Journal of Geography and Planning
Online ISSN: 2717-3534 Print ISSN: 2008-8078
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

Analysis of Urban Resilience Using the Combination of Fuzzy Model and Learning Machine, a Case Study of Tabriz City

Reza Mahmodnejhad[1], **Akbar Asghari Zamani**[2]✉, **Mohammadreza Karami**[3]

1. Ph.D. student, Department of Geography and Urban Planning, Aras Branch, Pardis University, Tabriz, Iran. E-mail: rezamahmodnezhad4@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Department of Geography and Urban Planning, , Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: azamani621@gmail.conm
3. Assistant Professor, Department of Social Sciences, Faculty of Social Sciences and Humanities, Payam noor University, Tehran, Iran. E-mail: mohammadreza.karami@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 24 December 2024
Revised: 5 October 2025
Accepted: 7 October 2025
Published: 29 July 2026

Keywords:
urban resilience,
fuzzy model,
learning machine,
Tabriz.

ABSTRACT

In recent years, the vulnerability of Iran's big cities has increased against unexpected incidents and accidents, and in contrast to the low level of resilience, human life has been endangered in these cities. Based on this, the aim of this article is to analyze urban resilience using a combination of fuzzy model and machine learning in Tabriz city as a metropolis in the northwestern region of the country. This research is applied-developmental in terms of purpose, descriptive-analytical in terms of method. which are three physical, social and natural components with ۴۱ effective indicators in urban resilience, which were compiled and compiled based on questioning and examining various sources. Then, preparing the maps of each variable and creating fuzzy layers using the fuzzy neural network model in the Idris Terrset software environment, the resilience of Tabriz city was determined. Validation with the help of ROC curve is equal to ۰.۸۵۶, which shows a very good result. According to the obtained results, About 10 percent of the area of Tabriz city is in dangerous conditions in terms of resilience, while 36 percent of the total city area has a high level of flexibility. Ultimately, separate recommendations were presented based on the resilience conditions and land uses.

Cite this article: Mahmodnejhad, R., Asghari Zamani, A., & Karami, M. (2026). Analysis of Urban Resilience Using the Combination of Fuzzy Model and Learning Machine, a Case Study of Tabriz City. *Journal of Geography and Planning*, 30(97), 1-28. http//doi.org/10.22034/gp.2025.63290.3339

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: http//doi.org/10.22034/gp.2025.63290.3339

Introduction

Resilience is defined as the amount of damage and loss a system can absorb without losing its equilibrium, the system's ability to self-organize under different conditions, as well as the system's capacity to create and increase learning capabilities and strengthen adaptability to conditions . Among them, large cities like Tabriz, due to their location along active earthquake fault lines, demand a reconsideration of urban development and its related challenges within the framework of urban resilience. Cities are complex, interdependent systems vulnerable to threats arising from natural and human-made disasters. Therefore, urban community resilience is important as a strategy for overcoming crises. This approach is vital for creating more sustainable and safer communities. In fact, to assess the resilience of urban fabrics, focusing solely on physical aspects is not sufficient; economic, social, and environmental dimensions are also highly significant, making it essential to simultaneously examine multiple dimensions of the resilience approach. According to research conducted in the field of urban resilience, important indicators in this area are identified in Table 2. By adapting these indicators for the city of Tabriz, the resilience of important urban functions against earthquakes is examined. The study area in this article is the city of Tabriz, located in northwest Iran. This city lies on the large and sensitive Tabriz fault (northern section). Considering previous studies and historical records, it can be said that Tabriz is among the seismically active cities in Iran with a history of destructive earthquakes. Given this point, the need for this research arose, and efforts are made to analyze and assess the city of Tabriz using machine learning models and geographic information systems based on orbital science. Ultimately, in line with the article's goal of determining resilience levels according to municipal districts, the aim is to identify the city's strengths and weaknesses in an effective manner.

Research Methodology and Data

The research method in this applied article follows an approach prioritized by quantitative, explanatory, and descriptive importance to the subject of urban resilience against earthquakes in the city of Tabriz. Briefly, the methods of data collection in this article include library and documentary studies, field studies, and the use of advanced computer methods. For gathering scientific resources and the required data, library and documentary methods were employed, along with obtaining maps and data from the Statistics Organization, Municipality, Department of Roads and Urban Development, as well as reliable internet sources and field investigations. For data analysis, the software ArcGIS, IDRISI, and Excel were utilized. This research requires various types of data with vector and raster structures within three indicators: social, environmental, and physical. For this purpose, data and information from various agencies and organizations with high accuracy and acceptable precision were used. Some of the mentioned layers, such as the population block layer, contain important databases from which multiple maps were extracted across the physical, social, and economic domains. A fuzzy neural network learning model was used. For model training, 260 points and for testing, 110 points (at a 70 to 30 ratio) were designated across 5 suitability classes. Finally, the ROC (Receiver Operating Characteristic) curve method was used for model .

Discussions and findings

The Metropol of Tabriz, due to its extraordinary importance in the northern part of the country, its large area, high population and building density, natural and spatial constraints, as well as its location next to an active and dangerous fault line, requires special and specific studies in the areas of resilience and vulnerability. Based on the results obtained, out of the total 25,406 hectares of the city of Tabriz, about 31.6 percent of the total area has very high resilience, while 12.8 percent is in a state of very low resilience. Overall, 23.2 percent of the total area of Tabriz, equivalent to 5,801 hectares, is in poor resilience conditions, and 58.4 percent of the total area, equal to 14,603 hectares, is in good to higher resilience conditions. Residential land use, as the most significant land use, covering 27 percent of all determined land uses, is in unfavorable conditions. Law enforcement and military land uses are in conditions of high flexibility. However, medical land use is in very low flexibility conditions, indicating the severity of this land use, especially in times of crisis. About 279 hectares of industrial land use, constituting 27.6 percent of industrial land uses, also fall under very low flexibility conditions, and more than 390 hectares are in moderate conditions. In addition, more than 10 percent of the urban equipment area, 15 percent of administrative land uses, and 6.7 percent of higher education land uses are in an unacceptable condition in terms of flexibility. The facility land use, relative to the recently mentioned land uses, shows better conditions with about 8 percent of the total area of facility land use. Educational land use, due to its sensitivity, holds special importance similar to residential land use. Unfortunately, the flexibility condition of educational land uses in the city of Tabriz is in a critical state. About 56 hectares of educational land use area, or 32.2 percent of the total educational land use area in Tabriz, are in a state of very low flexibility. If we also add 18 percent of the low flexibility condition, a total of 86.7 hectares of education-related land uses, or 50.2 percent of all

educational land uses, experience poor and critical conditions. Additionally, out of 224 hectares of commercial land use in the city, 99.3 hectares are in an abnormal condition, accounting for 44.4 percent of all commercial land uses. Overall, monitoring the condition of sensitive land uses in the city such as residential, educational, healthcare, and commercial areas in this region reveals a critical situation. Based on the results in Tables 6 and 7 regarding resilience levels in Tabriz municipality areas, District 5, with the largest area, is in the best condition, while District 8 is in a critical state. In terms of high resilience, District 6 shows better conditions compared to other districts, and District 9 ranks lowest, being in a critical condition.

Conclusion

The obtained results indicate that, given the uncertainty of some issues and incidents, especially natural ones, the machine learning model, utilizing multiple and precise algorithms, can be a helpful and supportive tool for managers and researchers in the field of resilience. On the other hand, the predominant current view has shifted from focusing solely on reducing vulnerability to increasing resilience against disasters. Furthermore, the resilience approach is multidimensional and examining the city's resilience based on a single dimension or specific indicator is neither precise nor reliable. According to 31 criteria (natural, social, and physical) within a machine learning model (fuzzy neural networks), about 10 percent of the total area of Tabriz city is at significant risk and requires renovation and reinforcement. Areas with high and medium resilience also constitute a large part of the city's spaces, and the trend of reinforcement development in these categories is important. Among the important and sensitive land uses in Tabriz city, residential, healthcare, and educational uses are in conditions of low and critical flexibility and should be prioritized.

Keywords: urban resilience, fuzzy model, learning machine, Tabriz.

جغرافیا و برنامه ریزی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۸۰۷۸ شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۳۵۳۴
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

تحلیل تاب‌آوری شهری با استفاده از ترکیب مدل فازی و ماشین یادگیرنده، مطالعه موردی شهر تبریز

رضا محمودنژاد[۱]، اکبر اصغری زمانی[۲]✉، محمدرضا کرمی[۳]

۱. دانشجوی دکترا، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد ارس، دانشگاه پردیس، تبریز، ایران. رایانامه: rezamahmodnezhad4@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: azamani621@gmail.conm
۳. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه علوم اجتماعی، دانشکده انسانی و اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: mohammadreza.karami@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۰۷

کلیدواژه‌ها:
تاب‌آوری شهری،
مدل فازی،
ماشین یادگیرنده،
شهر تبریز.

چکیده

در سال‌های اخیر خطرپذیری شهرهای بزرگ ایران، در برابر حوادث و سوانح غیرمترقبه افزایش‌یافته و در مقابل پایین بودن سطح تاب‌آوری سبب به خطر افتادن حیات بشری در این شهرها شده است. براین اساس، هدف این مقاله تحلیل تاب‌آوری شهری با استفاده از ترکیب مدل فازی و ماشین یادگیرنده، در شهر تبریز به‌عنوان کلان‌شهر منطقه شمال غرب کشور است. این پژوهش ازنظر هدف کاربردی – توسعه، ازنظر روش توصیفی – تحلیلی است؛ و نظر به اهمیت تاب‌آوری در که سه مؤلفه مهم تاب‌آوری شامل کالبدی، اجتماعی و طبیعی با ۳۱ معیار اثرگذار در تاب‌آوری شهری که بر اساس بررسی منابع مختلف علمی و تحقیقات گذشته تدوین و گردآوری‌شده‌اند. سپس آماده‌سازی نقشه‌های هر متغیر و ایجاد لایه‌های فازی با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی فازی در محیط نرم‌افزار Idris Terrset میزان تاب آور بودن شهر تبریز مشخص گردید. اعتبارسنجی با کمک منحنی راک ROC برابر ۰/۸۵۶ بوده که نتیجه مدل دقت بالایی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده حدود ۱۰ درصد از مساحت شهر تبریز از نظر تاب آوری در شرایط خطرناک قراردارند و از طرفی ۳۶ درصد کل مساحت شهر نیز سطح انعطاف پذیری بالا هستند در نهایت براساس شرایط تاب آوری و کاربری ها پیشنهاداتی جداگانه ارایه گردید.

استناد: محمودنژاد، رضا؛ اصغری زمانی، اکبر و کرمی، محمدرضا (۱۴۰۵). تحلیل تاب‌آوری شهری با استفاده از ترکیب مدل فازی و ماشین یادگیرنده، مطالعه موردی شهر تبریز. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۰ (۹۷)، ۱-۲۸.
http//doi.org/10.22034/gp.2025.63290.3339

ناشر: دانشگاه تبریز.
© نویسندگان.

مقدمه

با افزایش سوانح طبیعی در دهه‌های گذشته و همچنین، افزایش تلفات و خسارات ناشی از سوانح و همچنین، تمرکز بیشتر مطالعات در این حوزه، تغییرات اساسی در اقدامات و رویکردهای پاسخگویی به سوانح رخداده است (ملکی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹۱). کشور ایران جز ۱۰ کشور حادثه‌خیز دنیا و چهارمین کشور از نظر بلایا می‌باشد (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۰). از ۴۰ نوع بلای طبیعی شناسایی‌شده در دنیا ۳۱ نوع آن در ایران و از بین آن زلزله یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی است که توسعه سرزمین را در معرض خطر قرار می‌دهد (کریمی قطب‌آبادی و زنگی‌آبادی، ۱۴۰۲: ۲۳۰). عواقب ناشی از زلزله از منظر تکرار و از لحاظ آسیبی که دارد، بطور کلی جامعه را تحت تأثیر قرار می دهد (کریمی قطب آبادی و زنگی آبادی، ۱۴۰۲: ۱۱۴) . از میان انواع مخاطرات طبیعی؛ ویژگیهای ساختاری زمین شناسی کشور، زمین لرزه را به عنوان مخربترین عواملِ انهدامِ حیات انسانی مطرح کرده است(آقایاری و همکاران، ۱۴۰۳: ۷۶). ازاین‌رو در حال حاضر دیدگاه غالب از تمرکز بر روی صرفاً کاهش آسیب‌پذیری به افزایش تاب‌آوری در مقابل سوانح تغییر پیداکرده است (آقایاری و همکاران، ۱۴۰۳: ۷۶). تاب‌آوری به‌عنوان میزان تخریب و زیانی که یک سیستم قادر است جذب کند بدون آنکه از حالت تعادل خارج شود و میزان توانایی یک سیستم برای خودسازمان‌دهی در شرایط مختلف؛ و نیز میزان توانایی سیستم در ایجاد و افزایش ظرفیت یادگیری و تقویت سازگاری با شرایط تعریف می‌شود (رضایی، ۱۳۸۹: ۶۱۳). دربین ابعاد مختلف تاب آوری اگر چه توجه به جنبه های اجتماعی نسبت به جنبه های زیرساخت های کالبدی و فیزیکی اهمیت زیادی ندارد، اما این بعد از تاب آوری به همان اندازه نیز میتواند اهمیت داشته باشند(کریمی قطب آبادی و زنگی آبادی، ۱۴۰۲: ۱۱۴) . در این رابطه دو نوع استراتژی برای مقابله با حوادث وجود دارد که عبارت‌اند از: استراتژی‌های پیش‌بینی و استراتژی‌های تاب‌آوری. اولی، برای روبرو شدن با مشکلات و معضلات شناخته‌شده به کار می‌رود و دومی برای مقابله با مشکلات ناشناخته (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۱۰). جوامع و افراد به‌صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیرتر شده‌اند و ریسک‌ها نیز افزایش‌یافته‌اند. بااین‌حال، کاهش ریسک و آسیب‌پذیری اغلب تا بعد از وقوع سوانح نادیده انگاشته می‌شوند (محمدی و پاشا زاده، ۱۳۹۶: ۱۱۳). چند–خطری[1] و آسیب‌پذیری[2] باهم مرتبط، پویا و وابسته به یکدیگر هستند، زیرا مخاطرات چندگانه، هم‌زمان یا پی‌درپی، اغلب آسیب‌پذیری‌های موجود را تشدید کرده و مناطق آسیب‌پذیر جدیدی ایجاد می‌کنند (چائوهان[3] و همکاران، ۲۰۲۵). از طرفی همان‌گونه که گفته شد حیات بشر و جوامع همواره در معرض سوانح و بلایای طبیعی بوده و هست «بر اساس شواهد و مستندات کشور ایران از وقوع بلایا ازجمله سیل، زلزله و تغییرات شدید رژیم بارش در امان نخواهد بود» (خسرو زاده،۱۳۸۷،۱۳). در این میان شهرهای بزرگ همانند تبریز به دلیل قرارگیری در کنار خطوط گسل فعال زلزله، بازنگری توسعه شهری و چالش‌های مربوط به آن را در قالب مبحث تاب‌آوری شهری طلب می‌کند. شهرها سیستم‌های پیچیده و متکی به هم هستند که در برابر تهدیدات ناشی از بلایای طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر می‌باشند (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۸). لذا تاب‌آوری اجتماعات شهری به‌عنوان راهکاری جهت برون‌رفت از بحران دارای اهمیت است. این رویکرد برای خلق اجتماعات پایدارتر و ایمن حیاتی است (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۸). بنابراین تاب‌آوری به دو دلیل یعنی غیرقابل‌پیش‌بینی بودن آسیب‌پذیری سیستم‌های اجتماعی و فنی و دوم به دلیل اینکه مردم و سرمایه‌ها در جوامع تاب آور در برابر سوانح نسبت به جوامع و فضاهای فاقد سازگاری و انعطاف‌پذیری به‌یقین پایدارترند، از اهمیت زیادی برخوردار است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲). این مقاله باهدف تعیین میزان تاب‌آوری کاربری‌های مهم شهر تبریز تدوین‌شده است، پهنه‌بندی که بتواند میزان تاب آور بودن محدوده را در برابر خطر زلزله نشان دهد و خلأ تحقیقاتی موجود در دیگر تحقیقات مشابه را جبران کند. در بسیاری از تحقیقات مربوط به موضوع تاب‌آوری در برابر زلزله، به موضوع بافت‌های و کالبد شهری اکثراً به‌صورت تک‌بعدی نگریسته شده است و ابعاد اجتماعی و اقتصادی، مدیریتی و نهادی تاب‌آوری در بیشتر تحقیقات و مطالعات موردتوجه

