۰	۲۱۵۵۲	۳۵۳۸۹	۲۲۰۵۰	۲۶۸۷۴	۳۲۴۶۴	۱۲۴۷۱	۱۵۲۶۹



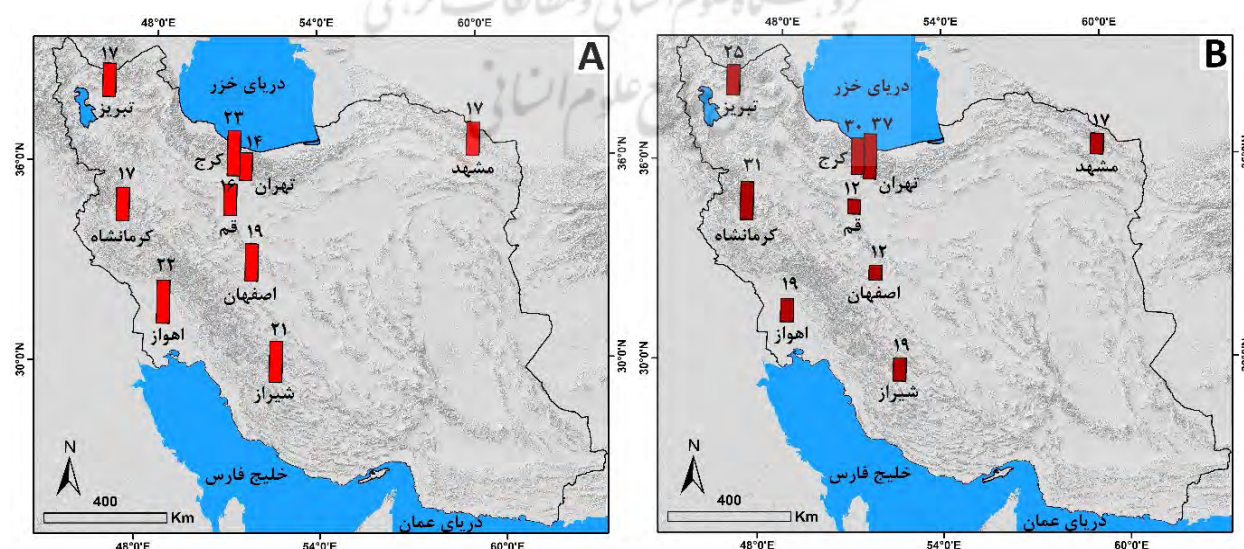
نگاره ۶: نقشه وضعیت کلان‌شهرها از نظر (A) جمعیت (میلیون نفر) (B) تراکم جمعیت (نفر در کیلومتر مربع)

۱۲ درصد بافت فرسوده، دارای کمترین درصد هستند استفاده برای شناسایی کلان‌شهرهای در معرض خطر (جدول ۶ و نگاره ۷).

(ب) وزن‌دهی به پارامترها
 با توجه به اینکه ارزش و اهمیت پارامترهای مورد به پارامترها وزن داده شده است. به منظور مقایسه زوجی و

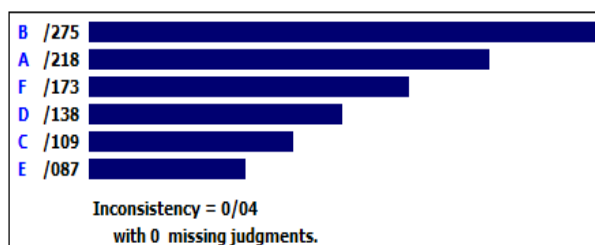
جدول ۶: وضعیت کلان‌شهرها از نظر جمعیت و تراکم جمعیت

کلان‌شهر	تهران	مشهد	اصفهان	کرج	شیراز	تبریز	قم	اهواز	کرمانشاه
درصد فضای باز	۱۵	۱۷	۱۹	۲۳	۲۱	۱۷	۱۶	۲۲	۱۷
درصد بافت فرسوده	۳۷	۱۷	۱۲	۳۰	۱۹	۲۵	۱۲	۱۹	۳۱



نگاره ۷: نقشه وضعیت کلان‌شهرها از نظر (A) درصد فضای باز (B) درصد بافت فرسوده

وزن‌دهی به پارامترها، از نرم‌افزار Expert Choice استفاده و وزن نهایی هر پارامتر محاسبه شده است (نگاره ۸).



