

Original Research Article

Passive defense and earthquake risk assessment in urban centers using the linear allocation technique through total weighting and classification

Kioumars Maleki^{1*}, Mohammad Raza Pour Mohammadi²

¹Postdoctoral researcher in geography and urban planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Iran

²Professor of geography & urban planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Iran



10.22034/grd.2025.22857.1648

Received:

February 28, 2025

Accepted:

September 06, 2025

Keywords:

Passive defense, Earthquake evaluation, Municipal areas, Metropolitan area of Tabriz

Abstract

Cities, as population centers, are on the path of development and accept people from different places in accordance with political-economic conditions. This has caused the physical development of the city to undergo changes in different historical periods. This article examines the directions of physical development with Holdren and entropy models using the Geographic Information System (GIS) and the Arc Map software in the metropolis of Tabriz as a historical and earthquake-prone city. Previous research has focused more on city zoning and sometimes planning the land use system in accordance with urban development programs; other layers that cause physical development have not been considered. The present study seeks to examine the factors affecting the cyclical development of the city and control earthquake damage in accordance with passive defense considerations. According to the results, historical events, commercial issues, and the occurrence of the imposed war have had some effects on the physical growth of the city, despite the occurrence of numerous earthquakes in the past, endangering the areas crossed by fault lines. In this regard, there is a need to monitor and formulate programs to strengthen buildings, develop open and green spaces, transfer conflicting uses, and expand the road network. These fundamental solutions can reduce earthquake damage with an emphasis on the passive defense considerations in these areas (dense, historical, marginal, and industrial areas of the city, including districts 1, 10, 4, 5 and, to some extent, districts 9, 6, and 3).

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



* **Corresponding Author:** Kioumars Maleki

Address: Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University

Email: kioumars.maleki@tabrizu.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Because of capital accumulation and high population density in cities and their size compared to other settlements, forecasts for 2030 suggest that they will suffer more injuries in the future. About 6 of 8.1 billion people on the earth will settle in cities, and about two third of them will live in big cities. Many of these big cities will be built in the context of development processes. The body of cities and their population are exposed to risks and injuries from natural disasters. On average, an earthquake of with a magnitude of 6 degrees every year and a magnitude of 7 degrees every 10 years occurs in Iran. Some urban areas suffer serious injuries, which denotes the need to implement a crisis plan. Today in the area of high risks, non-operational defensive principles are practiced to mitigate risks and optimally guide the essential urban development plans. Tabriz metropolitan area has been the center of settlement and communication and the demographic pole of the northwestern region of the country since ancient times. The city owes this position to its demographic features, which makes earthquakes vulnerability analysis inevitable. The present article aims to a) examine the risk and vulnerability of municipal areas to facilitate the identification of the crisis area in Tabriz metropolitan, b) examine vulnerability of municipal areas of Tabriz in proportion to location of the fault lines and how much vulnerability matches reality and c) analyze the correspondence of the output results of the models with each other and the reasons for the vulnerability and less vulnerability of municipal Tabriz areas by providing non-municipal defensive solutions.

2. Research Methodology

The present study is descriptive-analytical in terms of method. It deals with physical, social and economic indicators in accordance with the objectives and principles of the non-operational urban defense. These components are associated with subgroup indicators (population in 2015 and fault lines) and used as input data for models. Also, opinions of experienced teachers are considered in planning. The data were extracted qualitatively and quantitatively, and the output of surveying Tabriz was analyzed based on the maps obtained to compare the urban areas in terms of physical development.

3. Results and discussion

Based on the linear allocation matrix, we conclude Districts 2, 3, 4, 7, 6, 8, 1, 5, 9, and 10 in Tabriz Metropolis rank first to tenth in terms of vulnerability. Also, the results of the total weight analysis showed that the highest value ranks first and the lowest value ranks last. This is proportional to the output of the model of District 2 of Tabriz in the first place and Districts 3 4 and 7 in the second place, Districts 6 and 8 ranking third, Districts 1, 5 and 9 ranking fourth, and District 10 with the highest vulnerability in the fifth place.

4. Conclusion

In this article, the passive defense and earthquake risk assessment in urban centers were studied using the techniques of linear allocation, total weight, and classification. Districts 2, 3, 4, 7, 6, 8, 1, 5, 9, and 10 In Tabriz City ranked from first to tenth in terms of vulnerability to earthquakes. Also the results of weighting and ranking indicates the highest value is ranked first and the lowest value in last place. This is proportional to the output of the model; District 2 in Tabriz was in the first place, and District 10 was the last. So, it requires appropriate urban development projects with a focus on the strengths and weaknesses, opportunities and threats of each municipal area with regard to the distribution of users who are involved in risk control and vulnerability reduction. There is also a need for the development of non-functional and multi-purpose spaces and the change of land use, especially in high-risk areas adjacent to faults.

مقاله پژوهشی

پدافند غیرعامل و ارزیابی خطر زلزله در مراکز شهری با استفاده از تکنیک‌های تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده

کیومرث ملکی^{۱*}، محمدرضا پورمحمدی^۲

^۱ پژوهشگر پسادکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران

^۲ استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران

(مقاله حاضر مستخرج از طرح پسادکتری تحت عنوان: شبکه تهدید و حلقه مخاطره در بحران زلزله با رویکردی بر پدافند غیرعامل در برنامه‌ریزی کاربری اراضی چندمنظوره (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز) رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز است.)

doi 10.22034/grd.2025.22857.1648

چکیده

قرارگیری کشور بر روی کمربند زلزله و سوابق ثبت‌شده از تهدیدات محیطی گذشته و معاصر، بیانگر این است که مدیریت بحران فعلی در حال حاضر نمی‌تواند به‌تنهایی قادر به مقابله با آثار مخرب بلایا باشند، پس با به‌کارگیری اصول و معیارهای پدافند غیرعامل است که می‌تواند به تکمیل زنجیره دفاع شهری کمکی مؤثر و قابل‌توجه نماید. در این پژوهش با تأکید بر اصول پدافند غیرعامل و شناسایی مؤلفه‌ها و شاخص‌های آسیب‌پذیری و پهنه‌بندی خطر در ۴ مخلفه طبیعی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی با ۴۸ شاخص، در قالب پرسشنامه، مناطق آسیب‌پذیر ناشی از زلزله را در راستای کاهش خطر را مشخص نمود. در این مقاله بررسی و تحلیل‌های لازم با اعمال‌نظر متخصصان حوزه شهرسازی و پدافند غیرعامل و... از طریق توزیع تعداد ۳۰ پرسشنامه و کمک از نرم‌افزار GIS و نرم‌افزار لینگو LINGO در پردازش و تهیه خروجی مدل‌های تکنیک تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده در سطح مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز استفاده شده است و درنهایت با توجه به نتایج مدل تکنیک تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده منطقه ۱۰ شهرداری منطقه بحرانی و منطقه ۲ شهرداری دارای کمترین میزان آسیب‌پذیری از زلزله تشخیص داده شد در ادامه عوامل این افزایش آسیب‌پذیری و راهکارهای برون‌رفت از بحران در سطح مناطق ده‌گانه شهرداری متناسب با اصول پدافند غیرعامل و خروجی مدل‌ها ارائه شدند.

تاریخ دریافت:

۱۰ اسفند ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۵ شهریور ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

پدافند غیرعامل،
زلزله،
ارزیابی،
مناطق شهرداری،
کلان‌شهر تبریز

۱ مقدمه

از اهداف اصلی شهر، ایجاد مکان‌های مطلوب برای زندگی ساکنین آن است، چنانچه چنین مکان‌هایی وجود نداشته باشند، یا بنا به دلایل دیگر قابل‌دسترسی نباشند، در این صورت نظام شهری دچار مشکل خواهد شد (زیاری، ۱۳۸۶: ۳). ابعاد وسیع خسارات و تلفات ناشی از مخاطرات محیطی در شهرهای گوناگون جهان سبب شده است، پژوهش‌های کاربردی گسترده‌ای در زمینه بهینه کردن ایمن‌سازی شهرها انجام گیرد. از سوی دیگر، روش‌های مقابله با خطرات محیطی و ایمن‌سازی شهرها، افزایش کارایی روش‌های مقابله با بلایا و ایمن‌سازی شهری را ضرورت بخشیده است.