1. *Multi-hazards*
2. *vulnerability*
3. *Chauhan*

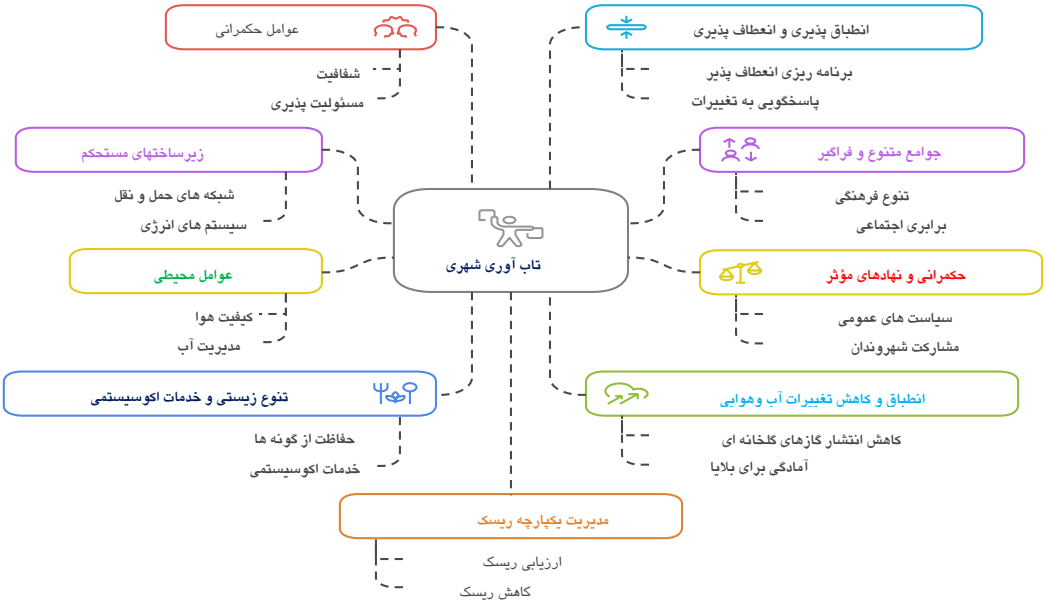
قرار نگرفته است. درواقع برای سنجش تاب‌آوری بافت‌های شهری فقط توجه به ابعاد کالبدی کافی نیست و ابعاد اقتصادی و اجتماعی و محیطی نیز از اهمیت بالایی برخوردارند و لزوم بررسی ابعاد مختلف یا چند بعد از رویکرد تاب‌آوری به‌صورت هم‌زمان مهم است. با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته درزمینه تاب‌آوری شهری، شاخص‌های مهم در این زمینه در جدول شماره ۲ مشخص‌شده است. با انطباق این شاخص‌ها برای شهر تبریز به بررسی میزان تاب‌آوری کاربری‌های مهم این شهر در برابر زلزله پرداخته می‌شود. منطقه موردمطالعه در این مقاله شهر تبریز است که در شمال غرب ایران قرارگرفته است. این شهر بر روی گسل بزرگ و حساس تبریز (قسمت شمالی) قرار دارد با توجه به این مطالعات پیشین و سابقه تاریخی می‌توان گفت ازجمله شهرهای لرزه‌خیز ایران باسابقه تاریخی زمین‌لرزه‌های ویرانگر است. با توجه به این نکته که به آن اشاره شد لازم به طرح این پژوهش گردید وسعی می‌شود با استفاده از مدل ماشین‌های یادگیرنده[1] و سیستم اطلاعات جغرافیایی[2] به بررسی و تحلیل شهر تبریز مبتنی بر علم مداری پرداخته شود تا درنهایت با توجه به هدف مقاله که تعیین میزان تاب‌آوری بر اساس مناطق شهرداری است، بتوان نقاط ضعف و قوت شهر را به شیوه‌ای مطلوب تعیین نمود.

مبانی نظری

واژه تاب‌آوری[3] به معنای بازگشت به شرایط پیشین گرفته‌شده است باوجود گذشت بیش از سه دهه از تجارب ارزشمند پژوهش جمعی در مورد تاب‌آوری، هنوز این واژه در حوزه‌های مختلف علمی دارای معانی متفاوت و متضاد است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۱۱). تا دهه ۱۹۰ دیدگاه غالب در بخش مدیریت بحران جهان، بر کاهش میزان آسیب‌پذیری مبتنی بوده است (کریمی قطب‌آبادی و زنگی آبادی، ۱۴۰۲: ۲۳۱). بعدها در سال ۱۸۵۴؛ تاب‌آوری به معنای مقاومت در برابر تأثیرات زلزله در بازسازی شهر شیمودا در جنوب غربی توکیو بکار برده شد. همچنین باید گفت که اولین بار تاب‌آوری به‌صورت عملی توسط تیمرمن به حوزه مخاطرات طبیعی وارد شد (محمدی سرین دیزج و همکاران، ۱۴۰۰: ۶۹). تاب‌آوری به‌عنوان یک چارچوب مفهومی با تمامی مراحل و بخش‌های سوانح و مدیریت بحران ارتباط پیدا می‌کند (محمودزاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ ۱۶۴). تا دهه ۱۹۸۰، رویکرد کاهش میزان آسیب‌پذیری و مقابله با بحران بر متون نظری مدیریت بحران حاکم بود. از دهه ۱۹۸۰ و به‌خصوص ۱۹۹۰ محققان علوم اجتماعی به‌نقد رویکرد علوم طبیعی در مدیریت بحران پرداختند و معتقد بودند که آسیب‌پذیری یک خصوصیت اجتماعی نیز دارد و به خسارت جمعیتی و فیزیکی محدود نمی‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۱۰). درزمانی که ریسک و عدم قطعیت‌ها در حال رشد می‌باشند، تاب‌آوری به‌عنوان مفهوم مواجهه با اختلالات، غافلگیری‌ها و تغییرات معرفی می‌شود (پاکروو همکاران، ۱۴۰۲: ۱۱۶). مفهوم تاب‌آوری توسط هالینگز در ۱۹۷۳ درزمینه اکولوژی ارائه شد بعدها زمینه‌های مختلف علمی مانند مدیریت بلایا، روانشناسی و اکولوژی مورداستفاده قرارگرفته (محمودزاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ ۱۶۴). تعاریف تاب‌آوری شهری عمدتاً بر پایداری متمرکز هستند، به‌طوری‌که بیش از نیمی از این تعاریف مکانیزمی برای تغییر در نظر نمی‌گیرند (میرو و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۴). بیشتر نظریات امروز از تمرکز بر کاهش آسیب‌پذیری به افزایش تاب‌آوری در برابر سوانح تغییر پیداکرده است چراکه تاب‌آوری توصیف بهتری از رابطه جوامع با سیاست‌های کاهش خطرپذیری ارائه می‌دهد؛ تاب‌آوری توانایی نظام، گروه‌های اجتماعی یا جامعه در معرض مخاطره برای مقاومت، جذب کردن، گنجاندن هم در برابر آن و هم در بازتوانی به‌موقع و کارآمد از اثرات مخاطره از طریق حفاظت، بازگردانی ساختارهای اساسی اولیه و عملکردها است (حجاریان، ۱۴۰۲: ۲۵۹). یکی از مهمترین راهبردها در این زمینه برنامه ریزی در جهت افزایش تاب آوری شهرها و شهروندان در مقابل آسیب های وارده از زلزله است. تاب آوری پتانسیل جوامع برای جذب و سازگاری با خطرات است (بدرآذر و همکاران، ۱۴۰۳: ۶۲) . آنچه که باید مورد توجه قرار گیرد پیچیدگی سیستم های شهری و عدق قطعیت های موجود در روابط این سیستم پیچیده است (بدرآذر و همکاران، ۱۴۰۳: ۶۲) رویکردهای مفهومی تاب‌آوری را می‌توان به سه دسته اصلی خلاصه کرد که جنبه مشترک در همه آن‌ها توانایی

1. Fuzzy ARTMAP
2. GIS
3. Resilio

ایستادگی، مقاومت و واکنش مثبت به فشار یا تغییر است (پاکرو و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۱۹). تاب‌آوری رویکردی چندوجهی است. در ادبیات مخاطرات و مدیریت سوانح، «تاب‌آوری» به شیوه‌های متعددی استفاده می‌شود، مثل تاب‌آوری اقتصادی، سازمانی، اکولوژیکی، اجتماعی، ساختمانی و مهندسی؛ زیرساخت‌های حیاتی و سیستم ارتباطی که جنبه مشترک همه آن‌ها «توانایی ایستادگی، مقاومت و واکنش مثبت به فشار یا تغییر» است. بااین‌وجود می‌توان ۴ بعد اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی را به‌عنوان ابعاد تاب‌آوری در نظر گرفت (پاشاپور و پوراکرمی، ۱۳۹۶: ۹۸۸). از سویی دیگر شش تنش مفهومی اساسی در تاب‌آوری شهری شامل تعریف «شهری»؛ درک از تعادل سیستم؛ تلقی مثبت در مقابل خنثی (منفی) از تاب‌آوری؛ مکانیسم‌های تغییر سیستم؛ سازگاری در مقابل قابلیت سازگاری عمومی و درنهایت افق زمانی وجود دارد (میرو و همکاران، ۲۰۱۶). در حوزه شهرسازی تاب‌آوری شهری با توانایی سیستم شهری برای بازگشت به حالت قبلی خود، آن‌طور که بامعنای کلی تاب‌آوری تعریف می‌شود، مطابقت ندارد. در عوض، باید آن را به‌عنوان ظرفیت سیستم شهری برای جذب، سازگاری و پاسخگویی به تغییرات تفسیر کرد. بااین‌حال، تنها تعداد کمی از شهرها اقدامات و استراتژی‌هایی را برای بهبود تاب‌آوری خود انجام داده‌اند. این شرایط با دشواری‌های مربوط به تعریف تاب‌آوری شهری و اندازه‌گیری آن تعیین می‌شود مربوط به تعریف تاب‌آوری شهری و اندازه‌گیری آن است (بوترو و همکاران، ۲۰۲۰: ۱). یکی از مزایای برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری شهرها این است که نیازی به تمرکز بر روی الگوی خاص فرم شهری، یا توسعه شهری نیست. این انعطاف‌پذیری این اجازه را می‌دهد که با توجه به شرایط منحصربه‌فرد شهرها و برنامه‌های توسعه، قدرت جوابگویی و توانایی انطباق وجود داشته باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۱۵). بنابراین تعریفی دقیق و کامل از تاب‌آوری بسیار مشکل است اما در یک اجماع کلی می‌توان گفت که تاب‌آوری شهری به توانایی یک سیستم شهری – و تمام شبکه‌های سازنده آن شامل شبکه‌های اکولوژیکی–اجتماعی و فنی–اجتماعی در مقیاس‌های زمانی و مکانی – برای حفظ یا بازگشت سریع به عملکردهای مطلوب در مواجهه با اختلال، سازگاری با تغییر و دگرگونی سریع سیستم‌هایی که ظرفیت سازگاری کنونی یا آینده را محدود می‌کنند، اشاره دارد (میرو و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۹). بسیاری از تناقضات موجود بر سر معنای تاب‌آوری از تمایلات شناختی، روش‌های متدلوژی و تفاوت‌های مفهومی بنیادی موجود و همچنین دیدگاه‌هایی که بر تحقیق در سیستم‌های اکولوژیکی، اجتماعی یا ترکیبی از هر دو تمرکز می‌کنند، ناشی می‌شود (رجایی و همکاران، ۱۴۰۰: ۴). بنابراین تاب‌آوری و مفهوم آن شامل عناصر کلیدی و مهمی است که در شکل (۱) نشان داده‌شده است.



شکل ۱. عناصر کلیدی تاب آوری شهری. ماخذ (کائو، ۲۰۲۳: ۳۴۳-۳۴۴)

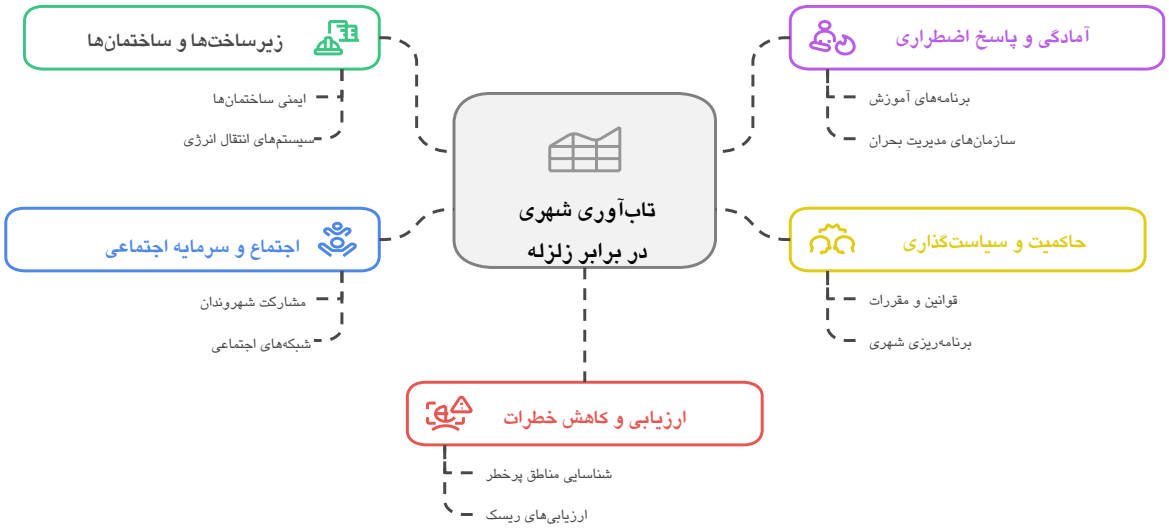
اولین مؤلفه، تاب‌آوری کالبدی است. تاب‌آوری کالبدی عمدتاً دربرگیرنده مؤلفه‌های فرم شهری شامل کاربری زمین، شبکه حرکت و دسترسی، فضای باز عمومی، همچنین منظر شهری و فرم کالبدی می‌باشند. دومین مؤلفه تاب‌آوری، بعد اجتماعی است. تاب‌آوری اجتماعی به‌عنوان توانایی گروه‌ها و یا جوامع برای مقابله با تنش‌های خارجی و اختلالات در مواجهه با تغییرات اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی تعریف می‌شود. تاب‌آوری اجتماعی، توان ک اجتماع برای برگشت به تعادل یا پاسخ مثبت به مصیبت‌ها است. سومین مؤلفه تاب‌آوری، بعد اقتصادی است. در اقتصاد، تاب‌آوری به‌عنوان واکنش و سازگاری ذاتی افراد و جوامع در برابر مخاطرات به طوری که آن‌ها را قادر به کاهش خسارات ناشی از مخاطرات سازد، تعریف می‌شود. چهارمین مؤلفه تاب‌آوری، بعد نهادی یا حکومتی است. تاب‌آوری نهادی یا حکومتی به نقش دولت و نهادهای وابسته به یاری در ساختن جوامع تاب آور گفته می‌شود. شناخت نیازهای حکومتی و مسئولیت‌های دولت در هر سطحی، به‌منظور آسان کردن یا جلوگیری کردن از ساخت جامعه تاب آور ضروری است (رجایی و همکاران، ۱۴۰۰: ۴). مدل و روش‌های تاب‌آوری به میزان زیادی بر روی پاسخگویی به شرایط اضطراری، کاهش خطر، آمادگی و ایجاد امنیت و بهبود جوامع از اختلالات فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذار هستند، لذا مفاهیم تاب‌آوری در جوامع پس از هر یک از بلایای طبیعی تکامل یافت (کلانتری، ۱۴۰۰: ۹). از طرفی در سال‌های اخیر شاهد رشد چشمگیری در ترکیب یادگیری ماشین با GIS بوده‌ایم. یکی از دلایل آن، رشد در تنوع و حجم داده‌های مکانی است. بسیاری از تکنیک‌های یادگیری ماشین به‌شدت نیازمند داده هستند، به این معنا که هر چه داده‌های بیشتری برای یادگیری در اختیار ماشین قرار گیرد، (در اصل) عملکرد فرآیند یادگیری بهتر خواهد بود. داده‌های مکانی بیشتر به معنای فرصت‌های بیشتر برای یادگیری ماشین از آن داده‌ها است. دلیل دیگر رشد یادگیری ماشین با GIS، افزایش دسترسی و کاهش هزینه پلتفرم‌های محاسباتی با کارایی بالا، مانند محاسبات ابری مقیاس‌پذیر است (داکهام و وربویز، ۲۰۲۳: ۳۷۲). ترکیب یادگیری ماشین و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) فرصت‌های بی‌نظیر برای تحلیل‌های مکانی و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد ارائه می‌دهد. این ادغام، با ترکیب قدرت محاسباتی یادگیری ماشین و دانش مکانیGIS ، امکان استخراج بینش‌های عمیق‌تر، خودکارسازی وظایف و توسعه مدل‌های پیش‌بینی پیچیده را فراهم می‌کند. کاربردهای این رویکرد بین‌رشته‌ای در حوزه‌های مختلفی ازجمله پایش محیطی، برنامه‌ریزی شهری، بهداشت عمومی و مدیریت بحران، منجر به نوآوری و پایداری می‌شود (پرتا وهمکاران، ۲۰۲۴: ۱۳۸۸) هنگامی‌که الگوریتم‌های ماشین یادگیرنده با پلتفرم‌های GIS ادغام می‌شوند، به‌طور خودکار کارهای سخت مانند استخراج ویژگی، تشخیص الگو و طبقه‌بندی را راحت می‌کند، درنتیجه کارایی و مقیاس‌پذیری گردش کار تحلیل‌های مکانی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهند (پرتا وهمکاران، ۲۰۲۴: ۱۳۸۸–۱۳۸۹).

