



ارزیابی ریسک زمین لرزه در شمال غرب تهران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP :

مطالعه موردی منطقه ۲۲

هدیه سلطانیپور^۱، مهدی زارع^۲، ابراهیم مقیمی^۳ و منصور جعفریگللو^۴

۱. کارشناس ارشد مخاطرات طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) soltanpourhedie@gmail.com

۲. استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران mzare@iiees.ac.ir

۳. استادیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران emoghimi@ut.ac.ir

۴. استادیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران mjbeglou@ut.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: منطقه ۲۲ واقع در شمال غرب تهران با داشتن جمعیت بیش از ۱۲۸ هزار نفر و عبور گسل شمال تهران از شمال این منطقه همچنین با توجه به توسعه ساخت وسازهای اخیر که بیشتر به صورت برج خود را نمایان می کنند، همواره در معرض ریسک زلزله قرار دارد. هدف از این پژوهش با توجه به فرمول جهانی ارزیابی ریسک = خطر × آسیب پذیری × جمعیت (یوان اس دی آر^۱، ۲۰۰۹) ابتدا ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی با توجه به ۹ معیار اصلی همراه با زیر معیارهای آن در منطقه و سپس برآورد جمعیت منطقه و در نهایت تحلیل خطر موجود در منطقه است.

روش: به منظور تهیه نقشه ریسک زمین لرزه، از مدل سلسله مراتبی AHP و تهیه پرسشنامه برای استفاده از نظر کارشناسان عمران و سازه و مهندسی زلزله شناسی و.. و همچنین به منظور تعیین وزن های نهایی معیارها و زیر معیارها از نرم افزار Expert choice استفاده شده است. سپس با استفاده از نقشه تحلیل خطر احتمالی زلزله (PGA) موجود از پیش تهیه شده (توسط دکتر مهدی زارع) و تهیه نقشه تراکم جمعیت محدوده مورد مطالعه، و ضرب آن ها در نقشه آسیب پذیری فیزیکی در نرم افزار GIS. به ارزیابی ریسک زلزله در شمال غرب تهران با نگاهی ویژه به منطقه ۲۲ (به خصوص در توسعه های اخیر صورت گرفته) پرداخته شده است.

یافته ها: این پژوهش نشان می دهد بیشترین آسیب پذیری و ریسک مخاطرات زمین لرزه در شرق و شمال شرقی این منطقه است. که از لحاظ قدمت قدیمی تر از دیگر قسمت ها است و در حریم گسلش قرار گرفته اند و بعد از آن قسمت هایی از شمال و شهرک های موجود در غرب و جنوب منطقه پرخطرترین قسمت هستند. **نتیجه گیری:** با در نظر گرفتن آسیب پذیری و خطر و جمعیت در منطقه مشخص می شود ریسک زلزله منطبق با نقاط جمعیتی در منطقه است و هر چه از پهنه های با جمعیت بالا دور می شویم ریسک کمتر می شود. بنابراین کنترل جمعیت پذیری و ساختمان سازی در منطقه از اعتبار بالایی در کاهش ریسک برخوردار است.

واژه های کلیدی: منطقه ۲۲ تهران، آسیب پذیری فیزیکی، ریسک زمین لرزه، تحلیل سلسله مراتبی AHP

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** سلطانیپور، هدیه؛ زارع، مهدی؛ مقیمی، ابراهیم؛ جعفریگللو، منصور (زمستان، ۱۳۹۷). ارزیابی ریسک زمین لرزه در شمال غرب تهران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP: مطالعه موردی منطقه ۲۲. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۸(۴)، ۳۷۳-۳۸۶.

Earthquake risk assessment in northwestern Tehran using Analytical Hierarchy process (AHP), case study: 22nd District

Hedieh Soltanpour¹, Mehdi Zaré², Ebrahim Moghimi³ & Mansour Jafarbeglou⁴

1. Master of Natural Hazards, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, IIEES, Tehran, Iran

3. Professor, University of Tehran, Faculty of Geography, Tehran, Iran

4. Associate Professor, University of Tehran, Faculty of Geography, Tehran, Iran

Abstract

Back ground and objective: The 22nd district of Tehran in northwestern is subjected to earthquakes risk; a population more than 128000 people, crossing the north fault from its north area and also recent development and constructions, especially tall buildings, increase the risk. The objective of this study is to assess the physical vulnerability of the 9 main criteria along with its sub-criteria in the region, and then estimate the population of the region, and finally analyze the risks in the region according to the global risk assessment formula (risk × vulnerability × population) (UNISDR, 2009).

Method: In this study the AHP hierarchical model have used to prepare the earthquake risk map, and also a questionnaire have made in order to use urban planners, structure engineers and seismologists point of views, and Expert choice software is also used measure the final weights of criteria and sub criteria. Then, by using the available pre-prepared earthquake risk analysis (PGA) map (by Dr. Mehdi Zare), preparing a population density map and an earthquake hazard map for the study area, and multiplying them to the physical vulnerability map in GIS software, the earthquake risk for Tehran's northwest district (district No. 22) was measured.

Findings: The study shows that the highest vulnerability and risk of earthquake hazards are in the east and northeast of the region, which are older than the other parts of the region and are located in the fault zone, and then some parts of the north and the townships in the west and south of the region are among the most dangerous.

Conclusion: Considering the vulnerability and risk and the population in this area indicates that the risk of earthquake is consistent with the demographic in the region, and the risk decrease in areas with lower population density. Therefore, controlling population and constructions in the region has high credibility in reducing risk.

Keywords: Tehran, District 22, Physical vulnerability, Earthquake, hazards, AHP model, Risk

► **Citation (APA 6th ed.):** Soltanpour H, Zaré M, Moghimi E, Jafarbeglou M. (2019, Winter). Earthquake risk assessment in northwestern Tehran using Analytical Hierarchy process (AHP), case study: 22nd District. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 8(4), 373-386.

مقدمه

(وجود ۱۲ گسل مؤثر و ۳ گسل اصلی اعم از گسل مشاء، گسل شمال تهران، گسل ری، که مستعد وقوع زمین‌لرزه‌اند)، برنامه‌ریزی برای آمادگی و کاهش ریسک قبل از وقوع مخاطرات، امری اجتناب‌ناپذیر است.

در این میان، گسل فعال شمال تهران با طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر از طولانی‌ترین گسل‌های موجود در تهران است که از لشکرک و سوهانک (شمال شرقی تهران) آغاز شده تا فرحزاد و حصارک و از آنجا به سمت شمال غرب امتداد می‌یابد، از جمله خطرناک‌ترین گسل‌های تهران نیز به شمار می‌رود چراکه حدود ۲ میلیون و ۴۶ هزار نفر در شمال تهران روی گسل زندگی می‌کنند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در محدوده گسل شمال تهران ۷ زلزله مهم در ۳۰ هزار سال گذشته رخ داده که از آن میان ۲ زلزله طی ۸ هزار سال گذشته رخ داده است و زمین‌لرزه‌های مهم با بزرگی ۶ تا ۷/۲ در این گسل حدود هر ۳۵۰۰ سال یک‌بار رخ داده است (زارع، ۱۳۹۳).

گسل شمال تهران در شمال غربی تهران از شمال کن و شمال منطقه ۲۲ عبور می‌کند، این پژوهش بر آن است تا با مطالعه وضعیت آسیب‌پذیری فیزیکی و تراکم جمعیتی منطقه و استفاده از نقشه‌ی تحلیل خطر زلزله موجود از پیش تهیه‌شده برای شهر تهران به ارزیابی مخاطرات ناشی از زلزله در شمال غرب تهران با نگاهی ویژه به منطقه ۲۲ به‌خصوص در توسعه‌های اخیر صورت گرفته، بپردازد و با در نظر گرفتن عناصر جمعیتی و میزان پراکندگی آن ارزیابی نهایی از ریسک زلزله این محدوده را در قالب ایجاد نقشه پهنه‌بندی ریسک ارائه کند (نمودار ۱).

در ارتباط با ارزیابی‌های ریسک زمین‌لرزه و آسیب‌پذیری‌های فیزیکی در برابر مخاطره زلزله، پژوهش‌های چندی با اهداف مقاوم‌سازی و تاب‌آور کردن جامعه در سطح بین‌المللی صورت گرفته است؛ کو مار ناث و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک لرزه‌ای در شهر کلکته واقع در هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث پرداختند. و به این نتیجه دست یافتند که روانگرایی خاک و شکست شیب از پدیده‌های ثانویه‌ای هستند که ریسک پدیده‌های مذکور را در منطقه بعد از وقوع زلزله می‌تواند بالا ببرد (کو مار

تجربه‌ها و درس‌های سوانح طبیعی به وقوع پیوسته در سال‌های اخیر در سراسر جهان، نشان می‌دهد که ارزیابی و مدیریت ریسک مخاطرات طبیعی همچنان به‌عنوان مسئله اصلی در برنامه‌های آمادگی و توسعه پایدار باقی‌مانده است و هنوز به اصلاح نیاز دارد. زلزله عموماً خطرناک‌ترین پدیده طبیعی محسوب می‌شود که جان و اموال انسان را در معرض خطری جدی قرار می‌دهد. زمانی که نوبت به شهرهای بزرگ و پرجمعیت و صنعتی شده می‌رسد، این خطر بسیار مخرب‌تر و نابودکننده‌تر می‌شود. بر اساس آمار منتشرشده از EM-DAT^۱ در نیمه اول سال ۲۰۱۵ خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی به بالاترین میزان رسیده است. نکته قابل‌توجه این است که از سال ۲۰۱۱، ۴۱٪ مخاطرات طبیعی را سیلاب تشکیل داده است، با این حال ۳۹٪ خسارت اقتصادی را شامل شده است. در حالی که تنها ۷٪ سوانح و مخاطرات متعلق به زمین‌لرزه‌ها بوده‌اند، اما ۵۹٪ مرگ‌ومیر و خسارات اقتصادی ناشی از مخاطرات زمین‌لرزه‌ها بوده است. (فرولوا، لاریونو، بونین، ساشو، اوگاروی، کوزلو، ۲۰۱۷).