Email: kioumars.maleki@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول: کیومرث ملکی

آدرس: دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

بنابراین آشکار است که پژوهش‌های کاربردی در امور مربوط به ایمن‌سازی شهرها در برابر بلایای طبیعی و استفاده و به‌کارگیری اصول و ملاحظات پدافند غیرعامل سبب افزایش ابتکارات در طراحی‌ها و یافتن بهترین سیاست‌ها و کاراترین و باصرفه‌ترین روش‌ها و فناوری‌ها خواهد شد. شهرها به دلیل انباشت سرمایه و تراکم بالایی جمعیتی و نیز به علت گستردگی‌شان به نسبت سایر سکونتگاه‌ها صدمات بیشتری را متحمل می‌شوند (اسدی نظری، ۱۳۸۳: ۲). همین امر اهمیت توجه به مهار بحران در شهرها را مضاعف می‌کند، بحران شهری، رویداد یا واقعه‌ای ناگهانی است که با آسیب‌های جانی و مادی گسترده همراه بوده و نیازمند انجام اقدامات فوری در سطح شهرها (الکساندر، ۲۰۰۲). برای کنترل و مهار بحران و ایمنی مناطق شهری از جمله در زلزله است، اولین مسئولیت در طرح امنیت مناطق، شناسایی تهدیدهای بالقوه و پیش‌بینی عوامل تهدیدکننده امنیت است (ملکی و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۳). بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته تا سال ۲۰۳۰ میلادی، حدود ۶ میلیارد نفر از جمعیت ۸٫۱ میلیاردی کره زمین در شهرها ساکن خواهند شد که حدود دوسوم از این تعداد نیز در کلان‌شهرها سکونت خواهند نمود (الشهابی، ۲، ۲۰۱۵).

به‌طور میانگین هر سال یک زلزله ۶ ریشتری و هر ده سال یک‌بار زلزله‌ای به بزرگی ۷ درجه در مقیاس ریشتر در کشور رخ می‌دهد که زلزله‌های اخیر ۷/۳ ریشتری ۲۱ آبان ۱۳۹۶ ازگله - کرمانشاه و به دنبال آن ۶/۲ هجک کرمان در ۱۰ آذرماه ۱۳۹۶ و زلزله‌های ۶/۴ ریشتری ۴ آذرماه ۱۳۹۷ شهر ازگله، زلزله ۵/۹ ریشتری میانه در استان آذربایجان شرقی در ۱۷ آبان ماه سال ۱۳۹۸ و ۵/۴ ریشتری ۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۸ خانه زنیان استان فارس از این نمونه‌ها هستند. کلان‌شهر تبریز از آن‌جهت که یک شهر بزرگ دارای بنیه اقتصادی، فرهنگی عظیم است، از اهمیت ویژه‌ای در سطح کشور در حوزه ارتباطی و اقتصادی برخوردار است و البته به‌طور یقین، در سال‌های آتی نیز همانند گذشته نیروی محرک توسعه اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی کشور خواهد بود؛ که قطعاً بررسی هوشمندانه شبکه تهدیدات شهری می‌تواند در کاستن از آثار زیان‌بار مخاطرات تأثیرگذار باشد و برنامه‌های توسعه شهری نظام‌مندتر تدوین و اجرا نمود.

در مقاله حاضر اهدافی همچون: (۱) پهنه‌بندی خطر و آسیب‌پذیری از مناطق شهرداری برای سهولت در شناسایی مناطق بحرانی کلان‌شهر تبریز از منظر پدافند غیرعامل (۲) بررسی میزان آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز متناسب با قرارگیری خطوط گسل و... و اینکه آسیب‌پذیری چه میزان با واقعیت تطابق دارند. (۳) تحلیل همخوانی نتایج خروجی مدل‌ها با یکدیگر و دلایل آسیب‌پذیری و کمتر آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز با ارائه راهکارهای پدافند غیرعامل شهری و... دنبال می‌شود.

۲ پیشینه تحقیق

در تحقیقات انجام‌گرفته به تحلیل آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در ارتباط با زلزله احتمالی می‌پردازد:

قنبری و همکاران (۱۳۹۲)، به پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین‌لرزه با استفاده از توابع تحلیلی نرم‌افزار Arc GIS و مدل‌های وزن دهی پرداختند و نتیجه گرفتند که نتایج دو مدل شباهت زیادی باهم داشتند با فرق اینکه نواحی با خطر بسیار بالا در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی پراکندگی بیشتری نسبت به مدل شاخص همپوشانی داشته و بیشتر قسمت‌های شهر در مدل شاخص همپوشانی در پهنه‌های خطر متوسط قرار دارند. راشد و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی نقش سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در مدل‌سازی و پیش‌بینی آسیب‌پذیری شهر کالیفرنیا پرداختند و با استفاده از توابع تحلیلی و سیستم اطلاعات جغرافیایی،

¹ Alexander

² Elshehabi

آسیب‌پذیری شهر را مدل‌سازی کردند. محمدابراهیمی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی و تحلیل وضعیت آسیب‌پذیری شهری از منظر پدافند غیرعامل (نمونه موردی: شهر زاهدان) پرداختند. نتایج نشان داد که در بین معیارهای مورد مطالعه، بیشترین ارزش وزنی را شاخص دسترسی به مراکز نظامی با وزن ۰/۱۹۳ دارد. بعد از آن شاخص‌های دسترسی به مراکز درمانی، دسترسی به مراکز اداری، تأسیسات شهری، دسترسی به آموزش عالی، کاربری صنعتی و دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی به ترتیب با اوزان ۰/۱۷۱، ۰/۱۵۲، ۰/۱۳۹، ۰/۱۲۷، ۰/۱۱۷ و ۰/۱۰۱. اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین آسیب‌پذیری شهر در بخش‌های شمال و شمال شرقی شهر به دلیل استقرار مناطق حاشیه‌نشین و وجود بافته‌ای فرسوده و مناطق مرکزی شهر به علت دارا بودن تراکم زیاد ساختمانی و تراکم جمعیت بالا است.

پورمحمدی و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی فضای باز شهری و نقش آن در کاهش آسیب‌پذیری در مواقع بحران با رویکرد پدافند غیرعامل (نمونه موردی: شهر تبریز) پرداختند. نتایج نشان داد که در وزن دهی زیرمعیارهای فضای باز، بیشترین وزن به زیرمعیار پوشش سراسری (۰/۶۲۱) و کمترین وزن به زیرمعیار خودکفایی نسبی (۰/۰۲۳) اختصاص داده شد و مطابق شکل نهایی هم‌پوشانی وزنی فازی شده، میزان مطلوبیت فضای باز در کاهش آسیب‌پذیری مناطق ده‌گانه بر اساس مساحت حاکی از این است که (۴۲۵۳۴۶۹) مترمربع با درصد (۵/۵۵) کمترین و (۱۴۸۴۹۱۴۴) مترمربع با درصد (۱۹/۳۹) از مساحت تبریز بیشترین میزان مطلوبیت فضاهای باز در کاهش آسیب‌پذیری را دارا است و همچنین از بین مناطق ده‌گانه تبریز، مناطق (۵،۶،۷،۹) در کاهش آسیب‌پذیری توانایی نقش بیشتر و مناطق (۱،۲،۴،۸،۹،۱۰) توانایی نقش کمتری را در مواقع بحران در کاهش آسیب‌پذیری به نسبت فضاهای باز دارا است. گلاتی (۲۰۱۸) به ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله در شهر دهرادون هند پرداخت و چنین نتیجه گرفت که مدل Hazus به دلیل کثرت و تنوع داده‌ها و متغیرهای مورد استفاده می‌تواند به عنوان مدل مناسبی جهت ارزیابی و کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله مورد استفاده قرار گیرد. ابرت و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهر با استفاده از عکس‌های هوایی و داده‌های ماهواره‌ای و GIS پرداختند و چنین نتیجه گرفتند که تحلیل داده‌های مکانی بر اساس بخش‌های مختلف در ترکیب با داده‌های میدانی به ارزیابی بهتر کمک می‌کند.

۳ مبانی نظری

۳/۱ مروری بر پدافند غیرعامل در برنامه‌ریزی سکونتگاه‌ها

بشر در طول تاریخ تدابیر گوناگونی را در راستای امنیت و حفاظت خویش اتخاذ کرده است و همیشه مسائل پدافندی را در حفظ و برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های خود را مدنظر داشته است (حسین‌زاده دلیر، ملکی، شفاعتی، حیدری فر، ۱۳۹۱، ۳) با عنایت به این مهم می‌توان پدافند غیرعامل را تدبیر و اندیشه خردمندانه در وضع موجود با نگرشی عمیق به آینده دانست (پورمحمدی و ملکی، ۱۴۰۰: ۴۳). با اجرای پدافند غیرعامل، می‌توان خسارات جانی و مالی ناشی از حوادث و تهدیدات را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد (بالابان ۱ و همکاران، ۲۰۲۵: ۱۰۵۴)؛ و به شهرها کمک نمود تا در برابر بحران‌ها انعطاف‌پذیرتر باشند و سریع‌تر به حالت عادی بازگردند (مسنجر ۲ و همکاران، ۲۰۲۵: ۲). با ایجاد فضاهای شهری امن‌تر و مقاوم‌تر، پدافند غیرعامل می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی شهروندان کمک کند (دوک ۲۰۲۴، ۳: ۲۱۶). از سویی دیگر با در نظر گرفتن اصول توسعه پایدار، به شهرها کمک

¹ Balaban

² Messenger

³ Duke

می‌کند تا در برابر بحران‌ها مقاوم‌تر شوند و درعین‌حال توسعه خود را ادامه دهند (سامی یوسف محمد، ۲۰۲۴: ۲). درمجموع پدافند غیرعامل یک رویکرد جامع و چندبعدی است که باهدف افزایش تاب‌آوری شهرها در برابر تهدیدات مختلف انجام می‌شود (شپس ۲ و همکاران، ۲۰۲۴: ۲).