تاب‌آوری شهری عبارت است از توانایی مقاومت با برگشتن به حالت عادی سیستم‌های بیولوژیکی و ارگانیسم‌ها در مقابل شوک‌ها سوانح، بیماری‌ها و دیگر تغییرات (فتحی و عارفی،۲۰۱۲). شدت اختلالاتی که یک شهر می‌تواند آن را جذب کند، قبل از اینکه ساختار سیستم از طریق تغییر متغیرها و فرایندهایی که رفتار آن را کنترل می‌کند. به ساختار متفاوتی تبدیل شود (کارهلم و همکاران[1]، ۲۰۱۴). سرزمین ایران از فعال‌ترین مناطق لرزه‌خیز دنیا محسوب می‌شود، موقعیت زمین ساختی این پهنه به‌صورت است که به‌طور مداوم تحت تأثیر تنش‌های وارده ناشی از بازشدگی بستر دریای سرخ و فشار وارده از سوی صفحه عربی است. بررسی روندهای زمین ساختی موجود در فلات ایران نشان‌دهنده وجود سه جهت‌گیری کلی است که عبارت‌اند از جهت شمال غرب و جنوب شرق، جهت شمال شرق- جنوب غرب و جهت شمالی -جنوبی که گسل‌های واجد جهات نوع اول و سوم تحت تأثیر جابجایی‌های امتدادی راست‌گرد و گسل‌های واجد جهت نوع دوم تحت تأثیر جابجایی چپ‌گرد هستند. بی‌تردید مجموعه گسل‌های فعالی که در پهنه زمین ساختی ایران قرار دارند قادر به وجود آوردن زمین‌لرزه‌های ویرانگری می‌باشند. زمین‌لرزه در سرزمین ایران رویدادی گریزناپذیر است که بی‌تردید تنها راهکار مناسب جهت کاهش خسارات جانی و مالی آن، طراحی مقاوم سازه‌های جدید و مقاوم‌سازی سازه‌های قدیمی است. بی‌تردید شناخت پدیده زمین‌لرزه و تمامی ابعاد آن مستلزم مطالعه در مفاهیم اولیه آن‌هاست (فرزانگان،۱۳۸۳: ۴۷–۵۲). اولیرش بک آلمانی در مورد جامعه مخاطره‌آمیز نظرش را این‌گونه بیان می‌کند:

1. *Kärrholm, Nylund et al*

جامعه مخاطره‌آمیز، جامعه‌ای است که در آن نگرانی افراد از آفات و بلایای طبیعی (قحطی و زلزله به سمت مخاطرات ناشی از فعالیت‌های انسانی که اغلب شکل جهانی و عالم‌گیر دارند، متوجه شده است. (قاسمی، ۱۳۸۸: ۳۴).

آنچه مسلم است استفاده از مدل‌های مفهومی سبب می‌شود که مسیر پیچیده را در قالبی قابل‌درک ساده و عناصر مختلف را در هم ادغام نموده و ارتباط متقابل آن‌ها با یکدیگر را درک کنند؛ بنابراین چارچوب مدل‌سازی به کنشگران اجازه می‌دهد که به‌طور منظم، عوامل فردی و مجموعه عوامل را ارزیابی نموده و واحدهای جغرافیایی را مقایسه کنند. مدل مفهومی این مقاله نشان می‌دهند که با کاهش خطر سوانح و آسیب‌پذیری در شهر تبریز و نیز با دستیابی به نقشه انعطاف‌پذیری کاربری‌های این شهر در برابر بلاهای طبیعی، می‌توان با مقاومت و ایستادگی در برابر ضربه‌ها و تنش‌های احتمالی زلزله به افزایش تاب‌آوری شهری کمک کرد. بررسی انعطاف‌پذیری شهری سوای اهمیت و ضرورت آن در ایران بل اخص در شهرهایی که در مجاورت پدیده‌های طبیعی آسیب‌رسان همانند خطوط گسل فعال و ...، به دلیل ساختار، بافت و شرایط ویژه و خاص هر شهری نیازمند تحلیل و ارزیابی میزان تاب آور بودن آن دارند.



شکل ۲. مدل مفهومی تاب آوری شهری در برابر زلزله

باید در نظر داشت که زیرساخت‌ها با حمایت حاکمیت و سیاست‌گذاری تقویت، آمادگی و پاسخ با مشارکت اجتماع و آموزش مستمر، بهبود و مدیریت ریسک به کمک ارزیابی و کاهش خطرات هدفمند می‌شود.

پیشینه پژوهش

در ایران مطالعات در رابطه با تاب‌آوری شهری در حوزه دانشگاه محدود به دو دهه اخیر بود و غالب تحقیقات به تاب‌آوری درزمینه های روانشناسی، اجتماعی و مدیریتی است. یکی از اولین پژوهش‌های مرتبط با تاب‌آوری در ایران در زمینه شهر، در سال ۱۳۸۹، رساله دکتری محمدرضا رضایی در حوزه تبیین تاب‌آوری اجتماعات شهری به‌منظور کاهش اثرات بلایای طبیعی با تأکید بر زلزله در مورد کلان‌شهر تهران است. وی به تبیین مؤلفه‌ها و شاخصه‌های سازنده تاب‌آوری و تعیین سهم عوامل مؤثر بر تقویت آن در اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی با محوریت زلزله در شهر تهران پرداخته است. برای این منظور به‌صورت نمونه‌گیری تصادفی محلاتی را با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی و پایگاه اجتماعی– اقتصادی انتخاب نمود. در تحلیل‌های خود از روش‌های آماری مبتنی بر مقایسه میانگین‌ها، آزمون‌های SPSS همبستگی و تکنیک پیرسون، رگرسیون چندگانه، تحلیل مسیر و روش‌های اسنادی و میدانی با تأکید بر تکمیل پرسشنامه استفاده کرد. وی دریافت که بین تاب‌آوری موجود در محلات نمونه و سطح تاب‌آوری آن‌ها در ابعاد اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی–محیطی رابطه معناداری وجود دارد و با تغییر هریک از آن‌ها، میزان تاب‌آوری خانوارها نیز تغییر می‌یابد. براین اساس تاب‌آوری کل خانوارهای موردمطالعه در کلان‌شهر تهران ۵۳/۳۸

درصد به دست آمد که حکایت از وخامت شهر تهران در این زمینه دارد (رضایی، ۱۳۸۹). ابراهیمی در رساله دکتر خود با عنوان «ارزیابی مؤلفه‌های مؤثر بر تاب‌آوری بازار تاریخی تبریز» به نقش و کاربرد تاب‌آوری در جهت حیات با تأکید بر فضاهای رهاشده در سطح شهرها و چالش‌های پیش روی آن پرداخته است. هدف وی ارتقاء پایداری و هویت شهری با تأکید بر بازار تاریخی شهر تبریز بوده است. برای نیل ای هدف با استفاده از روش‌های کمّی اثبات‌گرایی و روش‌های کیفی تفسیرگرایی با تکیه‌بر رویکرد تعاملی رئالیسم انتقادی و واحد تحلیل استعلایی و پسکاوی استفاده نموده و از آزمون‌های پارامتریک رگرسیون خطی چندمتغیره و تحلیل محتوای کیفی با رویکرد استقرایی و جهت تلفیق داده‌ها از راهبرد تطبیقی و مفهوم‌سازی مجدد بهره گرفته‌شده است. از این منظر بازار تبریز در شرایط مطلوبی به سر می‌برد. وی به ترتیب اهمیت با چهار بعدِ اقلیمی، تاریخی، فرهنگی و کالبدی و در نظر گرفتن چهار مؤلفه قابلیت تطبیق‌پذیری، واکنش‌پذیری، تغییرپذیری و انعطاف‌پذیری به بررسی چالش‌های پیش رو پرداخته است (ابراهیمی، ۱۳۹۲).

بیابانی (۱۳۹۷) در پژوهشی با تأکید بر تاب‌آوری محلات غیررسمی شهر مشهد در برابر زلزله با در نظر گرفتن اهمیت برنامه‌ریزی کاربری اراضی پرداخته است. هدف اصلی پژوهش وی، تأثیر و نقش برنامه‌ریزی کاربری اراضی در افزایش تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی محله قلعه آبکوه شهر مشهد با تأکید بر زلزله بوده است. برای این منظور وی از شاخص‌های اجتماعی، کالبدی و کاربری اراضی با به‌کارگیری مدل AHP استفاده نموده است. علاوه براین از روش پرسشگری و تحلیل آن در محیط SPSS استفاده کرده است. براین اساس محلات موردمطالعه غالباً در شرایط تاب‌آوری پایین قرار دارند و میزان وخامت آن از حاشیه به سمت مرکز محلات افزایش پیدا می‌کند. درنهایت راهبردهایی برای تقویت وضعیت فعلی و تاب آور ساختن محلات ازلحاظ کالبدی و اجتماعی در برابر زلزله ارائه‌شده است (بیابانی، ۱۳۹۷). کلانتری (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی ویژگی‌های یک شهر تاب آور در برابر رخداد زلزله در مناطق ۱ و ۳ شهرداری زنجان با استفاده از مدل پیشنهادی آقای اتراچالی و روش وزن دهی AHP برای وزن‌دار کردن شاخص‌ها پرداخته است. وزن‌های اولیه شاخص‌ها به‌وسیله پرسش‌نامه در میان صاحب‌نظران و بعدازآن انجام تحلیل‌های آماری برداده های مستخرج از این پرسش‌نامه‌ها به‌دست‌آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده منطقه ۳ شهرداری زنجان نسبت به منطقه ۱ تاب‌آورتر است (کلانتری، ۱۴۰۰). در مقایسه با تحقیقات داخلی در زمینه انعطاف‌پذیری شهری، مقالات و کتاب‌های زیادی به زبان انگلیسی نوشته‌شده که به‌عنوان‌مثال اسمیت و لی (۲۰۲۲) در کتاب خود به بررسی مفهوم تاب‌آوری شهری در برابر بلایا می‌پردازد و چگونگی بهبود مقاومت شهرها را در مقابل حوادث طبیعی (مانند زلزله، سیل، طوفان) و بلایای انسانی (مانند آتش‌سوزی، انفجار) از منظر محیط ساخته‌شده (ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها، فضاهای عمومی) موردتوجه قرار می‌دهد. کتاب با معرفی و تحلیل پروژه‌ها و تجربیات بین‌المللی، رویکردهای نوین و فناوری‌های جدید در طراحی شهری، مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی شهری را شرح می‌دهد. با تأکید بر همکاری میان بخش‌های مختلف (دولت، جامعه، بخش خصوصی)، کتاب راهکارهایی عملی برای افزایش تاب‌آوری شهری ارائه می‌دهد (اسمیت و لی[1]، ۲۰۲۲). باماگوتا و مارویاما[2] (۲۰۱۶) در کتاب خود به مفهوم تاب‌آوری شهری که به توانایی شهرها در مقابله، تحمل، بازیابی و تطبیق با شوک‌ها و تنش‌ها مانند بلایای طبیعی، بحران‌های اجتماعی و تهدیدات امنیتی می‌پردازند. به تأکید نویسندگان تاب‌آوری فراتر از بازیابی به وضعیت پیشین است و شامل ظرفیت‌های یادگیری، نوسازی و بهبود ساختارهای شهری و خدمات زیرساختی می‌شود. این کتاب برای پژوهشگران و سیاست‌گذاران حوزه شهرسازی، مدیریت بحران و امنیت شهری، دیدگاه جامعی پیرامون چالش‌ها و راهکارهای پیشروی توسعه تاب‌آور ارائه می‌دهد (باماگوتا و مارویاما: ۲۰۱۶). کتاب تاب‌آوری شهرها برای واکنش و بازیابی اضطراری، به بررسی جنبه‌های حیاتی افزایش تاب‌آوری شهری در مواجهه با شرایط اضطراری و بلایا می‌پردازد. این کتاب که توسط جی.پی. سی‌ملارو تألیف شده است، راهبردها و فناوری‌هایی را بررسی می‌کند که هدف آن‌ها بهبود اقدامات واکنش و بازسازی در محیط‌های شهری است (سلیمانی و همکاران[3]، ۲۰۱۶). کتاب تاب آوری و بلایای شهر[4] به بررسی مفهوم تاب‌آوری

1. *Smith, J., & Lee, A.*
2. *Y. Yamagata & H. Maruyama*
3. *Soleimani & others*
4. *Resilience and Urban Disasters*

در برابر بلایای شهری می‌پردازد. این کتاب به‌صورت جامع به راهکارها، نظریه‌ها و تجربه‌های عملی در مدیریت و کاهش ریسک بلایای طبیعی و انسانی در شهرها اختصاص دارد. تمرکز اصلی کتاب بر ارتقاء توانایی شهرها برای مقابله، بازیابی و سازگاری با بلایای مختلف (مانند سیل، زلزله، آتش‌سوزی، بحران‌های اجتماعی و اقتصادی) (بروسکووا و نیجکمپ، ۲۰۱۹). بورنتا و همکاران (۲۰۱۹) در کتاب خود با محوریت اصلی بر توسعه و به‌کارگیری چارچوب‌ها و سیاست‌های حکمرانی برای افزایش تاب‌آوری شهری در مواجهه با خطرات طبیعی و غیرطبیعی. پرداختند. این کتاب به مدیران شهری، برنامه‌ریزان، پژوهشگران و سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا نگرش جامعی نسبت به چالش‌های تاب‌آوری داشته باشند و راهبردهای مؤثر در مواجهه با خطرات رو به افزایش شهری تدوین کنند (بورسکوا و نیجیکمپ[1]، ۲۰۱۹). اردبیلی پور و همکاران در مقاله‌ای به بررسی و پهنه‌بندی سیل در منطقه ۶ شهر تهران با استفاده از مدل ماشین یادگیرنده پرداخته‌اند. طبیعی هستند که غالباً شهرها به دلیل تمرکز بالای دارایی و تراکم بالای جمعیت غالباً تحت تأثیر پدیده‌های مخرب طبیعی همانند سیل و زلزله هستند که پیامدهای اجتماعی و اقتصادی و حتی سیاسی را به دنبال دارد. برای این منظور ایشان از شاخص تاب‌آوری در برابر بلایای آب و هوایی (CDRI) به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای این منطقه به دلیل ابعاد جامع تاب‌آوری استفاده نمودند. گرچه این مدل یک رویکرد ساختاریافته برای سنجش تاب‌آوری ارائه می‌دهد، اما همچنان یک مدل ایستا است که بر ویژگی‌های فضایی متمرکز است و فاقد سازگاری زمانی است. ادغام این مدل با داده‌های زمانی، یک مدل تاب‌آوری پویا را امکان‌پذیر می‌کند که می‌تواند تغییرات زمانی را در خود جای دهد؛ بنابراین این مدل را می‌توان با ادغام داده‌ها در بازه‌های زمانی مختلف و اعمال تکنیک‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی ابعاد تاب‌آوری به‌صورت پویا بهبود بخشید (اردبیلی پور، ۲۰۲۴). کاریولت و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان نقشه‌برداری تاب‌آوری شهری در برابر بلایا- یک بازنگری به نقش و اهمیت نقشه‌ها و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌منظور درک و مدیریت بهتر ریسک‌ها در شهرهای مدرن اشاره‌کرده‌اند. برخلاف روش‌های نقشه‌برداری خطر، آسیب‌پذیری و ریسک، نقشه‌برداری تاب‌آوری در مناطق شهری یک چالش است زیرا هیچ رویکرد روش‌شناختی توافق شده‌ای برای انجام آن وجود ندارد. این مقاله به بررسی روش‌شناسی‌ها و رویکردهای پیشنهادی برای نقشه‌برداری تاب‌آوری شهری در برابر بلایا می‌پردازد. به نظر نویسندگان روش‌های تاب‌آوری بسیار کمی در مقیاس شهری اعمال‌شده است و مرز بین نقشه‌برداری تاب‌آوری و آسیب‌پذیری هنوز باریک است و ممکن است باعث سردرگمی برای تصمیم‌گیرندگان شود. انتخاب معیارها، میزان دقت آن‌ها و روش کار بسیار مهم است (کاریولت[2] و همکاران، ۲۰۱۹). بوترو و همکاران (۲۰۲۰) مقاله‌ای با عنوان یک مدل پویای سیستم و فرایند تحلیل شبکه، یک رویکرد در انعطاف‌پذیری شهری در شهر تورین ایتالیا باهدف اصلی طراحی راهبردهای توسعه شهری به بررسی و نقد انعطاف‌پذیری شهر پرداختند. پژوهش ایشان با رویکردی یکپارچه را بر اساس مدل دینامیک سیستم (SDM) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) انجام‌شده است. این روش برای ارزیابی تأثیرات احتمالی دو سناریوی مختلف شهری ازنظر تغییر عملکرد تاب‌آوری شهری در طول زمان به کار گرفته‌شده است. نتیجه نهایی به‌صورت شاخصی ارائه می‌شود که عملکرد تاب‌آوری شهری را توصیف می‌کند (بوترو[3] و همکاران ۲۰۲۰). کسالی و همکاران (۲۰۲۲) باهدف پر کردن شکاف الگوها و چالش‌های موجود در به‌کارگیری ماشین یادگیرنده و هوش مصنوعی و راهنمایی محققان در شهرسازی و تحلیل داده‌های فضایی مقاله تحت عنوان یادگیری ماشین برای تحلیل‌های فضایی در مناطق شهری: یک مرور دامنه‌ای انجام داده‌اند (کسالی[4] و همکاران، ۲۰۲۲). ژیاوو و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای به ارائه مدلی برای ارزیابی تاب‌آوری شهری مبتنی بر چارچوب فشار–وضعیت–پاسخ و شبکه عصبی BP-GA. در اقلیم شهری در ۳۱ استان در چین پرداخته‌اند. به نظر ایشان ارزیابی تاب‌آوری شهری پیشین، عمدتاً بر اقتصاد، جامعه، زیرساخت‌ها و محیط‌زیست اکولوژیکی متمرکز بوده‌اند و تعداد بسیار کمی از آن‌ها ویژگی‌های فرآیند رگرسیون تاب‌آوری شهری را در نظر گرفته‌اند؛ بنابراین، این تحقیق یک چارچوب ارزیابی جدید برای تاب‌آوری شهری از منظر «فشار–وضعیت–پاسخ» با استفاده از روش‌های شبکه عصبی پس‌انتشار خطا (BP)، الگوریتم ژنتیک،

