Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.13, Issue 40, June 2024

Earthquake Damages Assessment in the Northern Tabriz (Regions 1, 5 and 10)

Ebrahim Sami[1*], Marziyeh Esmaeilpour[2], Zahra Abodollahi[3]

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Geography, Faculty of Human Sciences, University of Maragheh, Maragheh, Iran
2. Assistant Professor of Geography, Faculty of Human Sciences, University of Maragheh, Maragheh, Iran
3. MA in Geography and Urban Planning, Faculty of Human Sciences, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 03 June 2023
Revised: 11 November 2023
Accepted: 04 December 2023

Keywords:
Seismic vulnerability, Geographic Information System (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Northern regions of Tabriz.

ABSTRACT

In the present study, the seismic vulnerability of the northern Tabriz (regions 1, 5, and 10) has been assessed spatially. The evaluation process goes through five distinct phases: spatial evaluation of criteria affecting seismic vulnerability, fuzzification, determination of criteria weight using AHP, integration of all maps for evaluation criteria, and finally, damage coefficient calculation. The results of the AHP model indicate that distance to the fault residential density (with a weight of 0.229) and population density (with a weight of 0.162) are the most important criteria affecting the seismic vulnerability of the northern regions of Tabriz. Seismic vulnerability zoning shows that almost all the northern regions of the city have high to very high vulnerability to earthquake hazards. More than 16.6% and 5.6% of the study regions are located in the high and very high seismic vulnerability class, respectively. These spaces mainly include residential land uses in the western neighborhoods of Region 1 and the central neighborhoods of Region 10. Based on the seismic vulnerability coefficient for an earthquake with a magnitude of 10, the amount of destruction in these regions will be between 65 and 100 percent. Proximity to the great fault of Tabriz, high population and residential density, lack of urban open spaces, a significant part of fine-grained buildings, worn-out urban texture, and marginalization are among the reasons for the high seismic vulnerability of the western parts of Region 1 and the central parts of region 10.

Cite this article: Sami, E., Esmaeilpour, M., & Abodollahi, Z. (2023). Earthquake Damages Assessment in the Northern Tabriz (Regions 1, 5 and 10). Journal of Natural Environmental Hazards, 13(40), 1-22. DOI: 10.22111/jneh.2023.45844.1968

© Ebrahim Sami*
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2023.45844.1968

* Corresponding Author Email: sami@maragheh.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۰، تیر ۱۴۰۳

ارزیابی خسارت‌های ناشی از زلزله در مناطق شمال شهر تبریز (مناطق ۱، ۵ و ۱۰)

ابراهیم سامی[1*]، مرضیه اسمعیل‌پور[2]، زهرا عبداللهی[3]

۱. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه مراغه (نویسنده مسئول)
۲. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه مراغه
۳. کارشناس ارشد، دانشگاه مراغه

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۰۹/۱۳

واژه‌های کلیدی:
آسیب‌پذیری لرزه‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، مناطق شمالی تبریز.

چکیده

در این پژوهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز (مناطق ۱، ۵ و ۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفته است. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در طی پنج مرحله شامل: ارزیابی مکانی معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری، فازی‌سازی معیارهای ارزیابی، استخراج وزن معیارها بااستفاده از مدل AHP، روی‌هم‌گذاری و ترکیب معیارها و در نهایت محاسبه ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر به انجام رسید. نتایج حاصل از مدل AHP نشان داد که معیارهای فاصله از گسل و تراکم مسکونی هر دو با ضریب وزنی ۰/۲۲۹ و معیار تراکم جمعیت با ضریب وزنی ۰/۱۶۲ مهم‌ترین معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز می‌باشند. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای نشان داد که تقریباً تمامی مناطق شمالی شهر نسبت به مخاطره زلزله از آسیب‌پذیری بالا تا بسیار بالایی برخوردارند. در حالت تطبیقی بالغ بر ۱۶/۶ درصد از فضاهای شهری مناطق مطالعاتی در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای زیاد و ۵/۶ درصد در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار زیاد واقع شده‌اند. این فضاها بیشتر شامل کاربری‌های مسکونی واقع در محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ می‌باشند. بر اساس ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای زلزله‌ای با شدت ۱۰ مرکالی حجم تخریب در این محلات بین ۶۵ تا ۱۰۰ درصد خواهد بود. از دلایل آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار بالای بخش‌های غربی منطقه ۱ و بخش‌های مرکزی منطقه ۱۰ می‌توان به مجاورت با گسل بزرگ تبریز، تراکم بالای جمعیتی و مسکونی، فقدان یا محدودیت شدید فضاهای باز شهری، ریزدانه بودن بخش قابل-توجهی از ساختمان‌ها، وجود بافت فرسوده و حاشیه‌نشینی اشاره نمود.

استناد: سامی، ابراهیم، اسمعیل پور، مرضیه، عبداللهی، زهرا. (۱۴۰۲). ارزیابی خسارات ناشی از زلزله در مناطق شمال شهر تبریز (مناطق ۱، ۵ و ۱۰). مخاطرات محیط طبیعی ، ۱۳(۴۰)، ۱-۲۲. DOI: 10.22111/jneh.2023.45844.1968

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© ابراهیم سامی*، مرضیه اسمعیل پور، زهرا عبداللهی.

*- ابراهیم سامی (نویسنده مسئول) Email: sami@maragheh.ac.ir

مقدمه

در طی دو دهه اخیر، بلایای طبیعی باعث مرگ حدود سه میلیون نفر در سراسر دنیا شده‌اند. افزون بر این، بالغ بر ۸۰۰ میلیون نفر تحت تأثیر پیامدهای مخرب این بلایا قرار گرفته‌اند. بررسی‌های دفتر هماهنگ‌کننده امدادرسانی سازمان ملل‌متحد نشان می‌دهد که بلایای طبیعی همه‌ساله حدود ۵۰-۳۰ میلیارد دلار ضرر و زیان اقتصادی وارد می‌کنند (ساندرس و کلارک[1]، ۲۰۱۰). در طی ۲۰ سال اخیر فراوانی مخاطرات طبیعی و اثرات مخرب آنها پیوسته در حال افزایش است و بیشترین میزان بلایا در سال ۲۰۰۰ میلادی گزارش شده است (حدود ۸۵۰ فاجعه). در این میان، ۱۴ درصد از این بلایا مربوط به زلزله و رانش زمین بوده است. در طی همین سال از هر ۳۰ نفر ۱ نفر در سراسر دنیا تحت تأثیر بلایای طبیعی بوده‌اند و بالغ بر ۴ درصد از تلفات جانی بلایا مربوط به زلزله بوده است (ارماش[2]، ۲۰۰۶). بدین ترتیب، زلزله یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی در جهان می‌باشد که خسارت‌های شدید کالبدی، اجتماعی و اقتصادی به‌بار می‌آورد. قرارگیری شهرهای بزرگ در مناطق مستعد خطر، رشد شهرنشینی و رشد جمعیت از دلایل اصلی افزایش آسیب‌پذیری فضاهای شهری در برابر زلزله است (دوز[3]، ۲۰۱۱). بلایا و حوادث طبیعی به‌سادگی قابل‌پیش‌بینی نیستند؛ بنابراین، دولت‌ها و مراجع ذی‌صلاح می‌بایست میزان خطرات ناشی از حوادث طبیعی را ارزیابی نموده و در راستای کاهش اثرات مخرب آنها از آمادگی‌های لازم برخوردار باشند. کاهش اثر[4] به آمادگی در برابر بلایا و کاهش تلفات و خسارت‌های آن گفته می‌شود. کاهش اثر می‌تواند مشتمل بر طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی، سیاست‌گذاری‌های دولت و آموزش همگانی باشد. یکی از شیوه‌های کاهش خسارت‌های ناشی از بلایا و سوانح طبیعی، شناسایی مناطق مستعد وقوع بلایا و محدود نمودن توسعه در آن مناطق با بهره‌گیری از سیاست‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی می‌باشد. در شرایط مطلوب می‌بایست توسعه در مجاورت گسل‌های فعال محدود شود. این امر می‌تواند به روش‌های مختلف از قبیل تخصیص اراضی یادشده به پارک‌ها و عرصه‌های طبیعی صورت گیرد (هیندمن و هیندمن[5]، ۲۰۰۹).

حفاظت از جان و مال انسان‌ها و تأسیسات و تجهیزات شهری در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی به اندازه‌ای مهم است که می‌تواند به‌عنوان یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی شهری به‌شمار آید. مخاطرات طبیعی مولفه مهمی در تعامل بین انسان و طبیعت به‌شمار می‌روند و رابطه انسان با محیط می‌بایست به شکل مثبت یعنی بهره‌برداری از منابع طبیعی و منفی یعنی خطرات و سوانح طبیعی مورد توجه قرارگیرد (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۷). در این رابطه، برنامه‌ریزی شهری نقش مهمی در کاهش خطر زلزله ایفا می‌کند. در یک نگرش افراطی علم مهندسی قادر است بر تمامی محیط‌های طبیعی نامساعد غلبه کند. اما این امر ممکن است مستلزم صرف هزینه‌های زیاد در فرایند طراحی و ساخت باشد و همیشه راه‌حلی منطقی به نظر نمی‌رسد (اولیویرا[6] و همکاران، ۲۰۰۶). پیش‌بینی موقعیت، زمان، مدت و شدت زمین‌لرزه‌ها امکان‌پذیر نیست؛ بااین‌وجود می‌توان خسارت‌ها و تلفات احتمالی را برآورد نمود. در این رابطه، نقشه‌های آسیب‌پذیری شهرها می‌تواند به برنامه‌ریزی موثر جهت واکنش مناسب نسبت به بلایا کمک کند

1- Sanders & Clark
2 - Armaş
3 - Duzgan
4 - Mitigation
5 - Hyndman & Hyndman
6 - Oliveira

(مرادی[1] و همکاران، ۲۰۱۴). بدین ترتیب، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌تواند نقش موثری در فرایند برنامه‌ریزی کاهش خطر، به‌ویژه در مناطق شهری با تراکم جمعیت بالا و یک محیط پیچیده ساختمانی، ایفا کند (لیو[2] و همکاران، ۲۰۱۹).

کلان‌شهر تبریز یکی از بزرگ‌ترین شهرهای کشور محسوب می‌شود که همیشه در معرض زلزله می‌باشد. ویژگی‌های تکتونیکی و لرزه‌زمین‌ساختی شهر تبریز جزو مهم‌ترین و اصلی‌ترین مسائل محیط طبیعی شهر به شمار می‌رود. وجود گسل بزرگ و فعال شمال تبریز و عبور این گسل از نیمه شمالی شهر، آن را به یکی از خطرناک‌ترین پهنه‌های سکونتگاهی تبدیل کرده است. این درحالی است که قسمت‌های شمالی شهر تبریز دارای تراکم‌های بالای ساختمانی، مسکونی و جمعیتی می‌باشد. این تراکم بالا در بخش‌هایی از شمال شهر (به‌ویژه منطقه ۱۰ شهرداری) توام با حاشیه-نشینی می‌باشد که آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را افزایش می‌دهد. به‌ویژه که این امر با توسعه بر روی شیب‌های نسبتا تند و سازندهای زمین‌شناسی مارنی همراه شده است. این امر می‌تواند اثر تکانه‌ها و لرزش‌های ناشی از زلزله را افزایش دهد. در چند سال گذشته نیز توسعه فیزیکی شهر تبریز بیشتر در این قسمت‌ها به‌ویژه به‌صورت برج‌های مسکونی در شهرک‌های نوساز ارم، باغمیشه، رشدیه و ولی‌عصر اتفاق افتاده است. در این پژوهش به آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی خسارت زلزله در مناطق شمالی شهر تبریز (مناطق ۱، ۵ و ۱۰) پرداخته شده است. در سال‌های اخیر ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بیشتر متکی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده است. ارزیابی خسارت‌ها و آسیب‌های قابل‌انتظار ناشی از رخدادها و سوانح مخاطره‌آمیز مستلزم تجزیه‌وتحلیل مکانی است؛ زیرا تمامی عناصر و مولفه‌های ارزیابی ریسک دارای تغییرپذیری مکانی و زمانی هستند. بدین ترتیب ارزیابی مخاطره، آسیب‌پذیری و ریسک تنها هنگامی می‌تواند به‌صورت موثر و کارآمد صورت گیرد که ابزارهایی مورد استفاده قرار گیرند که با اطلاعات مکانی نظیر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) سر و کار دارند (الکانتارا- ایالا و گودی[3]، ۲۰۱۰). در این رابطه می‌توان به ارزیابی خسارت‌های ناشی از زلزله در منطقه یک شهرداری تهران در محیط GIS با استفاده از مدل رادیوس توسط امینی و همکاران (۱۳۹۰)، ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله و برآورد تلفات انسانی توسط عابدینی و سرمستی (۱۳۹۵)، بررسی روش‌های تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از GIS توسط اشرفی و یاقوتی (۱۳۹۷)، ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری منطقه ۹ شهرداری تهران در برابر شدت‌های مختلف زلزله بااستفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و GIS توسط نظم‌فر و علوی (۱۳۹۷)، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای فضاهای شهری ورزقان با کاربست تئوری کاتاستروف و GIS توسط مصری علمداری و خیری‌زاده (۱۳۹۹)، ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از خطر زلزله بااستفاده از تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی در مناطق شهری توسط راشد و ویکس[4] (۲۰۰۳)، بررسی ریسک لرزه‌ای ساختمان‌ها در مناطق شهری شهرستان دنیزلی ترکیه بااستفاده از GIS توسط اینل[5] و همکاران (۲۰۰۸)، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ریسک زلزله در مناطق لرزه‌خیز شهر چانیا در جزیره کرت یونان با کاربست GIS توسط ساریس[6] و همکاران