امروزه یکی از مهم‌ترین نیازهای جوامعی که همواره با مخاطرات طبیعی فراوانی دست‌وپنجه نرم می‌کنند، تهیه نقشه دقیقی از ارزیابی ریسک مخاطرات طبیعی موجود است؛ نقشه ریسک مخاطرات باید بر پایه بررسی ویژگی‌های فنی مخاطرات (محل، شدت، احتمال رخداد و فراوانی) و تحلیل در معرض بودن و آسیب‌پذیری (محیطی، بهداشتی، اجتماعی، فیزیکی و اقتصادی) صورت بگیرد و ارزیابی تاب‌آوری (موثر بودن ظرفیت‌های غلبه یا سازگاری با سناریوهای خطر احتمالی) به‌موازات انجام شود. (با اقتباس از زارع، ۱۳۹۴).

اطلاعات حاصل از دیرینه لرزه‌شناسی (پالتوسایزومولوژی) و اطلاعات تاریخی نشان می‌دهد از ۳۲۰ سال قبل از میلاد مسیح که اولین زمین‌لرزه تاریخی گزارش شده در تاریخ ایران، در شهری رخ داده و آن را ویران کرده است، تاکنون ۱۱ رخداد زمین‌لرزه در گستره پیرامون تهران با بزرگای بیش از ۷ گزارش شده است (زارع، ۱۳۹۳) با توجه به پهنه با ریسک بالای زمین‌لرزه در تهران

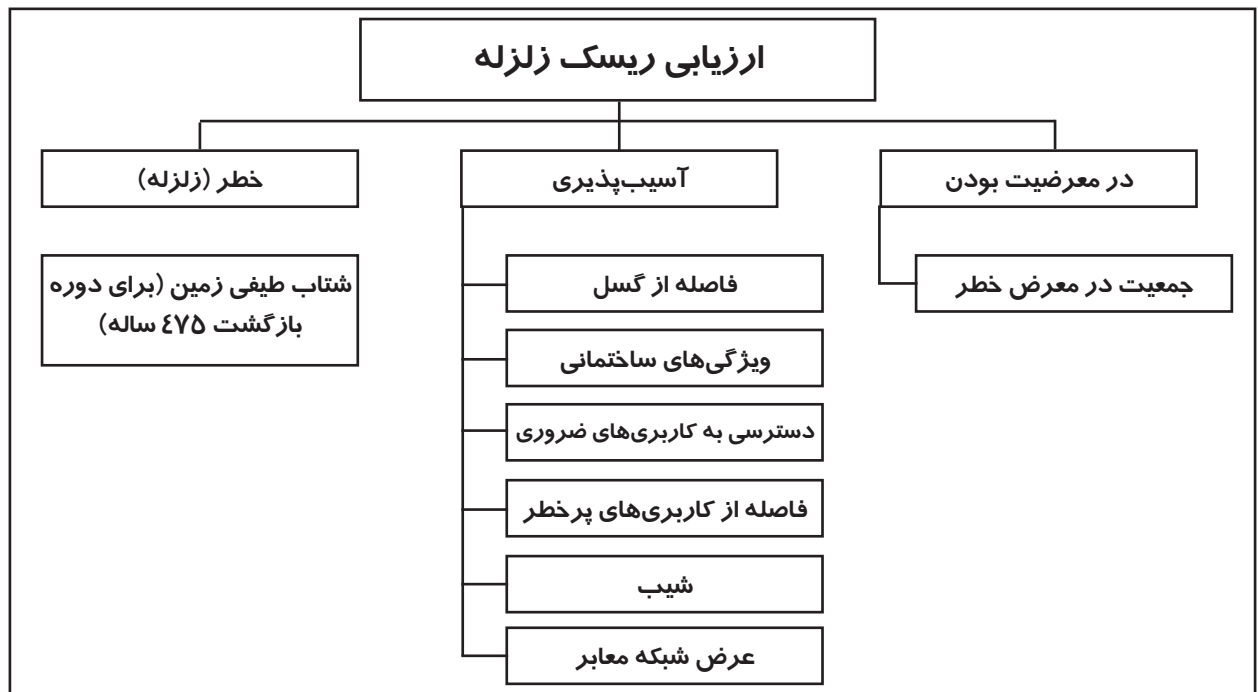
1. www.emdat.be

2. Frolova, N. I., Larionov, V. I., Bonnin, J., Sushchev, S. P., Ugarov, A. N., & Kozlov, M. A.

محدوده مورد مطالعه

منطقه ۲۲ شهرداری تهران جدیدترین منطقه شهری تهران است که در شمال غرب تهران واقع شده است. محدوده این منطقه از شمال به ارتفاعات البرز، از شرق به مسیل کن، از غرب به شهرستان البرز و از جنوب به آزادراه تهران-کرج محدود می‌گردد (شکل ۱)، این منطقه از شمال با رشته‌کوه‌های البرز از شرق منطقه ۵ شهرداری تهران از غرب شهرستان البرز و از جنوب با منطقه ۲۱ شهرداری تهران همسایه است. شامل ۴ ناحیه و ۹ محله با کاربری‌های مسکونی، اداری، تجاری، خدماتی، فرهنگی، نظامی است (سایت سازمان نوسازی شهر تهران). منطقه ۲۲، با وسعتی حدود ۶ هزار هکتار محدوده شهری و ۳۰ هزار هکتار حریم، به دلیل ویژگی‌های خاص طبیعی و موقعیت خود در پهنه پایتخت، به‌عنوان منطقه‌ای مستعد قطب گردشگری شناخته‌شده و چشم‌انداز آینده آن بر این اساس استوار شده است (مهندسین مشاور شارستان، ۱۳۸۲). جمعیت این منطقه بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰ ایران، ۱۲۸,۹۵۸ نفر (۳۸,۱۰۶ خانوار) شامل ۶۵,۴۷۶ مرد و ۶۳,۴۸۲ زن است (وبگاه مرکز آمار ایران). عبور

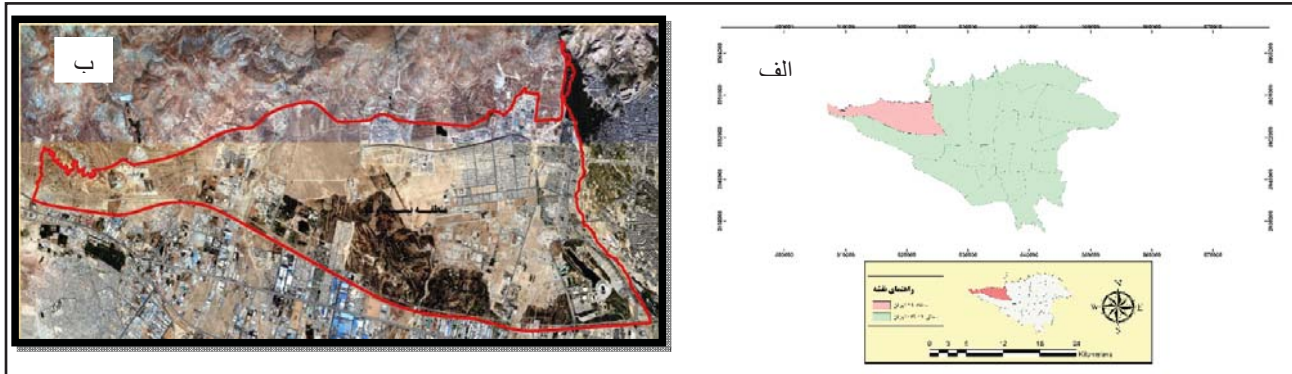
ناث، ادھیکاری، دواراج، مایتی، ۲۰۱۵: ۱۱۰۳). در سال ۲۰۱۵ پروژه‌ای تحت عنوان کاهش ریسک سانحه و برنامه آمادگی به سمت شهر تاب‌آور و پایدار برای ۴ شهر شمالی و شرقی سریلانکا توسط سازمان یو ان هیئات^۲ تدوین شد. هدف از این پروژه کم کردن ریسک سوانح طبیعی و ارائه استراتژی‌هایی برای حرکت از ریسک به سوی تاب‌آوری بود که طی آن به ارزیابی مخاطرات طبیعی و آسیب‌پذیری‌های موجود اعم از فیزیکی و اجتماعی و اقتصادی برای شناسایی مناطق با ریسک بالا پرداختند. (سازمان یو ان هیئات، ۲۰۱۵). اشمیت و همکاران (۲۰۱۲) به مدل‌سازی ریسک سوانح چندگانه از جمله زلزله، آتش‌فشان، سیل، باد و سونامی پرداخته‌اند و نرم‌افزاری را بانام Risk scape تهیه کرده‌اند که قادر است ریسک‌های مخاطرات چندگانه را به دست آورد. البته این نرم‌افزار با زبان جاوا^۳ نوشته شده است و محدودیت‌هایی نیز دارد. در این پژوهش، اندرکنش مخاطره و پیامدهای آن در نظر گرفته نشده و به‌صورت مستقل تعیین شده است (اشمیت، ماشام، ریس، کینگ، بل، هندرسون، ۲۰۱۱).^۴



نمودار ۱. چهارچوب ارزیابی ریسک زلزله

گسل شمال تهران از شمال این منطقه نشان از وجود مخاطره زلزله است. در سال‌های اخیر ساخت‌وساز گسترده‌ای در پهنه گسل شمال تهران به‌ویژه در منطقه ۲۲ آغاز شده است.