۳/۲ عوامل خطر ساز و تهدیدات زلزله

بررسی‌ها نشان می‌دهد درصد بالایی از صدمات ناشی از زلزله به‌طور مستقیم به وضعیت نامطلوب برنامه‌ریزی مربوط می‌شود (عیسی لو، لطیفی، گودرزی، ۱۳۹۵، ۷۴) احتمال آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در محیط‌های شهری به دلایلی ازجمله مکان‌گزینی شهرها در نواحی مستعد خطر، رشد شهرنشینی و غیره به‌طور آشکاری در دهه‌های اخیر در سراسر جهان افزایش‌یافته است (علوی و همکاران، ۱۳۹۵، ۷۲). عوامل خطر ساز زلزله به دودسته کلی تقسیم می‌شوند: عوامل مرتبط با خود زلزله و عوامل مرتبط با محیط و سازه‌ها (حبیبی و همکاران، ۱۴۰۳: ۷۱). عوامل مرتبط با زلزله شامل بزرگی زلزله، مدت‌زمان لرزش و عمق زلزله هستند. عوامل محیطی و سازه‌ای شامل نوع خاک، فاصله از گسل و استحکام ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها می‌باشند (هادی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۷۹). زلزله چه به لحاظ روانی و چه به لحاظ مالی به دلیل سرعت وقوع و حجم تخریب، آثار ویرانگری را به همراه داشته و در صدر بلایای طبیعی قرار دارد.

آسیب‌پذیری‌های شهری نسبت به حوادث طبیعی چون زلزله می‌تواند برآیندی از نقش رفتارهای انسانی باشد که اهمیت نظام‌های برنامه‌ریزی در کاهش اثرات مخرب حوادث طبیعی را نشان می‌دهد (راشد و ویک، ۲۰۱۷: ۱). آسیب‌پذیری شهری به میزان آمادگی و توانایی یک شهر برای مقابله با انواع مخاطرات و بحران‌ها اشاره دارد (یازار ۴ و همکاران، ۲۰۲۴: ۳۱). این مخاطرات می‌توانند طبیعی مانند زلزله، سیل و طوفان یا انسان‌ساز مانند جنگ و بحران‌های اقتصادی باشند (استولت ۵ و همکاران، ۲۰۲۴: ۲). آسیب‌پذیری شهری به عواملی مانند تراکم جمعیت، زیرساخت‌های شهری، وضعیت اقتصادی و اجتماعی و برنامه‌ریزی شهری بستگی دارد (جی ۶ و همکاران، ۲۰۲۴: ۱۴).

در کشورهای توسعه‌یافته تلفات مالی حوادث طبیعی بیشتر از تلفات جانی است؛ اما در کشورهای درحال‌توسعه این امر عکس است که نشان‌دهنده برنامه‌ریزی صحیح در کشورهای توسعه‌یافته است (ایبرت ۷ و همکاران: ۲۰۰۸: ۱۳۰) بااین‌حال امکان کنترل و یا پیش‌بینی دقیق بلایای طبیعی وجود ندارد و آنچه امکان‌پذیر است برنامه‌ریزی درست و گام برداشتن در مسیر ساخت شهرهایی با آسیب‌پذیری کمتر در مواجهه با یک بلای طبیعی است (موئهله ۸ و همکاران: ۲۰۰۹: ۲). بر طبق گزارش سازمان ملل از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۸ و به دنبال زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته در ایران، تعداد ۷۳۲۷۶ نفر از ایرانیان جان خود را ازدست داده‌اند که زیان اقتصادی حاصل از این زلزله‌ها بالغ بر ۱۰ میلیارد و ۳۰۰ میلیون دلار برآورده شده است (یو این / آی‌اس‌دی‌آر، ۲۰۰۵). در

¹ Samy Yousef Mohamed

² Sheps

³ Rashed and Weeks

⁴ Yazar

⁵ Stolte

⁶ Ji

⁷ Ebert

⁸ Moehle

⁹ UN/ISDR

ایران به طور متوسط هر سال یک زلزله به بزرگی ۶ ریشتر و هر ۱۰ سال یک زلزله به بزرگی ۷ درجه در مقیاس ریشتر رخ می دهد (علیدوستی، ۱۳۷۱: ۵۰) پراکندگی وقوع زلزله در ایران نشان می دهد که منطقه خراسان با ۹۸ زلزله مخرب در طول تاریخ لرزه خیزترین پهنه ایران و استان های اصفهان و یزد با ۹ زلزله آسیب پذیری کمتری در برابر زلزله داشته اند (احمدی و بوچانی، ۱۳۸۲: ۱۳). به لحاظ تلفات ناشی از زلزله، ایران ۶ درصد تلفات زلزله ای را در جهان دارا است (ابلقی، ۱۳۸۴: ۲). به دلیل قرار داشتن کشور ایران بر روی کمربند زلزله آلپ هیمالیا، زلزله وجه غالب بلایای است در ایران طی ۶ دهه اخیر حداقل ۱۲ زمین لرزه با شدت مطلق بیش از ۷ ریشتر رخ داده است (غضبان، ۱۳۸۱: ۴۶).

۳/۳ برنامه ریزی کاهش آسیب پذیری ناشی از عوارض زلزله

میزان آسیب پذیری شهرها در مقابل زلزله (به ویژه در شهرهای که محدوده توسعه فیزیکی آن ها در روی توپوگرافی پرشیب و در نزدیکی خط گسل صورت گرفته)، بسیار متفاوت بوده است (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۳: ۶۰). ساخت و ساز اصولی با توجه به امکانات و محدودیت های طبیعی از جمله ویژگی های توپوگرافی، ژئومورفولوژی و... باعث می شود در مواقع بروز بحران زلزله در درون جوامع انسانی ابعاد فاجعه کم و قابل جبران باشد و این به نوبه خود احساس امنیت را برای انسان پدید می آورد. توسعه در مناطق نامناسب و در معرض خطر مناطق شهری کشورهای در حال توسعه، به دلیل ضعف برنامه ریزی، بی توجهی در تعمیر و نگهداری و اسکان در اراضی در معرض خطر، به صورت عوامل مهمی در افزایش خسارات زلزله در آمده اند.

برنامه ریزی کاهش عوارض زمین لرزه به منظور کاهش اثرات مخرب و مرگبار سانحه زلزله مورد عمل قرار می گیرد. این برنامه ریزی در سه بخش برنامه ریزی کالبدی کاهش عوارض زمین لرزه، برنامه ریزی اجتماعی-اقتصادی کاهش عوارض زمین لرزه، برنامه ریزی مدیریتی کاهش عوارض زمین لرزه، قابل طبقه بندی است: ۱) برنامه ریزی کاهش عوارض زلزله این برنامه ریزی در دو مرحله انجام می گیرد: مرحله اول؛ ناحیه بندی یا پهنه بندی زلزله که به ارزیابی توزیع فضای خطر زلزله می پردازد. مرحله دوم؛ برنامه ریزی کاربرد اراضی که از طریق آن و به کمک ناحیه بندی زلزله ای می توان کاربری های در معرض خطر را شناسایی و برنامه اصلاحی را ارائه داد. ۲) برنامه ریزی اجتماعی-اقتصادی کاهش عوارض زلزله: این نوع برنامه ریزی بخشی از فرآیند توسعه در یک کشور محسوب می گردد به عبارت دیگر برنامه ریزی اجتماعی کاهش عوارض زلزله باید به نوعی ارتباط و پیوند یا ملاحظات فنی و مهندسی دیده شود و همین طور موضع اقتصاد و عوامل مختلف اقتصادی باید در کنار برنامه ریزی کلی کاهش عوارض لحاظ گردد همچنین چگونگی هدایت مراکز و نهادهای کاهش دهنده عوارض زلزله باید در برنامه ریزی مدیریتی کاهش عوارض زلزله مورد توجه قرار گرفته و بر انسجام و ارتباط امور و مدیریت آن ها تأکید خاص گردد (صفری، ۱۳۷۶: ۱۵).

برنامه ریزی کاهش آسیب پذیری ناشی از عوارض زلزله متناسب با اصول پدافند غیرعامل و دفاع شهری استراتژی هایی را می طلبد که این استراتژی های کاهش خسارات زلزله در سطح شهر و منطقه شامل موارد زیر است:

- ارائه نقشه های آسیب پذیری و شناسایی مناطق آسیب پذیر و مناطق قابل توسعه،
- قبول کردن طراحی کدگذاری ساختمان ها و تخمین زدن محله های که در معرض خطر قرار دارند،
- اجرا کردن طرح ها و قوانین اقتصادی از جمله بیمه کردن مردم مناطق آسیب پذیر نسبت به بلایای موجود در منطقه معین گردد؛ همچنین اجرای طرح آمایش شهری و منطقه ای که کاربری مناطق بر اساس توان موجود در منطقه معین گردد (ملکی، پاهکیده، مرصوصی، ۱۳۹۴: ۸).