نگاره ۸: وزن نهایی پارامترها (A) تعداد زمین‌لرزه (B) تعداد زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر (C) جمعیت (D) تراکم جمعیت (E) درصد فضای باز (F) درصد بافت فرسوده

ج) اعمال وزن بر روی پارامترها

پس از وزن‌دهی به پارامترها، در این بخش وزن به‌دست آمده از طریق مدل AHP بر روی پارامترها اعمال شده است. قبل از اینکه وزن پارامترها بر روی آن‌ها اعمال شود، ابتدا پارامترها نرمالایز شده‌اند. به‌طور مثال در مجموع در محدوده کلان‌شهرها ۱۰۴۷ زمین‌لرزه رخ داده و درصد هر کلان‌شهر از تعداد کل زمین‌لرزه‌های رخ داده مشخص شده است. یا مجموع جمعیت کلان‌شهرها ۲۱/۷ میلیون نفر و

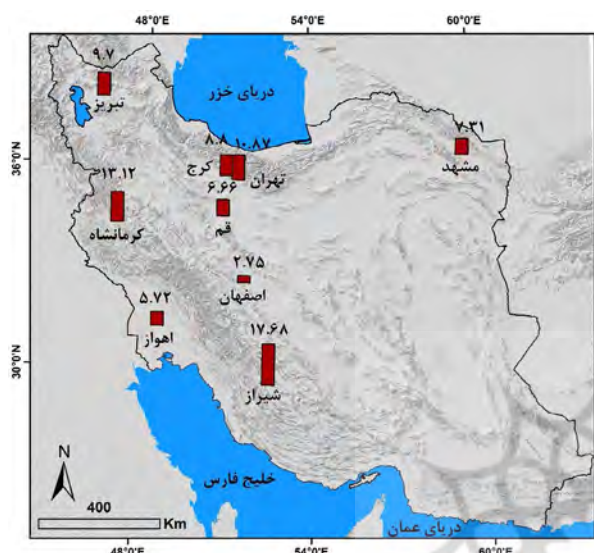
پس از وزن‌دهی به پارامترها، در این بخش وزن به‌دست آمده از طریق مدل AHP بر روی پارامترها اعمال شده است. قبل از اینکه وزن پارامترها بر روی آن‌ها اعمال شود، ابتدا پارامترها نرمالایز شده‌اند. به‌طور مثال در مجموع در محدوده کلان‌شهرها ۱۰۴۷ زمین‌لرزه رخ داده و درصد هر کلان‌شهر از تعداد کل زمین‌لرزه‌های رخ داده مشخص شده است. یا مجموع جمعیت کلان‌شهرها ۲۱/۷ میلیون نفر و

جدول ۷: نتایج نرمالایز کردن پارامترهای مورد استفاده

ردیف	کلان‌شهر	تعداد زمین‌لرزه	تعداد زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر	جمعیت	تراکم جمعیت	درصد فضای باز	درصد بافت فرسوده
۱	تهران	۶/۷۸	۶/۲۵	۴۰/۰۵	۶/۳۴	۸/۴۳	۱۸/۳۲
۲	مشهد	۴/۱۱	۶/۲۵	۱۳/۸۳	۱۹	۱۰/۲۴	۸/۴۲
۳	اصفهان	۱/۸۱	۰	۹/۰۴	۹/۶۹	۱۱/۴۵	۵/۹۴
۴	کرج	۴/۵۸	۱۲/۵	۷/۳۴	۱۵/۹	۱۳/۸۶	۱۴/۸۵
۵	شیراز	۳۷/۲۵	۲۵	۷/۲۱	۹/۹۱	۱۲/۶۵	۹/۴۱
۶	تبریز	۱۱/۷۵	۱۲/۵	۷/۱۸	۱۲/۰۸	۱۰/۲۴	۱۲/۳۸
۷	قم	۱/۹۱	۱۲/۵	۵/۵۳	۱۴/۵۹	۹/۶۴	۵/۹۴
۸	اهواز	۱۷/۷۷	۰	۵/۴۶	۵/۶۱	۱۳/۲۵	۹/۴۱
۹	کرمانشاه	۱۴/۰۴	۲۵	۴/۳۶	۶/۸۶	۱۰/۲۴	۱۵/۳۵
۱۰	مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر) ارزیابی استعداد لرزه‌خیزی کلان‌شهرهای ایران / ۱۸۵

کلان‌شهر اصفهان با مجموع ۲/۷۵ امتیاز، دارای کم‌ترین پتانسیل آسیب‌پذیری در بین کلان‌شهرها کشور است و بعد از آن، کلان‌شهرهای اهواز و قم به ترتیب با ۵/۷۲ و ۶/۶۶ دارای کمترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند (نگاره ۹).