1. *Borsekova, K., & Nijkamp, P*
2. *Cariolet*
3. *Bottero*
4. *Casali*

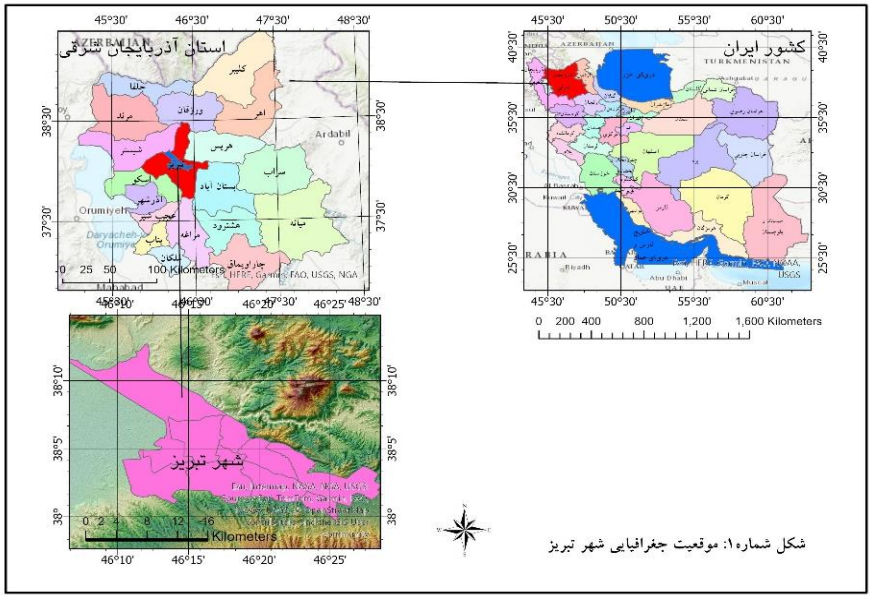
شاخص موران و مدل مرکز ثقل باهم ترکیب برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌کند (ژیاوو[1] و همکاران، ۲۰۲۳). یانگ و همکاران (۲۰۲۴) در مقاله‌ای تحت عنوان یادگیری عمیق مبتنی بر بهینه‌سازی توسعه فضاهای تجاری شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی به بررسی چالش‌های فضاهای تجاری در شهرها پرداختند. این پژوهش با بهره‌گیری از یادگیری ماشین، از یک شبکه عصبی پس‌انتشار (BP) برای بهینه‌سازی فضاهای تجاری در منطقه مرکزی شهر وی‌نان استفاده نمودند. نتایج نشان‌دهنده افزایش تعداد تأسیسات تجاری با روندی از تجمع چندمرکزی و گسترش به سمت بیرون است. بنابراین پیشنهاد گردید بر مراکز تجمع، محورهای توسعه و راهنمایی‌های فضایی تأکید شود (یانگ و همکاران، ۲۰۲۴). ون و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای به بررسی طبقه‌بندی متفاوت بر اساس مدل ماشین یادگیرنده جهت ارزیابی انعطاف‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها در مناطق کوهستانی بامطالعه مورد زلزله ۲۰۱۹ شهر شوانگه پرداختند. این مطالعه باهدف توسعه مدل‌های نقشه‌برداری لرزه‌ای (BSR) مبتنی بر طرح طبقه‌بندی متفاوت با استفاده از جنگل تصادفی (RF) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام‌شده است. شاخص‌های اعتبارسنجی عملکرد مدل شامل دقت، یادآوری، دقت و امتیاز F1 است که از مجموعه داده‌های فرعی آزمون تعیین شدند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های BSR مبتنی بر RF و SVM به‌دقت پیش‌بینی تقریباً ۶۴/۰ – ۹۴/۰ برای طرح‌های طبقه‌بندی مختلف اعمال‌شده در زیرمجموعه آزمایشی دست‌یافته‌اند. نتایج نشان دادند که مدل‌های مبتنی بر RF در مقایسه با مدل‌های مبتنی بر SVM تمایل کمتری به بیش‌برازش داشتند. ولی در کل هر دو مدل RF و SVM می‌توانند کارایی ارزیابی ساختمان‌های آسیب‌دیده از زلزله در مناطق کوهستانی را بهبود بخشند (ون[2] و همکاران، ۲۰۲۳). زانگ و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله خود تحت عنوان ارزیابی خطر سیلاب در ترکیب با انعطاف‌پذیری انسانی – محیطی با استفاده از مدل ماشین یادگیرنده به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیل در منطقه هفئی چین با استفاده از مدل‌های با مقایسه دو مدل یادگیری گروهی، یعنی رأی‌گیری و استکینگ با جنگل تصادفی و رگرسیون بردار پشتیبان و پرسپترون چندلایه پرداختند. این پژوهش با تأکید بر عوامل مرتبط با تاب‌آوری انسانی و ادغام آن‌ها با عوامل هواشناسی و جغرافیایی، هدف ایجاد چارچوبی جامع‌تر برای ارزیابی سیل را دنبال کرده است. نتایج نشان دادند که مدل RF بالاترین دقت را نشان داد، درحالی‌که مدل SVR وسعت مناطق با خطر بسیار بالا را دست‌کم گرفت. مدل استکینگ نیز وسعت مناطق با خطر بسیار بالا را کمتر از واقع برآورد کرد (زانگ[3] و همکاران، ۲۰۲۳). رن و همکاران (۲۰۲۵) در مقاله‌ای با عنوان سنجش‌ازدور چندحسگری و تحلیل مبتنی بر هوش مصنوعی برای طبقه‌بندی تاب‌آوری ساحلی و شهری با استفاده از ترکیب شبکه‌های حافظه بلندمدت–کوتاه مدت (LSTM) و داده‌های سنجش‌ازدور در مناطق ساحلی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد این چارچوب به‌دقت طبقه‌بندی بالایی (۹۱.۵٪) دست‌یافته و عملکردی برتر نسبت بهروش‌های سنتی یادگیری ماشین دارد (رن[4] و همکاران، ۲۰۲۵). کونگ و اینازومی (۲۰۲۴)در مقاله‌ای تحت عنوان شبکه‌های عصبی مصنوعی و یادگیری گروهی برای پیش‌بینی بهبودیافته روان‌گرایی در شهرهای هوشمند اهمیت بحث روانگرایی و فرونشست را در مناطق شهری مورد بررسی قراردادند. برای این منظور از داده‌های واقعی برداشت‌شده از ۴۳۳ نقطه در منطقه ستاگایا–کو توکیو و با به‌کارگیری دو تکنیک یادگیری ماشین توسعه‌یافته است: شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) و بگینگ استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که یادگیری ماشین مزایای قابل‌توجهی در پیش‌بینی عمق لایه باربر دارد. علاوه براین، عملکرد پیش‌بینی کننده یادگیری گروهی حدود ۲۰٪ نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی بهبودیافته است (کونگ و ایازومی[5]، ۲۰۲۴). کین و همکاران (۲۰۲۴) در مقاله علمی خود با عنوان تحلیل پویا برای افزایش انعطاف‌پذیری شهری در برابر فوریت‌های سلامت عمومی بااهمیت بین‌المللی به بررسی چالش‌های قابل‌توجهی برای سیستم‌های بهداشت عمومی، اقتصادی و اجتماعی شهری ایجاد کرده و شکاف‌های موجود در تاب‌آوری شهری را پرداخته‌اند. روش تحقیق شامل تلفیق تحلیل شاخص‌ها و مدل اپیدمیولوژیک SEIR (مستعد–در معرض–آلوده–بهبودیافته)، به بررسی تعاملات و تکامل پویای زیرسیستم‌های شهری در نیویورک، هنگ‌کنگ و نانجینگ در طول

1. *Cao*
2. *Wang*
3. *Zhang*
4. *Ren*
5. *Cong, Y., & Inazumi*

همه‌گیری کووید-۱۹ پرداخته است. یافته‌ها تفاوت‌های معناداری در مکانیسم‌های پاسخ و ظرفیت‌های بازیابی بین زیرسیستم‌ها را نشان داد (کین[1] و همکاران، ۲۰۲۴).

معرفی محدوده موردمطالعه

شهر تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی است (شکل۳) که با وسعتی حدود ۲۵۰۵۶ هکتار (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۰) در ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. متوسط ارتفاع آن ۱۴۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد (جوادی، ۱۳۸۵: ۲۲۴). این شهر به‌عنوان بزرگ‌ترین متروپل شمال غرب ایران شناخته می‌شود (شفاعتی، ۱۳۸۹: ۹۰). به همراه عوامل اقتصادی و به‌ویژه 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). بعلاوه عواملی همچون وجود آب فراوان و موقعیت مطلوب، قطعاً در مکان‌یابی شهر تأثیر بسزایی داشته است (فرید، ۱۳۷۵: ۷).



شکل ۳. نقشه موقعیت جغرافیایی شهر تبریز در استان و ایران

روش پژوهش

روش تحقیق در این مقاله کاربردی با رویکردی به ترتیب اهمیت کمّی – تبیینی و توصیفی به موضوع تاب آوری شهری در برابر زلزله در شهر تبریز دارد. به‌طور خلاصه شیوه جمع آوری منابع در این مقاله عبارت‌اند از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی و مطالعات میدانی و به‌کارگیری روش‌های پیشرفته کامپیوتری بوده و برای جمع‌آوری منابع علمی و نیز داده‌های مورد نیاز از روش کتابخانه‌ای و اسنادی و تهیه نقشه‌ها و داده‌ها از سازمان آمار، شهرداری، اداره راه وشهرسازی و نیز منابع معتبر اینترنتی و نیز بررسی‌های میدانی استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS، IDRISI و Excel بهره گرفته شد. این پژوهش در این تحقیق به‌منظور اجرای مدل نیازمند انواع داده‌های مختلف با ساختار برداری و رستری در قالب سه شاخص اجتماعی، محیطی و کالبدی هست. برای این منظور از داده‌ها و اطلاعات ادارات و سازمان‌های مختلف با دقت بالا استفاده شد که دارای دقت موردقبول می‌باشند. برخی از لایه‌های مذکور همانند لایه بلوک‌های جمعیتی دارای بانک اطلاعاتی مهمی بوده که در هر سه حوزه کالبدی، اجتماعی و اقتصادی نقشه‌های متعددی استخراج گردید (جدول ۱).

1. Qin

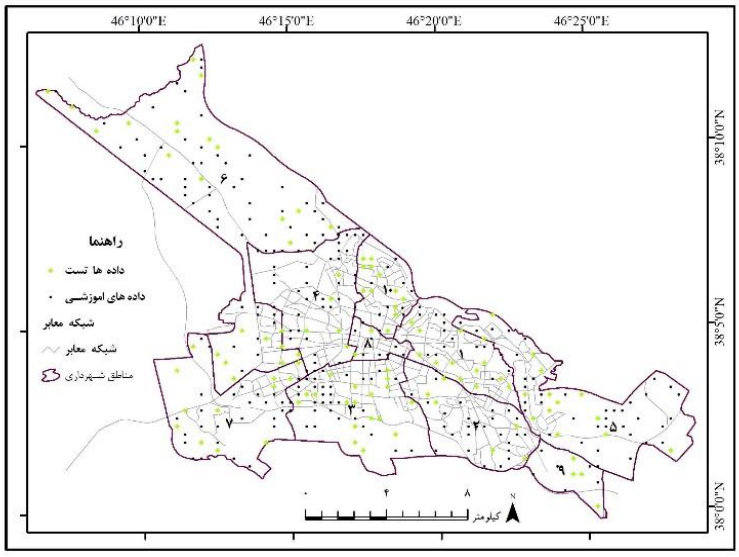
جدول ۱. لایه‌های مورداستفاده

ردیف	نام لایه یا نقشه	ساختار ژئومتریک	سازمان	شاخص
۱	پارساهای جمعیتی	پلیگون (سطح)	سازمان آمار کشور	اجتماعی-کالبدی -اقتصادی
۲	کاربری اراضی	پلیگون (سطح)	طرح تفصیلی شهرداری تبریز	کالبدی
۳	شبکه ارتباطی	خطی	طرح تفصیلی و داده SOM	کالبدی
۴	توپوگرافی	رستری	سازمان زمین‌شناسی آمریکا	طبیعی
۵	رودخانه	خطی	نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰	طبیعی
۶	شیب	رستری	تحلیل DEM در GIS	طبیعی
۷	زمین‌شناسی	پلیگون (سطح)	سازمان زمین‌شناسی کشور	طبیعی

به‌منظور برآورد میزان تاب‌آوری شهر تبریز در برابر زلزله از مدل یادگیری ماشین[1] (ML) استفاده‌شده. مداخلات انسانی در مدل‌های تصمیم گیری نسبت به یادگیری ماشین خیلی بیشتر بوده درحالی‌که در ماشین یادگیرنده تنها از طریق داده‌های آموزشی[2]، تصمیم‌گیری، شبیه‌سازی و یا پیش‌بینی بسیاری از معادلات پیچیده طبیعی و یا انسانی با دقت شگفت‌انگیزی میسر است. در این مقاله از مدل شبکه‌های عصبی فازی بعد از حصول اطمینان از صحت کار لایه‌ها تابع عضویت و آستانه فازی هر لایه مشخص شدند (جدول ۳) و سپس کلیه لایه‌ها به لایه‌های فازی تبدیل شدند. لذا تعداد ۳۷۰ شاهد از طریق کار میدانی انتخاب گردید (شکل۴). به‌منظور اعتبار سنجی از این تعداد به نسبت ۷۰ درصد برای آموزش و ۳۰ درصد این نقاط برای آزمودن در نظر گرفته شد. برای انتخاب (فضایی – مکانی) آموزش و آزمون بر اساس روش انتخاب تصادفی نظارت‌شده در محیط ArcGIS استفاده‌شده و نویسندگان در این انتخاب هیچ‌گونه نقشی نداشتند. پس از انجام این مراحل مدل شبکه‌های عصبی فازی با روش نظارت‌شده با تعیین شبکه (جدول ۲) اجرا گردید و درنهایت نتیجه نهایی به نرم‌افزار ArcGIS جهت برآورد و پروسه کارتوگرافی منتقل گردید. برای اجرای اعتبار سنجی از روش منحنی راک (ROC) استفاده شد.