۴ روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر شیوه اجرا توصیفی-تحلیلی است جامعه آماری مورد پرسش را کارشناسان و اساتید مرتبط با موضوع تشکیل داده است که از میان آن‌ها تعداد ۳۰ نفر با استفاده از روش تخمین شخصی^۱ به عنوان حجم نمونه انتخاب شده است در مناطق ده‌گانه اقدام گردید مؤلفه‌های طبیعی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی و شاخص‌های مورد پرسش، متناسب با اهداف و اصول پدافند غیرعامل شهری و در همپوشی با مطالعاتی که در مقالات، طرح‌های پژوهشی و... انجام گرفته بود تهیه و تدوین شدند. در ادامه با استفاده از نظر اساتید خبره در حوزه برنامه‌ریزی و زلزله، جدولی از مؤلفه‌ها به صورت کیفی و کمی استخراج گردید و خروجی نظرسنجی وضعیت مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز در مدل‌های تکنیک تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده مورد تحلیل قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزار GIS و نرم‌افزار لینگو^۲ خروجی مدل‌ها به همراه دیگر لایه‌ها به صورت نقشه ترسیم گردید و نهایتاً به تحلیل نقشه خروجی مدل تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده در جهت مقایسه مناطق شهری از نظر آسیب‌پذیری و... اقدام گردید.

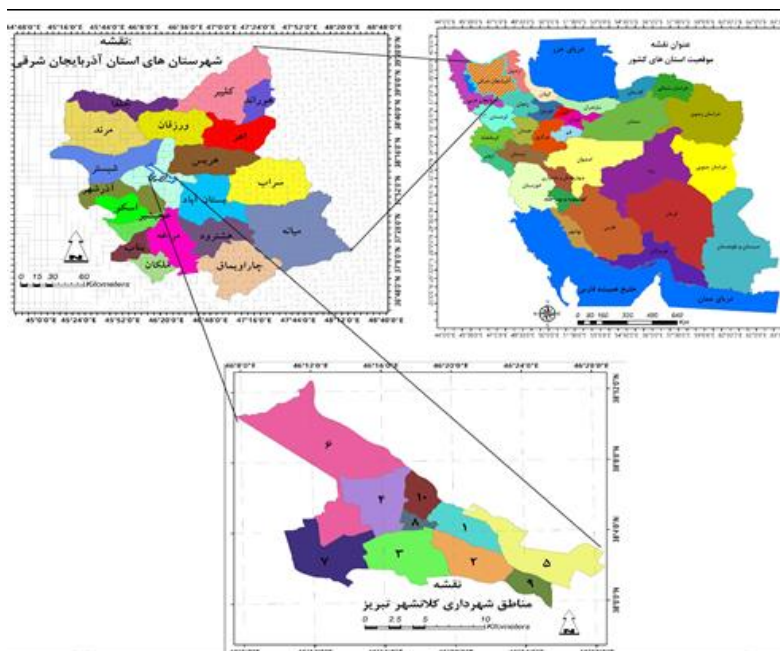
۴/۱ معرفی منطقه مورد مطالعه

فلات آذربایجان که شهر تبریز در آن واقع است، حلقه اتصال مابین فلات ایران با فلات ارمنستان از سوی شمال و فلات آناتولی از سوی غرب است (پناهی جلودار، ۱۳۷۹:۸۰). استان آذربایجان شرقی با مساحت ۴۵۴۹۱ کیلومترمربع با جمعیتی بالغ بر ۴۱۰۰۰۰۰ نفر دارای ۲۱ شهرستان، ۴۸ بخش، تعداد ۶۲ شهر و ۱۴۸ دهستان است. شهرستان تبریز از سمت شمال با شهرستان‌های ورزقان، شبستر و هریس، از شرق و جنوب شرقی با شهرستان‌های هریس و بستان‌آباد، از جنوب با شهرستان مراغه، از غرب و جنوب غربی با شهرستان‌های شبستر و اسکو هم‌جوار است. شهرستان تبریز دارای ۳ بخش و ۵ شهر، ۶ دهستان و ۷۵ روستا است (دفتر تقسیمات سیاسی، ۱۴۰۲). موقع جغرافیایی و استقرار شهر تبریز در محل مقاطع دره‌ها و شیب‌های ملایم، باعث موقعیت استراتژیک این شهر شده است.

شهر تبریز به عنوان بزرگ‌ترین متروپل شمال غرب ایران با وسعتی حدود ۱۳۱ کیلومترمربع با ارتفاع متوسط حدود ۱۲۰۰ متر در جلگه‌ای به همین نام (جلگه تبریز) واقع شده است (شفاعتی، ۱۳۸۹: ۹۰). به همراه عوامل اقتصادی و انسانی و به ویژه مرزهای سیاسی و فرهنگی، طرق ارتباطی داخلی و راه‌های ترانزیتی تبریز به کشورهای هم‌جوار (شوروی سابق، ترکیه و عراق) باعث ایجاد یک موقعیت ممتاز و استراتژیک برای شهر تبریز شده است (اصغری زمانی، ۱۳۷۹: ۱۴۶). به علاوه، عواملی، همچون: وجود آب فراوان در مکان‌یابی شهر، تأثیر بسزایی داشته است (فرید، ۱۳۷۵: ۷). شهر تبریز با وسعتی بالغ بر ۲۴۴۷۸٫۱۷ هکتار در ۳۷ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است. بزرگ‌ترین رود تبریز، آجی چای یا تلخه رود است که از کوه‌های سبلان سرچشمه می‌گیرد (حسین‌زاده دلیر و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱) (عمرانی، ۱۳۸۵: ۱۵).

۱ - چون تعداد کارشناسان و متخصصان در رابطه با موضوع ۵۰ نفر در دسترس محقق بود به همین خاطر بیش از ۵۰ درصد از کارشناسان به تعداد ۳۰ نفر انتخاب شدند.

^۲ LINGO



نقشه ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (کلان شهر تبریز)

کاربری‌های غالب سطح شهر نشانگر این است که مناطق ۹، ۷ و ۶ شهرداری به عنوان مناطق صنعتی و مناطق بافت تاریخی، تجاری و کهن شهر و مناطق ۱۰ و تا حدودی ۵ و ۳ و ۷ و ۴ مناطق با محلات حاشیه‌نشین می‌باشند. با توجه به جدول میانگین تراکم مناطق حدود ۸۱ نفر در هکتار است و کمترین مساحت منطقه شهرداری مربوط به منطقه ۸ و بیشترین مساحت مربوط به منطقه ۶ و کمترین تراکم جمعیت مربوط به منطقه ۹ و بیشترین تراکم مربوط به منطقه ۱۰ است و مناطق دیگر نیز به تفصیل در جدول نمایان است. آسیب‌پذیری زلزله هرچقدر کمتر باشد خسارات جانی و مالی کمتر و بالعکس است در این بین برای انجام برنامه‌ریزی‌های مطلوب‌تر و ارزیابی خطر لازم است که انتخاب و گزینش مؤلفه‌ها و شاخص‌های مرتبط دقیق انجام پذیرد. این مؤلفه‌ها و شاخص‌ها عبارت‌اند از: ۱. بلوک جمعیتی ۱۳۹۵. ۲. شبکه معابر ۳. خطوط گسل و... در جدول ۲ به تفصیل نمایش داده شده است تا در تحلیل آسیب‌پذیری مناطق ده‌گانه شهرداری شهر تبریز و به عنوان داده ورودی مدل مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۱. تراکم مناطق ده‌گانه شهری کلان شهر تبریز

مناطق	مساحت به متر	هکتار	درصد مساحت	تراکم نفر در هکتار	جمعیت کل طبق سرشماری ۱۳۹۵
۱	۱۵۶۵۰۰۰۰	۱۵۶۵	۶/۴۰	۱۳۹/۶۶	۲۱۸۶۴۷
۲	۲۰۵۳۰۰۰۰	۲۰۵۳	۸/۳۹	۹۵/۷۱	۱۹۶۵۰۷
۳	۲۸۵۴۰۰۰۰	۲۸۵۴	۱۱/۶۶	۸۰/۳۸	۲۲۹۴۷۴
۴	۲۵۹۵۰۰۰۰	۲۵۹۵	۱۰/۶۰	۱۲۱/۴۵	۳۱۵۱۸۳
۵	۳۱۵۶۰۰۰۰	۳۱۵۶	۱۲/۹۰	۴۲/۶۵	۱۳۴۶۲۰
۶	۷۱۱۰۰۰۰۰	۷۱۱۰	۲۹/۰۵	۱۵/۳۲	۱۰۸۹۵۹
۷	۲۹۰۵۰۰۰۰	۲۹۰۵	۱۱/۸۷	۵۵/۷۱	۱۶۱۸۷۳
۸	۳۸۸۰۰۰۰	۳۸۸	۱/۵۹	۷۵/۶۶	۲۹۳۸۴
۹	۸۰۳۰۰۰۰	۸۰۳	۳/۲۸	۲/۸۰	۲۲۵۰
۱۰	۱۰۴۴۰۰۰۰	۱۰۴۴	۴/۲۷	۱۷۹/۹۲	۱۸۷۹۵۸
جمع	۲۴۴۷۸۰۰۰۰	۲۴۴۷۸	۱۰۰	۸۰۹/۲۶	۱۵۸۴۸۵۵