نگاره ۹: نقشه وضعیت آسیب‌پذیری کلان‌شهرها

بیشترین امتیاز مربوط به پارامتر تعداد زمین‌لرزه بوده و این کلان‌شهر در مجموع ۱۷/۶۸ امتیاز کسب کرده است. در کلان‌شهر تبریز، بیش‌ترین امتیاز مربوط به پارامتر تعداد زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر بوده و این کلان‌شهر در مجموع ۹/۷ امتیاز کسب کرده است. در کلان‌شهر قم، بیش‌ترین امتیاز مربوط به پارامتر تعداد زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر بوده و این کلان‌شهر در مجموع ۶/۶۶ امتیاز کسب کرده است. در کلان‌شهر اهواز، بیش‌ترین امتیاز مربوط به پارامتر تعداد زمین‌لرزه بوده و این کلان‌شهر در مجموع ۵/۷۲ امتیاز کسب کرده است. همچنین در کلان‌شهر کرمانشاه، بیش‌ترین امتیاز مربوط به پارامتر تعداد زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر بوده و این کلان‌شهر در مجموع ۱۳/۱ امتیاز کسب کرده است.

نتایج حاصله از ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری کلان‌شهرها در برابر مخاطره زمین‌لرزه نشان داده است که در بین کلان‌شهر مورد مطالعه، کلان‌شهر شیراز با مجموع ۱۷/۶۸ امتیاز، آسیب‌پذیرترین کلان‌شهر کشور در برابر مخاطره زمین‌لرزه محسوب می‌شود. بعد از این کلان‌شهر، کلان‌شهرهای کرمانشاه و تهران به ترتیب با ۱۳/۱۲ و ۱۰/۸۷، دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند. همچنین

جدول ۸: نتایج اعمال وزن AHP بر روی داده‌ها

ردیف	کلان‌شهر	تعداد زمین‌لرزه	تعداد زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۶ ریشتر	جمعیت	تراکم جمعیت	درصد فضای باز	درصد بافت فرسوده	جمع امتیاز
۱	تهران	۱/۴۸	۱/۷۲	۴/۳۷	۰/۸۸	۰/۷۳	۳/۱۷	۱۰/۸۷
۲	مشهد	۰/۹	۱/۷۲	۱/۵۱	۲/۶۲	۰/۸۹	۱/۴۶	۷/۳۱
۳	اصفهان	۰/۴	۰	۰/۹۸	۱/۳۴	۱	۱/۰۳	۲/۷۵
۴	کرج	۱	۳/۴۴	۰/۸	۲/۲	۱/۲۱	۲/۵۷	۸/۸
۵	شیراز	۸/۱۲	۶/۸۸	۰/۷۹	۱/۳۷	۱/۱	۱/۶۳	۱۷/۶۸
۶	تبریز	۲/۵۶	۳/۴۴	۰/۷۸	۱/۶۷	۰/۸۹	۲/۱۴	۹/۷
۷	قم	۰/۴۲	۳/۴۴	۰/۶	۲/۰۱	۰/۸۴	۱/۰۳	۶/۶۶
۸	اهواز	۳/۸۷	۰	۰/۵۹	۰/۷۷	۱/۱۵	۱/۶۳	۵/۷۲
۹	کرمانشاه	۳/۰۶	۶/۸۸	۰/۴۸	۰/۹۵	۰/۸۹	۲/۶۵	۱۳/۱

۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داده است که کلان‌شهرهای ایران با توجه به موقعیت زمین‌ساختی که دارند، دارای پتانسیل‌های لرزه‌خیزی متفاوتی هستند و همچنین تحت تأثیر عوامل مختلف جمعیتی و ساخت‌وسازها، پتانسیل‌های متفاوتی از نظر آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه دارند. در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت لرزه‌خیزی کلان‌شهرها، به آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده در حریم ۱۰۰ کیلومتری آن‌ها پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله، در طی سال‌های ۱۲۸۶ تا ۱۴۰۲، ۹۹۹ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از این کلان‌شهرها رخ داده که ۱۵ مورد از آن‌ها بیش از ۶ ریشتر بزرگ داشته‌اند. نتایج آنالیز زمین‌لرزه‌های رخ داده نشان داده که بیش‌ترین تعداد زمین‌لرزه در محدوده کلان‌شهرهای شیراز، اهواز و کرمانشاه بوده به‌طوری‌که در محدوده این کلان‌شهرها به ترتیب ۳۹۰، ۱۸۶ و ۱۴۷ زمین‌لرزه رخ داده است. کم‌ترین تعداد زمین‌لرزه نیز به ترتیب با ۱۹ و ۲۰ مورد مربوط به محدوده کلان‌شهرهای اصفهان و قم بوده است. همچنین بیش‌ترین تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده با بزرگای بیش از ۶ ریشتر، مربوط به محدوده کلان‌شهرهای شیراز و کرمانشاه بوده است. نتایج حاصله از این بخش نشان داده که وضعیت لرزه‌خیزی کلان‌شهرهای ایران بسیار متفاوت بوده است و با توجه به اینکه علاوه بر تعداد زمین‌لرزه، پارامترهای مختلف انسانی نیز در میزان آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه موثر است، در این پژوهش بر مبنای پارامترهای مختلف، وضعیت آسیب‌پذیری کلان‌شهرها مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله، کلان‌شهر شیراز با مجموع ۱۷/۶۸ امتیاز، آسیب‌پذیرترین کلان‌شهر کشور در برابر مخاطره زمین‌لرزه محسوب می‌شود. بعد از این کلان‌شهر، کلان‌شهرهای کرمانشاه و تهران به ترتیب با ۱۳/۱۲ و ۱۰/۸۷ امتیاز، دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند. همچنین کلان‌شهر اصفهان با مجموع ۲/۷۵ امتیاز، دارای کمترین پتانسیل آسیب‌پذیری در بین کلان‌شهرهای کشور

است و بعد از آن، کلان‌شهرهای اهواز و قم به ترتیب با ۵/۷۲ و ۶/۶۶ امتیاز دارای کمترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند. مجموع نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که کلان‌شهرهای شیراز، کرمانشاه و تهران همانند بسیاری از شهرهای ایران از جمله کرمان (سالاری و همکاران، ۱۴۰۱) و ورزقان (لاله‌پور و همکاران، ۱۴۰۱) پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر مخاطره زمین‌لرزه دارند، بنابراین باید کنترل و نظارت بیش‌تری بر کیفیت ساخت‌وسازها و روند افزایشی جمعیت در این کلان‌شهرها صورت گیرد.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

1. Aloisio, A., Rosso, M.M., De Leo, A.M., Fragiaco, M & Basi, M., 2023. Damage classification after the 2009 L'Aquila earthquake using multinomial logistic regression and neural network. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103959>
2. Bartels, S.A & Van Rooyen, M.J., 2012. Medical complications associated with earthquakes. *Lancet*, 379, 748-757. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(11\)60887-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(11)60887-8)
3. Bodenmann, L., Reuland, Y & Stojadinovic, B., 2023. Dynamic post-earthquake updating of regional damage estimates using Gaussian Processes. *Reliability Engineering & System Safety*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109201>
4. Bossard, A., 2014. Analysis of the Poisson distribution applicability to the Japanese seismic activity. *International Conference on Advanced Applied Informatics*, 93, 430-435. <http://dx.doi.org/10.1504/IJDS.2018.10011823>
5. Coisson, E., Ferretti, D., & Lenticchia, E., 2017. Analysis of damage mechanisms suffered by Italian fortified buildings hit by earthquakes in the last 40 years. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(5). <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0172-0>
6. Douglas, J., Ulrich, T & Negulescu, C., 2013. Risk-targeted seismic design maps for mainland France. *Natural Hazards*, 65(3), 1999-2013. <https://doi.org/10.1007/>