1 - Moradi
2 - Liu
3 - Alcántara-Ayala and Goudie
4 - Rashed & Weeks
5 - Inel
6 - Sarris

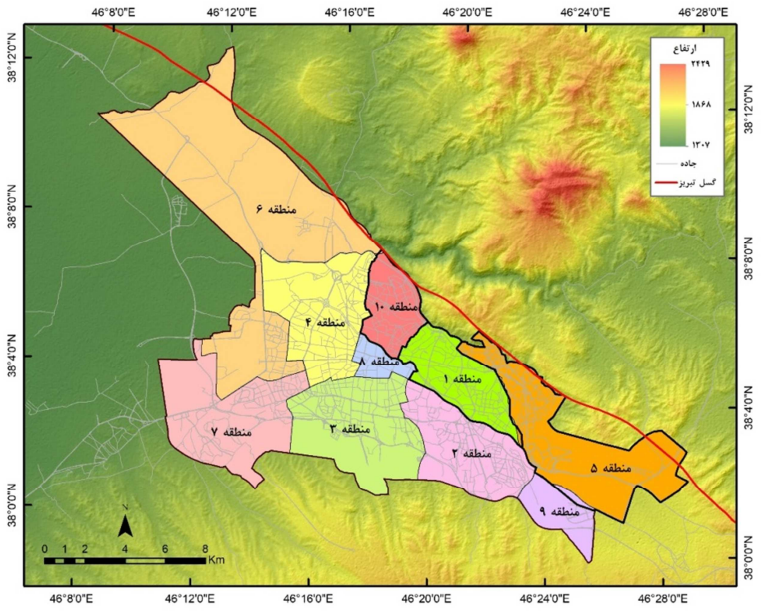
(۲۰۱۰)، ارزیابی ریسک زلزله بااستفاده از ابزار تحلیل و رتبه‌بندی چندمعیاره فضایی (SMART) و GIS در منطقه دهلی هندوستان توسط سینها[1] و همکاران (۲۰۱۴)، تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ارزیابی ریسک شهر کلکته هند بااستفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی توسط ناث[2] و همکاران (۲۰۱۵)، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر میمنسینگ- واقع در بنگلادش- با کاربست دو مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و TOPSIS در چارچوب GIS توسط الام و هاگو[3] (۲۰۱۸) و ارزیابی آسیب‌پذیری در مقیاس شهری بااستفاده از داده‌کاوی و تکنولوژی GIS توسط لیو[4] و همکاران (۲۰۱۹) اشاره نمود.

داده‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی خسارت‌های ناشی از زلزله در محدوده مناطق شمالی شهر تبریز- شامل مناطق ۱، ۵ و ۱۰ شهرداری- پرداخته شده است. مناطق یادشده به‌دلیل مجاورت با گسل بزرگ شمال تبریز و همچنین وجود بافت‌های فرسوده و حاشیه‌نشینی، جزو آسیب‌پذیرترین مناطق کلان‌شهر تبریز نسبت به مخاطره زلزله می‌باشند. در حال حاضر کلان‌شهر تبریز شامل ۱۰ منطقه شهرداری است (شکل ۱). منطقه ۱ شهرداری تبریز دارای ۲۱۱۳۰۲ نفر جمعیت بوده و مساحت آن بالغ بر ۱۵۴۷ هکتار است. مساحت منطقه ۵ شهرداری تقریباً ۳۲۲۹۷ هکتار و جمعیت آن بالغ بر ۹۲۸۴۶ نفر است. بخش قابل‌توجهی از منطقه یادشده در طی سال‌های اخیر به زیر ساخت‌وساز رفته است. منطقه ۱۰ شهرداری مشتمل بر ۲۰۰۱۴۳ نفر جمعیت بوده و وسعتی در حدود ۱۰۵۰هکتار دارد.

1 - Sinha
2 - Nath
3 - Alam & Haque
4 - Liu



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه (مناطق ۱، ۵ و ۱۰) در شهر تبریز. *منبع: نگارندگان*

روش‌شناسی

در راستای اهداف پژوهش، مهم‌ترین داده‌های این پژوهش عبارتنداز: داده‌های طرح جامع شهر تبریز (۱۳۹۵)، نقشه-های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور) و تصاویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مربوط به ماهواره ALOS – PALSAR با قدرت تفکیک مکانی حدود ۱۲ متر.

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

در این پژوهش از ۱۱ معیار موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای استفاده به عمل آمد. این معیارها عبارتنداز: تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، دسترسی به فضاهای باز شهری، دانه‌بندی ساختمان‌ها، تعداد طبقات بناها و ساختمان‌ها، شعاع عملکردی مراکز بیمارستانی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی، فاصله از تاسیسات خطر زا، فاصله از گسل، شیب و سنگ-شناسی[1]. باتوجه به اینکه لایه‌های موضوعی موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای دارای مقیاس‌های اندازه‌گیری یکسانی نیستند، لازم است که نسبت به همسان‌سازی واحدهای سنجش این لایه‌ها اقدام شود. در این پژوهش از توابع مختلف منطق فازی برای بی‌بعد نمودن لایه‌های موضوعی موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز استفاده به عمل آمد. فرایند فازی‌سازی، عدم قطعیت کلاس‌ها را در خصوص پدیده‌هایی مشخص می‌سازد که دارای مرزهای دقیق نیستند. در فرایند فازی‌سازی، ایده‌آلی برای عضویت در مجموعه تعریف می‌شود. به هر مقداری از پدیده که نسبت به هسته مجموعه، محوری‌تر (مرکزی‌تر) باشد ارزش ۱ اختصاص خواهد یافت و به مقادیری که به-طور قطع بخشی از مجموعه نیستند، ارزش ۰ تخصیص می‌یابد. مقادیری که بین این دو حد واقع می‌شوند، در منطقه

[1] - Lithology

گذار مجموعه قرار می‌گیرند (سرور و خیری زاده، ۱۳۹۴). تابع عضویت در مدل فازی به‌صورت رابطه (۱) تعریف می-شود:

$$A = \{X, \mu_A (X)\} \text{ for each } x \varepsilon X\ldots\} \quad (۱)$$

μ_A تابع عضویتی است که درجه عضویت X را در مجموعه A تعریف می‌کند.

برای ترکیب و یکپارچه نمودن لایه‌های موضوعی از مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) بهره گرفته شد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل ایجاد سلسله مراتب، محاسبه وزن و محاسبه نرخ ناسازگاری است. بر اساس درخت سلسله‌مراتبی در بالاترین سطح هدف، در سطوح میانی شاخص‌های تصمیم (معیارها و زیرمعیارها) و در سطح آخر گزینه‌ها قرار دارند. درنهایت ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. بدین ترتیب، شاخص‌ها را بر اساس میزان اهمیت، مرتب نموده و به آن‌ها ارزش ۱ تا ۹ اختصاص داده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که به بالاترین اهمیت در آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز، ارزش ۹ و به پایین‌ترین آن ارزش ۱ تعلق می‌گیرد. در مرحله بعد وزن معیارها محاسبه می‌شود. این مرحله شامل گام‌هایی بدین شرح است: ۱) جمع‌کردن مقادیر هر ستون ماتریس مقایسه دوتایی، ۲) تقسیم نمودن هر مولفه ماتریس بر مجموع ستونش (ماتریس حاصل «مقایسه دوتایی نرمال‌شده» نام دارد)، ۳) محاسبه میانگین مولفه‌ها در هر ردیف از ماتریس نرمال‌شده، یعنی تقسیم‌کردن مجموع امتیازهای نرمال-شده برای هر ردیف بر تعداد معیارها. این میانگین‌ها، تخمینی از وزن نسبی معیارهای مقایسه‌شونده را ایجاد می‌کند که این مرحله برای مساله موردنظر دنبال شده و در نتیجه آن در جدول به‌عنوان وزن معیارها ارائه می‌گردد (سهرابی و عفیفی، ۱۴۰۱). درنهایت می‌بایست که سازگاری و ناسازگاری سیستم محاسبه شود. درصورتی که مقدار نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ حاصل شود، می‌توان نتیجه گرفت که سازگاری سیستم مطلوب و مورد پذیرش می‌باشد؛ اما اگر مقدار آن از ۰/۱ بیشتر شود بهتر است که تصمیم‌گیرنده قضاوت‌های خود را مورد تجدید نظر و بازبینی قرار دهد (رامشت و همکاران، ۱۳۹۲).

طراحی سناریوی ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر در برابر میانگین شدت زلزله

در این مرحله از پژوهش، سناریویی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز نسبت به میانگین شدت زلزله طراحی شد. برای این کار از طریق رابطه زیر میانگین درجات خسارت ساختمان در مقابل شدت‌های مختلف زلزله محاسبه می‌شود:

$$\mu_D = 2.5[1 + \tanh((I_o + 6.25V_i - 13.1) / 2.3)] \quad (۲)$$

در رابطه بالا μ_D: متوسط درجه خسارت؛ tanh: تانژانت هیپربولیک؛ I_o: شدت زلزله براساس واحد مرکلی و V_i: مقدار آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از روش چند معیاری می‌باشد. در مدل یادشده، بازه تغییرات خسارت بین ۰ تا ۱ است که مقدار صفر دلالت بر عدم آسیب‌پذیری یا فقدان خسارت و مقدار ۱ نشان‌دهنده ریزش ساختمان یا خسارت کلی می‌باشد (احد نژاد روشتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸۲).

یافته‌های پژوهش

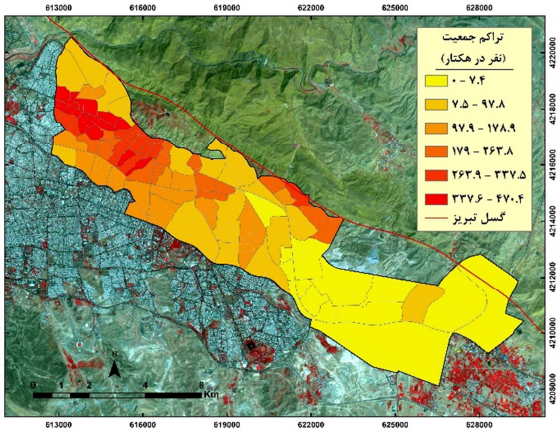
پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی تبریز

در راستای ارزیابی مکانی آسیب‌پذیری نسبت به زلزله لازم است که ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای در سطح مناطق مطالعاتی صورت گیرد. در این پژوهش، این امر در طی مراحلی بدین شرح به انجام رسید: آماده‌سازی و تحلیل معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای؛ فازی‌نمودن معیارها؛ محاسبه میزان اهمیت یا ضریب وزنی هر یک از معیارها، ترکیب و روی‌هم‌گذاری معیارها و تهیه نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای.