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

جدول ۲. مؤلفه‌ها و شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کلان‌شهر تبریز

مؤلفه	شاخص‌ها	مؤلفه	شاخص‌ها
اجتماعی	تراکم جمعیت، تراکم خانوار، تراکم نسبت سالخوردگی، نسبت جنسی، نسبت جوانی، تراکم جمعیت زیر ۱۰ سال، تراکم جمعیت ۱۰ الی ۴۵ سال، تراکم جمعیت ۴۵ سال و بالاتر، تراکم جمعیت باسواد مرد، تراکم جمعیت باسواد زن	طبیعی	درصد شیب، زمین‌شناسی، فاصله از خط گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از قنات، چشمه و چاه
	تراکم نرخ اشتغال، تراکم نرخ بیکاری، تراکم شاغلین مرد و زن، تراکم بیکاران مرد و زن، تراکم بار وابستگی، تراکم تکفل، تراکم فعالیت واقعی، تراکم واحدهای استیجاری، تراکم مالکیت، تراکم نسبت خانوار به مسکن، تراکم جمعیت غیرفعال، تراکم جمعیت فعال	کالبدی	فاصله از خیابان‌ها و شبکه ارتباطی، تراکم واحدهای آپارتمان، فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی، فاصله از مراکز درمانی و بیمارستان (اورژانس، بیمارستان، درمانگاه و...)، فاصله از مراکز نظامی، فاصله از مراکز صنعتی، عمر بنا، کیفیت ابنیه، تراکم سازه‌های اسکلت فلزی، تراکم سازه‌های بتن آرمه، تراکم سازه‌های آجر و آهن، تراکم سازه‌های خشت چوب و گل، تراکم سازه‌های آجر، سیمان و سنگ، کاربری اراضی (سازگاری اراضی)، تراکم مساحت ۱۰۰ مترمربع و پایین‌تر، تراکم مساحت ۱۰۰-۲۰۰ مترمربع، تراکم مساحت ۲۰۰ مترمربع و بالاتر، کاربری‌های امن و چندمنظوره (استادیوم، پارک، فضاهای باز و بایر و اراضی زراعی و باغات و...) به متر، فاصله از کاربری‌های اشتعالی (مراکز تقلیل و تقویت فشار گاز و پمپ گاز و بنزین) به متر، فاصله از خطوط نیرو و سوخت (نفت، برق فشار قوی و گاز و...)، فاصله از خطوط ریلی و مترو

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

۵ نتایج و یافته‌ها

۵.۱ اولویت‌بندی مناطق شهر تبریز از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله

با استفاده از دیدگاه کارشناسان و اساتید خبره در حوزه برنامه‌ریزی و زلزله، جدولی از مؤلفه‌ها به صورت تحلیل کیفی تدوین شد که در نهایت، نظرات متخصصان در قالب جدول ۳ اولویت‌بندی مناطق کلان‌شهر تبریز از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله، داده‌ها به صورت کمی استخراج گردید. یادآور می‌شود که معادل بسیار مناسب عدد ۹، مناسب ۷ و نامناسب ۵ و بسیار نامناسب ۳ جایگزین شده است. در نهایت وضعیت مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز پس از ارزش‌گذاری به وسیله متخصصین امر، در مدل‌های تکنیک تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده مورد تحلیل قرار گرفت. بعدازآن، به تحلیل نقشه خروجی به دست آمده در جهت مقایسه مناطق شهری از نظر توسعه کالبدی و... اقدام گردید و نتایج علمی از جمله تعیین جهات بهینه توسعه آتی، کاستن از آثار بحرانی زلزله با شناسایی محدوده‌های آسیب‌پذیر، مناطق امن و ناامن شهری، میزان آسیب‌پذیری مناطق سکونتگاهی متناسب با کاستی‌های به دست آمده از پهنه‌بندی منتج شد.

جدول ۳. اولویت‌بندی مناطق شهر تبریز از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله

منطقه ۱۰	منطقه ۹	منطقه ۸	منطقه ۷	منطقه ۶	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۲	منطقه ۱	مؤلفه
۳	۳	۵	۷	۵	۳	۷	۷	۷	۳	طبیعی
۵	۷	۷	۵	۵	۷	۵	۵	۷	۷	اقتصادی
۵	۷	۷	۵	۷	۷	۵	۷	۹	۹	اجتماعی
۵	۹	۵	۷	۷	۹	۷	۷	۹	۷	کالبدی

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

۵٫۲ تکنیک تخصیص خطی

در تکنیک تخصیص خطی با استفاده از اولویت هر یک از گزینه‌ها در هر یک از شاخص‌ها به یک مدل برنامه‌ریزی صفر- یک دست خواهیم یافت و از حل مدل به اولویت گزینه‌ها می‌توان دست یافت. مراحل الگوریتم تکنیک تخصیص خطی: مرحله ۱: ماتریسی تشکیل دهیم که سطرهای آن بیانگر معیارها و ستون‌های آن بیانگر گزینه‌ها باشد. مرحله ۲: با توجه به رتبه هر گزینه در هر شاخص، مؤلفه‌های ماتریس را با A_{ij} پر کنید. این مرحله رتبه‌بندی گزینه‌ها نامیده می‌شود. بدین ترتیب جدول اولویت‌بندی ساخته می‌شود. به کمک روش آنتروپی شانون وزن نسبی معیارها را به دست آورده و در مجاورت ماتریس قرار می‌گیرد. در آیه‌های هر سطر مقادیر وزن آنتروپی را درج می‌کنیم. مقادیر قبلاً محاسبه شده و برابر با ۰٫۱۷، ۰٫۱۴، ۰٫۱۲، ۰٫۵۷ است. حال به دنبال تشکیل ماتریس $m \times m$ که ماتریس (مرجع با عناصر غیر منفی رتبه/ شاخص) نام دارد می‌باشیم. ماتریس ۲ از روی جدول اولویت‌بندی و مقادیر آنتروپی به شرح زیر تشکیل می‌شود. m تعداد گزینه‌ها (منطقه‌ها) است. لذا ماتریس مربوط ۱۰ در ۱۰ است. به‌عنوان مثال با توجه به اینکه در ستون اول جدول اولویت‌بندی اعداد ۴، ۱، ۷ دیده می‌شود در سطر اول (ماتریس مرجع با عناصر غیرمنفی رتبه/ شاخص) در خانه هفتم مقدار ۰٫۵۷ درج می‌شود و در خانه اول مقدار ۰٫۲۶ که از مجموع ۰٫۱۲ و ۰٫۱۴ حاصل‌شده قرار داده می‌شود و در خانه چهارم عدد ۰٫۱۷ قرار داده می‌شود. با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و حل آن رتبه‌بندی گزینه‌ها حاصل می‌شود. به مدل زیر برنامه‌ریزی صفر و یک گفته می‌شود؛ زیرا جواب‌های این مدل تنها اعداد صفر و یک هستند که نشانه تخصیص یا عدم تخصیص هستند.

جدول ۴. مقادیر

وزن آنتروپی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰	شاخص
۰٫۵۷	۳	۷	۷	۷	۳	۵	۷	۵	۳	۳	طبیعی
۰٫۱۲	۵	۷	۵	۵	۷	۵	۵	۷	۷	۵	اقتصادی
۰٫۱۴	۵	۹	۷	۵	۷	۷	۷	۷	۷	۹	اجتماعی
۰٫۱۷	۵	۹	۷	۷	۹	۷	۷	۵	۹	۷	کالبدی

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

جدول ۵. اولویت‌بندی

وزن آنتروپی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰	شاخص
۰٫۵۷	۱۰	۹	۲	۳	۸	۵	۴	۶	۹	۷	طبیعی
۰٫۱۲	۱۰	۵	۶	۷	۳	۸	۹	۴	۵	۱	اقتصادی
۰٫۱۴	۱۰	۸	۳	۹	۴	۵	۶	۷	۸	۱	اجتماعی
۰٫۱۷	۱۰	۳	۵	۶	۲	۷	۸	۹	۷	۴	کالبدی