1. S.k Nath, M. D. Adhikari, N. Devaraj, S.K. Maiti
2. UN-Habitat
3. JAVA
4. Schmidt, Matcham, Reese, King, Bell, Henderson, Heron

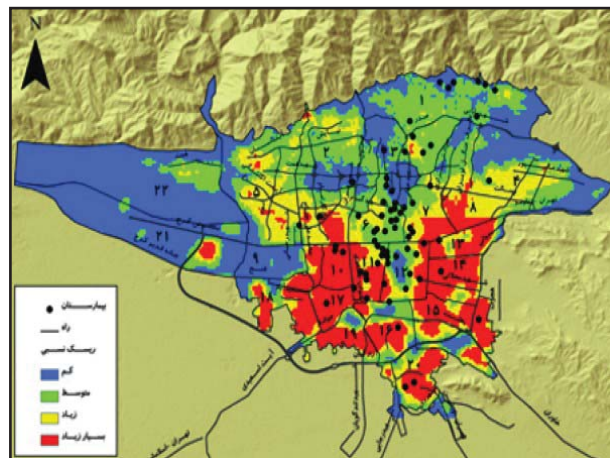


شکل ۱. الف) موقعیت منطقه ۲۲ در بین مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، ب) تصویر ماهواره‌ای محدوده شهرداری منطقه ۲۲ (منبع نگارنده)

نیست که خطر در آن منطقه کم است و بهتر است برویم و در آنجا کلیه فعالیت‌ها را متمرکز کنیم؛ در این پژوهش سعی شده است به این منطقه به صورت محلی^۱ و جزئی نگاه شود و ریسک زمین‌لرزه آن را جدا از هرگونه مقایسه آن با سایر مناطق، مورد ارزیابی قرار دهیم، تا دید روشن‌تری در برنامه‌ریزی‌های آتی به ما بدهد.

روش

این پژوهش با نگرشی کاملاً سیستمی از نوع توصیفی-تحلیلی و تجزیه و تحلیل سیستمی و با یک چهارچوب منطقی و اصول بین‌المللی، باهدف ارائه ارزیابی خطر زلزله به صورت جزئی شده^۲ در منطقه موردنظر به تحقیق درآمده است.



شکل ۲. نقشه ریسک مخاطرات چندگانه در چهارگوشه شهر تهران (منبع: زارع، ۱۳۹۴)

اهمیت منطقه مورد مطالعاتی

یکی از مهم‌ترین دلایل انتخاب منطقه ۲۲ تهران واقع در شمال غربی‌ترین نقطه از تهران جهت انجام پژوهش ارزیابی ریسک زلزله، نقشه ریسک اخیراً تهیه‌شده تهران توسط جناب آقای دکتر زارع (۱۳۹۴) است، در این نقشه می‌بینیم که خطر و ریسک نسبی در این منطقه در مقایسه با دیگر مناطق تهران کم است؛ و این ممکن است در ذهن مخاطب عام تصویری را مبنی بر بی‌خطر بودن این منطقه ایجاد کند و ناخودآگاه اذهان را به سمت خرید خانه، سرمایه‌گذاری و مهاجرت و (ایجاد ریسک بیشتر) به این منطقه سوق می‌دهد، کما اینکه همان‌طور که می‌دانیم در این نقشه، منطقه ۲۲ تهران که تازه‌ساخت نیز است در کنار دیگر مناطق قدیمی‌تر تهران که بافت‌های فرسوده بسیاری هم دارا هستند، قرار گرفته است و همچنین درحالی که حاضر نسبتاً جمعیت کمتری را دارد و به صورت نسبی، بسیار منطقی است که با ریسک کمتر از دیگر مناطق نشان داده شود اما این به آن معنی

با تکمیل اطلاعات کتابخانه‌ای، میدانی، تجزیه تحلیل‌های اطلاعات جمع‌آوری‌شده، با بهره‌گیری از نقشه‌های پایه تحلیل خطر زلزله موجود، و استفاده از روش سلسله مراتبی (به‌عنوان جدیدترین روش‌های وزن‌گذاری به داده‌های جغرافیایی) برای ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی که شامل تشکیل ماتریس گونه‌های مختلف ساختمانی، جمع‌آوری اطلاعات پیرامون نوع سازه، تعداد طبقات و قدمت سازه، چگونگی شبکه دسترسی‌ها، و تأثیر دادن لایه جمعیتی، در محیط نرم‌افزاری GIS^۳ ارزیابی‌ها صورت گرفت. (بدیهی است که معیارهای زیادی در بحث آسیب‌پذیری فیزیکی در برابر زلزله مطرح هستند، اما به دلایل متعددی که از جمله مهم‌ترین آن‌ها کمبود اطلاعات لازم است، مدل‌سازی آن‌ها میسر نیست).

به دلیل اینکه کنترل متغیرهای مستقلی که انسان و دارایی‌های او

1. Local
2. Detailed
3. Geographical information system

بر همین برای اساس مقایسه و قضاوت برای غیرمعیارها از جدول ۹ کمیتی توماس ال ساعتی در قالب تهیه پرسشنامه و جلب نظرات کارشناسی استفاده شد. در این بخش "میانگین هندسی" نظرات کارشناسان برای به دست آوردن میزان اهمیت معیارها و زیر معیارها مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهش حاضر جهت تولید وزن‌ها از نرم افزار Expert choice استفاده شده است.

برای دستیابی به ارجحیت معیارها و زیر معیارها، ۳۰ عدد پرسشنامه تهیه و در دسترس پژوهشگران و کارشناسان مرتبط اعم از مهندسان متخصص در آسیب‌پذیری در دانشگاه‌های صنعتی شریف، اساتید و دانشجویان دکتری در پژوهشگاه زلزله‌شناسی و متخصصان شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تهران و شهید بهشتی، جهت وزن دهی به معیارها قرار دادیم و سپس برای تعیین نرخ سازگاری و ناسازگاری آن‌ها و ارزش نهایی از نرم‌افزار نام‌برده بهره گرفتیم. در ادامه جدول وزن دهی‌ها آمده است و همچنین نمونه‌ایی از خروجی نرم‌افزار را نشان داده‌ایم.

جدول ۱. کمیتی مقایسه دودویی شاخص‌ها (منبع: دلبری، داوودی، ۱۳۹۱: ۶۴)

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	Equally preferred	اهمیت مساوی در تحقق هدف، دو شاخص اهمیت مساوی دارند.
۳	Moderately preferred	اهمیت اندکی بیشتر تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آن‌دکی بیشتر از آن است.
۵	Strongly preferred	اهمیت بیشتر تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آن بیشتر از آن است.
۷	Very strongly preferred	اهمیت خیلی بیشتر تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آن خیلی بیشتر از آن است.
۹	Extremely preferred	اهمیت مطلق اهمیت خیلی بیشتر آن نسبت به آن به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۲، ۴، ۶، ۸	Intermediate values	ترجیحات بینابین هنگامی که حالت میانه وجود دارد.

داده‌ها

بدیهی است که معیارهای زیادی در بحث آسیب‌پذیری‌ها اعم از فیزیکی، اجتماعی و فرهنگی و ساختاری و... در برابر زلزله مطرح هستند و دخالت دارند و می‌توان به هر کدام در حوزه‌ها و زمینه‌های جداگانه پرداخت و پژوهش مفصلی را ارائه کرد، لیکن در پژوهش حاضر بحث آسیب‌پذیری فیزیکی (به‌عنوان عاملی در ارزیابی ریسک زلزله) مطرح است که همواره در این مقوله هم عوامل بسیار زیادی مؤثر هستند که به دلایل متعددی که از جمله مهم‌ترین آن‌ها کمبود اطلاعات لازم است، مدل‌سازی آن‌ها میسر نیست. در جدول شماره ۲، مهم‌ترین عوامل موجود در آسیب‌پذیری فیزیکی اثر داده‌شده در پژوهش حاضر به تفکیک شرح داده شده است.

را تحت تأثیر قرار می‌دهد مانند مخاطراتی چون زلزله و آتش‌فشان، مشکل و غیرعملی است، با شناخت کامل از خطر موجود، از روش معیاری جهت برآورد آسیب‌پذیری‌ها استفاده شد. همچنین روش تجربی و روش‌های کمی هم به‌عنوان کامل‌کننده روش معیاری، در کنار هم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش مشاهده مستقیم و میدانی

بازدید از منطقه مورد مطالعه و تهیه عکس از گسل شمال تهران (به‌عنوان مخاطره اصلی) و نشانه‌های مرتبط با آن، مشاهده مستقیم از وضعیت موجود ساختمان‌ها و ساختمان‌سازی و زیرساخت‌ها به‌عنوان عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری فیزیکی. حضور در شهرداری منطقه ۲۲ تهران به منظور مطالعه طرح تفصیلی و گرفتن داده‌های موردنیاز و همچنین حضور در دیگر سازمان‌های مرتبط با داده‌های مورد نیاز جهت دریافت داده و لایه‌های اطلاعاتی اثر داده‌شده در پژوهش.

مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP^۱

فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP ابتدا در سال ۱۹۷۰ به وسیله توماس ال ساعتی^۲ پیشنهاد شد (ساعتی، ۱۹۸۶). فرایند تحلیل سلسله

مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل: هدف‌ها، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی می‌شود که در اولویت‌بندی بکار گرفته می‌شوند. فرایند شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها که منجر به ایجاد

یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود، ساختن سلسله‌مراتب نامیده می‌شود. سلسله مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم‌گیری (گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری) را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد. AHP یک ماتریس مقایسه دودویی است که هر دو جفت داده‌های ورودی را باهم مقایسه می‌کند و ارزش هر فاکتور را در برابر فاکتورهای دیگر تعیین می‌کند (زبردست، ۱۳۸۰). در این روش برای تعیین و اهمیت وزن معیارها و زیر معیارها، هریک از آن‌ها دوبه‌دو باهم مقایسه و با توجه به هدف، بررسی و سنجیده می‌شوند.