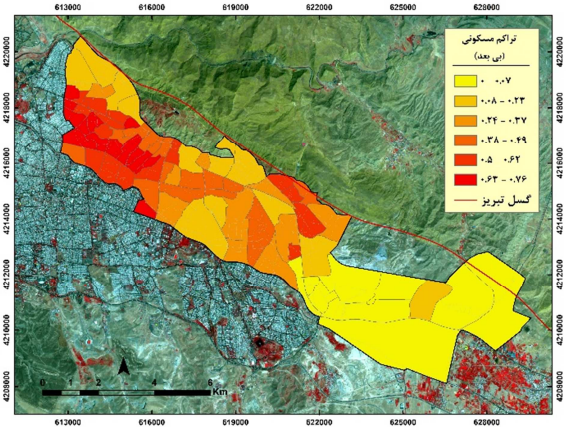
ارزیابی توزیع فضایی معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای

در این پژوهش باتوجه به داده‌های در دسترس از ۱۱ معیار موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای استفاده به عمل آمد. در ادامه هر یک از این معیارها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

- **تراکم جمعیت:** محاسبات نشان می‌دهند که منطقه ۱۰ از بالاترین میزان تراکم جمعیتی برخوردار است (شکل ۲). در این رابطه، محلات خلیل‌آباد و ۴۲ متری با تراکم جمعیتی بالاتر از ۴۰۰ نفر در هکتار (به‌عنوان پرتراکم‌ترین محلات شهر تبریز) نیز در این منطقه شهری واقع شده‌اند. منطقه ۱ با تراکم جمعیتی ناخالص ۱۳۷ نفر در هکتار در مرتبه بعدی قرار می‌گیرد. بدین ترتیب دو منطقه ۱ و ۱۰ از بیشترین میزان تراکم جمعیتی در سطح مناطق شهر تبریز برخوردارند. محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ به‌دلیل تراکم و انباشت جمعیت از بیشترین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای برخوردارند. این امر در ترکیب با فاکتورهای دیگری از قبیل وجود بافت فرسوده، حاشیه‌نشینی، کمبود فضاهای باز شهری و غیره مسائل پیچیده و بغرنجی را ایجاد نموده است. اکثر محلات منطقه ۵ شهر تبریز از تراکم جمعیتی پایینی برخوردارند و تنها دو محله باغمیشه جدید۱ و باغمیشه جدید۲ از تراکم جمعیتی بالای ۲۰۰ نفر در هکتار برخوردارند. اما باید توجه نمود که در این منطقه بخش قابل‌توجهی از جمعیت در داخل مجتمع‌های مسکونی بلندمرتبه استقرار یافته‌اند که خود باعث افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌گردد.



شکل ۲: تراکم جمعیت در مناطق مطالعاتی تبریز

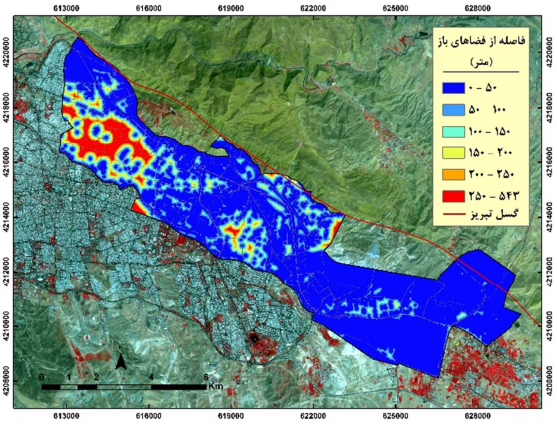


شکل ۳: تراکم مسکونی در مناطق مطالعاتی تبریز

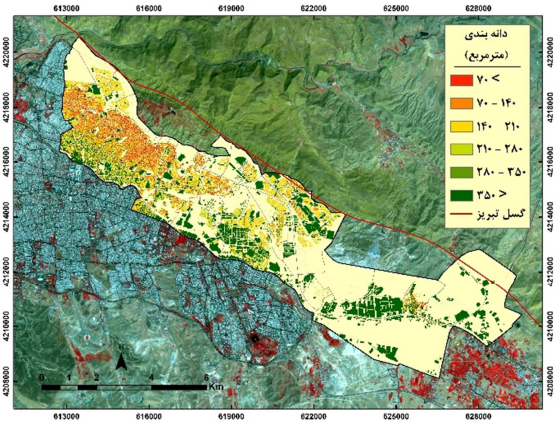
- **تراکم مسکونی:** مساحت کاربری‌های مسکونی در سطح مناطق مطالعاتی از شهر تبریز بالغ بر ۱۳۱۴ هکتار می‌باشد (حدود ۲۲ درصد مساحت مناطق). درحالت کلی از شرق به غرب بر میزان تراکم مسکونی محلات افزوده می‌شود (شکل ۳). در این رابطه، محله ایده‌لو ۱ از منطقه یک و محلات دوه‌چی ۴، انبار سرد ۱ و انبار سرد ۲ از منطقه ده با مقادیر تراکم مسکونی بیش از ۰/۷ متراکم‌ترین محلات شهری مناطق مطالعاتی از شهر تبریز محسوب می‌شوند.

بدین ترتیب در سطح محلات یادشده بیش از ۷۰ درصد مساحت کل محلات به کاربری مسکونی اختصاص یافته‌اند. در مرتبه بعدی محله سیلاب قوشخانه ۲ از منطقه یک و محلات سرخاب، ۴۲متری ۱، اسماعیل بقال و دوه‌چی ۳ از منطقه ده قرار می‌گیرند. محلات یادشده دارای تراکم مسکونی بین ۰/۶۷ تا ۰/۷ می‌باشند. درحالت کلی چندین محله غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی و جنوبی منطقه ۱۰ از بیشترین میزان تراکم مسکونی برخوردارند. بالا بودن تراکم مسکونی در سطح محلات یادشده دلالت بر مقادیر پایین فضاهای باز، شبکه معابر محدود و کم‌عرض، فراوانی کوچه‌های تنگ و کم‌عرض، فراوانی زیاد بن‌بست‌ها، ریزدانه بودن بافت شهری و موارد متعدد دیگر دارد. این ویژگی‌ها پیامدهای زیادی درخصوص مدیریت بحران به‌همراه دارد. ازجمله می‌توان به حجم زیاد تخریب‌ها، مشکلات شدید در ارتباط‌پذیری نقاط مختلف شهر به هنگام وقوع زلزله و عدم دسترسی مطلوب به نقاط آسیب‌دیده و موارد مشابه دیگر اشاره نمود. درخصوص تراکم مسکونی در منطقه ۵، تنها محلات واقع در قسمت‌های غربی منطقه از تراکم مسکونی متوسط تا نسبتا بالایی برخوردارند و محلات مرکزی و شرقی منطقه دارای تراکم مسکونی پایینی هستند.

- **دسترسی به فضاهای باز شهری:** در سطح مناطق مطالعاتی از شهر تبریز، فضاهای باز عمومی در منطقه ۵ شهرداری دارای وسعت زیادی هستند. این درحالی است که در منطقه ۱۰ و بخش‌های قابل‌توجهی از منطقه ۱ محدودیت‌های شدیدی در زمینه دسترسی به فضاهای باز شهری وجود دارد (شکل ۴). این امر به‌دلیل تراکم بالای ساختمانی و کمبود فضاهای سبز و سایر کاربری‌های مربوطه در این مناطق می‌باشد. محلاتی مانند رضوان‌شهر، ۴۲ متری، قربانی، مالازینال، ایده‌لو، منصور، سیلاب قوشخانه و ... تقریباً فاقد فضای سبز شهری هستند. این گونه محلات به‌دلیل فقدان فضاهای باز و سبز شهری و همچنین تراکم بالای ساختمانی از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به خطر وقوع زلزله برخوردارند.



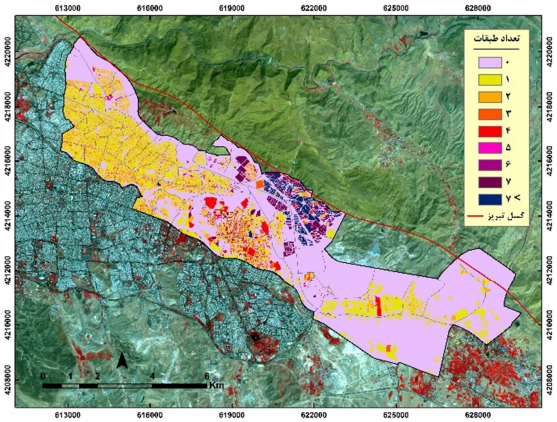
شکل ۴: دسترسی به فضاهای باز در مناطق مطالعاتی تبریز



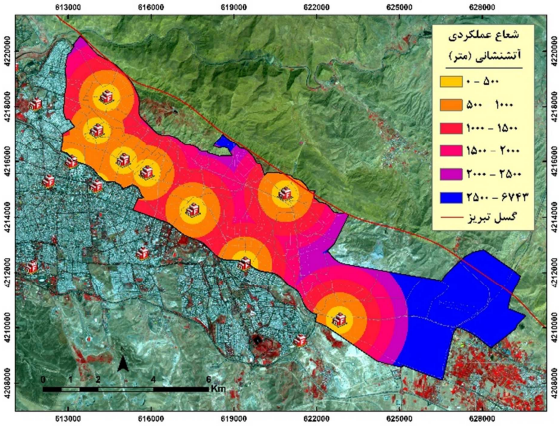
شکل ۵: دانه‌بندی ساختمان‌ها در مناطق مطالعاتی تبریز

- **دانه‌بندی ساختمان‌ها:** بافت‌های ریزدانه در نیمه شمالی مناطق ۱ و ۱۰ از فراوانی قابل‌توجهی برخوردارند. ساختمان‌های یادشده در یک حالت تطبیقی، دارای آسیب‌پذیری بالاتری می‌باشند. ریزدانگی این مناطق با سایر عوامل ازقبیل تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی، حاشیه‌نشینی، بافت فرسوده و نزدیکی به گسل بزرگ تبریز همراه شده و آسیب‌پذیری مضاعف می‌شود. در منطقه ۵ شهرداری تبریز به‌دلیل نوساخت‌بودن، غلبه با ساختمان‌های متوسط دانه تا درشت دانه است (شکل ۵).

- **تعداد طبقات ساختمان‌ها:** شاخص یادشده به‌همراه شاخص دانه‌بندی را می‌توان معرف شاخص‌های سازه‌ای پژوهش به‌شمار آورد. متاسفانه داده‌های مربوط به نوع مصالح و قدمت ساختمان‌ها برای مناطق مطالعاتی ناقص بوده و امکان اعمال شاخص‌های یادشده میسر نشد و تنها به دو شاخص تعداد طبقات و اندازه قطعات ساختمان‌ها بسنده گردید. باتوجه به محاسبات صورت‌گرفته، بالغ بر ۵۷/۶ درصد از ساختمان‌های شهر تبریز در مناطق مطالعاتی، ساختمان‌های یک طبقه می‌باشند. همچنین درحدود ۲۳/۳ درصد از ساختمان‌ها جزو ساختمان‌های دو طبقه و ۲/۷ درصد نیز در ردیف ساختمان‌های سه طبقه قرار می‌گیرند. ساختمان‌های بلندمرتبه بیشتر در شمال غرب منطقه پنج (باغمیشه، الهیه و ...) واقع شده‌اند (شکل ۶). احداث ساختمان‌های بلندمرتبه بدون توجه به عبور گسل بزرگ شمال تبریز صورت گرفته است. ساختمان‌های یادشده هم به‌دلیل ارتفاع زیاد و داشتن تراکم جمعیتی بالا و هم به‌دلیل مکان‌گزینی در مجاورت و حتی روی گسل بزرگ تبریز از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به وقوع زلزله برخوردارند.