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

جدول ۶. ماتریس مرجع با عناصر غیرمنفی رتبه/ شاخص

مجموع	دهمین رتبه	نهمین رتبه	هشتمین رتبه	هفتمین رتبه	ششمین رتبه	پنجمین رتبه	چهارمین رتبه	سومین رتبه	دومین رتبه	اولین رتبه	منطقه
۱/۰۰	۰	۰	۰	۰/۵۷	۰	۰	۰/۱۷	۰	۰	۰/۲۶	۱
۱/۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۶	۰/۷۴	۲
۱/۰۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲	۰/۱۷	۰	۰/۱۴	۰/۵۷	۰	۳

۴	۰	۰	۰/۵۷	۰	۰	۰/۱۷	۰/۱۲	۰	۰	۰	۱/۰۰
۵	۰	۰/۱۷	۰/۱۲۰	۰/۱۴	۰	۰	۰	۰/۵۷	۰	۰	۱/۰۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰/۷۱	۰	۰/۱۷	۰/۱۲	۰	۰	۱/۰۰
۷	۰	۰	۰	۰/۵۷	۰	۰/۱۴	۰	۰/۱۷	۰/۱۲	۰	۱/۰۰
۸	۰	۰	۰	۰/۱۲	۰	۰/۵۷	۰/۱۴	۰	۰/۱۷	۰	۱/۰۰
۹	۰	۰	۰/۱۷	۰	۰/۱۲	۰	۰	۰/۱۴	۰/۵۷	۰	۱/۰۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱/۰۰
مجموع	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱۰/۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

MODEL:

Min

=0.26*a1+0.17*a2+0.57*a7+0.74*b1+0.26*b2+0.57*c2+0.14*c3+0.17*c5+0.12*c6+0.57*d3+0.17*d6+0.12*d7
+0.17*e2+0.12*e3+0.14*e4+0.57*e8+0.71*f5+0.17*f7+0.12*f8+0.57*g4+0.14*g6+0.17*g8+0.12*g9
+0.12*h4+0.57*h6+0.14*h7+0.17*h9+0.17*i3+0.12*i5+0.14*i8+0.57*i9+1*j10;

s.t:

+a1+a4+a7= + 1;
+b1+b2= + 1;
+c2+c3+c5+c6=+1;
+d3+d6+d7= +1;
+e2+e3+e4+e8= +1;
+f5+f7+f8=+1;
+g4+g6+g8+g9=+1;
+h4+h6+h7+h9=+1;
+i3+i5+i8+i9=+1;
+j10=+1;
+a1+b1=+1;
+b2+c2+e2=+1;
+c3+d3+e3+i3=+1;
+a4+e4+g4+h4=+1;
+c5+f5+i5=+1;
+c6+d6+g6+h6=+1;
+a7+d7+f7+h7=+1;
+e8+f8+g8+i8=+1;
+g9+h9+i9=+1;
+j10=+1;

END

Global optimal solution found.

Objective value: 6.440000

Total solver iterations: 9

۵,۳ حل مدل به کمک نرم‌افزار لینگو (LINGO)

Variable	Value	Reduced Cost
A1	0.000000	0.3400000
A2	0.000000	-0.1700000
A7	1.000000	0.000000
B1	1.000000	0.000000
B2	0.000000	0.000000
C2	1.000000	0.000000
C3	0.000000	0.5100000
C5	0.000000	1.390000
C6	0.000000	1.330000

D3	1.000000	0.000000
D6	0.000000	1.200000
D7	0.000000	0.8200000
E2	0.000000	0.000000
E3	0.000000	0.1300000
E4	0.000000	0.8300000
E8	1.000000	0.000000
F5	1.000000	0.000000
F7	0.000000	0.000000
F8	0.000000	0.000000
G4	1.000000	0.000000
G6	0.000000	0.5100000
G8	0.000000	0.000000
G9	0.000000	0.1300000
H4	0.000000	0.3700000
H6	1.000000	0.000000
H7	0.000000	0.000000
H9	0.000000	0.000000
I3	0.000000	0.000000
I5	0.000000	0.9600000
I8	0.000000	0.3500000
I9	1.000000	0.000000
J10	1.000000	0.000000
A4	0.000000	0.9200000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	-0.1000000	1.000000
2	0.000000	0.6000000
3	0.000000	0.7400000
4	0.000000	1.050000
5	0.000000	0.9700000
6	0.000000	0.6500000
7	0.000000	0.2000000
8	0.000000	0.2500000
9	0.000000	0.1700000
10	0.000000	0.5700000
11	0.000000	0.4096000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	-0.4800000
14	0.000000	-0.4000000
15	0.000000	0.3200000
16	0.000000	0.5100000
17	0.000000	0.4000000
18	0.000000	-0.3000000
19	0.000000	-0.8000000
20	0.000000	0.000000
21	0.000000	0.000000

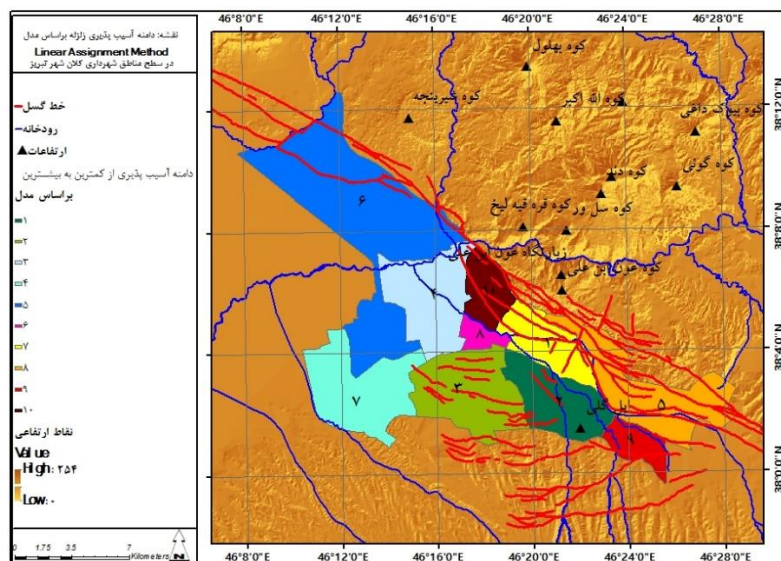
مدل تخصیص خطی ارائه شده را به کمک نرم افزار لینگو حل و پاسخ به گونه ای شد که در هر سطر و در هر ستون فقط یک متغیر مقدار یک می گیرد و مابقی متغیرها صفر می شوند همان طور که مشاهده می شود باهدف مینیم سازی تابع هدف، مسئله پس از طی مراحل به جواب بهینه رسیده است. با توجه به ماتریس منطقه ۲ شهرداری کلان شهر تبریز رتبه اول، منطقه ۳ رتبه دوم، منطقه ۴ در رتبه سوم، منطقه ۷ رتبه چهارم، منطقه ۶

رتبه پنجم، منطقه ۸ رتبه ششم، منطقه ۱ شهرداری رتبه هفتم، منطقه ۵ رتبه هشتم، منطقه ۹ در رتبه نهم و منطقه ۱۰ شهرداری رتبه دهم با بیشترین میزان آسیب‌پذیری را دارد.

جدول ۷. حل ماتریسی جواب بهینه تکنیک تخصیص خطی به کمک نرم‌افزار لینگو: LINGO

منطقه	اولین رتبه	دومین رتبه	سومین رتبه	چهارمین رتبه	پنجمین رتبه	ششمین رتبه	هفتمین رتبه	هشتمین رتبه	نهمین رتبه	دهمین رتبه	مجموع
۱							۱				۱
۲	۱										۱
۳		۱									۱
۴			۱								۱
۵								۱			۱
۶					۱						۱
۷				۱							۱
۸						۱					۱
۹									۱		۱
۱۰										۱	۱
مجموع	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳



نقشه ۲. رتبه آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز حاصل خروجی مدل تکنیک تخصیص خطی

(Linear Assignment Method) به کمک نرم‌افزار لینگو: LINGO

۵.۴ روش مجموع وزین و رده‌بندی شده

ماتریس تصمیم‌گیری که سطر بیانگر شاخص و ستون‌ها بیانگر مناطق باشد را می‌سازیم برای هر شاخص، مقادیر را بر مجموع مقادیر شاخص در مناطق ده‌گانه تقسیم می‌کنیم لذا هر سطر ماتریس تصمیم را بر مجموع عناصر سطر تقسیم می‌کنیم و ماتریس جدید نرمال ساخته می‌شود. به کمک روش آنتروپی شانون وزن نسبی معیارهای چهارگانه را به دست می‌آوریم. فرض کنید ماتریس $R_{m \times n}$ موجود باشد که در آن m بیانگر تعداد گزینه‌ها

و n بیانگر تعداد معیارها باشد و R_{ij} بیانگر ارزش معیار j ام برای گزینه i ام باشد. ماتریس p را از نرمالایز کردن ستونهای ماتریس R به دست می‌آوریم، قرار می‌دهیم:

$$\forall_{j=1, \dots, n} \quad E_j = \frac{-1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$$