1. Analytical Hierarchy process
2. Thomas L. saaty

جدول ۲. معیارها و زیر معیارهای ارزیابی شده در آسیب پذیری فیزیکی محدوده مورد مطالعه

معیار	زیر معیارها
فاصله از گسل (متر)	< ۱۰۰۰
	۱۰۰۰ - ۳۰۰۰
	> ۳۰۰۰
دوری از کاربری های خطرناک	دکل های فشار برق قوی
	جایگاه سوخت
	مسیل
	دریاچه خلیج فارس در منطقه
قدمت ساختمان ها	کمتر از ۵ سال
	۵ تا ۱۰ سال
	۱۰ تا ۲۰ سال
	۲۰ تا ۴۰ سال
	بیش از ۴۰ سال
تعداد طبقات ساختمان ها	۱ طبقه (ویلايي)
	۲ تا ۴ طبقه
	۵ تا ۸ طبقه (ساختمان های بلند)
	۹ تا ۱۰ طبقه (سازه های مرتفع)
نوع مصالح ساختمانی	بیش از ۱۰ طبقه (برج ها)
	آجر و چوب
	آجر و آهن
	بتنی
شیب (متر)	فلزی
	< ۵
	۵ - ۱۰
	۱۰ - ۲۰
نزدیکی به کاربری های ضروری	> ۲۰
	بیمارستان
	آتش نشانی
	درمانگاه
دسترسی به فضاهای باز	مراکز امداد
	پارک ها
	سوله های مدیریت بحران
	ورزشگاه و سالن های ورزشی
	پایانه های اتوبوس رانی

۸-۴	عرض شبکه معابر (متر)
۱۲-۸	
۲۴-۱۲	
۲۵-۲۴	تراکم جمعیت (نفر)
۵۰۰۰	
۲۰۰۰۰-۵۰۰۰	
۵۰,۰۰۰-۲۰,۰۰۰	
> ۵۰,۰۰۰	

یافته ها

لازم به ذکر است به منظور تهیه نقشه آسیب پذیری فیزیکی ابتدا نقشه ی موضوعی هر معیار جداگانه تهیه شد تا وضعیت منطقه تنها با توجه به معیار خاص مشخص شود و در نهایت تمامی معیارها در تهیه نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه بکار گرفته شدند.

نقشه آسیب پذیری منطقه در برابر زلزله با توجه به جنس مصالح ساختمانی^۱

این نقشه از ترکیب نوع مصالح موجود در منطقه (جدول ۲) و با احتساب وزن هریک به دست آمده است. بر اساس وزن های به دست آمده، مصالح به ترتیب از مقاومت کمتری برخوردارند: فلزی، بتنی، آجر و آهن، آجر و چوب.

نتایج به دست آمده نشان می دهد در حدود ۵۸٪ از سطح منطقه ساختمان سازی انجام نشده است که یا این فضاها به فضاهای سبز و راهها و ... تعلق دارند یا در دست احداث هستند. نزدیک به ۳۲٪ بلوک های ساختمانی منطقه از نظر نوع مصالح، با خطر نسبی کم هستند، حدود ۸٫۷٪ ساختمان های با خطر نسبی متوسط و کمتر از ۱ درصد از ساختمان ها با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد می باشند که آن هم بیشتر در شهرک ها و محله های قدیمی مشاهده می شود (شکل ۳، الف). به طور کلی در توسعه های اخیر در این منطقه جدید که بیشتر به صورت برج ها خود را نمایان می کند طبیعی است که از مصالح مقاومی چون بتن و فلز بیشتری استفاده شود.

نقشه آسیب پذیری منطقه در برابر زلزله با توجه به قدمت ساختمان ها

این نقشه از ترکیب نقشه های قدمت موجود در منطقه

۱. قابل ذکر است تمامی اطلاعات و داده های پژوهش گرفته شده از سازمان شهرداری منطقه ۲۲ تهران و دیگر سازمان های مرتبط، مربوط به سال ۱۳۹۰ است.

نقشه آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله با توجه به دوری (فاصله) از کاربری‌های خطرناک

در اینجا با استفاده از نقشه‌های فاصله قطعات از دکل‌های فشارقوی برق، جایگاه سوخت، مسیل، دریاچه و با احتساب وزن هر کدام و زیر معیارهایشان، نقشه آسیب‌پذیری منطقه بر اساس این ۴ معیار تهیه گردید و میزان خطر آن‌ها با توجه به دسترسی، به ۵ طبقه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده است.

با توجه به (شکل ۳، پ) در شرایط فعلی منطقه، حواشی شرقی و غربی‌تر منطقه که بیشتر در مجاورت و معرضیت مسیل و جایگاه‌های سوخت و دکل‌های منطقه هستند با خطر زیاد و خیلی زیاد مشخص شده است.

نقشه آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله با توجه به نزدیکی (فاصله) به فضاهای باز

با استفاده از نقشه‌های فاصله قطعات از پارک‌ها و بوستان‌ها، سوله‌های مدیریت بحران، ورزشگاه و سالن‌های ورزشی، پایانه‌های اتوبوس‌رانی و با احتساب وزن هر کدام و زیر معیارهایشان، نقشه آسیب‌پذیری منطقه بر اساس معیارهای بالا، تهیه گردید و میزان خطر آن‌ها با توجه به دسترسی، به ۵ طبقه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده است. نکته قابل توجه این است که منظور از خطر بالا، دسترسی نامناسب‌تر، به‌طور نسبی است و اینکه به دلیل وسعت زیاد منطقه و پراکندگی، فضاهای باز اکثراً با فاصله زیادی از مناطق مسکونی قرار دارند.

نقشه آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله با توجه به دوری (فاصله) از کاربری‌های ضروری

برای تولید این نقشه نیاز به وزن معیار و زیر معیارها، نقشه سطح اشغال قطعات و نقشه فاصله قطعات تا کاربری‌های ضروری را داریم، تا در محیط Arc GIS با استفاده از نرم‌افزار Raster calculator این لایه‌ها را روی هم بگذاریم.

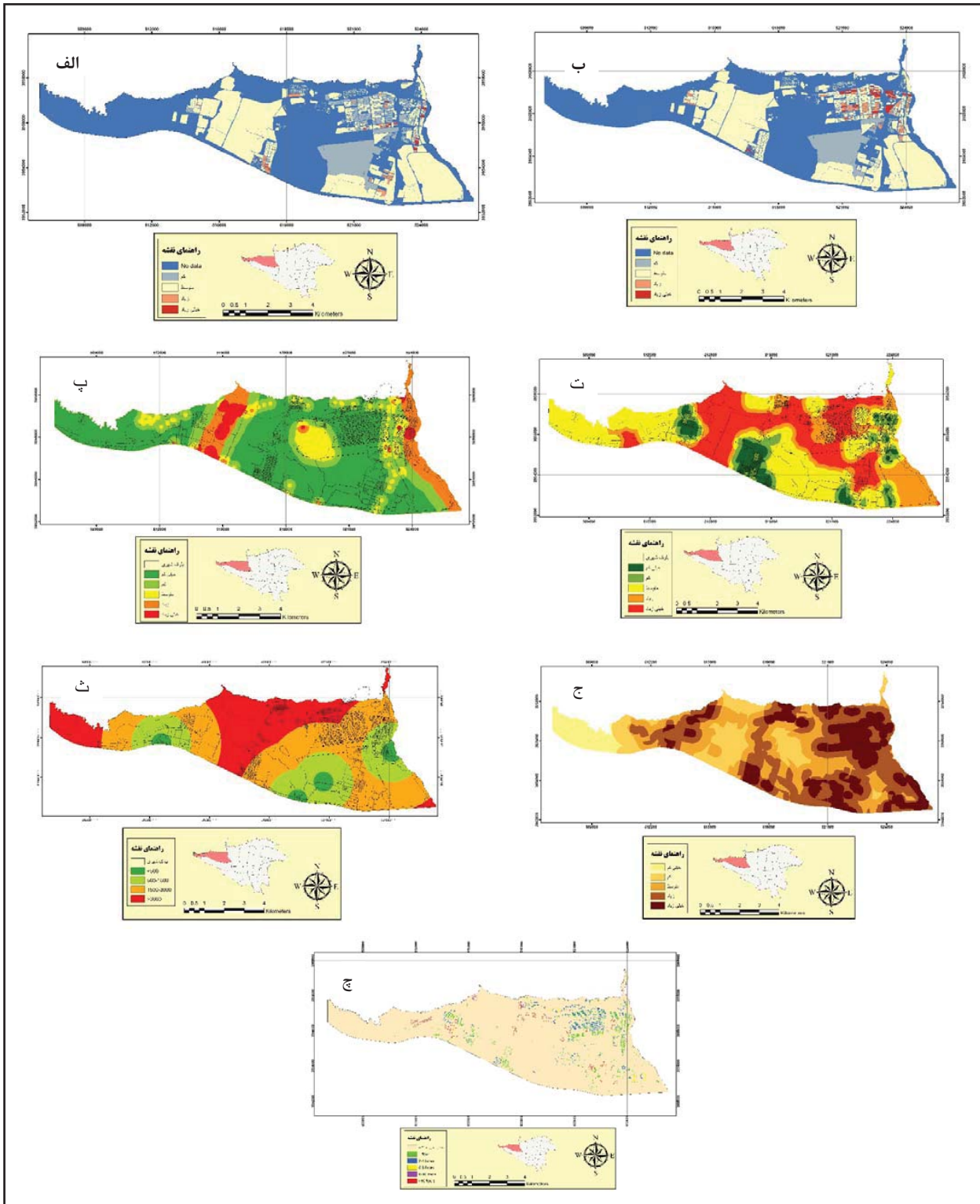
با استفاده از نقشه‌های فاصله قطعات از بیمارستان، آتش‌نشانی، مراکز امدادی، درمانگاه؛ و با احتساب وزن هر کدام و زیر معیارهایشان (جدول ۲)، نقشه آسیب‌پذیری منطقه بر اساس ۴ معیار ذکر شده، تهیه گردید و میزان خطر آن‌ها با توجه به دسترسی، به ۵ طبقه خطر خیلی