شکل ۶: تعداد طبقات ساختمان‌ها در مناطق مطالعاتی تبریز

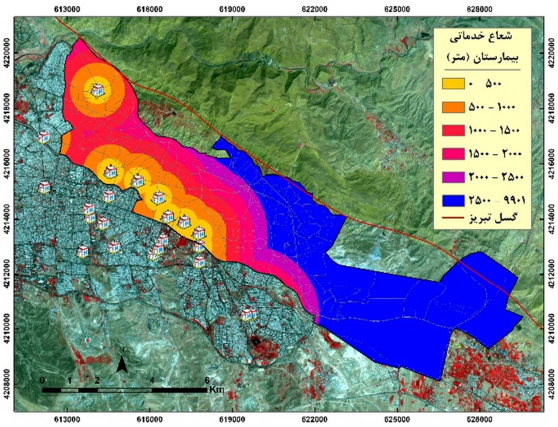


شکل ۷: شعاع عملکردی آتش‌نشانی‌ها در مناطق مطالعاتی تبریز

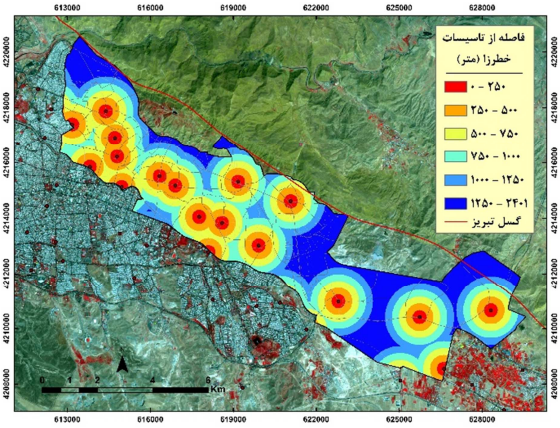
- **فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی:** وجود ایستگاه‌های آتش‌نشانی می‌تواند منجر به کاهش پیامدهای ثانویه زلزله- ازقبیل آتش‌سوزی گردد. در داخل محدوده مناطق ۱ و ۵ شهرداری تبریز تعداد دو ایستگاه و در محدوده منطقه ۱۰ تعداد سه ایستگاه آتش‌نشانی وجود دارد. درحالت کلی در شهر تبریز با احتساب یک ایستگاه واقع در خارج از محدوده قانونی شهر (در مجاورت منطقه ۶ شهرداری)، ۲۰ ایستگاه آتش‌نشانی وجود دارد (شکل ۷). براساس فاصله استاندارد ۱۰۰۰ متری، تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در سطح شهر تبریز نامناسب بوده و نیاز به احداث و راه‌اندازی ایستگاه‌های بیشتر احساس می‌شود.

- **فاصله از بیمارستان‌ها:** ارائه خدمات درمانی به‌موقع و مطلوب گامی اساسی در کاهش تلفات جانی ناشی از رخداد زلزله و یا هر نوع بلایای طبیعی و انسانی دیگر محسوب می‌گردد. بر طبق اطلاعات معاونت درمان دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی تبریز، شهر تبریز دارای ۲۹ واحد بیمارستانی است. از این تعداد، ۱۰ بیمارستان استانی، ۹ بیمارستان منطقه‌ای و ۱۰ بیمارستان به حوزه فعالیت منطقه‌ای خارج از کشور اختصاص یافته است. اکثر بیمارستان‌های تبریز در بخش‌های مرکزی شهر احداث شده‌اند (شکل ۸). در این رابطه تعداد پنج بیمارستان در بخش جنوبی منطقه ۱ و تعداد دو بیمارستان در منطقه ۱۰ استقرار یافته‌اند. منطقه ۵ نیز فاقد

بیمارستان می‌باشد. درحالت کلی، توزیع فضایی بیمارستان‌ها در سطح مناطق مطالعاتی از شهر تبریز از سطح مطلوبی برخوردار نیست. کمبود مراکز بیمارستانی به‌ویژه در منطقه ۵ و بخش‌های شمالی مناطق ۱ و ۱۰ مشهود است.



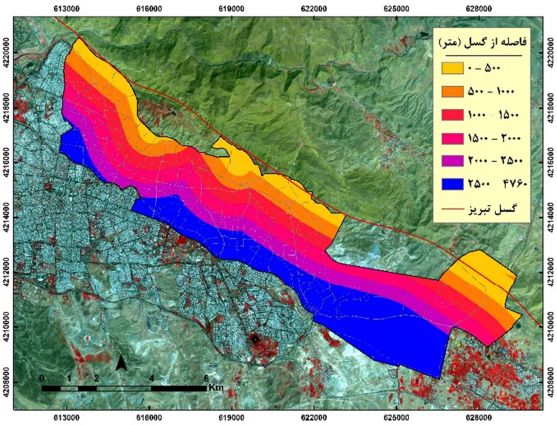
شکل ۸: شعاع خدماتی بیمارستان‌ها در مناطق مطالعاتی تبریز



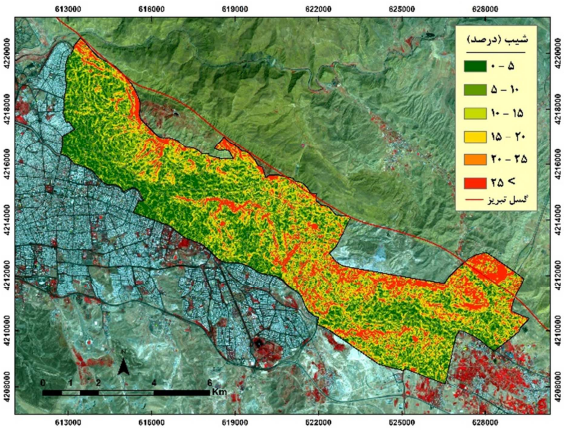
شکل ۹: فاصله از تاسیسات خطرزا در مناطق مطالعاتی تبریز

– **فاصله از تاسیسات خطرزا:** مناطق مجاور تاسیسات خطرزا درحالت تطبیقی از آسیب‌پذیرترین مناطق شهری در مقابل مخاطره زلزله محسوب می‌شوند (شکل ۹). این امر به‌ویژه در مناطق ۱ و ۱۰ به‌دلیل تراکم جمعیتی و مسکونی بالا از اهمیت زیادی برخوردار است. در این رابطه رعایت حریم حداقل ۲۰۰ متری برای این‌گونه تاسیسات می‌تواند گامی مهم در راستای کاهش آسیب‌رسانی آنها به‌شمار آید.

– **فاصله از گسل:** در شرایط برابر، پهنه‌های مجاور گسل از آسیب‌پذیری لرزه‌ای بیشتری برخوردارند. بر این اساس، بالغ بر ۱۳ درصد از منطقه مطالعاتی در فاصل ۰ تا ۵۰۰ متری از گسل تبریز قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). پهنه‌های یادشده آسیب‌پذیرترین نقاط کلان‌شهر تبریز نسبت به خطر زلزله محسوب می‌شوند. این امر به‌ویژه در رابطه با حاشیه‌نشینی و وجود بافت‌های فرسوده در مناطق ۱ و ۱۰ از اهمیت مضاعفی برخوردار است. بر اساس روابط بزرگی- طول، گسل تبریز پتانسیل ایجاد زمین‌لرزه‌های بالای ۶/۵ ریشتر را دارد. درحال حاضر به‌دلیل توسعه فضایی- کالبدی شهر تبریز، گسل تبریز جزء یکی از محله‌های شهر به‌شمار می‌رود و شهرک‌های باغمیشه، یوسف‌آباد و ارم بر روی روند اصلی گسل شمال تبریز ساخته شده‌اند.



شکل ۱۰: موقعیت گسل بزرگ شمال تبریز و فاصله نسبت به آن

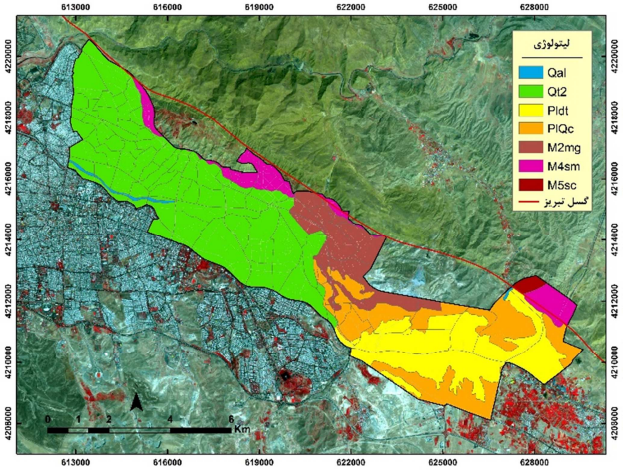


شکل ۱۱: توزیع فضایی شیب در مناطق مطالعاتی تبریز

– **شیب زمین:** برای تهیه نقشه شیب از تصاویر ماهواره‌ای ALOS-PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده به‌عمل آمد (شکل ۱۱). میانگین شیب منطقه بالغ بر ۱۲/۸ درصد با انحراف معیار ۱۰/۹ می‌باشد. این مقادیر نشان‌دهنده وجود اراضی پرشیب و همچنین تغییرپذیری بالای شیب در سطح منطقه می‌باشد. میانگین شیب در سطح منطقه یک در حدود ۱۰/۷ درصد، در سطح منطقه پنج در حدود ۱۵/۴ درصد و در سطح منطقه ده بالغ بر ۹/۸ درصد می‌باشد. صرف‌نظر از عبور گسل بزرگ تبریز، وجود شیب‌های تند در نوار شمالی مناطق یادشده باعث ناپایداری زمین زیربنا و درنتیجه ناپایداری فونداسیون ساختمان‌ها شده است که در ترکیب با عواملی مانند کیفیت پایین ساختمان‌ها و بناها، کمبود فضاهای باز و ....، باعث افزایش قابل‌توجه آسیب‌پذیری لرزه‌ای پهنه‌های نامبرده شده است. دراین رابطه طبقات شیب ۲۰ تا ۲۵ درصد و بیش از ۲۵ درصد به‌ترتیب بالغ بر ۶/۸ و ۱۲/۱ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه از شهر تبریز را شامل می‌شوند. پهنه‌های نامبرده بیشتر در منطقه ۵ و نوار شمالی مناطق ۱ و ۱۰ توزیع شده‌اند و در حالت تطبیقی جزو آسیب‌پذیرترین پهنه‌های شهر نسبت به مخاطره زلزله و پیامدهای ثانویه این مخاطره (به‌ویژه ناپایداری‌های دامنه‌ای) به‌شمار می‌روند.