جدول ۲. تنظیمات شبکه مدل شبکه عصبی فازی مورداستفاده در پژوهش

ARTa				ARTb		توپولوژی شبکه	
روش طبقه‌بندی	گزینه طبقه‌بندی	پارامتر انتخاب	نرخ یادگیری	نرخ یادگیری	پارامتر دقت	تعداد نرون ها	نرون هر لایه
نظارت‌شده	آموزش شبکه	۰/۰۱	۱	۱	۱	۷۶	۵



شکل٤. نقشه موقعیت داده‌های آموزشی و آزمون

1. *Machine learning*
2. *Data Train*

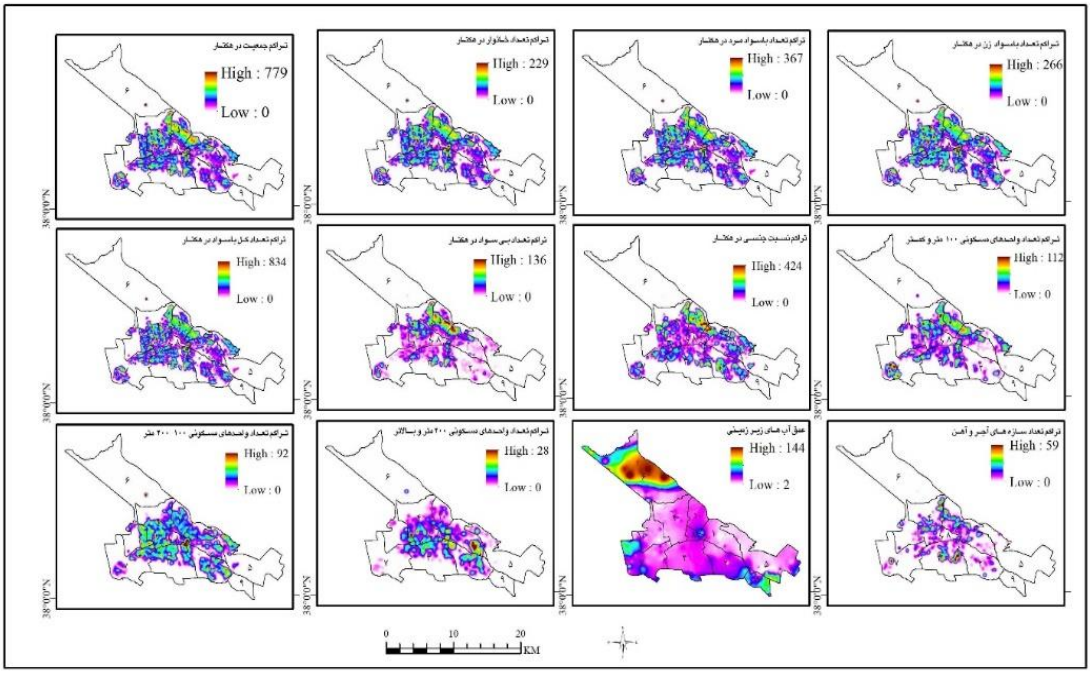
جدول ۳. آستانه و توابع فازی لایه‌ها

ردیف	تابع فازی	آستانه فازی	دامنه عددی	تابع GIS	لایه	عنوان
۱	افزایشی	۳-۲	۵ - ۱	ویرایش بانک اطلاعاتی	زمین‌شناسی	عوامل محیطی - طبیعی
۲	کاهشی	۱۷۰۰-۱۶۰۰	۱۸۶۲-۱۳۴۳	طبقه‌بندی	ارتفاعات	
۳	افزایشی	۵۰۰۰-۳۰۰۰	۶۷۹۲-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از خط گسل	
۴	افزایشی	۵۰۰-۲۰۰	۶۱۱۸-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از رودخانه	
۵	افزایشی	۳۰-۲۰	۱۴۴-۲	درون‌یابی	عمق آب زیرزمینی	
۶	کاهشی	۲۵-۱۵	۸۷-۰	طیف شیب به درصد	شیب	
۷	افزایشی	۱۵-۵	۲۰-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد متخصص در هکتار	متغیرهای اجتماعی
۸	کاهشی	۴۰۰-۱۵۰	۹۶۳-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم جمعیت در هکتار	
۹	کاهشی	۱۵۰-۵۰	۲۲۹-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد خانوار در هکتار	
۱۰	افزایشی	۲۰۰-۱۰۰	۳۶۷-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد باسواد مرد	
۱۱	افزایشی	۲۰۰-۱۰۰	۲۶۶-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد باسواد زن	
۱۲	کاهشی	۱۰۰-۵۰	۱۳۷-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد بی‌سواد در هکتار	
۱۳	افزایشی	۵۰۰-۱۰۰	۸۳۵-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد باسواد در هکتار	
۱۴	کاهشی	۲۵۰-۱۰۰	۴۲۳-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم نسبت جنسی در هکتار	
۱۵	افزایشی	۴۰۰-۱۰۰	۳۴۲۳-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از مراکز کارگاهی و صنعتی	متغیرهای کالبدی
۱۶	کاهشی	۵۰-۱۰	۶۳-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه‌های سنگ و چوب در هکتار	
۱۷	کاهشی	۰,۴-۰,۲	۰,۸-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه‌های خشت و گل در هکتار	
۱۸	افزایشی	۱۰۰-۳۰	۱۳۸-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه‌های بتن‌آرمه در هکتار	
۱۹	افزایشی	۴۰-۱۵	۵۹-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه‌های آجر و آهن در هکتار	
۲۰	افزایشی	۱۰۰-۵۰	۱۴۱-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه‌های اسکلت فلزی در هکتار	
۲۱	کاهشی	۲۵۰-۵۰	۴۹۴۱-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از شبکه ارتباطی	
۲۲	کاهشی	۲۰۰۰-۳۰۰	۹۴۹۹-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از مراکز نظامی - انتظامی	
۲۳	افزایشی	۱۰۰۰-۲۰۰	۶۱۲۰-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از شبکه اصلی انتقال نیرو	
۲۴	کاهشی	۵۰۰۰-۱۰۰۰	۱۶۱۴۶-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از مراکز آتش‌نشانی	
۲۵	افزایشی	۵-۲	۶-۱	ویرایش بانک اطلاعاتی	مناسبت کاربری اراضی	
۲۶	کاهشی	۹۰-۳۰	۱۱۳-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه با مساحت کمتر از ۱۰۰ مترمربع	
۲۷	افزایشی	۶۰-۲۰	۹۲-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه با مساحت ۱۰۰-۲۰۰ مترمربع	
۲۸	افزایشی	۲۰-۵	۲۸-۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد سازه با مساحت بیشتر از ۲۰۰ متر	
۲۹	افزایشی	۳۰۰-۵۰	۱۰۸۹۰-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از مراکز پمپ‌بنزین وCNG	
۳۰	کاهشی	۳۰۰۰-۵۰۰	۷۶۲۹-۰	فاصله اقلیدسی (به متر)	فاصله از مراکز درمانی	
۳۱	کاهشی	۱۵۰-۵۰	۱۷۹ - ۰	تابع تراکم کرنل (KDE)	تراکم تعداد طبقات در هکتار	

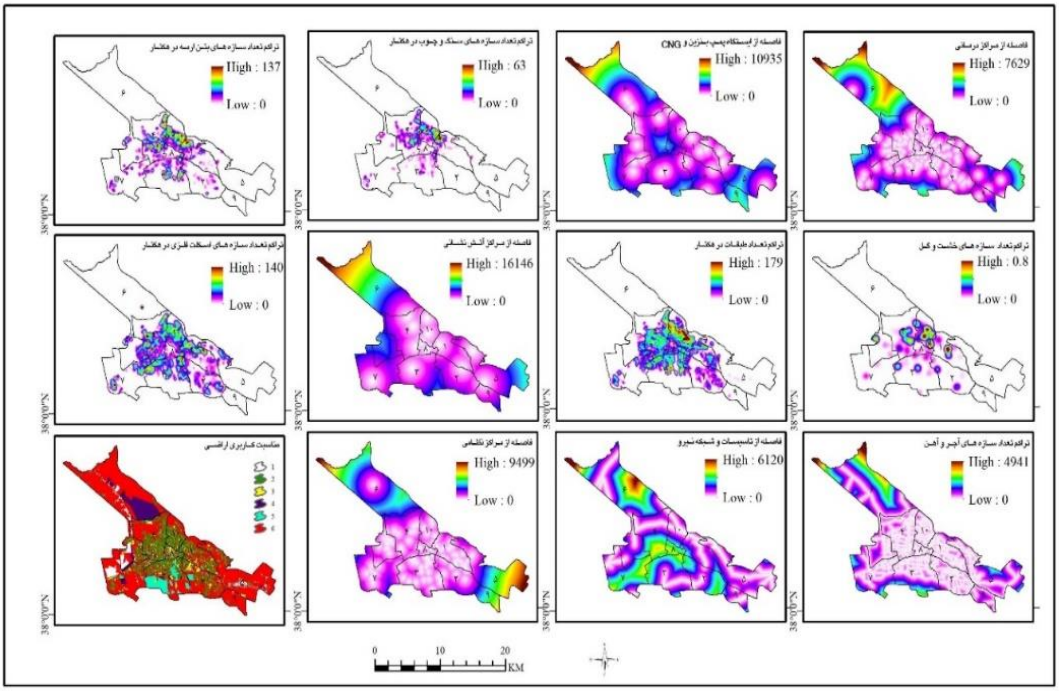
با مراجعه به منابع و مآخذ مختلف آستانه فازی لایه‌ها به دست آمد البته با توجه به وضعیت شهر تبریز برخی از آن‌ها اندکی تغییر داده شدند.

نتایج

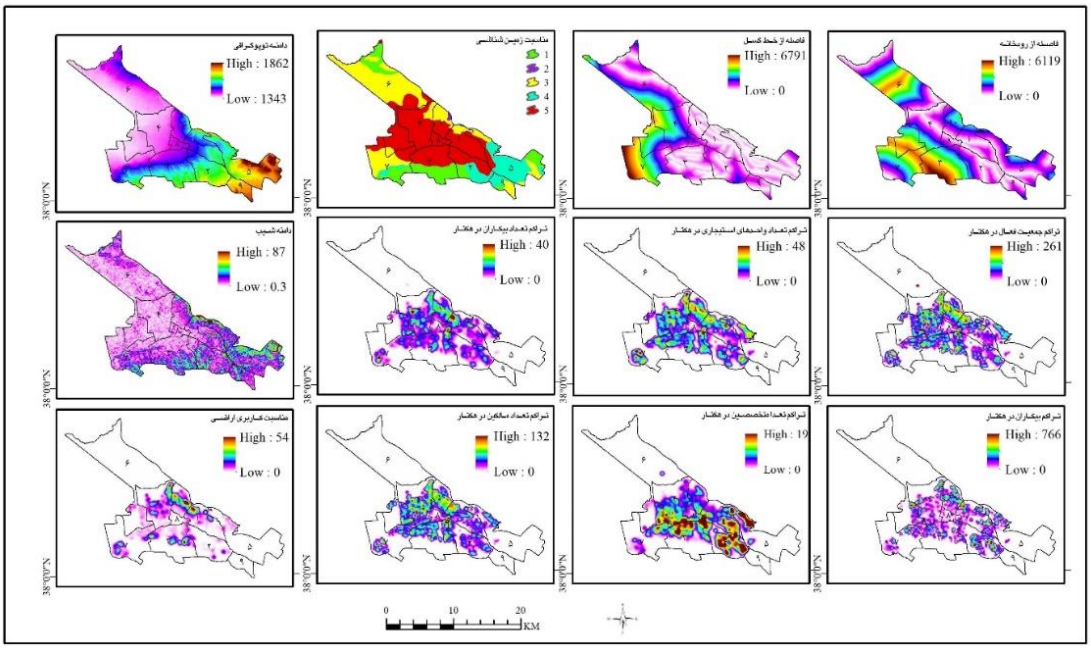
در این پژوهش با توجه به هدف آن معیارهای کالبدی (شکل ۵)، معیارهای محیطی و اجتماعی (شکل۶) در GIS تهیه شدند. سپس بر اساس جدول توابع عضویت فازی و آستانه تعریف‌شده هرکدام نقشه‌های فازی جهت اجرا در مدل به دست آمدند. بعد از اجرای مدل، نتیجه نهایی(شکل ۷) با داده‌های آزمون تطبیق و میزان دقت مدل از روش منحنی راک به دست آمد.

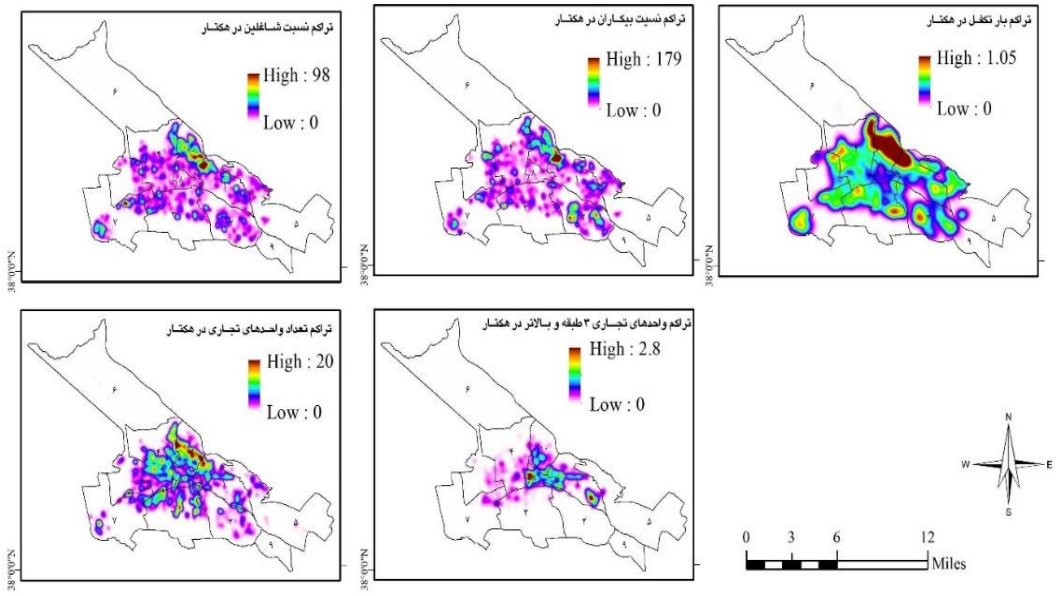


شکل ۵. شاخص‌های اثرگذار کالبدی، طبیعی، اجتماعی و اقتصادی

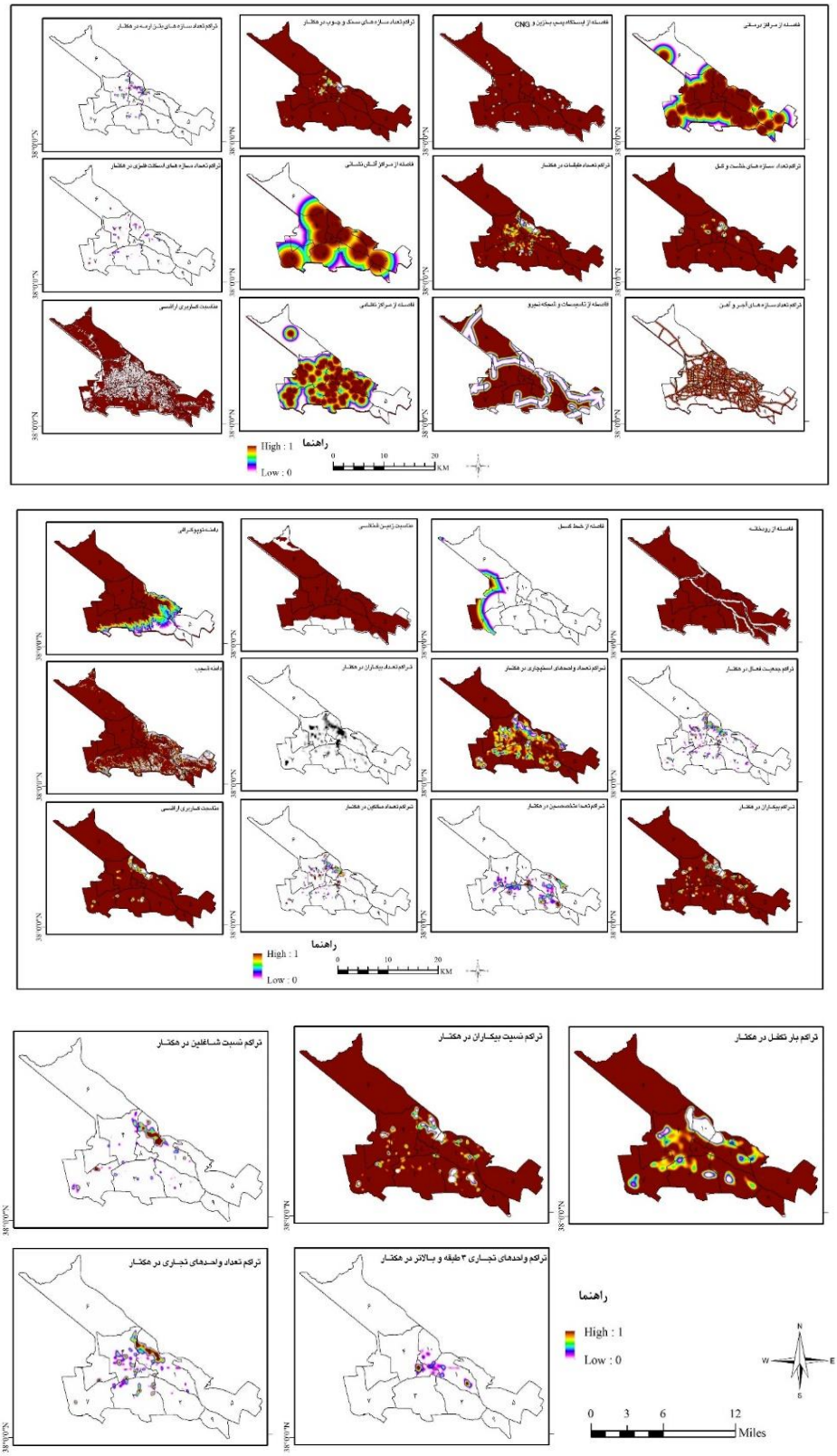


شکل۵. ادامه شاخص‌های اثرگذار کالبدی، طبیعی، اجتماعی و اقتصادی

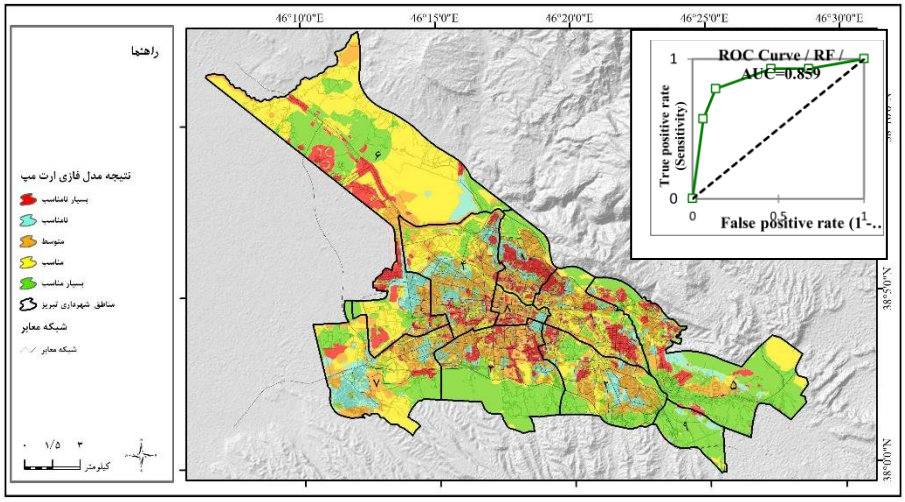




شکل ۵. ادامه شاخص‌های اثرگذار کالبدی، طبیعی، اجتماعی و اقتصادی



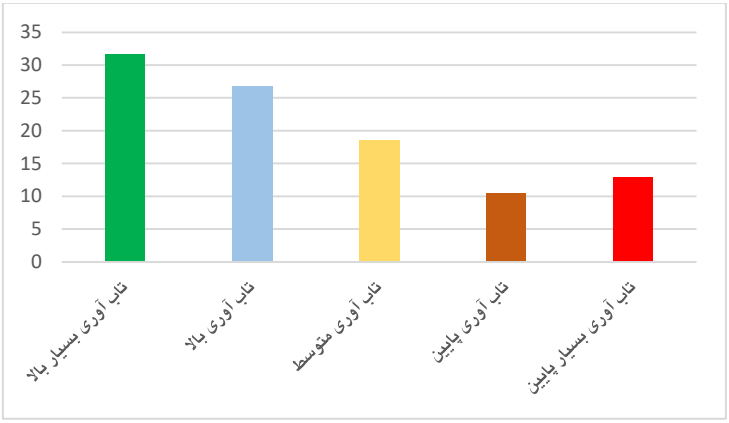
شکل ٦. نقشه‌های فازی



شکل ۷. میزان پهنه‌های تاب آور شهر تبریز

جدول ٤. میزان تاب‌آوری شهر تبریز بر اساس مدل شبکه‌های عصبی فازی

میزان تاب‌آوری	مساحت به هکتار	درصد
تاب‌آوری بسیار بالا	۷۸۹۹/۲	۳۱/۶
تاب‌آوری بالا	۶۷۰۴/۱	۲۶/۸
تاب‌آوری متوسط	۴۶۱۶/۷	۱۸/۵
تاب‌آوری پایین	۲۵۹۸/۳	۱۰/۴
تاب‌آوری بسیار پایین	۳۲۰۳/۳	۱۲/۸
مساحت کل	۲۵۰۲۱/۶	۱۰۰/۰