حال به محاسبه درجه انحراف d_j به ازای هر معیار j ام می‌پردازیم:

$$d_j = 1 - E_j \quad \forall_{j=1, \dots, n}$$

و از نرمالایز کردن d_j ها خواهیم داشت:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad \forall_{j=1, \dots, n}$$

جدول ۸. مقادیر

مجموع هر شاخص	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
طبیعی	۳	۷	۷	۷	۳	۵	۷	۵	۳	۳
اقتصادی	۷	۷	۵	۵	۷	۵	۵	۷	۷	۵
اجتماعی	۹	۹	۷	۵	۷	۷	۷	۷	۷	۵
کالبدی	۷	۹	۷	۷	۹	۷	۷	۵	۹	۵

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

جدول ۹. ماتریس بی‌مقیاس DN که از تقسیم هر سطر بر مجموع هر سطر حاصل می‌شود

وزن شاخص‌هایی که به روش آنتروپی شانون حاصل شده است	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
طبیعی	۰.۰۶	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۰۶	۰.۱۰	۰.۱۴	۰.۱۰	۰.۰۶	۰.۰۶
اقتصادی	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۰۸
اجتماعی	۰.۱۳	۰.۱۳	۰.۱۰	۰.۰۷	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۰۷
کالبدی	۰.۱۰	۰.۱۳	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۳	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۰۷	۰.۱۳	۰.۰۷

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

جدول ۱۰. ماتریس بی‌مقیاس $DN*W$ - که برای تشکیل آن هر سطر جدول ۲ را در وزن معیار ضرب می‌کنیم

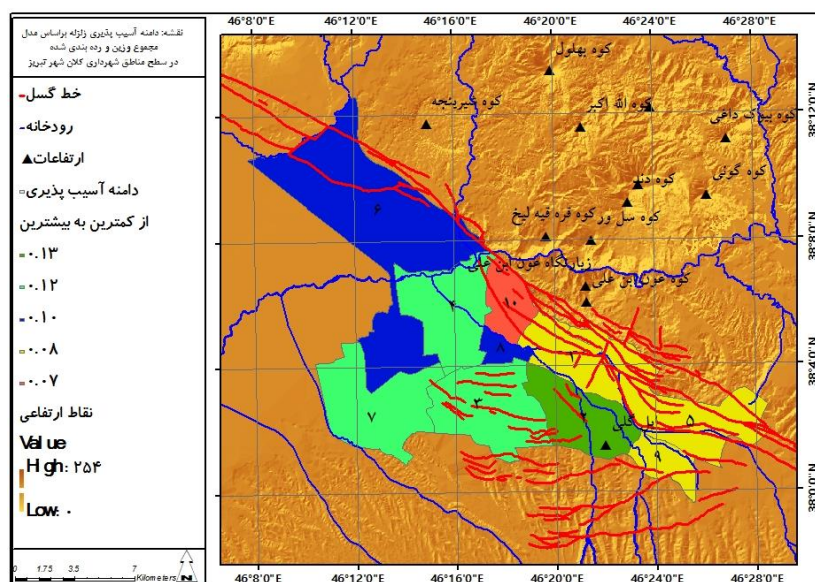
منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
طبیعی	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۳	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۳
اقتصادی	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
اجتماعی	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
کالبدی	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳

جدول ۱۱. مجموع مقادیر بی‌مقیاس موزون برای هر منطقه از مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز
روش مجموع وزین و رده‌بندی شده

مناطق	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
مجموع مقادیر هر منطقه	۰.۰۸	۰.۱۳	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۱۰	۰.۱۲	۰.۱۰	۰.۰۸	۰.۰۷
رتبه	چهارم	اول	دوم	دوم	چهارم	سوم	دوم	سوم	چهارم	پنجم

بیشترین مقدار در رتبه اول قرار می‌گیرد و کمترین مقدار در رتبه آخر است که متناسب با خروجی مدل منطقه ۲ شهرداری کلان‌شهر تبریز در رتبه اول و مناطق ۳، ۴ و ۷ در رتبه دوم، مناطق ۶ و ۸ رتبه سوم، مناطق ۱، ۵ و ۹ در رتبه چهارم و منطقه ۱۰ با بیشترین آسیب‌پذیری در رتبه پنجم تشخیص داده شده است.



نقشه ۳. رتبه آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلان‌شهر تبریز حاصل خروجی روش مجموع وزین و رده‌بندی شده

۶ نتیجه‌گیری

شهرها به‌عنوان کانون‌های جمعیتی متناسب با شرایط سیاسی و اقتصادی مسیر توسعه را پیش گرفته‌اند و پذیرای جمعیت از اقصی نقاط محدوده و فرامحدوده خود می‌شوند و عموماً با گسترده‌ترین دخالت‌های نسنجیده انسانی در محیط طبیعی از جمله ساخت‌وسازهای بی‌رویه در حریم گسل، عدم توجه به مباحث پدافند غیرعامل در برنامه‌ریزی شهری، فقدان و یا بی‌توجهی به ضوابط و استانداردهای ساخت‌وساز روبرو هستند و همین امر موجب می‌شود تاب‌آوری شهرها در برابر بحران کاسته شود. خروجی مدل‌های تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده نشان می‌دهد که منطقه ۲ شهرداری کلان‌شهر تبریز دارای کمترین میزان آسیب‌پذیری و منطقه ۱۰ دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری است؛ که می‌توان اهم دلایل آسیب‌پذیری و کمتر آسیب‌پذیری مناطق را به عواملی همچون: دوری و نزدیکی به گسل، طبقه اقتصادی و اجتماعی ساکنین (حاشیه‌نشینی کیفیت پایین زندگی منطقه ۱۰)، مقاومت سازه و میزان نظارت بر ساخت‌وسازها، کمبود سرانه فضاهای باز و سبز، امدادی و...، تراکم جمعیت، عدم توزیع بهینه کاربری‌های پرخطر و تهدیدزا و... نسبت داد که متناسب با تحقیقات انجام‌گرفته و خروجی مدل‌های حاضر لازم است در طرح‌های توسعه شهری متناسب و قوت و ضعف، فرصت و تهدید هر منطقه شهرداری در ابعاد توزیع کاربری‌هایی که در مهار و کنترل خطر و کاهش آسیب‌پذیری مؤثرند بازبینی صورت پذیرد و گسترش و توسعه فضاهای بی‌کالبد و چندمنظوره و انتقال و تغییر کاربری اراضی بخصوص

در مناطق پرخطر و هم‌جوار با گسل و... لحاظ گردد. نتایج کلی تحقیق بیانگر این است که پدافند غیرعامل سبب کاهش آسیب‌پذیری شهرها می‌گردد و باعث افزایش مقاومت جامعه در برابر زلزله می‌شود؛ بنابراین با ارتقاء ایمنی ساختمان‌ها، آموزش عمومی شهروندان در رابطه با زلزله، ایجاد سیستم‌های هشدار سریع و تقویت زیرساخت‌های حیاتی در شهر می‌توان از میزان خسارت‌های احتمالی در سطح شهر جلوگیری نمود.

در راستای نتایج پژوهش پیشنهادات زیر ارائه شده است:

- استفاده از مصالح مقاوم، طراحی مناسب ساختمان‌ها با توجه به آیین‌نامه‌های زلزله و نظارت دقیق بر اجرای ساخت‌وساز.
- برگزاری دوره‌های آموزشی برای شهروندان در زمینه نحوه واکنش در برابر زلزله، پناه‌گیری در زمان زلزله و امدادسانی اولیه و ترویج فرهنگ ایمنی و آمادگی در برابر زلزله در سطح جامعه.
- پیش‌بینی مکان‌هایی برای اسکان موقت آسیب‌دیدگان زلزله و تأمین نیازهای اولیه آن‌ها با توسعه فضاهای باز در جوار کاربری‌های پرخطر و در کنار مراکز صنعتی و شیمیایی به‌ویژه در مناطق ۷، ۹ و ۶.
- انتقال کاربری‌های تهدیدپذیر به نقاط دیگری از شهر به‌ویژه در محدوده مناطق ۱۰، ۷ و ۶ و ۵ شهر.
- عدم تمرکز جمعیت در کنار مراکز اشتعالی به‌خصوص مناطق مرکزی و بافت تاریخی شهر
- ایجاد کاربری‌های چندمنظوره در طرح‌های توسعه شهری، در قالب مراکز تفریحی به‌ویژه در حفاصل مناطق ۹، ۱۰، ۷.
- تدوین برنامه بازآفرینی مراکز حاشیه‌نشین مناطق شهرداری و نظارت بیشتر بر مقاوم‌سازی و رعایت اصول پدافند غیرعامل شهری در مناطق پرخطر (متناسب با خروجی مدل‌های اجرایی) و هم‌جوار با گسل در اولویت برنامه‌های نظارتی مدیران شهری قرار گیرد.

سپاسگزاری (تقدیر و تشکر)

از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز تقدیر می‌گردد.