– **لیتولوژی:** بیش از ۹۵ درصد از محدوده مناطق ۱ و ۱۰ تبریز بر روی آبرفت‌های جوان کواترنری توسعه یافته‌اند (شکل ۱۲). بااین حال، در منطقه ۵ واحد سنگ‌شناسی یادشده از گستردگی بسیار محدودی (کمتر از ۵ درصد) برخوردار است. در واقع، بخش عمده‌ای از این منطقه بر روی پایکوه‌ها و دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه عینالی و به‌واسطه‌ی عملیات آماده‌سازی (خاک‌برداری و خاک‌ریزی) توسعه یافته است. در کل، آبرفت‌های جوان کواترنری به‌دلیل برخورداری از رسوبات سست و منفصل در برابر ارتعاشات زمین‌لرزه از آسیب‌پذیری بالایی برخوردارند. واحد Pldt دومین واحد سنگ‌شناسی گسترده در سطح محدوده مطالعاتی می‌باشد که به‌طور کلی در منطقه ۵ رخنمون یافته است. این واحد حدود ۱۹ درصد از سطح محدوده مناطق مطالعاتی را دربرگرفته و متشکل از رسوبات کلاستیک ریزدانه، توف و دیاتومیت می‌باشد. واحد یادشده مربوط به دوره پلیوسن می‌باشد و نسبت به آبرفت‌های جوان کواترنری از آسیب‌پذیری نسبتا پایینی برخوردار است. هر چند وجود توف‌ها می‌تواند باعث افزایش حساسیت واحد سنگ‌شناسی نامبرده نسبت به تکانه‌ها و ارتعاشات زلزله گردد. همچنین واحد یادشده تا حدودی مستعد نشست

زمین و درنتیجه آسیب به فونداسیون ساختمان‌ها می‌باشد. سومین واحد سنگ‌شناسی وسیع واحد PlQc مربوط به دوره پلیوکواترنری می‌باشد. این واحد متشکل از کنگلومرا با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ، پومیس و مواد پیروکلاستیک می‌باشد و بالغ بر ۱۶ درصد از محدوده مطالعاتی را دربرمی‌گیرند. واحد یادشده نیز تنها در منطقه ۵ رخنمون یافته است. درحالت کلی، کنگلومراها نسبت به ارتعاشات و تکانه‌های زمین‌لرزه از مقاومت و استحکام مطلوبی برخوردار نیستند. ازطرف دیگر، واحد یادشده نسبت به فرایندهای ناپایداری دامنه‌ای (به‌ویژه زمین‌لغزش) حساس می‌باشد. واحد سنگ‌شناسی M2mg بالغ بر ۱۰ درصد از محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود و به‌طور کلی در شمال غرب منطقه ۵ رخنمون یافته است. این واحد شامل تناوبی از ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ و مارن می‌باشد که از حساسیت بالایی نسبت به ناپایداری‌های دامنه‌ای برخوردار است. در طی سال‌های اخیر چندین زمین‌لغزش در محدوده این سازندها اتفاق افتاده است. درنهایت دو واحد سنگ‌شناسی M4sm و M5sc به‌ترتیب بالغ بر ۶/۶ و ۰/۷ از محدوده مطالعاتی را شامل می‌شوند و به‌طور کلی در نوار باریک شمالی مناطق سه‌گانه تبریز رخنمون یافته‌اند. واحد M4sm متشکل از ماسه‌سنگ قرمز همراه با مارن و واحد M5sc متشکل از کنگلومرای قرمز همراه با تناوبی از ماسه‌سنگ و مارن قرمز می‌باشند. وجود کنگلومرا و به‌ویژه مارن در بین تشکیلات یادشده باعث افزایش آسیب‌پذیری آنها نسبت به تکانه‌ها و ارتعاشات زلزله و همچنین حساسیت آنها نسبت به ناپایداری‌های دامنه‌ای گردیده است.

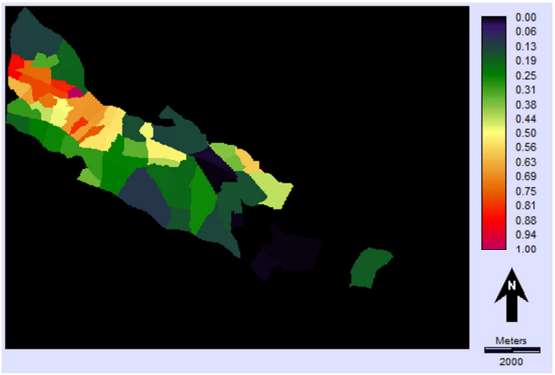


شکل ۱۲: توزیع واحدهای سنگ‌شناسی در مناطق مطالعاتی تبریز

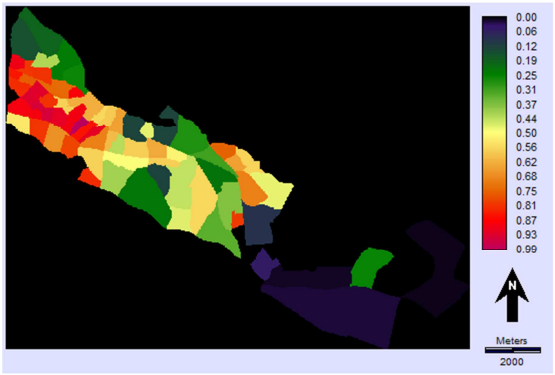
فازی‌سازی معیارها

استفاده از منطق فازی برای بی‌بعد نمودن و همسان‌سازی واحدهای اندازه‌گیری دارای مزیت‌های مختلفی می‌باشد که در ادامه به سه مورد از این مزیت‌ها اشاره می‌گردد: نخست اینکه واحدهای اندازه‌گیری تمامی لایه‌های موضوعی موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای بی‌بعد شده و امکان ترکیب آنها در طی فرایند روی‌هم‌گذاری و تلفیق لایه‌ها امکان‌پذیر می‌شود. دوم اینکه از طریق فازی‌سازی، لایه‌ها به‌صورت پیوسته درنظر گرفته می‌شوند و درنتیجه عدم قطعیت‌های مرتبط با فرایند کلاسه‌بندی داده‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) رفع می‌شود. سوم اینکه لایه‌های موضوعی باتوجه به نقش و کارکرد آنها در افزایش یا کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای دوباره ارزش‌گذاری می‌شوند. در این رابطه، برخی از معیارها رابطه‌ای مستقیم با آسیب‌پذیری لرزه‌ای دارند. معیارهای تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، تعداد

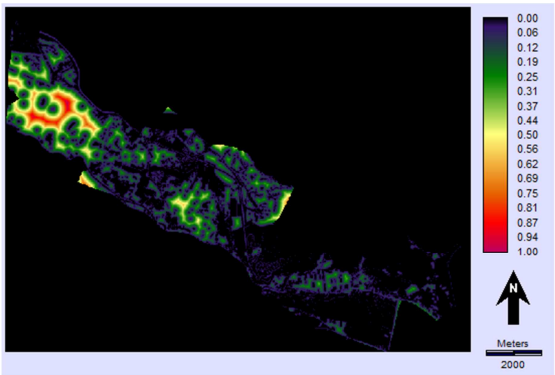
طبقات ساختمان‌ها، دسترسی به مراکز بیمارستانی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی، دسترسی به فضاهای باز شهری و شیب سطح زمین در این گروه قرار می‌گیرند. بدین ترتیب، معیارهای یادشده می‌توانند بااستفاده از توابع فازی افزایشی (مانند خطی فازی افزایشی یا بزرگ فازی) بی‌بعد گردند. تعدادی دیگر از معیارها رابطه‌ای معکوس با میزان آسیب-پذیری لرزه‌ای دارند. لایه‌های فاصله از گسل، فاصله از تاسیسات خطرزا و دانه‌بندی در گروه یادشده قرار می‌گیرند. در این رابطه استفاده از توابع فازی کاهشی مانند خطی کاهشی و کوچک فازی می‌توانند به منظور بی‌بعدسازی لایه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. معیار لیتولوژی، تنها معیار کیفی این پژوهش به شمار می‌رود که باتوجه به هدف پژوهش کدگذاری شدند. در طی این فرایند کدهای با مقادیر پایین به واحدهای سنگ‌شناسی با استحکام بیشتر و کدهای با مقادیر بالا به واحدهای سنگ‌شناسی سست اختصاص داده شد. درنهایت، بااستفاده از تابع فازی افزایشی نسبت به فازی‌سازی و بی‌بعد نمودن لایه نامبرده اقدام گردید (شکل‌های ۱۳ تا ۲۳).



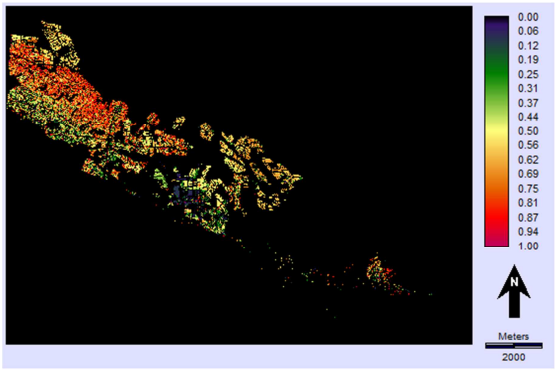
شکل ۱۳: نقشه فازی معیار تراکم جمعیت



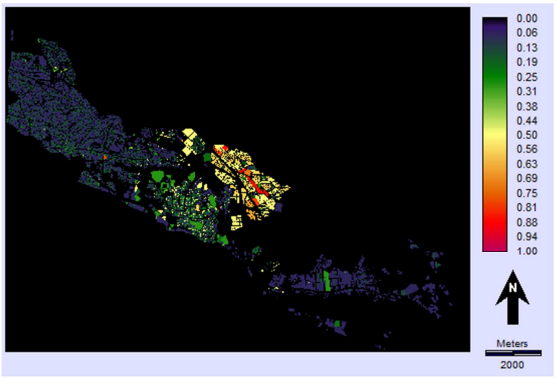
شکل ۱۴: نقشه فازی معیار تراکم مسکونی



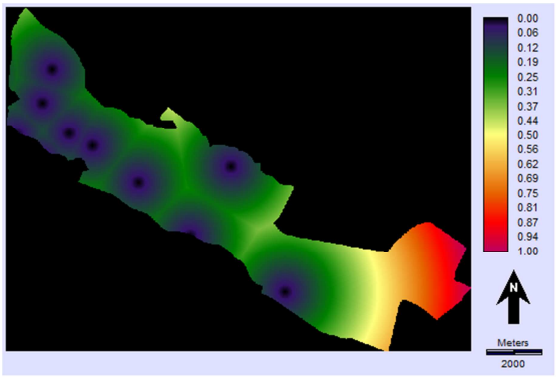
شکل ۱۵: نقشه فازی دسترسی به فضاهای باز شهری



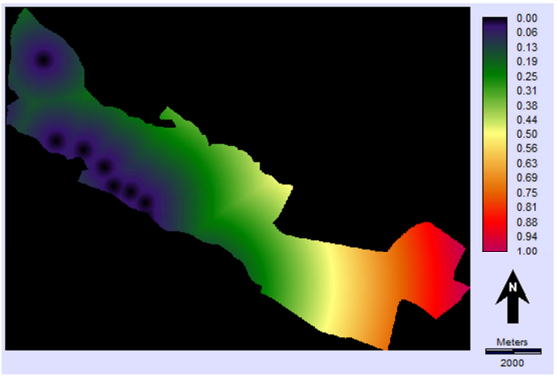
شکل ۱۶: نقشه فازی دانه‌بندی ساختمان‌های شهری



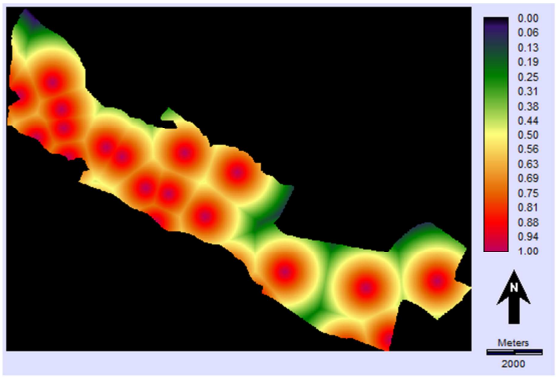
شکل ۱۷: نقشه فازی تعداد طبقات ساختمان‌ها



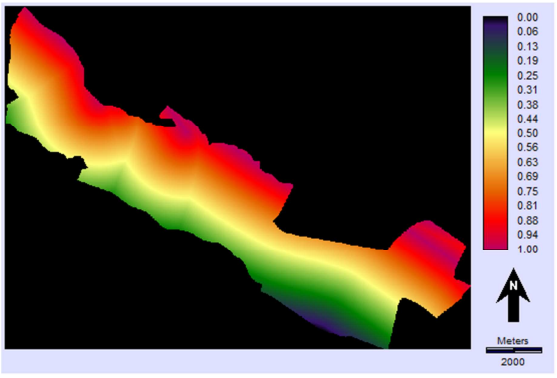
شکل ۱۸: نقشه فازی شعاع سرویس‌دهی ا. آتش‌نشانی



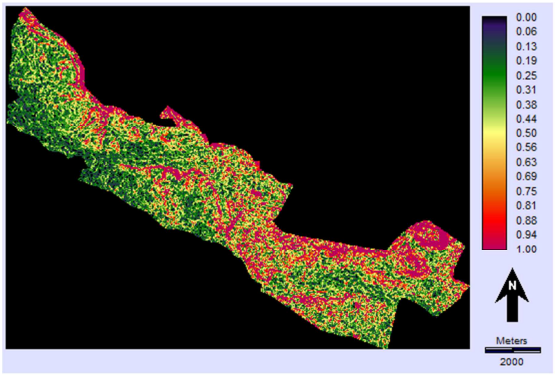
شکل ۱۹: نقشه فازی شعاع عملکردی بیمارستان‌ها