شکل ۸. درصد مساحت میزان تاب‌آوری شهر تبریز در برابر زلزله

جدول ۵. کاربری اراضی بر اساس مؤلفه‌های تاب‌آوری

درصد کاربری	درصد	مساحت به هکتار	انعطاف‌پذیری	کاربری	درصد کاربری	درصد کل	مساحت به هکتار	انعطاف‌پذیری	کاربری
۲۵/۵	۰/۶	۴۲/۸	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	اداری	۷/۷	۴/۴	۲۹۶/۲	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	مسکونی
۶/۳	۰/۲	۱۰/۶	انعطاف‌پذیری بالا	اداری	۱۱/۴	۶/۶	۴۳۹/۸	انعطاف‌پذیری بالا	مسکونی
۳۳/۹	۰/۹	۵۷	انعطاف‌پذیری متوسط	اداری	۳۴/۳	۱۹/۹	۱۳۲۵/۷	انعطاف‌پذیری متوسط	مسکونی
۱۹/۲	۰/۵	۳۲/۳	انعطاف‌پذیری پایین	اداری	۲۰/۳	۱۱/۷	۷۸۲/۴	انعطاف‌پذیری پایین	مسکونی
۱۵/۱	۰/۴	۲۵/۳	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	اداری	۲۶/۳	۱۵/۳	۱۰۱۷/۶	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	مسکونی
۱۰۰		۱۶۸	جمع		۱۰۰		۳۸۶۱/۸	جمع	
۵۵/۷	۱/۱	۷۰/۶	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	آموزش عالی	۷۱/۷	۱۰	۶۶۴/۱	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	نظامی انتظامی
۸/۳	۰/۲	۱۰/۶	انعطاف‌پذیری بالا	آموزش عالی	۱۸/۲	۲/۵	۱۶۸/۲	انعطاف‌پذیری بالا	نظامی انتظامی
۱۶/۸	۰/۳	۲۱/۳	انعطاف‌پذیری متوسط	آموزش عالی	۳/۷	۰/۵	۳۴/۵	انعطاف‌پذیری متوسط	نظامی انتظامی
۱۲/۵	۰/۲	۱۵/۸	انعطاف‌پذیری پایین	آموزش عالی	۰/۹	۰/۱	۸/۸	انعطاف‌پذیری پایین	نظامی انتظامی
۶/۷	۰/۱	۸/۵	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	آموزش عالی	۵/۵	۰/۸	۵۰/۹	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	نظامی انتظامی
۱۰۰		۱۲۶/۷	جمع		۱۰۰		۹۲۶/۴	جمع	
۸	۰/۲	۱۳/۸	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	آموزشی	۴۶/۲	۰/۵	۳۱/۳	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	درمانی
۱۱/۴	۰/۳	۱۹/۶	انعطاف‌پذیری بالا	آموزشی	۵/۸	۰/۱	۴	انعطاف‌پذیری بالا	درمانی
۳۰/۵	۰/۸	۵۲/۷	انعطاف‌پذیری متوسط	آموزشی	۱۴/۱	۰/۱	۹/۶	انعطاف‌پذیری متوسط	درمانی
۱۸	۰/۵	۳۱	انعطاف‌پذیری پایین	آموزشی	۱۱/۳	۰/۱	۷/۷	انعطاف‌پذیری پایین	درمانی
۳۲/۲	۰/۸	۵۵/۷	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	آموزشی	۲۲/۵	۰/۲	۱۵/۲	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	درمانی
۱۰۰		۱۷۲/۸	جمع		۱۰۰		۶۷/۷	جمع	
۲۴/۹	۰/۰۸	۵/۶	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	تأسیسات	۲۱/۱	۳/۲	۲۱۳/۲	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	صنایع
۶۱/۹	۰/۲۱	۱۳/۹	انعطاف‌پذیری بالا	تأسیسات	۹/۴	۱/۴	۹۴/۹	انعطاف‌پذیری بالا	صنایع
¾	۰/۰۱	۱	انعطاف‌پذیری متوسط	تأسیسات	۳۸/۶	۵/۹	۳۹۰/۸	انعطاف‌پذیری متوسط	صنایع
۱/۲	۰	۰/۳	انعطاف‌پذیری پایین	تأسیسات	۳/۴	۰/۵	۳۴/۳	انعطاف‌پذیری پایین	صنایع
۷/۹	۰/۰۳	۱/۸	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	تأسیسات	۲۷/۶	۴/۲	۲۷۸/۸	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	صنایع
۱۰۰		۲۲/۵	جمع		۱۰۰		۱۰۱۲	جمع	
۶/۹	۰/۲	۱۵/۴	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	تجاری	۲۸	۰/۴	۲۴/۱	انعطاف‌پذیری بسیار بالا	تجهیزات شهری
۱۰/۹	۰/۴	۲۴/۴	انعطاف‌پذیری بالا	تجاری	۳۹	۰/۵	۳۳/۶	انعطاف‌پذیری بالا	تجهیزات شهری
۳۷/۹	۱/۳	۸۴/۸	انعطاف‌پذیری متوسط	تجاری	۱۵/۴	۰/۲	۱۳/۳	انعطاف‌پذیری متوسط	تجهیزات شهری
۱۴/۷	۰/۵	۳۲/۸	انعطاف‌پذیری پایین	تجاری	۶/۸	۰/۱	۵/۹	انعطاف‌پذیری پایین	تجهیزات شهری
۲۹/۷	۱	۶۶/۵	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	تجاری	۱۰/۶	۰/۱	۹/۱	انعطاف‌پذیری بسیار پایین	تجهیزات شهری
۱۰۰	۳/۴	۲۲۴	جمع		۱۰۰		۸۶	جمع	

جدول ٦. درصد و مساحت میزان تاب‌آوری مناطق شهرداری تبریز در برابر زلزله

مساحت	میزان تاب‌آوری	نام منطقه	مساحت	میزان تاب‌آوری	نام منطقه
۳۴۷۹/۳	تاب‌آوری بالا	۶	۴۴۵/۹	تاب‌آوری بالا	۱
۱۵۶۵/۱	تاب‌آوری بسیار بالا	۶	۲۹۵/۸	تاب‌آوری بسیار بالا	۱
949/4	تاب‌آوری بسیار پایین	۶	422/5	تاب‌آوری بسیار پایین	۱
۴۴۵/۵	تاب‌آوری پایین	۶	۱۵۶/۲	تاب‌آوری پایین	۱
۷۱۴/۶	تاب‌آوری متوسط	۶	۳۶۳/۵	تاب‌آوری متوسط	۱
۷۶۳/۸	تاب‌آوری بالا	۷	۳۷۶/۸	تاب‌آوری بالا	۲
۶۷۵/۵	تاب‌آوری بسیار بالا	۷	۶۵۴/۵	تاب‌آوری بسیار بالا	۲

۱۷۲/۰	تاب‌آوری بسیار پایین	۷	۱۵۳/۶	تاب‌آوری بسیار پایین	۲
۵۹۵/۷	تاب‌آوری پایین	۷	۲۵۰/۰	تاب‌آوری پایین	۲
۷۰۳/۳	تاب‌آوری متوسط	۷	۶۱۳/۵	تاب‌آوری متوسط	۲
۶۹/۱	تاب‌آوری بالا	۸	۲۹۳/۰	تاب‌آوری بالا	۳
۴/۰	تاب‌آوری بسیار بالا	۸	۱۴۱۱/۰	تاب‌آوری بسیار بالا	۳
۱۱۵/۶	تاب‌آوری بسیار پایین	۸	۳۶۱/۶	تاب‌آوری بسیار پایین	۳
۲۶/۵	تاب‌آوری پایین	۸	۲۰۷/۹	تاب‌آوری پایین	۳
۱۷۳/۲	تاب‌آوری متوسط	۸	۵۷۰/۰	تاب‌آوری متوسط	۳
۲۵/۷	تاب‌آوری بالا	۹	۶۳۹/۷	تاب‌آوری بالا	۴
۶۵۱/۹	تاب‌آوری بسیار بالا	۹	۳۶۰/۴	تاب‌آوری بسیار بالا	۴
۱۴/۲	تاب‌آوری بسیار پایین	۹	۲۹۵/۵	تاب‌آوری بسیار پایین	۴
۶۶/۱	تاب‌آوری پایین	۹	۴۶۳/۰	تاب‌آوری پایین	۴
۷/۲	تاب‌آوری متوسط	۹	۸۳۶/۶	تاب‌آوری متوسط	۴
۱۰۳/۷	تاب‌آوری بالا	۱۰	۵۰۷/۲	تاب‌آوری بالا	۵
۲۶۱/۶	تاب‌آوری بسیار بالا	۱۰	۲۰۱۹/۳	تاب‌آوری بسیار بالا	۵
۳۲۶/۱	تاب‌آوری بسیار پایین	۱۰	۳۹۲/۸	تاب‌آوری بسیار پایین	۵
۱۲۴/۱	تاب‌آوری پایین	۱۰	۲۶۳/۴	تاب‌آوری پایین	۵
۲۶۹/۳	تاب‌آوری متوسط	۱۰	۳۶۵/۶	تاب‌آوری متوسط	۵

ازنظر جغرافیایی و مکانی نیز شرایط تاب‌آوری شهر نیز بسیار متفاوت است. براین اساس بیشترین درصد مساحت تاب‌آوری بسیار بالا و بالا به ترتیب ۸/۰۷ و ۶/۲۶ درصد متعلق به مناطق ۵ و ۶ شهرداری است. از طرف دیگر کمترین میزان تاب‌آوری متعلق به مناطق ۶ و ۱ شهرداری به ترتیب با ۳/۷۹ و ۱/۶۹ درصد کل شهر در شرایط بحرانی به سر می‌برند.

جدول ۷. مساحت و درصد مناطق شهرداری تبریز بر اساس میزان تاب‌آوری

تاب‌آوری بسیار بالا										
نام منطقه	۵	۶	۳	۷	۲	۹	۴	۱	۱۰	۸
مساحت	۲۰۱۹/۳۳	۱۵۶۵/۱۱	۱۴۱۰/۹۸	۶۷۵/۴۸	۶۵۴/۵۵	۶۵۱/۹۱	۳۶۰/۳۸	۲۹۵/۸۳	۲۶۱/۶۳	۴/۰۰
درصد	۸/۰۷	۶/۲۶	۵/۶۴	۲/۷۰	۲/۶۲	۲/۶۱	۱/۴۴	۱/۱۸	۱/۰۵	۰/۰۲
تاب‌آوری بالا										
نام منطقه	۶	۷	۴	۵	۱	۲	۳	۱۰	۸	۹
مساحت	۳۴۷۹/۲۶	۷۶۳/۸۴	۶۳۹/۶۵	۵۰۷/۱۹	۴۴۵/۸۵	۳۷۶/۷۷	۲۹۳/۰۴	۱۰۳/۷۳	۶۹/۰۶	۲۵/۷۲
درصد	۱۳/۹۱	۳/۰۵	۲/۵۶	۲/۰۳	۱/۷۸	۱/۵۱	۱/۱۷	۰/۴۱	۰/۲۸	۰/۱۰
تاب‌آوری متوسط										
نام منطقه	۴	۶	۷	۲	۳	۵	۱	۱۰	۸	۹
مساحت	۸۳۶/۵۶	۷۱۴/۶۳	۷۰۳/۲۵	۶۱۳/۵۱	۵۶۹/۹۶	۳۶۵/۶۲	۳۶۳/۴۹	۲۶۹/۲۶	۱۷۳/۱۵	۷/۲۳
درصد	۳/۳۴	۲/۸۶	۲/۸۱	۲/۴۵	۲/۲۸	۱/۴۶	۱/۴۵	۱/۰۸	۰/۶۹	۰/۰۳
میزان تاب‌آوری پایین										
نام منطقه	۷	۴	۶	۵	۲	۳	۱	۱۰	۹	۸
مساحت	۵۹۵/۶۹	۴۶۳/۰۳	۴۴۵/۵۱	۲۶۳/۴۲	۲۴۹/۹۷	۲۰۷/۸۸	۱۵۶/۱۶	۱۲۴/۰۷	۶۶/۰۶	۲۶/۵۴
درصد	۲/۳۸	۱/۸۵	۱/۷۸	۱/۰۵	۱/۰۰	۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۵۰	۰/۲۶	۰/۱۱

تاب‌آوری بسیار پایین										
نام منطقه	۶	۱	۵	۳	۱۰	۴	۷	۲	۸	۹
مساحت	۹۴۹/۳۸	۴۲۲/۴۸	۳۹۲/۷۶	۳۶۱/۵۹	۳۲۶/۱۲	۲۹۵/۵۴	۱۷۲/۰۲	۱۵۳/۵۸	۱۱۵/۶۰	۱۴/۲۲
درصد	۳/۷۹	۱/۶۹	۱/۵۷	۱/۴۵	۱/۳۰	۱/۱۸	۰/۶۹	۰/۶۱	۰/۴۶	۰/۰۶

بحث و نتیجه گیری

سوانح طبیعی در دنیا همواره با چالشی بزرگ در توسعه پایدار بوده است. تا قبل از دهه ۱۹۹۰ دیدگاه غالب مبتنی بر بررسی و تحلیل میزان آسیب‌پذیری و پهنه‌بندی آن متمرکز بوده است. با توجه به عدم قطعیت سوانح طبیعی به‌ویژه زلزله تاب‌آوری می‌تواند برای رویکردی نوین برای جلوگیری از غافلگیری‌ها و حوادث غیرمترقبه تلقی شود. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده توسط نویسندگان مقاله در منابع موجود در سامانه ایراندک، دیدگاه تاب‌آوری در ایران از دهه ۱۳۸۰ وارد ادبیات علمی در حوزه علوم روانشناسی و علوم اجتماعی شد که بعدها در بخش‌های دیگر همانند جغرافیا نیز نمود پیدا کرد. اکثر مقالات و پژوهش‌های صورت پذیرفته در این مجال مبتنی بر اساس روش‌های آماری بود و در دهه اخیر GIS و مدل‌های مکانی نیز به ابزاری در خدمت این دیدگاه درامد. لیکن مدل‌های استفاده‌شده بیشتر با بررسی غالباً تک‌بعدی و مبتنی بر روش‌های ساده و یا مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بوده و استفاده از مدل‌های پیشرفته بسیار اندک بود. نظر به عدم قطعیت برخی از معضلات و سوانح بالأخص طبیعی، مدل ماشین یادگیرنده با بهره‌گیری از الگوریتم‌های متعدد و دقیق می‌تواند راهگشا و یاری‌رسان مدیران و پژوهشگران در حوزه تاب‌آوری باشد. متروپل تبریز به دلیل اهمیت فوق‌العاده آن در شمال کشور و وسعت و تراکم جمعیتی و ساختمانی بالای آن، محدودیت‌های طبیعی و مکانی و نیز قرارگیری در کنار گسلی فعال خطرناک نیازمند بررسی‌های ویژه و خاص در حوزه تاب‌آوری و آسیب‌پذیری است. در این مقاله نظر به اهمیت ۳ مؤلفه طبیعی، اجتماعی و کالبدی در حوزه تاب‌آوری تعداد ۳۱ معیار استخراج و با به‌کارگیری ترکیبی روش فازی و مدل ماشین یادگیرنده (ML) به پتانسیل سنجی میزان تاب‌آوری شهر با استفاده از مدل شبکه عصبی فازی پرداخته شد که نتیجه در نقشه شماره ۴ میزان تاب آور شهر تعیین گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از کل ۲۵۰۴۲/۰۶ هکتار مساحت شهر تبریز حدود ۳۱/۶ درصد از کل مساحت شهر تبریز دارای تاب‌آوری بسیار بالا بوده و ۱۲/۸ درصد نیز در شرایط تاب‌آوری بسیار پایین به سر می‌برد. به‌طورکلی ۲۳/۲ درصد از کل مساحت شهر تبریز برابر با ۵۸۰۱/۶ هکتار در شرایط تاب‌آوری نامناسب بوده و ۵۸/۴ درصد کل مساحت شهر برابر با ۱۴۶۰۳/۳ هکتار نیز در شرایط تاب‌آوری خوب به بالا به سر می‌برد.