References

- Abalghi, Alireza. (2005). "Editor's Note". Haft Shahr Magazine, Urban Development and Improvement Organization, No. 18. [in Persian].
- Ahmadi, H., and Boochani, M. H. (2003). "Earthquake History in Iran". Monthly Magazine of Municipalities, No. 58. [in Persian].
- Alavi, S. A., Ebrahimi, M., Najaf Pourmahmoudabad, B., and Khalidi, A. (2016). "Evaluation of the vulnerability of the dilapidated texture of Minab city to earthquakes". Bi-Quarterly Journal of Crisis Management. 9, 71-82. [in Persian].
- Alexander, D. (2002). principles of emergency and managements. Oxford University Press.

- Alidoosti, S. (2008). "Application of crisis management in reducing earthquake losses", University of Tehran Press. [in Persian].
- Asadi Nazari, M. (2004). "Planning and Locating Temporary Settlement Camps for Survivors, Earthquake Case Study: Area 1 (Area 6) of Tehran". Master's Thesis in Urban Planning (Urban and Regional Planning), Department of Urban Planning, Faculty of Arts, Tarbiat Modares University, Supervisor: Dr. Mohammadreza Pourjafar, Advisor: Dr. Mohammadreza Bemanian, March. [in Persian].
- Asghari Zamani, A. (2000). "A Research on the Process of Marginalization in Iran, Case Study of Tabriz City". Master's thesis, Department of Geography and Urban Planning, Supervisor: Karim Hosseinzadeh Dalir, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz. [in Persian].
- Balaban, M., Doğulu, C., Akdede, N., Akoğlu, H., Güzel, S., İkizer, C., Akin, M., and Ünal, Y. (2025). Emergency response, and community impact after February,6,2023 Kahramanmaraş Pazarcık and Elbistan Earthquakes: reconnaissance findings and observations on affected region in Türkiye, Bulletin of Earthquake Engineering 23:1053–1081 <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01867-3>.
- Bayati Khatibi, M. (2004). "Risks from Urban Development on Faulty Unevenness". Housing and Revolution Journal, No. 107: 60-75. [in Persian].
- Duke, S. (2024). Reviewed Work: Cold War Secret Nuclear Bunkers: The Passive Defence of the Western World during the Cold War Nick McCamley, Vol. 13, No. 3, pp. 216-218.
- Ebert, A., Karle, N., Stein, A. (2008). Urban Social Vulnerability Assessment, urban social vulnerability assessment using object- oriented analysis of remot sensing and GIS data, A case study for tegucigalpa, Honduras, remote sensing and spatial information sciences. vol.wwwvll, part B7, Beijing: 1307-1311.
- Elshehabi, O. (2015). Rootless Hubs: Migration, Urban Commodification and 'the Right to the City'in the GCC. Transit States: Labour, Migration & Citizenship in the Gulf. London: Pluto Books.
- Ghadhban, F. (2002). "Environmental Geology". University of Tehran Press. [in Persian].
- Habibi, K.; Ghanezadeh, S. M. and Vafaei, A. (1403). Measuring and evaluating the physical resilience of Marivan city against earthquakes using a fuzzy hybrid model and the analytical network process (ANP) (case study: Marivan city), Urban Research and Planning, 56, 69-82. [in Persian].
- Hadi, L.; Pourmohammadi, M.; Hakimi, H. and Hadi, L. (1400). Investigating the compatibility of urban land uses in order to increase resilience against earthquakes, a case study of the 4th district of Tabriz Municipality, Geography and Planning, 77, 277-289. [in Persian].
- Hosseinzadeh Dalir, K, Maleki, K., Shafaati, A., and Heydarifar, M. R. (2012). "Passive Defense and Sustainable Urban Development with Emphasis on Threatened Land Uses of Tabriz

- Metropolis from the Perspective of War". *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, Razi University of Kermanshah, 2(5), 1-24. [in Persian].
- Issalou, Sh., Latifi, Gh., and Goodarzi, V. (2016). "Assessment of the Physical Vulnerability of the Tehran City Area One Texture to Possible Earthquakes Using the IHWP Method and GIS System", *Quarterly Journal of Geographic Information Sepehr*, 25(100), 73-87. [in Persian]. DOI: [20.1001.1.25883860.1395.25.100.6.4](https://doi.org/10.1001.1.25883860.1395.25.100.6.4)
 - Ji, K., Li, Y., GAO, J., XU, J., and GAO, Y. (2024). Assessment of urban vulnerability to heavy rain and flood disasters, *Advances in Science and Technology of Water Resources* Vol. 44, No. 3, PP. 13-20. DOI: [10.3880/j.issn.1006-7647.2024.03.003](https://doi.org/10.3880/j.issn.1006-7647.2024.03.003).
 - Maleki, K. (2017). "Explanation and Presentation of the Physical-Spatial Model of Urban Development in Earthquake Hazard Zones (Case Study: Kermanshah Metropolis)". PhD thesis in Geography and Urban Planning, Payam Noor University, Tehran Graduate Center, Faculty of Social Sciences, Department of Geography. [in Persian].
 - Maleki, K., Taleshi, M., Modiri, M., and Heydarifar, M. R. (2014). "Analysis of Threat Network and Hazard Loop in Earthquake Risk with Passive Defense Approach (Case Study: Kermanshah Metropolis)". *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Kharazmi University, 9(4), 57-80. [in Persian].
 - Maleki, K., Pahakideh, E., and Marsousi, N. (2015). "Health and Security of Defensive Cities with a Multipurpose Use Planning Model, Case Study, Sanandaj City". *Quarterly Journal of Environmental Planning*, Islamic Azad University, Malayer Branch, Volume 8(29), 28-50. [in Persian].
 - Messenger, D.A. (2025). Local Government, Passive Defense and Aerial Bombardment in Barcelona during the Spanish Civil War, 1936-9, Vol. 56, No. 4, pp1-14. <https://doi.org/10.1177/0022009421997898>.
 - Moehle, J., Barkley, C., Bonowitz, D., Karlinsky, S., Maffei, J., Poland, C. (2009). The Resilient City-A Way of Thinking about Preparedness, Mitigation, and Rebuilding, *Proceeding of the NZSEE conference*, Apr 3-5, Christchurch.
 - Omrani, B. (2006). "Investigation of historical earthquakes and seismography in Tabriz". *Proceedings of the First National Conference on Earthquake Crisis Management in Cities with Historical Context*, Yazd University: 10-27. [in Persian].
 - Panahi Jellodar, Gh. (2000). "Analysis of the Urbanization Process in the Mother Cities of Iran, the Example of Tabriz". Master's thesis in Urban Geography, Supervisor: Mohammad Reza Pourmohammadi, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz. [in Persian].
 - Political Divisions Office of East Azerbaijan Governorate. (1402). [in Persian].
 - Pourmohammadi, M. R., and Maleki, K. (2011). "Passive Defense and Strategies for Urban Area Development and Security". (Second Edition, New Edition with Additions). Tabriz: Foruzesh Publications, Bahar. [in Persian].

- Rashed. T, Weeks. J, Couclelis. H, Herold. M. (2017). An integrative GIS and remote sensing model for place-based urban vulnerability analysis. John Wiley & Sons, Ltd.
- Safari, A. (2007). "Planning for dealing with natural disasters (Case study: Tarom Olia earthquake)". Master's thesis in urban planning, Urban and regional planning orientation, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Supervisor: Engineer Siavoosh Ansari Nia. [in Persian].
- Samy Yousef Mohamed, A. (2024). BIOMIMETIC ARCHITECTURE: CREATING A PASSIVE DEFENSE SYSTEM IN BUILDING SKIN TO SOLVE ZERO CARBON CONSTRUCTION DILEMMA, EQA – Environmental quality / Qualité de l'Environnement / Qualità ambientale, 29, 1-28.
- Shafaati, A. (2009). "Intermediate Development; Towards a Desirable Urban Development Strategy, Case Study: The Historical-Cultural Axis of Tabriz Metropolis". Master's Thesis, Geography and Urban Planning, University of Tabriz. [in Persian].
- Sheps, R., Golovinsky, P., and Yaremenko, S. (2024). New passive solar panels for Russian cold winter conditions, Energy and Buildings, Vol. 248, pp.1-18. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111187>.
- Stolte, T.R., Koks, E.E., e Moel, H., Reimann, L., Vliet, J., Ruiter, M.C., and Ward, P.H. (2024). VulneraCity-drivers and dynamics of urban vulnerability based on a global systematic literature review, International Journal of Disaster Risk Reduction, 108, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104535>.
- UN/ISDR, (2005). World Conference on Disaster Reduction. 18- 22 January, Kobe, Hyogo, Japan.
- Yazar, M., Fide, E. B., & Cetinkaya, I. D. (2024). The nested hierarchy of urban vulnerability within land use policies fails to address climate injustices in Turkey, Journal of Environmental Policy & Planning, 26:1, 30-46, DOI: [10.1080/1523908X.2023.2279059](https://doi.org/10.1080/1523908X.2023.2279059).
- Ziari, K. A. (2007). "Urban Land Use Planning". Third Edition, Yazd University Press. [in Persian].