شکل ۲۰: نقشه فازی فاصله از تاسیسات خطرزا



شکل ۲۱: نقشه فازی فاصله از گسل



شکل ۲۲: نقشه فازی شیب



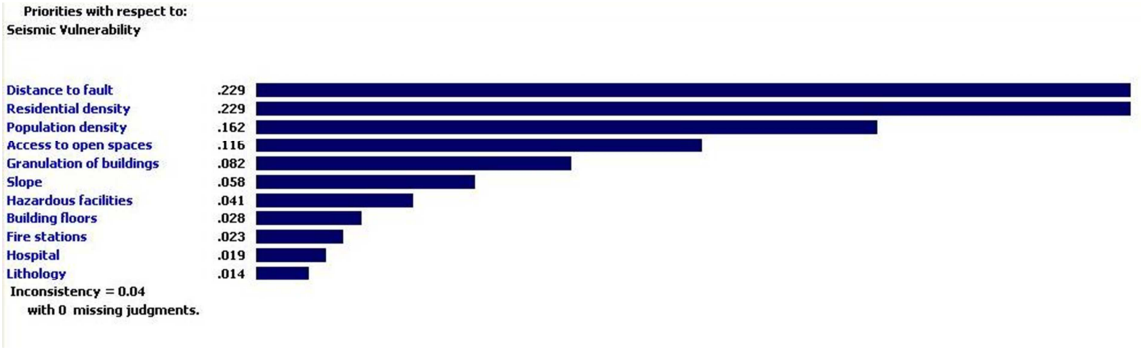
شکل ۲۳: نقشه فازی لیتولوژی

محاسبه وزن معیارها با استفاده از مدل AHP

در شکل (۲۴)، نتایج حاصل از اجرای مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای محاسبه وزن‌های هر یک از لایه‌های موضوعی مربوطه ارائه شده است. میزان ناسازگاری مدل در حدود ۰/۰۴ می‌باشد. معیارهای فاصله از گسل و تراکم مسکونی هر کدام با ضریب وزنی ۰/۲۲۹ و معیار تراکم جمعیت با ضریب وزنی ۰/۱۶۲، مهم‌ترین معیارهای اثرگذار بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق مطالعاتی تبریز به‌شمار می‌روند. معیارهای یادشده جنبه‌های محیطی، کالبدی و جمعیتی را دربر می‌گیرند و درنتیجه کنترل‌کننده‌های اصلی میزان آسیب‌پذیری در سطح مناطق مطالعاتی محسوب می‌شوند. اساسا خطر زلزله و آسیب‌پذیری لرزه‌ای معلول حضور و عبور گسل بزرگ تبریز از شمال این کلان‌شهر است. بدین ترتیب در شرایط برابر پهنه‌های مجاور این گسل از بالاترین میزان آسیب‌پذیری برخوردارند. این امر به‌دلیل وجود ساختارهای شهری متراکم و فشرده در مجاورت گسل یادشده از اهمیت مضاعفی برخوردار می‌گردد. به همین دلیل دو معیار تراکم مسکونی و تراکم جمعیت نیز جزو معیارهای مهم و اثرگذار بر آسیب‌پذیری مناطق مطالعاتی به‌شمار می‌روند.

سه معیار دسترسی به فضاهای باز شهری، دانه‌بندی ساختمان‌ها و شیب به‌ترتیب با ضرایب وزنی ۰/۱۱۶، ۰/۰۸۲ و ۰/۰۵۸ جزو معیارهای با ضریب وزنی متوسط محسوب می‌شوند. متغیرهای مزبور نیز ترکیبی از جنبه‌های محیطی، برنامه‌ریزی و کالبدی مناطق مطالعاتی از شهر تبریز می‌باشند. در رابطه با معیار دسترسی به فضاهای باز شهری، محدودیت‌های شدیدی در دسترسی به این فضاها در بخش‌های قابل‌توجهی از مناطق ۱ و ۱۰ شهری وجود دارد. محلاتی مانند ایده‌لو، دوه‌چی، انبار سرد، سرخاب، سیلاب قوشخانه و ۴۲ متری عملا فاقد فضاهای باز شهری می‌باشند و دارای بافتی فشرده و درهم‌تنیده هستند. موارد نامبرده تا حد زیادی برای معیار دانه‌بندی ساختمان‌ها و بناهای شهری در مناطق مطالعاتی نیز صادق است. بخش قابل‌توجهی از ساختمان‌های موجود در مناطق ۱ و ۱۰ شهرداری تبریز جزو ساختمان‌های دانه‌ریز به‌شمار می‌روند که خود بازتابی از کیفیت پایین ساختمان‌های یادشده و آسیب‌پذیری آنها نسبت به زلزله می‌باشد. اهمیت معیار شیب بیشتر به‌صورت محلی می‌باشد و خود دلیلی بر پایین بودن ضریب وزنی این معیار نسبت به معیارهای بیان‌شده در بالا بوده است.

معیارهای فاصله از تاسیسات خطرزا با ضریب وزنی ۰/۰۴۱، تعداد طبقات ساختمان‌ها با ضریب وزنی ۰/۰۲۸، شعاع عملکردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با ضریب وزنی ۰/۰۲۳، محدوده سرویس‌دهی بیمارستان‌ها با ضریب وزنی ۰/۰۱۹ و درنهایت معیار لیتولوژی با ضریب وزنی ۰/۰۱۴ جزو معیارهای کم‌اهمیت در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق مطالعاتی محسوب می‌شوند. در واقع، معیارهای بیان‌شده در سطح محلی و موضعی آسیب‌پذیری لرزه‌ای فضاهای شهری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بدین ترتیب با عطف به اهمیت فضایی- مکانی کمتر، از ضریب وزنی پایینی نیز برخوردار شده‌اند.

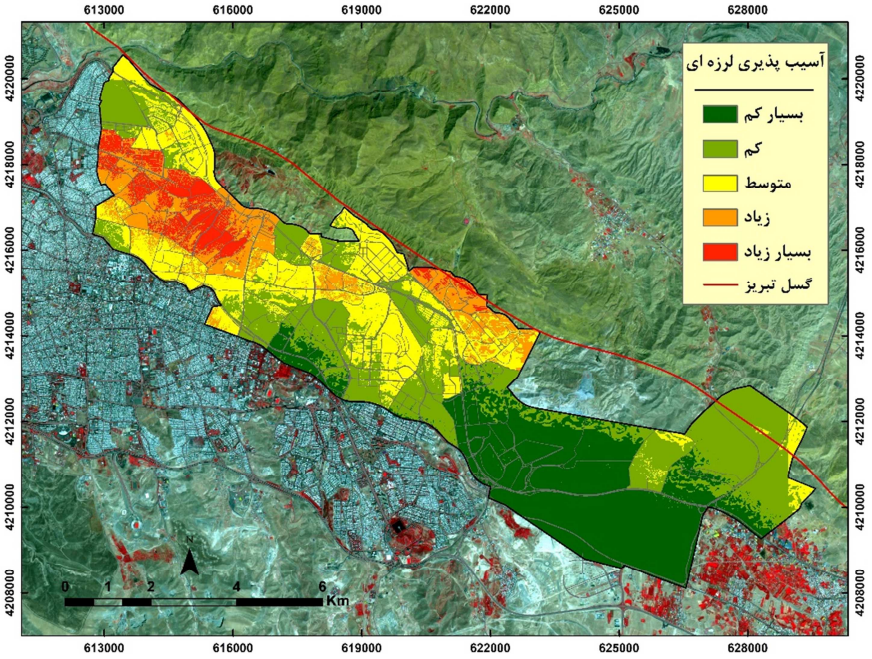


شکل ۲۴: وزن هر یک از معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از مدل AHP

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز حاصل از کاربست منطق فازی و مدل AHP در شکل (۲۵) ارائه شده است. مقادیر عددی حاصل از پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بیانگر این است که بخش اعظم ساختمان‌ها و بناهای واقع در مناطق شمالی تبریز نسبت به خطر زلزله آسیب‌پذیرند. بااین حال در یک حالت تطبیقی، بالغ بر ۲۸/۷ درصد از مساحت مناطق شمالی شهر تبریز در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار کم و در حدود ۳۲/۱ درصد آن در کلاس با آسیب‌پذیری کم قرار گرفته است. این پهنه‌ها بیشتر منطبق بر اراضی غیرمسکونی از قبیل جاده‌ها، فضاهای سبز، اراضی بایر و کاربری‌های مشابه می‌باشند. در حدود ۲۲ درصد از مساحت فضاهای شهری در مناطق شمالی تبریز در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای متوسط واقع شده‌اند. پهنه‌های یادشده اغلب منطبق بر شهرک‌های تازه ساخت و محلات با تراکم پایین مسکونی و جمعیتی می‌باشند. درنهایت بالغ بر ۱۱/۶ درصد مناطق شمالی تبریز در کلاس با آسیب‌پذیری بالا و حدود ۵/۶ درصد در کلاس با آسیب‌پذیری بسیار بالا واقع شده‌اند. پهنه-های یادشده به‌طور عمده در غرب منطقه ۱ و قسمت‌های مرکزی منطقه ۱۰ توزیع شده‌اند. در واقع، پهنه‌های با بیشترین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطبق بر بخش‌هایی از محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ می‌باشند. در این زمینه می‌توان به محلات ایده‌لو، اسماعیل بقال، سرخاب، خلیل‌آباد و انبار سرد اشاره نمود. تقریبا تمامی این محلات در کلاس با آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار دارند. مجموعه‌ای از عوامل باعث شده است که بخش‌های غربی منطقه ۱ و بخش‌های مرکزی منطقه ۱۰ از درجه آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار بالایی برخوردار باشند. در این زمینه می‌توان به مجاورت با گسل بزرگ تبریز، تراکم بالای جمعیتی و مسکونی، فقدان یا محدودیت شدید فضاهای باز شهری، ریزدانه‌بودن بخش قابل‌توجهی از ساختمان‌ها، وجود بافت فرسوده، حاشیه‌نشینی و غیره اشاره نمود. ترکیب عوامل یادشده باعث شده است که این قسمت از شهر تبریز از شرایط حاد و بحرانی نسبت به مخاطره زلزله

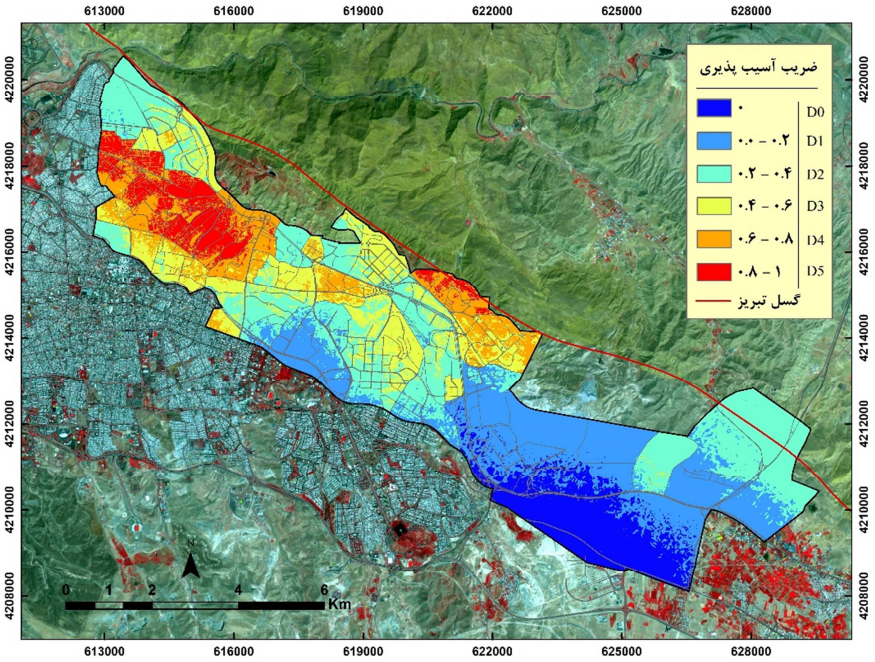
برخوردار شود. باتوجه به ارزیابی جداگانه معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای و همچنین نتایج حاصل از ترکیب معیارهای ۱۱گانه در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی، می‌توان به جرات بیان داشت که محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ جزو کانون‌های بحرانی در سطح شهر تبریز محسوب می‌شوند. باتوجه به تراکم بالای جمعیتی، یک زلزله بزرگ می‌تواند منجر به خسارت‌های مادی و تلفات جانی شدید در این مناطق گردد.