جدول ۸. وضعیت کلی تاب‌آوری شهر تبریز بر اساس مدل شبکه عصبی فازی

نمودار درصد مساحت	درصد مجموع مساحت	مجموع مساحت (مترمربع)	وضعیت تاب‌آوری
غالب مناطق در سطح انعطاف پذیری بالا هستند.	٪۳۶/۳۵	۱۲،۱۵۸/۴	بسیار بالا
مناطق قابل‌توجه و در اولویت نگهداری مقاوم‌سازی.	٪۲۶/۹	۸،۹۹۴/۲	بالا
بخش قابل‌توجه اما نیازمند ارتقاء است.	٪۱۸/۶	۶،۲۱۴/۶	متوسط
مناطق پرخطر، نیاز به توجه فوری دارد.	٪۶/۶۵	۲،۲۲۰/۸	پایین
خطر قابل‌توجه، نیازمند نوسازی و مقاوم‌سازی.	٪۹/۲۴	۳،۰۸۲/۱۲	بسیار پایین

با توجه به جدول (۵)که وضعیت تاب‌آوری کاربری‌های حساس و مهم شهر تبریز را نشان می‌دهد، کاربری مسکونی به‌عنوان مهم‌ترین کاربری با مساحتی معادل ۲۷ درصد کل کاربری‌های تعیین‌شده در شرایط نامناسب قرار دارد. از طرفی دیگر از کل کاربری‌های مسکونی شهر تبریز ۴۶/۶ درصد با مساحتی معادل ۱۸۰۰ هکتار در شرایط نامناسب تا بسیار نامناسب از بعد انعطاف‌پذیری قرار دارد؛ بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که شرایط کاربری‌های مسکونی شهر در وضعیتی خطرناک قرار دارد. کاربری‌های انتظامی و نظامی با ۶۶۴ هکتار (۷۱/۷ درصد) در شرایط انعطاف‌پذیری بالا وضعیت مناسبی را نشان می‌دهد. در این میان کاربری درمانی با توجه به اهمیت آن بل اخص در شرایط بحرانی، با ۱۵/۲ هکتار در شرایط انعطاف‌پذیری بسیار

پایین به سر می‌برد که در مقایسه با مجموع کل کاربری درمانی ۲۲/۵ درصد کل کاربری‌های درمانی را شامل شده که نشان‌دهنده وخامت این کاربری به‌ویژه در زمان بحران دارد. از کل کاربری صنایع حدود ۲۷۹ هکتار با داشتن ۲۷/۶ درصد کاربری صنایع نیز در شرایط انعطاف‌پذیری بسیار پایین قرارگرفته و بیش از ۳۹۰ هکتار آن در شرایط متوسط قرار دارد. به‌علاوه بیش از ۱۰ درصد مساحت تجهیزات شهری، ۱۵ درصد کاربری‌های اداری و ۶/۷ درصد کاربری آموزش عالی نیز در شرایط غیرقابل قبولی از بعد انعطاف‌پذیری قرار دارند. کاربری تأسیسات به نسبت کاربری‌های اشاره‌شده اخیر با حدود ۸ درصد کل مساحت کاربری تأسیسات شرایط بهتری را نشان می‌دهد. کاربری آموزشی به دلیل حساسیت آن دارای اهمیتی ویژه همانند کاربری مسکونی است. متأسفانه شرایط انعطاف‌پذیری کاربری‌های آموزشی شهر تبریز در وضعیتی بحرانی قرار دارد. حدود ۵۶ هکتار از مساحت کاربری آموزشی و به عبارتی ۳۲/۲ درصد کل مساحت کاربری آموزشی شهر تبریز در وضعیت انعطاف‌پذیری بسیار پایینی قرار دارد که اگر ۱۸ درصد شرایط انعطاف‌پذیری پایین را نیز بدان اضافه کنیم ۸۶/۷ هکتار کل کاربری‌های آموزش و به‌عبارتی‌دیگر ۵۰/۲ درصد کل کاربری‌های آموزشی وضعیتی نامناسب و بحرانی را تجربه می‌کنند. به‌علاوه آر ۲۲۴ هکتار کاربری تجاری شهر ۹۹/۳ هکتار در وضعیتی نابهنجار قرار دارد که ۴۴/۴ درصد کل کاربری‌های تجاری را شامل می‌شود. به‌طورکلی پایش وضعیت کاربری‌های حساس شهر همانند کاربری‌های مسکونی، آموزشی، درمانی و تجاری در این منطقه، وضعیت بحرانی را نشان می‌دهند. به‌خصوص کاربری‌های مسکونی و آموزشی در وضعیت بحرانی قرار دارند که این امر خطرات زیادی در زمان وقوع سوانح، ازجمله زلزله، ایجاد می‌کند.

جدول ۹. وضعیت کاربری‌های حساس شهر تبریز برمبنای انعطاف‌پذیری

نام کاربری	شرح وضعیت	پیشنهاد
کاربری مسکونی	پراکندگی انعطاف‌پذیری: حدود ۷/۷۷ درصد از مساحت‌های مسکونی در وضعیت‌های بسیار بالا تا متوسط قرار دارند، اما هنوز حدود ۳/۲۲ درصد به وضعیت‌های پایین و بسیار پایین قرارگرفته‌اند	تمرکز بر تقویت و مقاوم‌سازی این کاربری
نظامی انتظامی	بیشترین انعطاف‌پذیری در نظامی و انتظامی: حدود ۷/۷۱ درصد از مساحات این کاربری‌ها در وضعیت بسیار بالا قرار دارند که نشان‌دهنده پایداری نسبی است	بهبود عملکرد
اداری	وضعیت پایین‌تر در چند بخش: در کاربری اداری، تقریباً ۶/۶ درصد در وضعیت پایین یا بسیار پایین قرار دارند	رویکردهای اصلاحی
درمانی و آموزشی	وضعیت بحرانی در برخی موارد: حدود ۵۶/۲ درصد از مساحت کاربری آموزشی در وضعیت بسیار پایین تا پایین قرار دارد و در بخش درمانی نیز وضعیت چندانی بهتر نیست که می‌تواند مشکلات زیادی در زمان بحران ایجاد کند.	باید اقدامات فوری برای مقاوم‌سازی و بهبود انعطاف‌پذیری این بخش‌ها انجام شود
صنعتی و تأسیسات	حدود ۷/۸ درصد از مساحت‌های صنایع و تأسیسات در وضعیت بسیار پایین قرار دارند	با توجه به حساسیت این کاربری‌ها، نیاز به بهبود و تقویت دارد
عمومی و خدماتی	وضعیت درمجموع مناسب‌تر است: اکثراً در وضعیت‌های بالا یا متوسط قرار دارند، ولی در بخش تجاری، حدود ۲۲/۲ درصد در وضعیت پایین یا بسیار پایین است	اصلاحات در کاربری بخش تجاری

- ✓ بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در جداول ۶ و ۷ ازنظر میزان تاب‌آوری در مناطق شهرداری تبریز منطقه ۵ شهرداری با بیشترین میزان مساحت در بهترین شرایط و منطقه ۸ در شرایط بحرانی قرار دارد. ازنظر تاب‌آوری بالا منطقه ۶ شرایط بهتری را نسبت به سایر مناطق نشان می‌دهد و منطقه ۹ در پایین‌ترین رتبه، وضعیتی بحرانی قرار دارد. ازنظر تاب‌آوری متوسط منطقه ۴ در شرایط بهتری قرار دارد. اما در رابطه با تاب‌آوری پایین منطقه ۷ در بدترین شرایط قرار داشته گرچه مناطق ۶ و ۴ نیز بخش اعظمی از مساحت آن‌ها نیز در شرایطی بحرانی قرار دارد و بلعکس منطقه ۸ نسبت به سایر مناطق شرایط تاب‌آوری بالاتر و به اعتباری منعطف‌تر را نشان می‌دهد. بعلاوه منطقه ۶ در شرایطی نامناسب و بحرانی از منظر تاب‌آوری قرار داشته و نیز منطقه ۹ نسبت به سایر مناطق شرایط بهتری را نشان می‌دهد. به طور کلی تحلیل توزیع مساحت بر اساس میزان تاب‌آوری بیانگر موارد زیر است:

- ✓ مناطق با تاب‌آوری بسیار بالا بزرگ‌ترین سهم (~۳۶٪) را دارند که نشان‌دهنده تمرکز و اقدامات موفق در مقاوم‌سازی است.
- ✓ مناطق با تاب‌آوری بالا و متوسط هم بخش عمده‌ای از فضاهای شهر را تشکیل می‌دهند و روند توسعه مقاوم‌سازی در این دسته‌ها اهمیت دارد.
- ✓ مناطقی با تاب‌آوری پایین و بسیار پایین که جمعاً بیش از ۱۵٪ مساحت شهر را تشکیل می‌دهند، بخش‌هایی بحرانی و آسیب‌پذیر است و نیاز جدی به برنامه‌ریزی و اقدامات اصلاحی دارد

در حال حاضر در بخش زیادی از مناطق شهر تبریز، در وضعیت مقاوم و بسیار مقاوم است، اما بخش‌هایی حیاتی و پرریسک نیازمند کار فوری هستند. همچنین مناطق با تاب‌آوری پایین و بسیار پایین شامل حدود ۱۵٪–۱۸٪ از مساحت هستند که در صورت وقوع زلزله، خسارات جانی و مالی قابل‌توجه خواهند داشت. بعلاوه:

۱- پراکنش تاب‌آوری در مناطق مختلف شهرداری تبریز:

مناطق مختلف تبریز نشان‌دهنده تنوع قابل‌توجه در میزان تاب‌آوری هستند. مناطق چندگانه با تاب‌آوری بسیار بالا، بالا و متوسط بیشتر مساحت دارند که نشان‌دهنده پایداری نسبی شهر در برابر زلزله است.

بااین‌حال، مناطقی نیز وجود دارند که در وضعیت‌های پایین و بسیار پایین قرار دارند که نشان‌دهنده نیاز به تمرکز بر بهبود و مقاوم‌سازی این مناطق است.

۲- نقش مناطق خاص:

منطقه ۱۰، با بیشترین مساحت در وضعیت بسیار بالای تاب‌آوری (۶/۲۶۱ هکتار) و همچنین سایر وضعیت‌ها، نشان‌دهنده سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی موفق در بهبود تاب‌آوری است.

مناطق ۶ و ۵، با مساحت‌های قابل‌توجه در وضعیت‌های بالا و بسیار بالا، نشان‌دهنده عملکرد نسبی مطلوب در این مناطق است.

۳- برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی اقدامات:

مناطق با میزان تاب‌آوری پایین و بسیار پایین نیازمند برنامه‌ریزی ویژه برای ارتقاء شرایط هستند.

تمرکز بر مقاوم‌سازی و نوسازی مناطق با تاب‌آوری پایین و بسیار پایین، می‌تواند به بهبود پایداری کلی شهر کمک کند.

پیشنهادها

پیشنهادهای عملیاتی

- تشکیل کارگروه‌های تخصصی برای تعیین پروژه‌های بهسازی و مقاوم‌سازی در مناطق با تاب‌آوری پایین و بسیار پایین.
- استفاده از فناوری‌های نوین و سیستم‌های پایش مداوم برای ارزیابی و ارتقاء تاب‌آوری مناطق حساس.
- برگزاری دوره‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی شهروندان و مدیران منطقه برای توسعه فرهنگ مقاوم‌سازی و مدیریت بحران.
- تخصیص منابع مالی و اعتباری به پروژه‌های نوسازی و مقاوم‌سازی در مناطقی که نیازمند بهبود هستند.

توجه فوری به مناطق با تاب‌آوری پایین و بسیار پایین

- نوسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها: اقدام‌های اضطراری در مناطق ۶، ۷، ۸ و ۱۰ برای ارتقاء وضعیت.
- بازطراحی و بهبود کاربری‌ها: تغییر کاربری مناطق آسیب‌پذیر به سمت مقاوم‌سازی یا مناطق کم‌ریسک.
- مداخلات فوری: تمرکز بر نوسازی ساختمان‌های قدیمی و مقاوم‌سازی سازه‌های موجود.

برنامه‌ریزی بلندمدت برای پایداری مناطق با تاب‌آوری متوسط و بالا

- تقویت و توسعه استانداردهای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها.
- ایجاد طرح‌های بازآفرینی شهری در مناطق نیازمند به نوسازی.
- ارتقاء آموزش و اطلاع‌رسانی برای ساکنان و مدیران منطقه در زمینه مدیریت بحران و اصلاح ساختارهای شهری مقاوم.

توسعه نظام پایش و ارزیابی مستمر

- نصب سامانه‌های هشدار زودهنگام و سنجش‌های پیوسته برای ارزیابی میزان تغییر و پیشرفت در وضعیت تاب‌آوری.
- تمرکز بر اصلاح و مقاوم‌سازی این مناطق، همراه با نظارت مستمر

منابع

ابراهیمی، راحله (۱۳۹۲)، *ارزیابی مولفه های زمینه گرای موثر بر تاب‌آوری بازار تاریخی تبریز*، رساله دکتری رشته معماری، استادان راهنما دکتر اسلام کرمی و دکتر احد نژادابراهیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل.

احمدی، قادر؛ پورحسن زاده، محمدحسین و سلیمان نژاد، امیر (۱۳۹۹)، تحلیلی بر تاب‌آوری اجتماعات شهری در برابر زلزله، مطالعه موردی: شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه، *فصل نامه آمایش محیط*، ۱۳ (۴۹)، ۱۳۳-۱۰۹.

اسفندیاری درآباد، فریبا و بهشتی جاوید، ابراهیم و فتحی، محمدحسین، (۱۳۹۲)، بررسی قابلیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه سد گلستان- رودخانه قرناوه)، *دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی*، تهران

اصغری زمانی، اکبر (۱۳۷۹)، *پژوهشی در روند حاشیه‌نشینی در ایران، مورد نمونه شهر تبریز*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز.

آقایاری، سیده فریا؛ صمدزاده، رسول؛ و معصومی، محمدتقی (۱۴۰۳). ارزیابی آسیب پذیری شهر خلخال در برابر زمین لرزه با رویکرد ارتقاء تاب آوری، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸ (۸۹)، ۹۴ – ۷۵.
http//doi.org/10.22034/gp.2023.54749.3079

بیابانی، سعیدرضا (۱۳۹۷)، *نقش برنامه ریزی کاربری اراضی در افزایش تاب‌آوری محلات غیر رسمی بافت شهری مشهد در برابر زلزله (نمونه موردی محله قلعه آبکوه)*، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته شهرسازی گرایش برنامه ریزی شهری، استاد راهنما دکتر محمد شیخی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه علامه طباطبائی.

پاشاپور، حجت اله و پوراکرمی، محمد (۱۳۹۶)، سنجش ابعاد کالبدی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی (زلزله)، (مطالعه موردی منطقه ۱۲ شهر تهران)، *فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات برنامه ریزی سکونتگاههای انسانی*، ۱۲ (۴)، ۱۰۰۲-۹۸۵.

پاکرو، نازلی و موسوی، میرسعید (۱۴۰۲)، ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه یک شهر تبریز)، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۳ (۶۸)، ۱۳۵-۱۱۵.

جوادی، اردشیر (۱۳۸۵)، *راهکارهای احیاء مرکز شهر؛ نمونه موردی: شهر تبریز*، پایان‌نامه دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز.

سلمانی، محمد؛ کاظمی ثانی عطاالله، نسرین؛ بدری، سید علی و مطوف، شریف (۱۳۹۵)، شناسایی و تحلیل تاثیر متغیرها و شاخص های تاب‌آوری: شواهدی از شمال و شمال شرقی تهران، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳ (۲)، ۲۲-۱.

حجاریان، احمد (۱۴۰۲)، تاب‌آوری کالبدی ساختمان‌ها در برابر زلزله در مناطق زلزله‌زده شهرستان اندیکا، *نشریه علمی – پژوهشی*، ۲۶ (۴)، ۲۵۳-۲۷۲.