(جدول ۲) و با احتساب وزن هریک، به‌دست آمده است. بر اساس وزن‌های به‌دست آمده قدمت ساختمان‌ها به ترتیب از مقاومت کمتری برخوردارند: کمتر از ۵ سال، ۵ تا ۱۰ سال، ۱۰ تا ۲۰ سال، ۲۰ تا ۴۰ سال، بیش از ۴۰ سال. در حدود ۵۸٪ از سطح منطقه ساختمان‌سازی انجام نشده است که یا این فضاها به فضاهای سبز و راه‌ها و ... تعلق دارند یا در دست احداث هستند. نزدیک به ۳۲٫۵٪ بلوک‌های ساختمانی منطقه از نظر قدمت ساخت با خطر نسبی کم هستند، نزدیک به ۷٪ ساختمان‌های با خطر نسبی متوسط، حدود ۱۷٪ درصد از ساختمان‌ها با خطر نسبی زیاد و نزدیک به ۱٪ خطر نسبی خیلی زیاد می‌باشند که آن‌هم بیشتر در شهرک‌ها و محله‌های قدیمی مشاهده می‌شود (شکل ۳، ب).

بر اساس پژوهش انجام شده و همچنین نقشه آسیب‌پذیری به‌دست آمده مشخص می‌شود، ساختمان‌های با قدمت ۵ تا ۱۰ سال بیشترین فراوانی را در منطقه داشته و بعد از آن ۱۰ تا ۲۰ سال، بیشترین فراوانی را دارند، به‌طور کلی این منطقه تازه‌ساخت است و از نظر سن ساختمان‌ها، قدمت زیادی را ندارند به‌ویژه در قسمت‌های غربی و شمال غربی منطقه که در حال احداث هستند. آسیب‌پذیری از نظر قدمت در بلوک‌های قدیمی‌تر منطقه مانند محله‌های دهکده المپیک و زیبادشت و پیکان شهر بیشتر است.

تولید نقشه بر اساس تفکیک تعداد طبقات ساختمان‌های موجود در این نقشه (شکل ۳، ج)، ساختمان‌های منطقه را با توجه به تعداد طبقات طبقه‌بندی کردیم. و با طیف رنگی آن‌ها را نشان داده‌ایم. داده‌های ساختمانی بسیار دقیق می‌باشند و به‌طور دقیق هریک از ساختمان‌های موجود در منطقه را نشان می‌دهد نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که ۴۵٪ ساختمان‌ها به‌صورت یک طبقه ایی و یا ویلایی هستند. نزدیک به ۳۴٪، ۲ الی ۴ طبقه‌ای می‌باشند. بیش از ۱۰٫۵٪ ۵ الی ۸ طبقه‌ای می‌باشند. ۸٪ از ساختمان‌ها ۹ الی ۱۰ طبقه‌ای هستند.

حدود ۲٫۳٪ ساختمان‌ها برج‌های بالاتر از ۱۰ طبقه هستند. در توسعه‌های اخیر شاهد افزایش ساختمان‌های بلند و برج‌ها در روی پهنه گسل فعال شمال تهران در شمال منطقه ۲۲ هستیم، درحالی‌که مطابق با آیین‌نامه کشورهای توسعه‌یافته مانند نیوزلند، ساخت بناهای مرتفع (۸ به بالا) در پهنه گسلی ممنوع است.



شکل ۳. الف) نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه در برابر زلزله با توجه به جنس مصالح ساختمانی، ب) نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه با توجه به قدمت ساختمان‌ها، پ) نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه با توجه به دوری (فاصله) از کاربری‌های خطرناک، ت) نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه بر اساس نزدیکی به فضاهای باز (ث) نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه با توجه به دوری (فاصله) از کاربری‌های ضروری، ج) نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه با توجه معیار به عرض شبکه معابر، چ) نقشه تفکیک تعداد طبقات ساختمان‌ها.

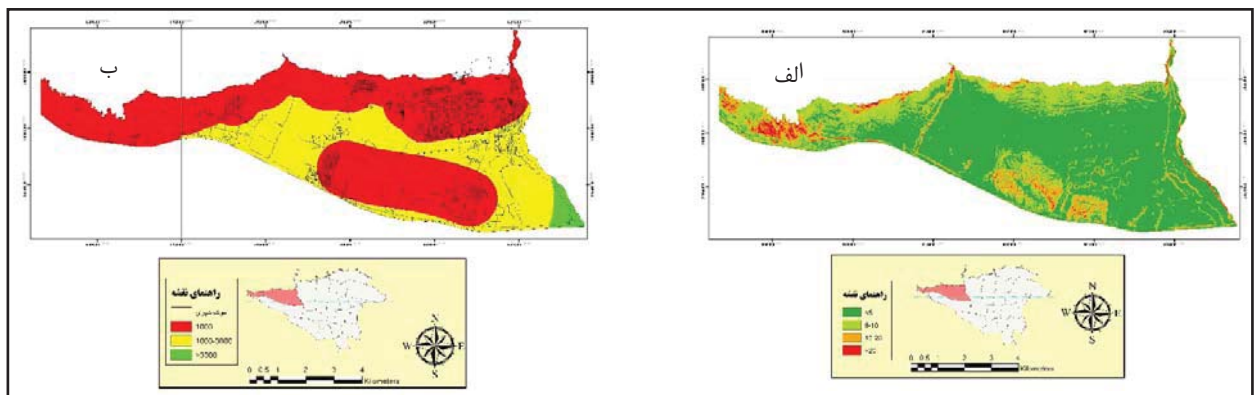
در نتیجه به طور نسبی نسبت به بقیه مکان‌ها، بیشترین آسیب پذیری را دارد و پس از آن به ترتیب قسمت‌هایی از شمال و جنوب منطقه که منطبق با شهرک‌های آزادشهر و پیکان شهر می‌شوند به لحاظ دسترسی و عرض معابر به طور نسبی آسیب پذیر می‌باشند.

تولید نقشه طبقات شیب

نقشه شیب منطقه از DEM ۱,۵ متر (با دقت بالا) تهیه شده است. با توجه به شکل ۴، الف ۶۷٪ از مساحت منطقه در طبقه شیب کمتر از ۵٪، حدود ۲۲٪ در طبقه شیب ۵ تا ۱۰ درجه، ۸٪ در طبقه شیب ۱۰ تا ۲۰ درجه و ۱,۶٪ در طبقه شیب بالاتر از ۲۰ درجه قرار دارد که بیشتر قسمت‌هایی از شمال غربی منطقه و بخش‌هایی از پارک جنگلی چیتگر را دربر می‌گیرد.

کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده است. با توجه به (شکل ۳، ث) در شرایط فعلی منطقه، خدمات امدادی و یا دسترسی به کاربری‌های ضروری بیشتر در شمال شرقی منطقه متمرکز است، در صورتی که برنامه‌ریزان باید به این نکته هم توجه کافی داشته باشند که این منطقه به عنوان قطب گردشگری تهران نیاز به خدمات امدادی بیشتری هم دارد به طوری که توزیع آن‌ها در سطح منطقه مناسب باشد.

آسیب پذیری منطقه با توجه معیار به عرض شبکه معابر این نقشه با احتساب وزن هر یک از زیر معیارهای موجود در جدول شماره ۲ و روی هم گذاری آن‌ها به دست آمده است. با توجه به نقشه مشاهده می‌شود قسمت شمال شرقی منطقه هم‌عرض‌ترین معابر و

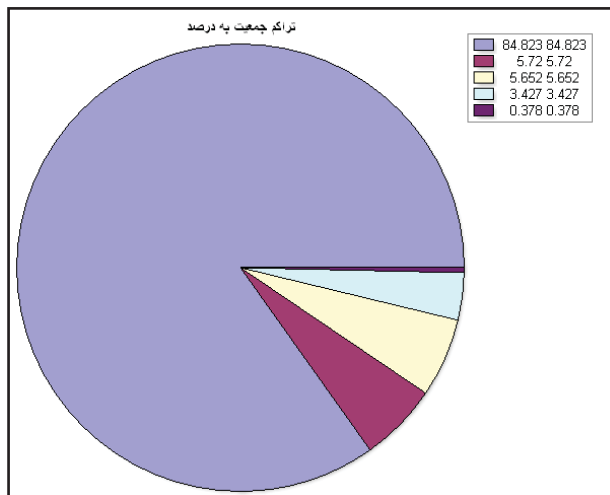


شکل ۴. الف) نقشه طبقات شیب بر حسب درجه. ب) نقشه فاصله از گسل

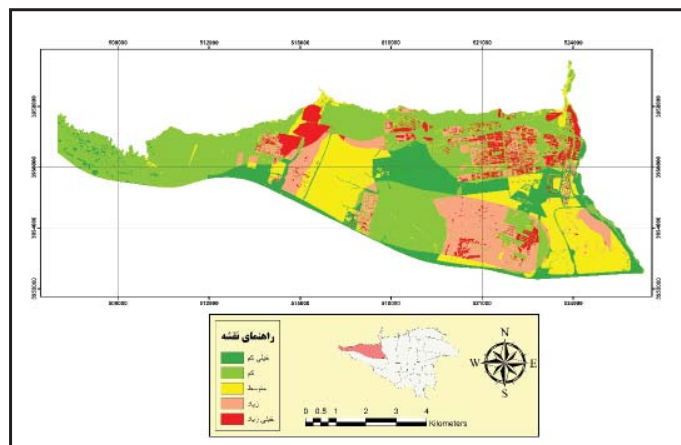
تولید نقشه نهایی آسیب پذیری فیزیکی منطقه ۲۲ تهران تا این مرحله نقشه‌های مربوط به آسیب پذیری منطقه با توجه به معیارها و زیر معیارهایشان به طور جداگانه تولید شدند، حال در محیط Arc GIS و با استفاده از ابزاری بنام Raster calculator تمامی این نقشه‌ها با احتساب وزنشان روی هم گذاری می‌شوند. شکل نقشه نهایی آسیب پذیری فیزیکی تولید شده با توجه به معیارهای پژوهش در منطقه ۲۲ تهران است.