شکل ۲۵: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی کلان‌شهر تبریز

- طراحی سناریوی ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای در برابر میانگین شدت زلزله

در این پژوهش برای محاسبه ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی تبریز، از زلزله‌ای به شدت ۱۰ مرکالی استفاده شد. در واقع، مناطق شمالی تبریز از یک طرف به‌دلیل مجاورت با گسل بزرگ تبریز و ازطرف دیگر، به‌دلیل شرایط کالبدی- جمعیتی حاکم بر این مناطق از بیشترین میزان آسیب‌پذیری نسبت به زلزله برخوردارند. به همین دلیل، برای محاسبه ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای از زلزله‌ای با شدت بالا (بین ۶/۵ تا ۷ ریشتر) استفاده به عمل آمد. مقیاس مرکالی بیشتر دلالت بر حجم خسارت و تخریب دارد و می‌تواند از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت باشد. بااین‌حال، شرایط جمعیتی- کالبدی بخش عمده‌ای از مناطق شمالی تبریز ایجاب می‌کند که احتمال رخداد زمین-لرزه‌های شدید مبنای برنامه‌های مدیریت ریسک زلزله قرار گیرند. برای محاسبه ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز از لایه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (شکل ۲۵) و رابطه (۲) استفاده به عمل آمد (شکل ۲۶).



شکل ۲۶: ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی تبریز برای زلزله‌ای با شدت ۱۰ مرکالی

مقدار آسیب وارده به هر واحد ساختمانی را می‌توان در ۶ گروه عمده مورد طبقه‌بندی قرار داد (جدول ۱).

جدول ۱: درجه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها

درجه آسیب	محدوده (دامنه)	شرح	میزان آسیب وارده به ساختمان (٪)
D0	۰	بدون آسیب	۰
D1	۰/۰ – ۰/۲	آسیب جزئی و قابل اغماض	۰
D2	۰/۲ – ۰/۴	آسیب متوسط	۲
D3	۰/۴ – ۰/۶	آسیب قابل‌توجه تا سنگین	۱۰
D4	۰/۶ – ۰/۸	آسیب بسیار سنگین	۵۰
D5	۰/۸ – ۱	نابودی کامل	۱۰۰

مقادیر ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای در دامنه بین ۰ و ۱ قرار می‌گیرد. مقدار ۰ بیانگر عدم تخریب ساختمان‌ها و مقدار ۱ بیانگر تخریب و ویرانی کامل بناها و ساختمان‌ها می‌باشد. در شکل (۲۶) توزیع فضایی مقادیر ضریب آسیب‌پذیری در سطح مناطق شمالی تبریز در قالب شش کلاس، از D0 (بدون تخریب) تا D5 (تخریب کامل)، ارائه شده است. بالغ بر ۳۶ درصد از مناطق مطالعاتی در کلاس D0 و D1 قرار می‌گیرند. این پهنه‌ها بیشتر منطبق بر کاربری‌هایی نظیر اراضی بایر، فضاهای سبز و ... می‌باشد که به‌دلیل غیرمسکونی و خالی از سکنه بودن از کمترین میزان آسیب‌پذیری نسبت به زلزله برخوردارند. در حدود ۲۹ درصد از فضاهای شهری در مناطق مطالعاتی در کلاس D2 واقع شده‌اند. این کلاس از آسیب‌پذیری نسبتا کم تا متوسطی در مقابل مخاطره زلزله برخوردار است و درصد تخریب ساختمان‌ها و بناها در این کلاس چندان زیاد نیست. در سطح مناطق مطالعاتی این کلاس اغلب منطبق بر واحدهای ساختمانی درحال ساخت، کاربری‌های با سطح زیربنای وسیع، برخی واحدهای مسکونی- تجاری با موقعیت قرارگیری نه‌چندان

نامطلوب و ... می‌باشد. در حدود ۱۷ درصد از فضاهای شهری در کلاس D3 قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب میزان تخریب ساختمان‌ها و بناهای واقع در این کلاس حدود ۱۰ درصد خواهد بود و حجم خسارت‌ها و تلفات جانی و مالی می‌تواند قابل‌توجه باشد. همچنین ۱۱/۴ درصد از مناطق سه‌گانه مطالعاتی از شهر تبریز در کلاس D5 قرار دارند و در واقع درحدود ۵۰ درصد ساختمان‌ها و بناها در این کلاس به‌هنگام رخداد زلزله تخریب خواهند شد که این امر می‌تواند به خسارت‌ها و تلفات جانی و مال سنگین منجر گردد. درنهایت، حدود ۶/۴ درصد فضاهای شهری در مناطق شمالی تبریز در کلاس D5 قرار دارد که از بیشترین میزان تخریب (تخریب ۱۰۰ درصد) به هنگام زلزله (در اینجا زلزله با شدت ۱۰ مرکالی) برخوردارند. دو کلاس بیان‌شده بخش عمده‌ای از کاربری‌های مسکونی مناطق شمالی تبریز را شامل می‌شود و بیانگر آسیب‌پذیری بسیار زیاد آنها به‌هنگام رخداد زلزله می‌باشد.

ساختمان‌های واقع در محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ دارای بیشترین میزان ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌باشند. تقریبا تمامی این محلات در دو کلاس با مقادیر ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای ۰/۶ تا ۰/۸ و ۰/۸ تا ۱ قرار گرفته‌اند. محلاتی مانند سیلاب قوشخانه، ملازینال و ایده‌لو در منطقه ۱ شهرداری و محلات اسماعیل بقال، سرخاب، قربانی، خلیل‌آباد و انبار سرد در منطقه ۱۰ شهرداری جزو مهم‌ترین این محلات می‌باشند. باتوجه به تراکم بالای جمعیتی و مسکونی در محلات یادشده به هنگام زلزله تلفات جانی بسیار زیاد و فاجعه‌بار خواهد بود. بدین ترتیب، باتوجه به مقادیر بالای ضریب آسیب‌پذیری (مقدار عددی ۱ و نزدیک به آن) در شماری از محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ و باتوجه به ویژگی‌های فضایی- کالبدی حاکم بر دو منطقه نامبرده لازم است که اقداماتی سریع در جهت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای صورت گیرد. حتی به نظر می‌رسد که جابه‌جایی بخشی از جمعیت به عنوان تنها راهکار موجود در بخش‌هایی از محلات یادشده محسوب می‌گردد. در شکل (۲۷) نمایی از بافت درهم‌فشرده و ریزدانه شهری در بخش‌هایی از مناطق ۱ و ۱۰ شهرداری تبریز ارائه شده است. در واقع، در بخش‌های قابل‌توجهی از محلات مناطق شمالی تبریز مجموعه‌ای از عوامل موثر تشدیدکننده آسیب‌پذیری باعث شده‌اند که این بخش از شهر تبریز نسبت به خطر زلزله به‌شدت آسیب‌پذیر باشد. ازجمله مهم‌ترین عوامل می‌توان به عبور گسل بزرگ تبریز از مجاورت این مناطق و پتانسیل بالای لرزه‌زایی آن، تراکم بالای جمعیتی و مسکونی، بافت فشرده و درهم‌تنیده شهری و ریزدانه بودن اکثر ساختمان‌ها، فقدان یا محدودیت شدید فضاهای باز شهری، فقدان شبکه ارتباطی مطلوب، کیفیت پایین بخش قابل‌توجهی از بناها و ساختمان‌های شهری، وجود بافت فرسوده، حاشیه-نشینی، زیربنای ناپایدار و ضعف فونداسیون ساختمان‌ها و موارد متعدد دیگر اشاره نمود.



شکل ۲۷: نمایی از بافت فشرده و ریزدانه شهری در مناطق شمالی شهر تبریز

نتیجه‌گیری

عبور گسل بزرگ و فعال تبریز از لبه شمالی مناطق مطالعاتی از شهر تبریز (مناطق ۱، ۵ و ۱۰) و توان لرزه‌زایی بالای این گسل مسبب اصلی آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه می‌باشد. در واقع، مناطق شمالی تبریز در حریم این گسل می‌باشند و اصولا نمی‌بایست تحت ساخت‌وساز قرار می‌گرفتند. بااین‌حال حجم عظیمی از ساخت‌وسازها بدون توجه به استانداردها و آیین‌نامه‌های مرتبط با زلزله در حریم این گسل اتفاق افتاده است. حتی در طی دهه‌های اخیر روند اصلی توسعه فضایی- کالبدی شهر تبریز در حریم این گسل بوده است. نتایج حاصل از مقایسات زوجی مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) بیانگر این است که معیارهای فاصله از گسل و تراکم مسکونی هر دو با ضریب وزنی ۰/۲۲۹ و معیار تراکم جمعیت با ضریب وزنی ۰/۱۶۲ مهم‌ترین معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز می‌باشند. در مرتبه بعد معیارهای دسترسی به فضاهای باز شهری با وزن ۰/۱۱۶، دانه‌بندی ساختمان‌ها با وزن ۰/۰۸۲ و شیب سطح زمین با وزن ۰/۰۵۸ قرار می‌گیرند. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شمالی شهر تبریز نشان می‌دهد که تقریبا تمامی مناطق شمالی شهر نسبت به مخاطره زلزله از آسیب‌پذیری بالا تا بسیار بالایی برخوردارند. در این رابطه بالغ بر ۱۶/۶ درصد از فضاهای شهری مناطق مطالعاتی در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای زیاد و ۵/۶ درصد در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار زیاد واقع شده‌اند. این فضاها بیشتر شامل کاربری‌های مسکونی واقع در محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ می‌باشند. از این محلات می‌توان به محلات ایده‌لو، اسماعیل بقال، سرخاب، خلیل‌آباد و انبار سرد اشاره داشت. در واقع، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مبتنی بر ترکیب معیارهای مختلف موثر بر میزان آسیب‌پذیری نسبت به زلزله است. بنابراین، در نقاطی که چندین معیار تشدیدکننده خسارت‌ها وجود داشته باشد (به‌ویژه معیارهای مهمی مانند تراکم مسکونی و نزدیکی به گسل فعال) می‌توان انتظار داشت که میزان آسیب‌پذیری به‌شدت افزایش پیدا کند. شرایط بیان‌شده در قسمت‌های غربی منطقه

۱ و قسمت‌های مرکزی منطقه ۱۰ برقرار است. به‌گونه‌ای که محلات واقع در این قسمت‌ها از بالاترین میزان تراکم جمعیت و تراکم مسکونی در سطح شهر تبریز برخوردارند. تراکم بالای مسکونی و جمعیتی خود باعث مسائلی نظیر فشرده و ریزدانه بودن بافت شهر، ارتباط‌پذیری و دسترس‌پذیری نامطلوب، کمبود فضاهای باز شهری، کیفیت پایین بناها و ساختمان‌های موجود در منطقه و موارد متعدد دیگر شده است. ازطرف دیگر این محلات در نزدیکی گسل بزرگ تبریز قرار گرفته‌اند و از شرایط زمین‌شناسی پایداری نیز برخوردار نیستند. در این زمینه می‌توان به مشکلات متعدد در زمینه فونداسیون ساختمان‌ها در محله خلیل‌آباد اشاره نمود. به این عوامل می‌توان حاشیه‌نشینی و وجود بافت فرسوده را نیز اضافه نمود. به همین دلیل ساختمان‌های واقع در محلات غربی منطقه ۱ و محلات مرکزی منطقه ۱۰ از بیشترین میزان ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای برخوردارند. تقریبا تمامی این محلات در دو کلاس با مقادیر ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای ۰/۶ تا ۰/۸ و ۰/۸ تا ۱ قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب برای یک زلزله با شدت ۱۰ برحسب مقیاس مرکالی، تخریب فیزیکی ساختمان‌ها بین ۶۵ تا ۱۰۰ درصد قابل تصور است. مجموعه این عوامل باعث شده است که محلات مورد اشاره از آسیب‌پذیرترین و بحرانی‌ترین نقاط شهر تبریز به هنگام رخداد زلزله محسوب شوند.