رجایی، سید عباس؛ منصوریان، حسین و سلطانی، مرضیه، (۱۴۰۰)، تحلیل فضایی تاب‌آوری شهری در برابر زلزله مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران، *فصلنامه شهر پایدار*، ۴ (۱)، ۱-۱۳. DOI: 10.22034/jsc.2020.225370.1221

رضایی، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی و حسینی، سیدمصطفی (۱۳۹۴)، سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی اجتماع های شهری در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: محله های شهر تهران)، *پژوهش های جغرافیای انسانی*، ۴۷ (۴)، ۶۲۳-۶۰۹.

رضایی، محمدرضا (۱۳۸۹). *تبیین تاب‌آوری اجتماعات شهری به منظور کاهش اثرات سوانح طبیعی (زلزله) مطالعهٔ موردی: کلانشهر تهران*، رساله دوره دکتری رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری، استادان راهنما دکتر مجتبی رفیعیان، دکتر علی عسگری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه یزد.

ضرغامی سعید؛ تیموری، اصغر؛ محمدیان مصمم، حسن و شماعی، علی (۱۳۹۵)، سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری محله های شهری در برابر زلزله (بخش مرکزی شهر زنجان)، *نشریه پژوهش و برنامه ریزی شهری*، ۷ (۲۷)، ۹۲-۷۷.

فرید، یدالله (۱۳۷۵)، *جغرافیا و شهرشناسی*، انتشارات دانشگاه تبریز.

کریمی قطب آبادی، فضل اله و زنگی آبادی، علی (۱۴۰۲)، سنجش میزان تاب‌آوری مدیریتی – نهادی سکونتگاههای شهری جدید در برابر خطرزلزله، موردپژوهی: منطقهٔ شهری اصفهان بزرگ، *نشریه مطالعات ساختار و کارکرد شهری*، ۱۰ (۳۷)، ۲۲۷ تا ۲۵۱.

کلانتری، مهسیما (۱۴۰۰)، *ویژگی های شهرتاب آوردربرابر زلزله و روش های ارزیابی آن، مطالعه موردی (مناطق ۱ و ۳ شهرداری زنجان)*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه، استاد راهنما دکتر مهدی اقبالی، موسسه آموزش عالی روزبه.

محمدی سرین دیزج، مهدی و احدنژاد روشتی، محسن (۱۴۰۰)، تحلیل تاب‌آوری فیزیکی- کالبدی نواحی شهری در برابر زلزله با ارائه سناریو (مورد مطالعه: شهر زنجان)، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۱ (۶۰)، ۸۵-۶۵.

محمدی، علیرضا و پاشازاده، اصغر (۱۳۹۶)، سنجش تابآوری شهری در برابر خطر وقوع زلزله مطالعه موردی: شهر اردبیل، *پژوهش های دانش زمین*، ۸(۲)، ۱۲۶-۱۱۲.

محمودزاده، حسن؛ نظری، معصومه و هریسچیان، مهدی (۱۴۰۰)، سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری بافت فرسوده شهری در برابر زلزله، نمونه مورد مطالعه: شهرکرد، *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، دانشگاه گلستان، ۱۱(۴۱)، ۱۸۲-۱۶۳.

ملکی، سعید؛ سیده معصومه، رضوی و رمضان پور اسعدیه، خاطره (۱۴۰۰)، سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری نواحی شهری در برابر زلزله (موردی: ناحیه غربی شهر ایذه)، *فصلنامه علمی پژوهش و برنامه ریزی شهری*، ۱۲(۴۷). ۱۸۷-۲۰۲. DOI: 10.30495/jupm.2022.4231

پورمحمدی، محمدرضا؛ قربانی، رسول و علی زاده، غفور(۱۴۰۱) راهبردهای کاهش آسیب پذیری مکانی مراکز ثقل تهدید پذیر کلان شهر تبریز از منظر پدافند غیر عامل، *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۶(۷۹)، ۹۱-۷۹.

کریمی قطب آبادی، فضل الله و زنگی آبادی، علی(۱۴۰۲)، سنجش تابآوری اجتماعی سکونتگاه های شهری جدید در برابر خطر زلزله با استفاده از MARCOS Method (مطالعه موردی: منطقه شهری اصفهان بزرگ)، *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۷ (۸۶)، ۱۲۷ – ۱۱۳. DOI: http//doi.org/10.22034/GP.2022.49842.2955

بدرآذر، شیفته؛ حسین زاده دلیر، کریم و آذر، علی (۱۴۰۳) تحلیل ی برسناریوهای تاب آوری در برابر زمین لرزه در کلانشهرهای ایران با رویکرد آینده پژوهی(نمونه موردی:کلانشهر تبریز. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۸ (۸۷)، ۷۹ – ۶۱. https://doi.org/10.22034/gp.2022.51770.3011

Aghayari, Seyyedeh Farya; Samadzadeh, Rasoul; and Masoumi, Mohammad Taghi (2024), Assessing the Vulnerability of Khalkhal City to Earthquakes with a Resilience Enhancement Approach, *Journal of Geography and Planning*, 28 (89), pp. 75–94. http://doi.org/10.22034/gp.2023.54749.3079 [In Persian].

Ahmadi, Ghaader; Pourhassanzadeh, Mohammad Hossein; and Soleimannajad, Amir (2020), An Analysis of Urban Communities' Resilience against Earthquakes, Case Study: The Cities of Ardabil, Tabriz, and Urmia, *Environmental Planning Quarterly*, No. 49, Summer 2020. [In Persian].

Ahmadi, M., Shafapourtehrany, M., Özener, H., Yilmaz, O. M., Kalantar, B., & Shabani, F. (2024). Eigenvector spatial filtering enhancing natural hazards vulnerability assessment in a susceptible urban environment: A case study of Izmir earthquake in Turkey. *In Environmental Technology & Innovation* (Vol. 35, p. 103666). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103666

Ardebili Pour, M., Ghiasi, M. B., & Karkehabadi, A. (2024). *Applying Machine Learning Tools for Urban Resilience Against Floods* (Version 1). arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2412.06205

Asghari Zamani, Akbar (2000), *A Study on the Process of Marginalization in Iran, Case Study: Tabriz City*, Master's Thesis, Department of Geography and Urban Planning, University of Tabriz. [In Persian].

Badrazar, Shifteh; Hosseinzadeh Dalir, Karim and Azar, Ali (2024), Analysis of Resilience Scenarios Against Earthquake in Iran's Metropolises with a Futures Studies Approach (Case Study: Tabriz Metropolis), *Journal of Geography and Planning*, 28 (87), 61–79 https://doi.org/10.22034/gp.2022.51770.3011. [In Persian].

Biabani, Saeed Reza (2018), *The Role of Land Use Planning in Increasing the Resilience of Informal Urban Neighborhoods against Earthquakes (Case Study: Ghal'a Abkooh Neighborhood)*, Master's Thesis in Urban Planning, Supervisor: Dr. Mohammad Sheikhi, Faculty of Social Sciences, Allameh Tabataba'i University. [In Persian].

Borsekova, K., & Nijkamp, P. (Eds.). (2019). Resilience and Urban Disasters. *Edward Elgar Publishing*. https://doi.org/10.4337/9781788970105

Bottero, M., Datola, G., & De Angelis, E. (2020). *A System Dynamics Model and Analytic Network Process: An Integrated Approach to Investigate Urban Resilience*. In Land (Vol. 9, Issue 8, p. 242). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/land9080242

Cao, H. (2023). Urban Resilience: Concept, Influencing Factors and Improvement. In Frontiers in Business, *Economics and Management* (Vol. 9, Issue 1, pp. 343–346). Darcy & Roy Press Co. Ltd. https://doi.org/10.54097/fbem.v9i1.8777

Cariolet, J.-M., Vuillet, M., & Diab, Y. (2019). Mapping urban resilience to disasters – A review. *In Sustainable Cities and Society* (Vol. 51, p. 101746). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101746

Casali, Y., Aydin, N. Y., & Comes, T. (2022). Machine learning for spatial analyses in urban areas: a scoping review. *In Sustainable Cities and Society* (Vol. 85, p. 104050). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104050

Chauhan, V., Gupta, L., & Dixit, J. (2025). Machine learning and GIS-based multi-hazard risk modeling for Uttarakhand: Integrating seismic, landslide, and flood susceptibility with socioeconomic vulnerability. *In Environmental and Sustainability Indicators* (p. 100664). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100664

Cimellaro, G. P. (2016). Urban Resilience for Emergency Response and Recovery. In Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30656-8

Cong, Y., & Inazumi, S. (2024). Artificial Neural Networks and Ensemble Learning for Enhanced Liquefaction Prediction in Smart Cities. *In Smart Cities* (Vol. 7, Issue 5, pp. 2910–2924). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/smartcities7050113

Duckham, M., Sun, Q. (Chayn), & Worboys, M. F. (2023). *Artificial Intelligence and GIS. In GIS* (pp. 349–400). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429168093-9

Ebrahimi, Raheleh (2013), *Assessment of Contextual Components Influencing the Resilience of the Historical Market of Tabriz*, PhD Dissertation in Architecture, Supervisors: Dr. Eslam Karimi and Dr. Ahad Nejad Ebrahimi, Islamic Azad University, Ardabil Branch [In Persian].

Esfandiari Darabad, Fariba; Beheshti Javid, Ebrahim; and Fathi, Mohammad Hossein (2013), *Investigating Gully Erosion Potential Using Fuzzy Logic Model (Case Study: Golestan Dam Basin - Qarnaveh River)*, 2nd International Conference on Environmental Hazards, Tehran. [In Persian].

Farid, Yadollah (1996), *Geography and Urban Studies*, University of Tabriz Publications. [In Persian].

G. Brunetta, O. Caldarice, N. Tollin, M. Rosas-Casals, & J. Morató (Eds.), (2019). Urban Resilience for Risk and Adaptation Governance In Resilient Cities. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76944-8

Hejarian, Ahmad (2023), Physical Resilience of Buildings Against Earthquake in Earthquake-Stricken Areas of Andika County, *Scientific-Research Journal*, 26(4), December 2023, pages 253-272. [In Persian].

Javadi, Ardeshir (2006), *Strategies for Revitalizing City Center; Case Study: Tabriz City*, PhD Dissertation in Geography and Urban Planning, University of Tabriz. [In Persian].

Jiao, L., Wang, L., Lu, H., Fan, Y., Zhang, Y., & Wu, Y. (2023). An assessment model for urban resilience based on the pressure-state-response framework and BP-GA neural network. *In Urban Climate* (Vol. 49, p. 101543). Elsevier BV.https://doi.org/10.1016/-j.uclim.2023.101543

Kalantari, Mahsima (2021), *Characteristics of Urban Resilience Against Earthquake and Evaluation Methods, Case Study (Districts 1 and 3 of Zanjan Municipality)*, Master's Thesis in Civil Engineering - Structure, Supervisor: Dr. Mahdi Eghbali, Rouzbeh Higher Education Institute. [In Persian].

Karimi Ghatb Abadi, Fazlollah and Zangi Abadi, Ali (2023), Measuring the Level of Managerial-Institutional Resilience of New Urban Settlements Against Earthquake Risk, Case Study: Greater Isfahan Urban Area, *Journal of Urban Structure and Function Studies*, 10(37), 227-251. [In Persian].

Karimi Ghotbabadi, Fazlollah and Zangi Abadi, Ali (2023), Assessing the Social Resilience of New Urban Settlements Against Earthquake Risk Using the MARCOS Method (Case Study: Greater Isfahan Urban Area), *Journal of Geography and Planning*, 27 (86), 113–127, DOI: http://doi.org/10.22034/GP.2022.49842.2955. [In Persian].

Mahmoudzadeh, Hassan; Nazari, Masoumeh and Harischian, Mehdi (2021), Measurement and Evaluation of Urban Dilapidated Texture Resilience Against Earthquake, Case Study: Shahr-e Kord, *Journal of Spatial Geographical Planning, Golestan University*, 11(40-41), 163-182. [In Persian].

Maleki, Saeid; Seyyede Masoumeh Razavi and Ramazanpour Asadiyeh, Khatereh (2021), Measurement and Evaluation of the Resilience Level of Urban Areas Against Earthquake (Case: Western District of Izeh City), *Scientific Quarterly Journal of Urban Research and Planning*, 12(47), 187-202. DOI: 10.30495/jupm.2022.4231. [In Persian].

Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *In Landscape and Urban Planning* (Vol. 147, pp. 38–49). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011

Mohammadi Sarin Dizaj, Mahdi and Ahadnejad Roshati, Mohsen (2021), Analysis of Physical-Structural Resilience of Urban Areas Against Earthquake with Scenario Presentation (Case Study: City of Zanjan), *Journal of Applied Geographical Sciences Research*, 21(60), 65-85. [In Persian].

Mohammadi, Alireza and Pashazadeh, Asghar (2017), Measuring Urban Resilience Against Earthquake Risk, Case Study: City of Ardabil, *Earth Science Research*, 8(3), 112-126. [In Persian].

Pakro, Nazli and Mousavi, Mir Saeed (2023), Urban Resilience Assessment Against Earthquake (Case Study: District One of Tabriz City), *Journal of Applied Geographical Sciences Research*, 23(68), 115-135 [In Persian].

Partha Protim Roy, Md. Shahriar Abdullah, & Iqtiar Md. Siddique. (2024). Machine learning empowered geographic information systems: Advancing Spatial analysis and decision making. *In World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(1), 1387–1397. GSC Online Press. https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1200

Pashapour, Hojjatollah and Pourakrami, Mohammad (2017), Measuring Physical Dimensions of Urban Resilience Against Natural Hazards (Earthquake), Case Study: District 12 of Tehran, *Scientific-Research Quarterly of Human Settlements Planning Studies*, 12(4), 985-1002. [In Persian].

Pourmohammadi, Mohammad Reza; Ghorbani, Rasoul and Alizadeh, Ghafour (2022), Strategies to Reduce Spatial Vulnerability of Threatened Critical Centers in the Metropolis of Tabriz from the Perspective of Passive Defense, *Scientific Journal of Geography and Planning*, 26(79), 79-91. [In Persian].

Qin, R., Cui, P., Zhou, S., & Zhang, F. (2024). Dynamic Analysis for Enhancing Urban Resilience Against Public Health Emergencies of International Concern. *In Land*, 13(12), 2220. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/land13122220

Rajai, Seyed Abbas; Mansourian, Hossein and Soltani, Marziyeh (2021), Spatial Analysis of Urban Resilience Against Earthquake: Case Study: District One of Tehran City, *Sustainable City Quarterly*, 4(1). 1-13. DOI: 10.22034/jsc.2020.225370.1221. [In Persian].

Ren, S., Ghaffar, B., Mubbin, M., Haseeb, M., Tahir, Z., Hassan, S. S., Kucher, D. E., Kucher, O. D., & Abdullah-Al-Wadud, M. (2025). Multisensor Remote Sensing and AI-Driven Analysis for Coastal and Urban Resilience Classification. *In IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (18), 9166-9180. https://doi.org/10.1109/jstars.2025.-3554793

Rezaei, Mohammadreza (2010), *Explanation of Urban Communities' Resilience to Reduce Natural Disaster Effects (Earthquake), Case Study: Metropolitan Tehran*, PhD Dissertation in Geography and Urban Planning, Supervisors: Dr. Mojtaba Rafieian, Dr. Ali Asgari, Faculty of Humanities, Yazd University. [In Persian].

Rezaei, Mohammadreza; Rafieian, Mojtaba and Hosseini, Seyed Mostafa (2015), Measurement and Evaluation of Physical Resilience of Urban Communities Against Earthquake (Case Study: Neighborhoods of Tehran City), *Human Geography Research*, 47(4), 609-623. [In Persian].

Smith, J., & Lee, A. (2022). *Urban disaster resilience: New dimensions from international practice in the built environment*. Routledge.

Soleimani, Mohammad; Kazemi Thani Ataollah, Nasrin; Badri, Seyed Ali and Matoof, Sharif (2016), Identification and Analysis of the Impact of Variables and Resilience Indicators: Evidence from North and Northeast Tehran, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3(2), 1-22. [In Persian].

Wen, H., Zhou, X., Zhang, C., Liao, M., & Xiao, J. (2023). Different-Classification-Scheme-Based Machine Learning Model of Building Seismic Resilience Assessment in a Mountainous Region. *In Remote Sensing*, 15(9), 2226. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/-rs15092226

Y. Yamagata & H. Maruyama (Eds.), (2016). Urban Resilience In Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. *Springer International Publishing*. https://doi.org/-10.1007/978-3-319-39812-9

Yang, D., Zhao, J., & Xu, P. (2024). Deep Learning-Based Approach for Optimizing Urban Commercial Space Expansion Using Artificial Neural Networks. *In Applied Sciences*, 14(9), 3845. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/app14093845.

Zarghami Saeed; Teymoori, Asghar; Mohammadian Mosammam, Hassan and Shamaei, Ali (2016), Measurement and Evaluation of Urban Neighborhoods' Resilience Against Earthquake (Central Part of Zanjan City), *Journal of Urban Research and Planning*, 7(27), 77-92. [In Persian].

Zhang, W., Hu, B., Liu, Y., Zhang, X., & Li, Z. (2023). Urban Flood Risk Assessment through the Integration of Natural and Human Resilience Based on Machine Learning Models. *In Remote Sensing*, 15(14), 3678. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/rs15143678