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.1.5.2> (In Persian)

16. Hashemi, M & Ali mohammadi S., 2010. Investigating temporal-spatial patterns in data related to historical earthquakes in Iran, using indices and spatial statistics models. *Iranian Remote Sensing and GIS Journal*, 2 (2), 55-70. https://gisj.sbu.ac.ir/article_94494.html (In Persian)

17. Iran Statistics Center., 2015. Demographic information related to the metropolises of the country. <https://amar.org.ir> (In Persian)

18. Lalepour, M., Khairizadeh, M & Zakeri, M., 2022. Assessing the vulnerability of urban areas to earthquake crises (Case study: Varzeqan city neighborhoods). *Natural Environmental Hazards*, 11 (31), 1-24. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.33931.1656> (In Persian)

19. Moarrab, Y., Sepehrzad, B & Naderi, M., 2020. Evaluation of City's Structural Vulnerability to Earthquake with Non-Active Defense Approach (Case Study: District 2 of Tehran). *Passive Defense*, 11(2), 31-43. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086849.1399.11.2.4.5> (In Persian)

20. Mohammadkhan, S., Ganjaeian, H., Shahri, S & Abbaszadeh, A., 2019. Predicting the trend of urban development towards hazardous areas using multi-temporal images (Case study: Marivan city). *Sepehr*, 28 (110), 117-107. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36615> (In Persian)

21. Nagaresh, H., 2005. Earthquake, cities and faults. *Geographical Research*, 37(52), 110-93. <https://sid.ir/paper/378481/fa> (In Persian)

22. Nayyeri, H., Salari, M., Ganjaeian, H & Amani, K., 2017. Geomorphological Assessment of Land Suitability for the Physical Expansion of Sanandaj City Applying Restricted Areas. *Research in the geography of urban planning*, 5 (1). 127-145. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2017.63213> (In Persian)

23. Negahban, S., Ganjaeian, H., Fereidoni-Kordestani, M & Cheshme-Sefidi, Z., 2019. Assessing the physical development of cities and expansion towards geomorphologically restricted areas using LCM (Case study: Sanandaj city). *Natural Environment Hazards*, 8(20), 52-39. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.21943.1317> (In Persian)

24. Negahban, S., Ganjaeian, H., Saeedi, S & Ghasemi,

s11069-012-0460-6

7. Dunand, F & Guéguen, P., 2012. Comparison between seismic and domestic risk in moderate seismic hazard prone region: the Grenoble City (France) test site. *Nat Hazards Earth Syst*, (12), 12:511-526. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-511-2012>

8. Farfel, A., Assa, A., Amir, I., Bader, I., Bartal, C & Kreiss, Y., 2011. Haiti earthquake 2010: a field hospital pediatric perspective. *Eur J Pediatr*, 170, 519-525. <https://doi.org/10.1007/s00431-011-1423-8>

9. Ganjaeian, H., 2024. Spatial and temporal analysis of earthquakes in Iran During the years 1907 to 2023. *Geography and Environmental Hazards*, 13(4), 222-243. <https://doi.org/10.22067/geoe.2024.87246.1470> (In Persian)

10. Ganjaeian, H., 2023. Analysis of the tectonic status of the northwestern Zagros anticlines and its relationship with seismic centers. *Geography and Environmental Hazards*, 12(4), 275-290. <https://doi.org/10.22067/geoe.2022.75370.1182> (In Persian)

11. Ganjaeian, H., Rezaei Arefi, M., Peysoozi, T & Emami, K., 2021. Zonning susceptible areas of landslide using WLC and OWA methods -A case study in Mountain cliff Khan, Iran. *Sustainable Earth Trends*, 1(2), 35-43. <https://doi.org/10.52547/sustaineath.1.2.43>

12. Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi, A & Maghsoudi, M., 2020. Adaptation of Morphotectonic Indices with Seismic Centers in Zagros Northwest (Sirvan and Qarahu Basins). *Geography and Environmental Planning*, 31(4), 113-130. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.124247.1335> (In Persian)

13. Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi, M & Maghsoudi, M., 2024. Evaluating the Impacts of Earthquake in Ezgele, Kermanshah (Iran) (Occurred on 2017/11/12). *Current Research in Environmental Science and Ecology Letters*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.33140/CRESEL.01.01.06>

14. Ghanbari, A., Saleki leki, M & Ghasemi, M., 2012. Zoning the degree of vulnerability of cities against earthquake risk (case example: Tabriz city). *Geography and Environmental Hazards*, 2(1), 21-36. <https://doi.org/10.22067/geo.v2i1.15617> (In Persian)

15. Goorabi, A & Emami, K., 2016. The effects of new land construction on the morphological changes of the drainage basins of Makran coast, southeast of Iran. *Quantitative Geomorphology Research*, 6 (1), 74-89.