منابع

احد نژاد روشتی، محسن؛ قرخلو، مهدی؛ زیاری، کرامت اله. (۱۳۸۹). مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، نمونه موردی: شهر زنجان. جغرافیا و توسعه، دوره ۸، شماره ۱۹، صص ۱۷۱-۱۹۸.

اشرفی، حمیدرضا؛ یاقوتی، سمیه (۱۳۹۷). بررسی روش‌های تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از GIS. اولین کنفرانس ملی نقش مهندسی عمران در کاهش مخاطرات، دانشگاه رازی. https://civilica.com/doc/869766

امینی، جمال؛ کرمی، جلال؛ علی‌محمدی سراب، عباس؛ صفرزاد، طاهر. (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعه موردی، منطقه یک شهرداری تهران). مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای. دوره ۳، شماره ۱۱، صص ۲۳-۴۰.

رامشت، محمدحسین؛ حاتمی‌فرد، رامین؛ موسوی، سیدحجت. (۱۳۹۲). مکان‌یابی دفن پسماند جامد شهری بااستفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی: شهرستان کوهدشت). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۴، شماره پیاپی ۴۴، صص ۱۳۸-۱۱۹.

زنگی‌آبادی، علی؛ محمدی، جمال؛ صفایی، همایون؛ قائد رحمتی، صفر. (۱۳۸۷). تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر خطر زلزله، نمونه موردی: مساکن شهر اصفهان. جغرافیا و توسعه، دوره ۶، شماره ۱۲، صص ۷۹-۶۱.

سرور، هوشنگ؛ خیری‌زاده آروق، منصور. (۱۳۹۴). امکان‌سنجی توسعه فیزیکی بهینه شهر مراغه بااستفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). طرح پژوهشی، دانشگاه مراغه.

سهرابی، وحید؛ عفیفی، محمدابراهیم. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی خطر زلزله در شهرستان بستک بااستفاده از مدل FUZZY-AHP. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در برنامه‌ریزی، دوره ۱۳، شماره ۳، شماره پیاپی ۴۹، صص ۱۱۳-۹۹.

عابدینی، موسی؛ سرمستی، نادر. (۱۳۹۵). ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان شهر تبریز در برابر خطر زلزله و برآورد تلفات انسانی. جغرافیای طبیعی، دوره ۹، شماره ۲، صص ۳۵-۵۶.

مصری علمداری، پریچهر؛ خیری‌زاده آروق، منصور. (۱۳۹۹). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای فضاهای شهری با کاربست تئوری کاتاستروف (مورد: شهر ورزقان). نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۳، شماره پیاپی ۳۵، صص ۱۲۳-۹۹.

نظم‌فر، حسین؛ علوی، سعیده. (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر شدت‌های مختلف زلزله مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۷، شماره ۱۰۸، صص ۱۶۵-۱۸۱.

Alam, Md. Shaharier., Haque, Shamim Mahabubul. (2018). Assessment of Urban Physical Seismic Vulnerability Using the Combination of AHP and TOPSIS Models: A Case Study of Residential Neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh. Journal of Geoscience and Environment Protection, Vol. 6, No. 2, pp. 165-183.

Alcántara-Ayala, I., Goudie, A. S. (2010). Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. Cambridge University Press.

Armaş, Iuliana. (2006). Earthquake Risk Perception in Bucharest, Romania. Risk Analysis, Vol. 26, No. 5, pp. 1223-34.

Duzgun, H.S.B., Yucemen, M.S., Kalaycioglu, H.S, K., Celik, K., Kemec, S., Ertugay, K., Deniz, A. (2011). An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. Natural Hazards 59(2): 917-947.

Hyndman, D., Hyndman, D. (2009). Natural Hazards and Disasters, Second Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning.

Inel, Mehmet., Senel, Sevket Murat., Toprak, Selcuk., Manav, Yasemin. (2008). Seismic risk assessment of buildings in urban areas: a case study for Denizli, Turkey. Natural Hazards, Volume 46, Issue 3, pp 265-285.

Liu, Yaohui., Li, Zhiqiang., Wei, Benyong., Li, Xiaoli., Fu, Bo. (2019). Seismic vulnerability assessment at urban scale using data mining and GIS Science technology: application to Urumqi (China). Geomatics, Natural Hazards and Risk, VOL. 10, NO. 1, 958–985.

Moradi, Milad., Delavar, Mahmoud Reza., Moshiri, Behzad. (2017). A GIS-based multi-criteria analysis model for earthquake vulnerability assessment using Choquet integral and game theory. Natural Hazards 87 (3): 1377-1398.

Nath, S. K., Adhikari, M. D., Maiti, S. K., Devaraj, N., Srivastava, N., and Mohapatra, L. D. (2014). Earthquake scenario in West Bengal with emphasis on seismic hazard micro-zonation of the city of Kolkata, India. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2549-2575.

Oliveira, Carlos Sousa., Roca, Antoni., Goula, Xavier. (2006). Assessing and managing earthquake risk: Geo-scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation: developments, tools, techniques. Springer.

Rashed, Tarek., Weeks, John. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. International Journal of Geographical Information Science, Volume 17, Issue 6, pp. 1-30.

Sanders, Miguel H., Clark, Phillip D. (2010). Geomorphology: Processes, Taxonomy and Applications. Nova Science Publishers, Inc. 216 P.

Sarris, A., Loupasakis, C., Soupios, P., Trigkas, V., Vallianatos, F. (2010). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece. Natural Hazards, Volume 54, Issue 2, pp 395-412.

Sinha, Nishant., Priyanka, Neena., Joshi, P. K. (2014). Using Spatial Multi-Criteria Analysis and Ranking Tool (SMART) in earthquake risk assessment: a case study of Delhi region, India. Geomatics. Natural Hazards and Risk, Volume 7, Issue 2, pp 680-701.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Abedini, Mu□a., Sarma□ti, Nader. (2016). Vulnerability factor of Tabriz metropolitan again□t earthquake ri□k a□e□ment and e□timation of ca□ualtie□. Natural Geography, Volume 9, I□ue 2, Page□35-56. [In Persian]

Ahadnejad, Moh□en., Garakhlo, Mehdei., Zyarei, Keramat. (2010). Modeling the Vulnerability of Urban Building□Again□t Earthquake by Method of Analytical Hierarchy Proce□□(AHP) (Ca□e Study of Zanjan City). Geography and Development, Volume 8, I□ue 19 - Serial Number 19, Page□171-198. [In Persian]

Amini, Jamal., Karami, Jalal., Alimohammadi Sarab, Abba□, Safarzade, Taher. (2011). Evaluation of the RADIUS model in the e□timation of damage□cau□ed by earthquake□in the GIS environment (ca□e □tudy, Region one of Tehran Municipality). Urban and regional □tudie□and re□earch, Volume 3, I□ue 11, Page□23-40. [In Persian]

A□hrafi, Hamidreza., Yaquti, Somayyeh. (2018). Examining method□of e□timating damage cau□ed by earthquake□u□ing GIS. The fir□t national conference on the role of civil engineering in ri□k reduction, Razi Univer□ity. http□//civilica.com/doc/869766. [In Persian]

Azimi Ho□eini, Mohammad., Nazarifar, Mohammad Hadi., Momeni, Rezvaneh. (2010). Application of GIS in □ite □election. Mehrgan Qalam Publication□. [In Persian]

Me□ri Alamdari, Parichehr., Kheirizadeh Arough, Man□our. (2020). Vulnerability A□e□ment of Citie□to Earthquake Ba□ed on the Cata□trophe Theory: A Ca□e Study of Varzeqan City, Iran. Journal of Geography and Environmental Hazard□, Volume 9, I□ue 3 - Serial Number 35, Page□99-123. [In Persian]

Nazmfar, Ho□ein., Alavi, Saiedeh. (2019). Evaluating the vulnerability of urban building□to variou□earthquake inten□itie□ Ca□e □tudy: Di□trict 9 of Tehran Municipality. Scientific- Re□earch Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), Volume 27, I□ue 108 - Serial Number 108, Page□165-181. [In Persian]

Rama□ht, Mohammad Ho□ein., Hatami Fard, Ramin., Mo□avy, Seayed Hojat. (2013). Site Selection of Municipal Solid Wa□te Di□po□al U□ing AHP Model and GIS Technique (Ca□e Study: Kouhda□ht City). Journal of Geography and Planning, Volume 17, I□ue 44 - Serial Number 44, Page□119-138. [In Persian]

Sarvar, Hou□hang., Kheirizadeh Arouq, Man□our. (2015). Fea□ibility of optimal phy□ical development of Maragheh city u□ing geographic information □y□tem (GIS). Re□earch project, Maragheh Univer□ity. [In Persian]

Zangiabadei, Ali., Mohamadei, Jamal., Safaei, Homayoun., Gaedrahmati, Safar. (2008). Vulnerability Indicator□A□e□ment of Urban Hou□ing Again□t the Earthquake Hazard Ca□e Study: I□fahan Hou□ing. Geography and Development, Volume 6, I□ue 12 - Serial Number 12, Page□61-79. [In Persian]

References (in English)

Alam, Md. Shaharier., Haque, Shamim Mahabubul. (2018). Assessment of Urban Physical Seismic Vulnerability Using the Combination of AHP and TOPSIS Models: A Case Study of Residential Neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh. Journal of Geoscience and Environment Protection, Vol. 6, No. 2, pp. 165-183.

Alcántara-Ayala, I., Goudie, A. S. (2010). Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. Cambridge University Press.

Armaş, Iuliana. (2006). Earthquake Risk Perception in Bucharest, Romania. Risk Analysis, Vol. 26, No. 5, pp. 1223-34.

Duzgun, H.S.B., Yucemen, M.S., Kalaycioglu, H.S, K., Celik, K., Kemec, S., Ertugay, K., Deniz, A. (2011). An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. Natural Hazards 59(2): 917-947.

Hyndman, D., Hyndman, D. (2009). Natural Hazards and Disasters, Second Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning.

Inel, Mehmet., Senel, Sevket Murat., Toprak, Selcuk., Manav, Yasemin. (2008). Seismic risk assessment of buildings in urban areas: a case study for Denizli, Turkey. Natural Hazards, Volume 46, Issue 3, pp 265-285.

Liu, Yaohui., Li, Zhiqiang., Wei, Benyong., Li, Xiaoli., Fu, Bo. (2019). Seismic vulnerability assessment at urban scale using data mining and GIS Science technology: application to Urumqi (China). Geomatics, Natural Hazards and Risk, VOL. 10, NO. 1, 958–985.

Moradi, Milad., Delavar, Mahmoud Reza., Moshiri, Behzad. (2017). A GIS-based multi-criteria analysis model for earthquake vulnerability assessment using Choquet integral and game theory. Natural Hazards 87 (3): 1377-1398.

Nath, S. K., Adhikari, M. D., Maiti, S. K., Devaraj, N., Srivastava, N., and Mohapatra, L. D. (2014). Earthquake scenario in West Bengal with emphasis on seismic hazard micro-zonation of the city of Kolkata, India. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2549-2575.

Oliveira, Carlos Sousa., Roca, Antoni., Goula, Xavier. (2006). Assessing and managing earthquake risk: Geo-scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation: developments, tools, techniques. Springer.

Rashed, Tarek., Weeks, John. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. International Journal of Geographical Information Science, Volume 17, Issue 6, pp. 1-30.

Sanders, Miguel H., Clark, Phillip D. (2010). Geomorphology: Processes, Taxonomy and Applications. Nova Science Publishers, Inc. 216 P.

Sarris, A., Loupasakis, C., Soupios, P., Trigkas, V., Vallianatos, F. (2010). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece. Natural Hazards, Volume 54, Issue 2, pp 395-412.

Sinha, Nishant., Priyanka, Neena., Joshi, P. K. (2014). Using Spatial Multi-Criteria Analysis and Ranking Tool (SMART) in earthquake risk assessment: a case study of Delhi region, India. Geomatics. Natural Hazards and Risk, Volume 7, Issue 2, pp 680-701.