با عنایت به جدول در پژوهش حاضر مشخص شد، حدود ۱۵,۵٪ سطح منطقه به طور نسبی در زون آسیب پذیری خیلی کم می‌گیرد، حدود ۴۱٪ در زون آسیب پذیری کم، حدود ۱۹,۳٪ در زون آسیب پذیری متوسط، ۱۷,۴٪ در زون آسیب پذیری زیاد و ۶,۷٪ در زون با آسیب پذیری بسیار زیاد قرار گرفت. قسمت‌های آسیب پذیر منطقه بیشتر منطبق با بافت‌های

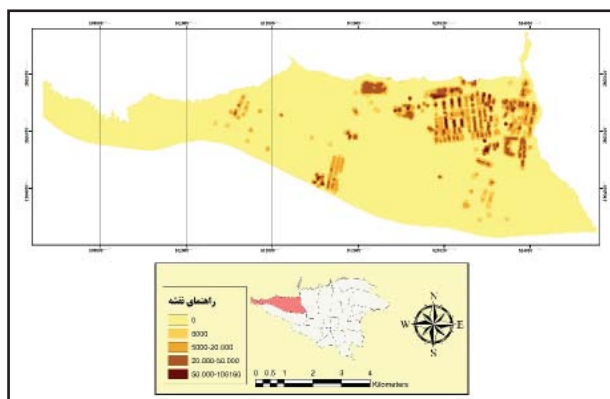
تولید نقشه آسیب پذیری با توجه فاصله از گسل ساخت‌وساز در مناطق حوزه نزدیک گسل، اهمیت ویژه‌ای دارد، با توجه به عبور گسل شمال تهران (با توان لرزه‌زایی بزرگای بیش از ۷) از شمال منطقه و مجموعه گسل‌های چیتگر در قسمت جنوبی و همچنین با توجه به حریم ایمنی ساخت‌وساز در نزدیکی گسل لرزه زا، که این حریم برای گسل شمال تهران از بیشترین ۲/۲ کیلومتر تا کمترین ۱ کیلومتر (مغرب، زارع، ۱۳۸۸) محاسبه شده است؛ کل منطقه مورد نظر تحت تأثیر خطر زمین‌لرزه است و زون کم خطر وجود ندارد، در این طبقه‌بندی به صورت نسبی پرخطرترین زون ساخت‌وساز را بر اساس نزدیک‌ترین فاصله از گسل مشخص کرده‌ایم چراکه جنبش زمین در نزدیک گسل خصوصیات ویژه‌ای دارد که با حرکت آن در مناطق دور از گسل متفاوت است. محدوده مورد مطالعه به ۳ دسته از نظر فاصله از گسل تقسیم شده است.



نمودار ۲. تراکم جمعیت منطقه ۲۲ تهران



شکل ۵. نقشه آسیب پذیری فیزیکی منطقه ۲۲ تهران در برابر زمین لرزه



شکل ۶. نقشه تراکم جمعیت

جدول ۳. میزان آسیب پذیری و مساحت، درصد آن‌ها در منطقه

میزان آسیب پذیری	مساحت (هکتار)	درصد
خیلی کم	۹۴۷,۱۱۴۴۶۸	۱۵,۵۶۶۹۶۶
کم	۲۴۸۹,۲۰۶۴۸۲	۴۰,۹۱۳۱۰۳
متوسط	۱۱۷۷,۴۷۳۳۱۵	۱۹,۳۵۳۱۹
زیاد	۱۰۶۰,۵۷۲۹۶۷	۱۷,۴۳۱۷۹۲
خیلی زیاد	۴۰۹,۷۶۳۰۷۱	۶,۷۳۴۹۴۹

تولید نقشه تراکم جمعیت

نقشه زیر تراکم جمعیت را برحسب کیلومتر مربع در منطقه ۲۲ تهران نشان می‌دهد. حدود ۸۴٫۸٪ از منطقه خالی از جمعیت است، ۵٫۷٪ از منطقه تراکم جمعیت ۵۰۰۰ نفری دارد، حدود ۵٫۶٪ تراکمی بین ۲۰،۰۰۰ تا ۵۰،۰۰۰، حدود ۳٫۴٪ از سطح منطقه تراکمی بین ۲۰،۰۰۰ تا ۵۰،۰۰۰ و کمتر از ۱٪ از سطح منطقه تراکمی بالای ۵۰ هزار نفر دارد. اگرچه جمعیت ساکن در منطقه، نزدیک به ۱۲۹۰۰۰ نفر برآورد شده است اما این تنها بخشی از جمعیت سکنه دائمی در منطقه بشمار می‌آید و جمعیت حاضر در منطقه در ساعات ویژه و روزهای تعطیلی با توجه ویژه به تبدیل شدن منطقه به قطب گردشگری تهران، برای گذراندن اوقات فراغت خود، بالاتر از این رقم است.

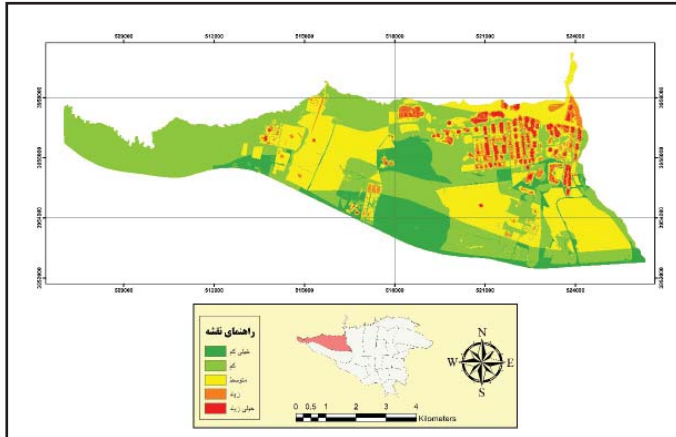
تهیه نقشه ارزیابی مخاطرات ناشی از زلزله (ریسک زمین لرزه)

نقشه شتاب طیفی زمین

نقشه حاضر، شکل شتاب طیفی روی سطح زمین (PGA) برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله است که بر اساس مطالعات لرزه‌خیزی و تحلیل خطر زلزله، توسط دکتر مهدی زارع و همکاران برای شهر تهران به دست آمده است. در ادامه سعی شده به طور خلاصه و ساده شرحی از چگونگی تهیه نقشه مذکور داده شود؛

به طور کلی تحلیل احتمالی خطر (PGA) چهار مرحله را در بردارد؛ شناخت چشمه‌های لرزه‌زا (تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری) و به دست آوردن رابطه تکرار بزرگا و نیز میانگین نرخ باز رخداد برای هر چشمه، انتخاب رابطه کاهندگی مناسب (برای تهیه این نقشه از ۴ رابطه کاهندگی استفاده شده است و در نهایت با استفاده از درخت منطقی مناسب‌ترین آن انتخاب شد) و در انتها محاسبه منحنی خطر

جمعیت، پرمخاطره‌ترین و ریسکی‌ترین مناطق به شمار می‌روند و گوشه شمال غربی منطقه کم ریسکی‌ترین محدوده است.



شکل ۸. میزان ریسک زلزله، مساحت و درصد آن‌ها در منطقه

جدول ۴. میزان مخاطرات ناشی از زلزله (ریسک)، مساحت و درصد آن‌ها در منطقه

میزان مخاطرات ناشی از زلزله (ریسک)	مساحت (هکتار)	درصد
خیلی کم	۲۸۹۹,۰۳۳۱۸۳	۴۷,۷۱۷۴۸۷
کم	۱۷۰۰,۶۴۷۵۳۱	۲۷,۹۹۲۳۰۷
متوسط	۱۱۰۲,۱۸۵۳۶۸	۱۸,۱۴۱۷۴۳
زیاد	۲۵۸,۰۶۹۶۷۲	۴,۲۴۷۷۷۳
خیلی زیاد	۱۱۵,۴۷۴۷۱۷	۱,۹۰۰۶۹

نتیجه‌گیری

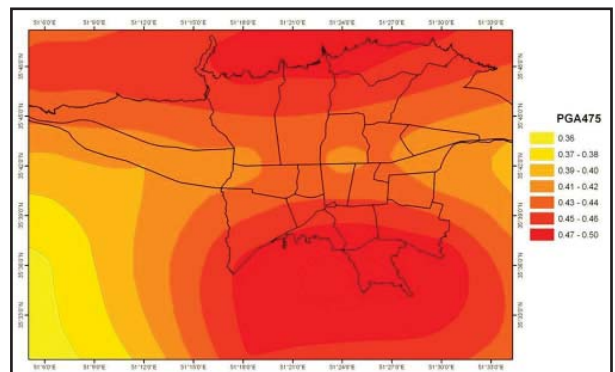
مهم است توجه شود که نتایج پژوهش، فقط شاخص یا بیانگری از توانایی نسبی ریسک زلزله است، بنابراین حتی مناطقی که به‌عنوان "خطر خیلی کم" طبقه‌بندی شده‌اند، نمی‌توانند بی‌تفاوت و آرام بمانند. از این رو بسیار مهم است به خاطر بسپاریم که سراسر شهر تهران نسبت به خطرات زلزله آسیب‌پذیر است و منطقه تازه‌ساخت ۲۲ جدا از آن نیست، با توجه به نتایج حاصل از پژوهش دریافتیم:

- ۱- با توجه به عبور گسل لرزه‌زای شمال تهران از شمال منطقه و مجموعه گسل‌های چیتگر در جنوب، منطقه ۲۲ تماماً تحت تأثیر خطر زمین‌لرزه است و زون کم‌خطری وجود ندارد.
- ۲- رشد این منطقه عموماً در شمال شرقی هست و ساختمان‌ها در این نواحی تا یک کیلومتری از گسل لرزه‌زای شمال

ساختگاه. (باید توجه نمود که عدم قطعیت در هر کدام از مراحل فوق وجود دارد.)