31. Salari, M., Nayyeri, H., Amani, K & Ganjaeian, H., 2017., Selecting suitable locations for Kamyaran urban development with a risk analysis approach based on the application of geomorphological prohibited areas. *Environmental Risk Management*, 4(4), 419-436. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2018.252694.341> (In Persian)
32. Salari, N., Entezari, M & Khabazi, M., 2022. Urban Vulnerability Rating against Earthquake Hazard Using ELECTRE FUZZY Model: A Case Study of Kerman City. *Geography and Environmental Planning*, 33 (4), 113-134. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1401.33.4.7.1> (In Persian)
33. Tahriri, M. H., Safari, H., 2023. Investigating spatial and temporal changes of seismic parameters along the internal fault system. *Scientific Quarterly of Earth Sciences*, 33(3), 96-85. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.10237429.1402.33.3.6.7> (In Persian)
34. Tang, A & Wen, A., 2009. An intelligent simulation system for earthquake disaster assessment. *Computers & Geosciences*, 35 (5), 871-879. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.03.003>
35. Wang, J.P & Chin Chang, S.U., 2015. Evidence in support of seismic hazard following Poisson distribution. *Physica A*, 424, 207-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.01.026>
36. Wang, J.P., Huang, D., Chang, S.C & Wu, Y.M., 2014. New evidence and perspective to the Poisson process and earthquake temporal distribution from 55,000 events around Taiwan since 1900. *Natural Hazards Review*, 15(1), 38- 47. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000110](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000110)
37. Xu, J & Lu, Y., 2018. Towards an earthquake-resilient world: from post-disaster reconstruction to pre-disaster prevention. *Environmental Hazards*, 17 (4), 296-275. <http://dx.doi.org/10.1080/17477891.2018.1500878>
- A., 2020. Study of vertical displacement caused by 2019 Turkmanchay earthquake based on InSAR method. *Earth and space physics*, 46(3), 445-456. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2020.295046.1007182> (In Persian)
25. Negahban, S., Peysoozi, T., Ganjaeian, H & Norozi, M., 2021. Identification of landslide and vertical displacement prone areas using radar images (Case study: urban area and urban outskirts of Lavasan). *Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 18-1. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.71728.1094> (In Persian)
26. Nojwan, K., Barzegari, A & Mohammadian, M., 2020. Probabilistic earthquake hazard Analysis with considering Risk-Based concept (Case study of olefin 14). *Disaster Prev. Manag. Know.* 10 (1), 90-74. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225955.1399.10.1.6.2> (In Persian)
27. Omi, T., Ogata, Y., Hirata, Y & Aihara, K., 2016. Forecasting large aftershocks within one day after the mainshock. *Scientific Report*, 3. <https://www.nature.com/articles/s41467-019-10763-3>
28. Pan, S. T., Cheng, Y.Y & Lin, C.H., 2019. Extrication time and earthquake-related mortality in the 2016 Taiwan earthquake. *Formosan Medical Association*, 11, <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2019.07.013>
29. Parvizian, A & Maleki, S., 2022. The vulnerability of urban areas to the risk of earthquakes based on the IHWP model, (case study: areas of the 6th district of Ahvaz metropolis). *Amish Sarmeen*, 14 (2), 594-571. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2022.335903.670284> (In Persian)
30. Rangzan, K., Kabolizade, M., karimi, D & Mansout naeimi, E., 2016. Earthquake Risk Zoning for locating Safe Areas at the time of Natural Hazards Events Using Artificial Intelligence Algorithms and GIS (Case Study: District "One" of Ahvaz City). *Geography and Environmental Planning*, 27 (3), 66-49. <https://doi.org/10.22108/gep.2017.98164> (In Persian)

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