این مطالعه بر اساس اطلاعاتی که از گسل‌ها و چشمه‌ها به‌دست‌آمده بود و همچنین از داده‌های زلزله‌های موجود و نیز پارامترهای لرزه‌خیزی حاصل از این داده‌ها انجام گرفته است. در نتیجه با بررسی‌های دقیق‌تر بر روی چشمه‌های لرزه‌زا در منطقه و همچنین استفاده از داده‌های دقیق‌تر دستگاهی و تاریخی (به‌عنوان مثال انجام مطالعات دیرینه‌شناسی گسل‌ها) و در نتیجه محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی مناسب‌تر، شکل پهنه‌بندی انجام گرفته و نیز مقادیر آن، قابل تغییر است.

این نقشه نشان‌دهنده مقدار شتاب طیفی سطح زمین در شهر تهران است که این مقدار در شمال غرب تهران (منطقه ۲۲) از ۰,۴۱g در جنوب منطقه تا بیشترین آن ۰,۴۶g در شمال منطقه متغیر است. بنابراین بیشینه شتاب در قسمتی از شمال شرقی منطقه و لازم به ذکر است که دقیقاً منطبق بر بافت شهری منطقه است که جمعیت و ساختارهای بیشتری را به خود اختصاص داده است.



شکل ۷. نقشه تحلیل خطر (شتاب طیفی زمین)، منبع: زارع، ۲۰۰۷

تولید نقشه ریسک زلزله منطقه ۲۲ تهران

در محیط Arc GIS و با استفاده از ابزاری بنام Raster calculator، از ضرب سه نقشه خطر زمین‌لرزه * آسیب‌پذیری فیزیکی * جمعیت، نقشه زیر حاصل شد.

با توجه به این نقشه پرمخاطره‌ترین نقاط منطبق با نقاط جمعیتی در منطقه مشخص می‌شود، بنابراین قسمت‌هایی از شمال و شمال شرقی منطقه و شهرک‌های مسکونی صنعتی شریف و قسمت‌هایی از پیکان شهر و آزادشهر با توجه به سه عامل خطر و آسیب‌پذیری و

تهران توسعه یافته‌اند که ریسک بالایی را به همراه دارد. مابقی شهرک‌ها به صورت پراکنده احداث شده‌اند.

۳- با توجه به نقشه تحلیل شتاب طیفی منطقه دریافتیم، شمال شرقی منطقه بالاترین شتاب بالای جنبش زمین (۰٫۴۶g) را در منطقه دارد که بازهم دلیل آشکاری برای پرخطر بودن آن است.

۴- از نظر آسیب‌پذیری ساختمانی، می‌توان گفت منطقه از نظر قدمت و نوع مصالح ساختمان‌ها آسیب‌پذیری کمتری نسبت به دیگر مناطق تهران دارد و بیشتر ساختمان‌ها از بتن و فلز و با فراوانی قدمت ۵ تا ۱۰ سال ساخت است و آن به علت جدید بودن منطقه است و اما بلوک‌های با آسیب‌پذیری بالا به‌طور پراکنده در منطقه گسترده شده‌اند.

۵- از نظر تعداد طبقات ساختمانی، ساختمان‌های یک طبقه تا ۸ طبقه در حال حاضر بیشترین فراوانی را دارد که در توسعه‌های اخیر ساخت‌وسازهای بیش از ۱۰ طبقه (برج‌سازی) رو به گسترش است.

۶- منطقه دارای فضاهای باز بسیار زیادی است و از این نظر آسیب‌پذیری را در بعد از وقوع سانحه کمتر می‌کند اما به دلیل گسترش آن‌ها در حاشیه‌های منطقه به‌طور نسبی دور از قطعات قرار دارند و قطعات واقع در شمال شرقی برای کاهش ریسک نیاز به فضای خالی و سبز در کنارشان دارند.

۷- دکل‌های فشار برق قوی تقریباً دورتادور منطقه پراکنده و به کاربری‌های مسکونی نزدیک است. با توجه به معیار فاصله از کاربری‌های پرخطر بیشترین مخاطره‌ای که این منطقه را در هنگام وقوع زلزله تهدید می‌کند، وجود دکل‌های برق فشارقوی که اکثر آن‌ها در ارتفاعات درروی شیب‌های تند و نزدیک به برج‌های مسکونی قرار گرفته‌اند، سپس مسیل‌های موجود در منطقه است، در این منطقه ۲ مسیل با پتانسیل سیلابی شدن قرار دارد که می‌تواند به کاربری‌های اطراف آسیب وارد کند و بعد از آن جایگاه‌های سوخت و دریاچه خلیج فارس است که به گفته پژوهشگرانی چون دکتر آخانی، این دریاچه، پتانسیل نشست را دارد.

۸- شبکه معابر در منطقه هنوز تثبیت نشده است و تغییرات زیادی دارد، عرض شبکه معابر موجود در این منطقه از ۴ متر (بیشتر

در شهرک‌ها) تا ۳۵ متر (در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها)، متغیر است در کل این منطقه از نظر عریض بودن معابر نسبت به دیگر مناطق تهران که در آن‌ها معابر به عرض ۱٫۵ متر هم دیده می‌شود، وضعیت خوبی دارد و در این پژوهش آسیب‌پذیری عرض معبر به‌طور نسبی نسبت به خود منطقه سنجیده شده است.

۹- وضعیت آسیب‌پذیری منطقه به‌طور کلی با توجه به منطقه ۹ معیار و زیر معیارهای ارزیابی شده است، در شمال، شمال شرقی، شهرک‌های غربی و جنوبی منطقه بیشتر است و قسمت‌های مرکزی و قسمتی از جنوب و غرب منطقه به دلایل زیر کمترین آسیب‌پذیری را دارند: وجود دریاچه مصنوعی در مرکز که آسیب‌پذیری‌های یک محیط شلوغ شهری را ندارد، وجود پارک جنگلی چیتگر در جنوب و عدم توسعه و ساخت‌وساز و پارک‌های جنگلی وردآورد و... در حاشیه غربی.

۱۰- جمعیت در منطقه در سرشماری سال ۹۰، ۱۲۸،۹۵۸ نفر است که با توجه به گسترش ساخت‌وسازها در قالب برج و توسعه منطقه بسیار بیشتر خواهد شد، در حال حاضر بیشترین تراکم جمعیت در شمال شرقی منطقه است.

۱۱- به‌طور کلی با در نظر گرفتن آسیب‌پذیری و خطر و جمعیت در منطقه مشخص می‌شود ریسک مخاطرات ناشی از زلزله منطبق با نقاط جمعیتی در منطقه است و هرچه از پهنه‌های با جمعیت بالا دور می‌شویم ریسک (مخاطرات ناشی از زلزله) کمتر می‌شود.

۱۲- نکته‌ای که در این پژوهش نمود می‌یابد این است که با نگاهی به نقشه تهیه‌شده مشخص می‌شود که کدام قسمت‌ها تاب‌آوری فیزیکی بیشتری دارند و کدام کمتر. هر جا که آسیب‌پذیری فیزیکی بیشتر تاب‌آوری فیزیکی آن نیز، کمتر می‌شود.

پیشنهادها

با توجه به مسائل عنوان‌شده در نتایج ارزیابی‌ها، مهم‌ترین اصول و رهیافت‌های کاهش ریسک در محدوده در قالب موارد ذیل مطرح می‌شود:

۱- با توجه به اینکه روند ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تهران رو به افزایش است، یکی از مهم‌ترین مطالعات مقدماتی برای جلوگیری از آسیب‌پذیری لرزه‌ای رعایت حریم گسل است.

تهران توسعه یافته‌اند که ریسک بالایی را به همراه دارد. مابقی شهرک‌ها به صورت پراکنده احداث شده‌اند.

۳- با توجه به نقشه تحلیل شتاب طیفی منطقه دریافتیم، شمال شرقی منطقه بالاترین شتاب بالای جنبش زمین (۰٫۴۶g) را در منطقه دارد که بازهم دلیل آشکاری برای پرخطر بودن آن است.

۴- از نظر آسیب‌پذیری ساختمانی، می‌توان گفت منطقه از نظر قدمت و نوع مصالح ساختمان‌ها آسیب‌پذیری کمتری نسبت به دیگر مناطق تهران دارد و بیشتر ساختمان‌ها از بتن و فلز و با فراوانی قدمت ۵ تا ۱۰ سال ساخت است و آن به علت جدید بودن منطقه است و اما بلوک‌های با آسیب‌پذیری بالا به‌طور پراکنده در منطقه گسترده شده‌اند.

۵- از نظر تعداد طبقات ساختمانی، ساختمان‌های یک طبقه تا ۸ طبقه در حال حاضر بیشترین فراوانی را دارد که در توسعه‌های اخیر ساخت‌وسازهای بیش از ۱۰ طبقه (برج‌سازی) رو به گسترش است.

۶- منطقه دارای فضاهای باز بسیار زیادی است و از این نظر آسیب‌پذیری را در بعد از وقوع سانحه کمتر می‌کند اما به دلیل گسترش آن‌ها در حاشیه‌های منطقه به‌طور نسبی دور از قطعات قرار دارند و قطعات واقع در شمال شرقی برای کاهش ریسک نیاز به فضای خالی و سبز در کنارشان دارند.

۷- دکل‌های فشار برق قوی تقریباً دورتادور منطقه پراکنده و به کاربری‌های مسکونی نزدیک است. با توجه به معیار فاصله از کاربری‌های پرخطر بیشترین مخاطره‌ای که این منطقه را در هنگام وقوع زلزله تهدید می‌کند، وجود دکل‌های برق فشارقوی که اکثر آن‌ها در ارتفاعات درروی شیب‌های تند و نزدیک به برج‌های مسکونی قرار گرفته‌اند، سپس مسیل‌های موجود در منطقه است، در این منطقه ۲ مسیل با پتانسیل سیلابی شدن قرار دارد که می‌تواند به کاربری‌های اطراف آسیب وارد کند و بعد از آن جایگاه‌های سوخت و دریاچه خلیج فارس است که به گفته پژوهشگرانی چون دکتر آخانی، این دریاچه، پتانسیل نشست را دارد.

۸- شبکه معابر در منطقه هنوز تثبیت نشده است و تغییرات زیادی دارد، عرض شبکه معابر موجود در این منطقه از ۴ متر (بیشتر

این بین افراد فرصت‌طلب و یا واقعاً محتاج و رانده‌شده یا به عبارتی پرت‌شده از تهران، دست به غارت و ایجاد ناامنی در منطقه بزنند.

۱۰- تأثیر مهاجرت در منطقه به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر شهر تهران باید مورد بررسی قرارگیرد؛ در این خصوص دو گزینه کلی مطرح است: نخست آنکه افزایش جمعیت در منطقه تا سقف یک‌میلیون نفر باعث افزایش جمعیت شهر تهران می‌گردد و گزینه بعدی به مهاجرت درون‌شهری از شهر تهران به منطقه مورد مطالعه اشاره دارد.

۱۱- نکته مهم دیگر این است که نقشه آسیب‌پذیری و ریسک زمین‌لرزه در محدوده مورد مطالعه با توجه به وضع موجود تهیه‌شده است و در توسعه‌ها و ساخت‌وسازهای جدید و دست‌کاری‌ها در فضا و طبیعت باز منطقه، آسیب‌پذیری و ریسک هم به تبعیت از آن‌ها تغییر می‌کند.

دیگر آنکه آسیب‌پذیری‌ها و ریسک در این منطقه از تهران بیش از دیگر مناطق متغیر است، زیرا منطقه هنوز به ثبات خود نرسیده و همچنان در حال توسعه است بنابراین نیاز به پایش، پیگیری و ارزیابی به‌طور مکرر دارد.

منابع

۱. دلبری، سیدعلی، داوودی، سیدعلیرضا (۱۳۹۱)، کاربرد تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در رتبه بندی شاخص های ارزیابی جاذبه های توریستی، نشر تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی، تابستان ۱۳۹۱، شماره ۲، صفحه - از ۵۷ تا ۷۹. بازیابی از: <http://jamlu.liau.ac.ir/article-1-408-fa.pdf>
۲. زارع، مهدی (۱۳۹۴)، گزارش برنامه سازمان ملل برای کاهش ریسک سانحه (چهارچوب سندای ۲۰۱۵-۲۰۳۰)، سایت خبری. بازیابی از: <https://www.khabaronline.ir/detail/409669/weblog/zare>
۳. زارع، مهدی (۲۰۰۷)، گزارش تحلیل خطر چهارگوشه شهر تهران، پژوهشگاه مهندسی زلزله شناسی
۴. زارع، مهدی (۱۳۹۳)، بررسی خطر و ریسک زلزله در محدوده توسعه شمالغرب شهر تهران در پهنه گسل شمال تهران، اولین

این در حالی است که هر ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ سال احتمال بازگشت زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷ در این گسل وجود دارد. در ۷۰۰۰ سال گذشته دو رخداد با چنین بزرگایی برای این گسل اندازه‌گیری شده است. (زارع، ۹۵)

۲- تعدیل و کاهش روند شتابان افزایش تراکم سکونت در محدوده و حفظ و گسترش فضاهای ساخته نشده و باز به‌ویژه برای مدیریت بحران.

۳- جایگزینی اولویت مند و تدریجی کاربری‌ها و تأسیسات خطرزا حتی‌الامکان و ایمن‌سازی فنی و حائل نمودن و رعایت حرایم آن‌ها در صورت غیرقابل‌انتقال و حذف بودن.

۴- به‌روزرسانی استانداردها و آیین‌نامه‌های محیط زیستی، ساختمان‌سازی و شهرسازی به‌منظور حمایت از کاهش ریسک زلزله و استقرار ارزیابی‌های اخیر ریسک.

۵- با عنایت به اینکه محدود منطقه ۲۲ شهرداری تهران یک محدود شهری جدید بوده و سابقه سکونت در آن نسبت به سایر مناطق شهر تهران از قدمت کمتری برخوردار است. باید جلوگیری از افزایش تراکم سکونت و فعالیت‌های پرازدحام و پرجمعیت و مهم در اولویت نخست و کاهش و انتقال آن در اولویت بعدی از قسمت‌های دارای مخاطرات و آسیب‌پذیری بیشتر به کمتر باشد.

۶- شمال شرقی منطقه باید از لحاظ بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها مورد توجه بیشتری قرار بگیرد.

۷- در نظر گرفتن و حفظ گزینه‌های جایگزین و شبکه‌های پشتیبان دسترسی و امداد رسانی قابل‌اطمینان برای قسمت‌های با خطر در معرض قرار داشتن بیشتر.

۸- هر نوع احداث ساختمان بلند و توسعه شهر، به‌ویژه انبوه‌سازی و برج‌سازی، در نواحی با خطر بالای زمین‌لرزه (پهنه‌های گسلی) به توسعه مناطق با ریسک بالا می‌افزاید، بنابراین باید از تجمع و گسترش انبوه‌سازی به هر طریق ممکن جلوگیری شود.

۹- با توجه به وسعت این منطقه و همچنین به‌عنوان قطب گردشگری، نیاز است امنیت و ایمنی بالاتری را در آن لحاظ شود، این مسئله به ایمنی بعد از رخداد زلزله نیز اشاره دارد که حاشیه‌نشینان از اطراف می‌توانند به‌راحتی وارد منطقه شده و در

- modelling. *Natural Hazards*, 58(3), 1169-1192: <http://sci-hub.tw/10.1007/s11069-011-9721-z>
10. Frolova, N. I., Larionov, V. I., Bonnin, J., Sushchev, S. P., Ugarov, A. N., & Kozlov, M. A. (2017). Seismic risk assessment and mapping at different levels. *Natural Hazards*, 88(1), 43-62: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_4168.pdf
11. S.k Nath, M. D. Adhikari, N. Devaraj, S.K. Maiti (2015), seismic vulnerability and risk assessment of Kolkata city, india, *Natural hazards and earth system science*: <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/15/1103/2015/nhess-15-1103-2015.pdf>
12. Saaty, A., 1986. Axiomatic foundation of analytical, hierarchy process, *Manage. Sci.*, 32(7): 841-85: https://www.researchgate.net/publication/227445766_Axiomatic_Foundation_of_the_Analytic_Hierarchy_Process
13. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) Secretariat Evaluation, 2009: https://www.unisdr.org/files/12659_UNISDRevaluation2009finalreport.pdf
14. United nation human settlements programme (UN-Habitat) - Sri Lanka (2015), disaster resilient city development strategies for four cities in the northern and eastern provinces of Sri Lanka, Australian government, department of foreign affairs and trade.
15. www.nosazi.tehran.ir
16. www.amar.org.ir
17. www.khabaronline.ir
- همایش علوم جغرافیایی ایران. بازیابی از:
https://www.civilica.com/Paper-ICGS01-ICGS01_236.html
۵. زارع، مهدی (۱۳۹۴)، برآورد خطر و ریسک مخاطرات چهارگانه (زلزله، زمین لغزش، سیل و فرونشست) در شهر تهران، هفتمین کنگره بین المللی سلامت در حوادث و بلایا. بازیابی از:
<http://tdmmo.tehran.ir/ArticleId/8760>
۶. زبردست، الف، ۱۳۸۰، مجله علمی پژوهشی هنرهای زیبا، شماره ۱۰، دانشگاه تهران، صص ۱۳-۲۱
<http://www.sid.ir/FileServer/JF/53313801001>
۷. مجرب، مسعود، زارع، مهدی (۱۳۸۸)، تعیین حریم مهندسی گسل شمال تهران، سال چهارم، شماره ۱، بهار
http://pdfarchive.ir/pack-12/Do_6002513880101.pdf
۸. مهندسین مشاور شارستان (۱۳۸۲)، بررسی مسائل توسعه شهری شناخت مقدماتی منطقه؛ میحث اول مطالعات کاربری زمین، شهرداری تهران معاونت شهرسازی و معماری، ویرایش سوم مرداد ماه ۱۳۸۲
9. Schmidt, J., Matcham, I., Reese, S., King, A., Bell, R., Henderson, R., & Heron, D. (2011). Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk