ASPI | Afarand Scholarly Publishing Institute; Turkey
ISSN: 2538-4384; Geographical Research. 2023;38(3):355-364 10.58209/geores.38.3.364

Factors Affecting the Earthquakes and Evaluation of the Vulnerability of Municipal Areas From the Point of View of Passive Defense in Kermanshah Metropolis

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Maleki K. [1]* *PhD*
PourMohammadi M.R. [1] *PhD*
Yousefi Shahir H. [2] *PhD*
Masoudi Asl B. [3] *PhD*

How to cite this article
Maleki K, PourMohammadi MR, Yousefi Shahir H, Masoudi Asl B. Factors Affecting the Earthquakes and Evaluation of the Vulnerability of Municipal Areas From the Point of View of Passive Defense in Kermanshah Metropolis. Geographical Research. 2023;38(2):355-364.

[1] Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran
[2] Department of Geography and Urban Planning, Marand Branch, Islamic Azad University, Marand, Iran
[3] Deputy of Architecture and Urbanism of Kermanshah Municipality, Kermanshah, Iran

***Correspondence**
Address: Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Imam Khomeini Street, Bahman Boulevard, Tabriz, Iran. Postal Code: 679661665485
Phone: -
Fax: +98 (41) 33356013
kioumars.maleki@tabrizu.ac.ir

Article History
Received: June 12, 2023
Accepted: September 16, 2023
ePublished: September 29, 2023

ABSTRACT

Aims The absence of regulations in close proximity to fault lines, disregard for non-structural defense in urban planning, and failure to adhere to construction standards can result in modifications to urban development. Crisis management experiences indicate that residential areas are predominantly concentrated in zones prone to seismic activity, necessitating the protection of urban spaces and the mitigation of ineffective damages. This study aims to identify the environmental, physical-spatial, social, and economic components, along with their influential indicators, and comprehensively assess the vulnerabilities and earthquake-prone areas. Furthermore, it aims to redefine risk reduction strategies based on the findings of this analysis.

Methodology The present study is classified as a descriptive study wherein the process of data collection and analysis has been employed. A cohort of 30 specialists was chosen, and their survey outcomes concerning the condition of the municipal areas of Kermanshah were evaluated using a Fuzzy TOPSIS model. The model's output was graphically represented as a map prepared by GIS software, and the analysis of the resultant map was conducted to compare urban areas in relation to physical growth.

Findings The results indicate that regions 8 and 4 exhibit the minimum susceptibility, region 5 ranking third, region 1 ranking fourth, regions 2 and 3 ranking fifth, region 6 ranking sixth, and region 7 ranking seventh.

Conclusion The susceptibility of the eight primary districts in Kermanshah is ascribed to their spatial proximity and distance from fault lines, the socioeconomic standing of the inhabitants, the structural resilience, the presence of accessible areas and emergency facilities, the density of the population, the proximity of neighborhoods, and the existence of dilapidated residential areas.

Keywords Earthquake Assessment, Passive Defense, Fuzzy Topology, Eigenvector Method, Kermanshah Metropolis

CITATION LINKS

[Akbari *et al.*, 2021] Vulnerability analysis of natural, physical, social and economic dimensions of ...; [Alavi *et al.*, 2016] The assessment of Minab's worn urban ...; [Alexander, 2002] Principles of emergency ...; [Alikhani *et al.*, 2018] Presentation of a comprehensive evaluation model of the vulnerability of urban areas by dividing ...; [Alshehabi, 2014] Migration, urban commodification, and the " right to the city " in the GCC. Transit States: ...; [Bazrafshan *et al.*, 2018] Spatial analysis of differences in urban and rural areas in terms resilience against ...; [Chanliang *et al.*, 2011] Vulnerability of large city and its implication in urban planning: A ...; [Church & Murray, 2008] Business site selection, location ...; [Cutter *et al.*, 2016] Urban–rural differences ...; [Ebrahimi *et al.*, 2016] Bardaskan seismic vulnerability assessment against earthquake using Inversion ...; [Farajzadeh *et al.*, 2011] The vulnerability assessment of urban housing in earthquake ...; [Hosseinzadeh *et al.*, 2012] The passive defense and sustainable development with emphasis ...; [Isalu *et al.*, 2015] Evaluation of physical vulnerability in district one of Tehran city against a possible ...; [Karami & Amirian, 2018] Zoning the urban earthquake vulnerability using fuzzy logic-AHP model ...; [Khatsü, 2011] Urban multi-hazard risk analysis using GIS and remote ...; [Maleki, 2018] Regional land use ...; [Maleki, 2020] Explaining and presenting a spatial-cognitive model ...; [Maleki, 2023] Threat network and risk loop in earthquake crisis with a focus on non-military defense ...; [Maleki *et al.*, 2022] Assessing the neighborhood-spatial structure of urban settlements based on earthquake ...; [Mohammadpour *et al.*, 2016] Analysis of seismic vulnerability factors in urban old texture ...; [Paton & Johnson., 2001] Disasters and communities: Vulnerability ...; [Pourmohammadi & Maleki, 2016] Passive defense and security and development strategies ...; [Pourmohammadi & Maleki, 2021] Passive defense and security and development ...; [Rashed *et al.*, 2017] An integrative GIS & remote sensing model for place-based ...; [Saaty, 2013] Theory and applications of the analytic ... [Soltani *et al.*, 2017] Analysis and risk assessment of regional ...; [Tapsell *et al.*, 2010] Social vulnerability to natural ...; [Shams *et al.*, 2011] The study of earthquake crisis management in Kermanshah ...; [Zangiabadei *et al.*, 2008] Vulnerability indicators assessment of urban housing ...; [Ziari & Ehsanifard, 2022] Future research of urban smart growth and ...

Copyright© 2023, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

مولفه‌های اثرگذار در زلزله و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهرداری از منظر پدافند غیرعامل در کلانشهر کرمانشاه

کیومرث ملکی* PhD
گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
محمدرضا پورمحمدی PhD
گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
هانیه یوسفی شهیر PhD
گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران
بهزاد مسعودی اصل PhD
معاونت شهرسازی و معماری شهرداری کلان شهر کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

چکیده

اهداف: ساخت‌وسازهای بی‌رویه در نزدیکی گسل، عدم توجه به پدافند غیرعامل در برنامه‌ریزی شهری و عدم رعایت استانداردهای ساخت‌وساز ممکن است در امر توسعه شهرها تغییراتی را ایجاد کند. همچنین، تجارب مدیریت بحران نشان می‌دهد که فضاهای سکونتی عمدتاً در مناطق لرزه‌خیز تمرکز دارند و در حفاظت از فضاهای شهری و کاهش خسارات ناکارآمدی وجود دارد. پژوهش حاضر با هدف شناخت مولفه‌های محیطی، کالبدی-فضایی، اجتماعی، اقتصادی و شاخص‌های اثرگذار در هر مولفه آسیب‌شناسی و پهنه‌های خطرپذیر ناشی از زلزله و بازتعریف استراتژی‌های کاهش خطر انجام شد.

روش‌شناسی: پژوهش حاضر از نوع توصیفی بود که در سال ۱۴۰۰ و با استفاده از فرآیند پیمایش و تحلیل داده‌ها در کلانشهر کرمانشاه انجام شد. ۳۰ نفر از متخصصان به عنوان حجم نمونه انتخاب شدند که خروجی نظرسنجی از آنها در ارتباط با وضعیت مناطق شهرداری کلانشهر کرمانشاه در قالب مدل تاپسیس فازی مورد تحلیل قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزار GIS خروجی مدل به صورت نقشه ترسیم شد. در نهایت، برای مقایسه مناطق شهری از نظر توسعه کالبدی نقشه خروجی مدل تاپسیس فازی تحلیل شد.

یافته‌ها: مناطق ۸ و ٤ دارای کمترین آسیب‌پذیری، منطقه ٥ رتبه سوم، منطقه ۱ رتبه چهارم، منطقه ۲ و ۳ رتبه پنجم، منطقه ٦ رتبه ششم و منطقه ۷ رتبه هفتم آسیب‌پذیری را به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: دلایل آسیب‌پذیری مناطق هشت‌گانه کلانشهر کرمانشاه را می‌توان به دوری و نزدیکی به گسل، جایگاه طبقه اقتصادی و اجتماعی ساکنین، مقاومت سازه، میزان فضاهای باز و کاربری‌های امدادی، تراکم جمعیت، هم‌جواری‌ها و وجود محلات فرسوده نسبت داد.

کلیدواژگان: ارزیابی زلزله، پدافند غیرعامل، تاپسیس فازی، روش بردار ویژه، کلانشهر کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

*نویسنده مسئول: kioumars.maleki@tabrizu.ac.ir

مقدمه

توسعه شهرنشینی و تغییر پوشش زمین مهم‌ترین دست‌کاری انسان در طبیعت در سده‌های بیستم و بیست‌ویکم بود. اکنون بیش‌از ۷۰٪ جمعیت کره زمین در شهرها زندگی می‌کنند [Maleki *et al.*, 2022]. پیش‌بینی می‌شود که بخش زیادی از رشد جمعیت در کشورهای در حال توسعه جهان یعنی جایی که حدود ۵/۳ میلیارد نفر از جمعیت جهان در آن زندگی می‌کنند به وقوع می‌پیوندد و همین امر اهمیت توجه به مهار بحران در شهرها را مضاعف می‌کند [Ziari & Ehsanifard, 2022]. بحران شهری رویداد یا واقعه‌ای ناگهانی است که با آسیب‌های جانی و مادّی گسترده همراه بوده و نیازمند انجام اقدامات فوری در سطح شهرها برای کنترل و مهار بحران و ایمنی مناطق شهری در مخاطره زلزله است [Shams *et al.*, 2011; Alexander, 2002].

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 [Rashed *et al.*, 2017; Maleki, 2023]. براساس پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته، تا سال ۲۰۳۰ میلادی، حدود ٦ میلیارد نفر از جمعیت ۸/۱ میلیاردی کره زمین در شهرها ساکن خواهند شد که حدود دو سوم از این تعداد نیز در کلانشهرها سکونت خواهند نمود [Alshehabi, 2014]. در ایران به طور متوسط هر سال یک زلزله به بزرگی ٦ ریشتر و هر ۱۰ سال یک زلزله به بزرگی ۷ درجه در مقیاس ریشتر رخ می‌دهد، زلزله ۷/۳ ریشتری ۲۱ آبان ۱۳۹٦ ازگله کرمانشاه نمونه‌ای از این زلزله‌ها است [Maleki *et al.*, 2022]. لذا با توجه به اهمیت موضوع بحران و ضرورت مهار و کاستن از آثار بحران، مطلوب است که در برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای اصول و ملاحظات پدافند غیرعامل در سرلوحه امور برنامه‌ریزی دفاع شهری قرار گیرد. پدافند غیرعامل تدابیری است که قبل از وقوع هر نوع مخاطره‌ای اتخاذ می‌شود و مدیریت بحران‌ها را تسهیل می‌کند [Hosseinzadeh Dalir *et al.*, 2012].

امروزه، مقابله با مخاطرات یکی از چالش‌های اصلی برای اکثر کشورها است [Cutter *et al.*, 2016]؛ چراکه این مخاطرات نه‌تنها باعث مرگ‌ومیر و درد و رنج عاطفی آنها می‌شود، بلکه به اقتصاد محلی نیز آسیب‌هایی وارد می‌کند [Bazrafshan *et al.*, 2018]. هدف از اجرای طرح‌های پدافند غیرعامل کاستن آسیب‌پذیری تاسیسات و تجهیزات حیاتی و حساس و مهم کشور در شرایط بحرانی در مراکز شهری و سکونتگاهی است [Soltani *et al.*, 2017]. آسیب‌پذیری زلزله را با رعایت اصول پدافند غیرعامل می‌توان کمتر نمود. لذا آنچه از پدافند غیرعامل قابل استنباط است و به عبارتی سازه، ساختار، مضمون و موضوعیت پدافند غیرعامل را شکل می‌دهد عبارت است از ۱) بحران‌شناسی و شناسایی تهدیدات قابل وقوع ۲) آسیب‌شناسی مخاطره و تهدیدات محتمل ۳) آینده‌نگری و تدوین استراتژی‌های مقابله و مهار مخاطرات به منظور کاستن از آثار مخاطره‌آمیز ۴) ارایه ملاحظات مرتبط، به شرط همخوانی و سنجش با اصول پدافند غیرعامل با هدف بازدارندگی، حفظ و تقویت امنیت پایدار در جغرافیای محیطی و کاهش آسیب‌پذیری [Pourmohammadi & Maleki, 2021; Pourmohammadi & Maleki, 2016].

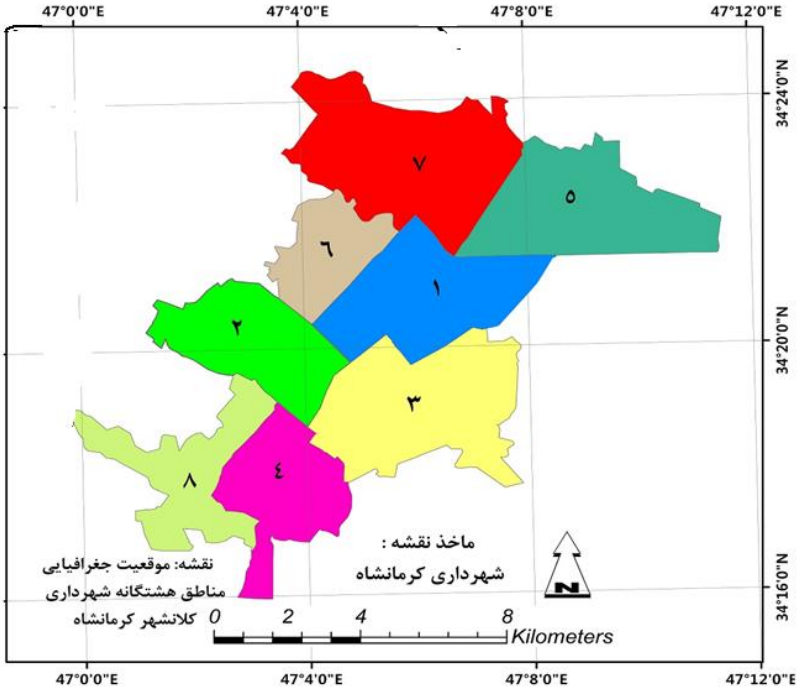
با گذشت سال‌ها، آسیب‌پذیری لرزه‌ای در محیط شهری به دلیل افزایش پیچیدگی‌های محیط شهری افزایش یافته است [Alavi *et al.*, 2016]. آسیب‌پذیری به عنوان یک مفهوم کلی برای درک وضعیت و شرایطی از زندگی مردم که در آن یک خطر ممکن است به یک فاجعه بزرگ برای آنها تبدیل شود در نظر گرفته شده است [Tapsell *et al.*, 2010]. عوامل ساختاری و عوامل ناشی از فشار محیطی از عوامل زمینه‌ای آسیب‌پذیری در شهرهای بزرگ هستند. از ویژگی‌های ساختاری داخل سیستم شهرها، می‌توان به اندازه شهرها، تراکم، فرم فضایی شهر، توسعه اجتماعی-اقتصادی و زیرساخت‌ها اشاره کرد که شاخص‌های آن برای ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی از مناطق شهری دارای اهمیت است. عوامل ناشی از فشار محیطی در آسیب‌پذیری، اختلالات ناشی از ظهور حوادث، از جمله بلایای طبیعی، تصادفات، وضعیت اضطراری برای بهداشت عمومی و حوادث مرتبط با سلامت عمومی است [Chanliang *et al.*, 2011].

عوامل موثر در آسیب‌پذیری بسیار گوناگون هستند (عوامل طبیعی، کالبدی، اقتصادی، اجتماعی). این عوامل یکدیگر را به شکل یک سیستم جامع، نه به صورت منفرد، تحت تاثیر قرار می‌دهند [Paton & Johnson, 2001]. اگر آسیب‌پذیری را یک نوع تابع ریاضی حساب کنیم، به مقدار خسارت پیش‌بینی‌شده برای هر عنصر در معرض خطرات مصیبت‌بار با شدت معین آسیب‌پذیری گفته می‌شود [Zangiabadei *et al.*, 2008]. برای حصول ارزیابی مناسب، می‌توان لایه‌های مناسب ترکیبی و نقشه‌های مورد نیاز در GIS را تولید نمود [Church & Murray, 2008]. پهنه‌بندی خطر رویکرد مهمی از فرآیند مدیریت پیش از بحران است [Karami & Amirian, 2018]. با ارزیابی پتانسیل خطر زلزله، احتیاط‌های مورد نیاز کاهش پیدا کرده و می‌توان از یک تراژدی بزرگ و ازدست‌دادن جان بسیاری از مردم جلوگیری کرد [Khatsü, 2011].

کلانشهر کرمانشاه از قدیم‌الایام مرکز سکونتگاهی، قطب ارتباطی و جمعیتی منطقه غرب کشور بوده است. نقش و اهمیت جایگاه این شهر با توجه به جمعیت‌پذیری آن، تحلیل آسیب‌پذیری زلزله را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. هدف از این پژوهش، ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلانشهر کرمانشاه از منظر پدافند غیرعامل و بررسی مولفه‌های اثرگذار بر زلزله بود.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع توصیفی بوده و در سال ۱۴۰۰ با استفاده از فرآیند پیمایش و تحلیل داده‌ها در کلانشهر کرمانشاه انجام شد. شهر کرمانشاه به عنوان مهم‌ترین مرکز جمعیتی، سیاسی و کالبدی استان کرمانشاه است که مساحت مناطق شهری آن بالغ بر ۱۱ هزار هکتار و دارای ۸ منطقه شهرداری است (شکل ۱). بنابر آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت آن ۹۴۶/۶۵۱ نفر بوده است. اما در سال ۱۳۹۶ با الحاق چند روستا جمعیت این شهر به بیش از یک میلیون نفر رسید و در سال ۱۳۹۷ از طرف وزارت کشور به عنوان کلانشهر اعلام شد [Akbari *et al.*, 2021]. کرمانشاه دارای چندین گسل فعال و نیمه‌فعال هم در داخل شهر (عبور سه خط گسلی مهم از مجاورت و داخل محدوده شهر کرمانشاه باعث زلزله‌خیزی این منطقه شهری شده است) و هم در شهرستان است. نباید از نظر دور داشت که شدت زلزله، عمق کم، ساعت وقوع، طولانی‌بودن مدت زمین‌لرزه و نزدیکی کانون زلزله به شهر موجب خسارات فراوان می‌شود که زلزله‌های تاریخی گویای این مهم است [Maleki, 2018; Maleki, 2020].



شکل ۱) موقعیت جغرافیایی مناطق شهرداری کلانشهر کرمانشاه

کارشناسان و اساتید مرتبط با موضوع زلزله و پدافند غیرعامل جامعه آماری پژوهش را تشکیل دادند و حجم نمونه در این پژوهش با استفاده از فرمول کوکران ۳۰ نفر در مناطق هشت‌گانه شهرداری انتخاب شد. برای محاسبه ضریب پایایی سوال‌های پرسش‌نامه مطابق شاخص‌ها، ضریب آلفای کرونباخ ۰/۹۲۵ برآورد شد، که با توجه به اینکه میزان آلفای کرونباخ محاسبه‌شده بالاتر از ۰/۷ است، بنابراین می‌توان گفت که پرسش‌نامه پژوهش از پایایی لازم برخوردار است. مولفه‌های 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 غیره انجام گرفته بود تهیه و تدوین شدند. در ادامه، با استفاده از نظر اساتید خبره در حوزه برنامه‌ریزی و زلزله، جدولی از مولفه‌های اثرگذار در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کلانشهر کرمانشاه استخراج شد (جدول ۱).

جدول ۱) مولفه‌ها و شاخص‌های اثرگذار در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کلانشهر کرمانشاه از دیدگاه صاحب‌نظران

مولفه	شاخص
اجتماعی	۱) تراکم جمعیت؛ ۲) تراکم خانوار؛ ۳) تراکم نسبت سال‌خوردگی؛ ٤) نسبت جنسی؛ ٥) نسبت جوانی؛ ٦) تراکم جمعیت زیر ۱۰ سال؛ ۷) تراکم جمعیت ۱۰ الی ٤٥ سال؛ ۸) تراکم جمعیت ٤٥ سال و بالاتر؛ ۹) تراکم جمعیت باسواد مرد؛ ۱۰) تراکم جمعیت باسواد زن
اقتصادی	۱۱) تراکم نرخ اشتغال؛ ۱۲) تراکم نرخ بیکاری؛ ۱۳) تراکم شاغلین مرد و زن؛ ١٤) تراکم بیکاران مرد و زن؛ ۱۵) تراکم بار وابستگی؛ ١٦) تراکم تکفّل؛ ۱۷) تراکم فعالیت واقعی؛ ۱۸) تراکم واحدهای استیجاری؛ ۱۹) تراکم مالکیت؛ ۲۰) تراکم نسبت خانوار به مسکن؛ ۲۱) تراکم جمعیت غیرفعال؛ ۲۲) تراکم جمعیت فعال
طبیعی	۲۳) درصد شیب؛ ٢٤) زمین‌شناسی؛ ۲۵) فاصله از خط گسل؛ ٢٦) فاصله از رودخانه
کالبدی	۲۷) فاصله از خیابان‌های اصلی؛ ۲۸) فاصله از خیابان‌های فرعی؛ ۲۹) تراکم واحدهای آپارتمان؛ ۳۰) فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی؛ ۳۱) فاصله از مراکز درمانی و بیمارستان؛ ۳۲) فاصله از مراکز نظامی؛ ۳۳) فاصله از مراکز صنعتی؛ ٣٤) فاصله از تاسیسات و تجهیزات شهری؛ ۳۵) فاصله از مراکز حمل و نقل؛ ٣٦) تراکم سازه‌های اسکلت فلزی؛ ۳۷) تراکم سازه‌های بتن آرمه؛ ۳۸) تراکم سازه‌های آجر و آهن؛ ۳۹) تراکم سازه‌های خشت، چوب و گل؛ ٤٠) تراکم سازه‌های آجر، سیمان و سنگ؛ ٤١) کاربری اراضی (سازگاری اراضی)؛ ٤٢) تراکم مساحت ۱۰۰ متر مربع و پایین‌تر؛ ٤٣) تراکم مساحت ۲۰۰-۱۰۰ متر مربع؛ ٤٤) تراکم مساحت ۲۰۰ متر مربع و بالاتر؛ ٤٥) فضاهای باز و سبز و غیره

متناسب با جدول تهیه‌شده نظرسنجی انجام گرفت و امتیازدهی مولفه‌ها در سطح مناطق ابتدا به صورت کیفی و سپس یه صورت کمّی امتیاز داده شد. همچنین، سنجش مناطق هشت‌گانه کلانشهر کرمانشاه از نظر میزان آسیب‌پذیری در حوزه‌های چهارگانه با استفاده از مدل تاپسیس فازی انجام گرفت و بعد از تحلیل خروجی نظرسنجی وضعیت مناطق شهرداری کلانشهر کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS ۱۰/۲ خروجی مدل به صورت نقشه ترسیم شد و نهایتاً به مقایسه مناطق شهری از نظر توسعه کالبدی و غیره اقدام شد.

در روش بردار ویژه در گام اول، ابتدا میانگین حسابی یا هندسی درایه‌های هر سطر محاسبه شد و سپس به ستون حاصل نرمالایز شد (بردار حاصل، بردار وزن نامیده می‌شود). در گام دوم طی فرآیند آنالیز ماتریس، مقایسه زوجی تکمیل‌شده توسط اعضای گروه جمع‌آوری شد، یک روش تقریبی برای محاسبه بردار ویژه W استفاده از توان‌های متوالی برای ماتریس D است (رابطه ۱).

رابطه ۱)

$$W = \lim_{k \to \infty} \frac{D^k.e}{e^t.D^k.e} \qquad D^k = D^{k-1}.D$$

$$e^t = [1,1,..,1]$$

در صورتی که D سازگار باشد آنگاه: $\lambda_{max}=n$

و در حالت ناسازگاربودن D: $\lambda_{max}>n$

پس $\lambda_{max}-n$ می‌تواند یک معیار اندازه‌گیری برای محاسبه درجه ناسازگاری تصمیمات باشد. هرچه λ_{max} به n نزدیک‌تر باشد سازگاری بیشتر است. پس معیار ذکر شده به n (مرتبه ماتریس) بستگی دارد.

برای رفع وابستگی معیار ذکرشده به n، معیار جدیدی مطرح می‌شود که آن را شاخص ناسازگاری می‌نامند (رابطه ۲).

رابطه ۲)

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

نسبت سازگاری از رابطه ۳ به دست می‌آید.

رابطه ۳)

$$C.R = \frac{I.I}{R.I}$$

چنانچه $C.R \leq 0/1$ باشد سازگاری ماتریس پذیرفته است (عدد ۰/۱ پیشنهاد آقای ساعتی بوده است که می‌تواند قابل تغییر باشد [Saaty, 2013]. در صورت عدم سازگاری، تعداد انتقالات تا رسیدن به هم‌گرایی بیشتر خواهد بود. در این حالت باید در مقایسات زوجی تجدید نظر شود. با توجه به $D.W=\lambda W$ برای محاسبه λ_{max} پس از محاسبه بردار W به محاسبه بردار حاصل از D.W پرداخته شد. پس از تقسیم بردار D.W بر بردار W برداری از مقادیر λ ساخته می‌شود که در بین آنها می‌توان λ_{max} را یافت.

در گام سوم، تلفیق نظرات متعدد در قالب یک جدول مقایسه‌ای انجام‌گرفت که یکی از بهترین شیوه‌های ترکیب جدول‌های به دست‌آمده از اعضای گروه، استفاده از میانگین هندسی است. رابطه هندسی در صورتی که وزن در نظر گرفته‌شده برای نظرات اعضای گروه یکسان باشد با فرض اینکه L تصمیم‌گیر داشته باشیم، به صورت رابطه ٤ تعریف می‌شود.

رابطه ٤)

$$d_{ij} = \left(\prod_{k=1}^{L} d_{ijk} \right)^{\frac{1}{L}} \qquad \begin{array}{l} k = 1,\ldots,L \\ i,j = 1,\ldots,n \quad i \neq j \end{array}$$

حال اگر اعضای گروه دارای وزن‌های متفاوت (wk) باشند میانگین هندسی هر مولفه به صورت ذیل تعریف می‌شود (رابطه ٥).

رابطه ٥)

$$d_{ij} = \left(\prod_{k=1}^{L} d_{ijk}^{\,wk} \right)^{\frac{1}{\sum wk}}$$

نظرات DM مختلف بهتر است زمانی وارد محاسبات گروهی شود که نرخ سازگاری نظرات هر DM کمتر از ۰/۱ باشد. پس از تشکیل ساختار سلسله مراتبی (در صورت موجودنبودن ماتریس تصمیم‌گیری D) نسبت به ایجاد ماتریس مربعی D اقدام شد. به منظور تشکیل ماتریس مربعی D از قضاوت DM درمورد اهمیت نسبی معیارها (گزینه‌ها) استفاده شد. DM می‌تواند یک فرد متخصص باشد. از آنجا که وزن ٤ معیار اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و طبیعی نسبت به یکدیگر نامشخص بود به کمک مقایسات زوجی مقادیر درجه اهمیت نسبی عناصر تعریف و مقایسه بین عناصر انجام شد. قضاوت در خصوص اهمیت (ترجیح) معیار i بر معیار j به کمک مقیاس فاصله‌ای براساس یکی از حالت‌های زیر صورت می‌گیرد که ساعتی این قضاوت‌ها را براساس مقادیر کمی ۱ تا ۹ مشخص نموده است (وزن طبیعی ۹ نمایانگر تاثیر مطلق یک عنصر بر دیگری بوده و تعیین‌کننده‌ترین تاثیر را دارد، وزن کالبدی ۷ نشان‌دهنده تاثیر بسیار قوی یک عنصر بر دیگری است، وزن اجتماعی ٥ نشانگر تاثیر قوی‌تر عنصر اول بر عنصر دوم می‌باشد، وزن اقتصادی ۳ نشان‌دهنده تاثیر نسبتاً قوی‌تر عنصر اول بر عنصر دوم است و مقدار ۱ نشان‌دهنده تاثیر ضعیف یک عنصر بر عنصر دیگر است. به عبارت دیگر، تاثیر کمی دارد) [Saaty, 2013].

برای حالت‌های بین موارد بالا اعداد زوج ۲ تا ۸ منظور شد. در مجموع، در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابتدا مقایسات زوجی بین معیارهای مربوطه و برای هر معیار، مقایسات زوجی بین گزینه‌های مربوطه در سطر بعد انجام شد تا ماتریس تصمیم‌گیری D ساخته شود. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری D به محاسبه وزن گزینه‌ها برای هر معیار پرداخته شد. فرض بر این است که ماتریس تصمیم $D_{n\times n}$ یک ماتریس مربعی باشد که در آن n تعداد معیارها باشد. بردار w که از حل دستگاه DW=λW حاصل می‌شود را بردار ویژه و مقادیر λ را مقادیر ویژه ماتریس D می‌گویند (رابطه ٦).

رابطه ٦)

$$DW = \lambda W$$
$$(D - \lambda I)W = 0$$

می‌دانیم در یک دستگاه همگن شرط جواب غیر صفر آن است که دترمینان ضرایب مخالف صفر باشد. لذا با توجه به اینکه W باید غیرصفر باشد می‌بایست معادله $|D-\lambda I| = 0$ برقرار باشد.

از حل معادله مشخص $|D-\lambda I| = 0$ مقادیر λ حاصل می‌شود و برای محاسبه W کافی است با استفاده از بزرگ‌ترین λ اکتسابی به حل دستگاه $D.W=\lambda_{max}.W$ پرداخته شود و در نتیجه (رابطه ۷)

رابطه ۷)

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} d_{ij} w_j}{\lambda_{\max}} \qquad i = 1 \;\; to \;\; n$$

یک روش تقریبی برای محاسبه بردار ویژه W استفاده از توان‌های متوالی برای ماتریس D است (رابطه ۸)

رابطه ۸)

$$W = \lim_{k \to \infty} \frac{D^k.e}{e^t.D^k.e} \qquad D^k = D^{k-1}.D$$
$$e^t = [1,1,..,1]$$

با افزایش مقدار k مقادیر W به سوی یک مقدار حدی سوق می‌یابد تا آنجا که برای یک ε مفروض داشته باشیم: $|W^k-W^{k-1}| < \varepsilon$

نرخ سازگاری باید از ۰/۱ کمتر باشد که چنین شده است. در ادامه، جمع مقادیر هر سطر را به دست آمده و بر جمع کل مقدار ماتریس تقسیم می‌شود تا مقدار وزن حاصل شود.

جدول ۲) ماتریس مقایسات زوجی حاصل از نظرسنجی از چند نفر

مولفه	طبیعی	اقتصادی	اجتماعی	کالبدی	مجموع	وزن
طبیعی	۱/۰۰۰	۷/۰۰۰	٥/۰۰۰	۲/۰۰۰	۱٥/۰	۰/٤٧٤۳۰۸
اقتصادی	۰/۱٤۲	۱/۰۰۰	۰/۳۳۳	۰/۲۰۰	۱/۷	۰/۰٥۲۹٦٤
اجتماعی	۰/۲۰۰	۳/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۲٥۰	٤/٥	۰/۱٤۰۷۱۱
کالبدی	۰/٥۰۰	٥/۰۰۰	٤/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱۰/٥	۰/۳۳۲۰۱٦

جدول ۲ ماتریس مقایسات زوجی را برای سنجش و مقایسه مولفه‌های طبیعی، اقتصادی، اجتماعی، کالبدی نشان می‌دهد. هر سلول در ماتریس نشان‌دهنده ارزیابی نسبی بین دو مولفه است که با نظرسنجی از جامعه مورد مطالعه انجام شده است. این ارزیابی‌ها معمولاً به صورت اعدادی از ۰٪ تا ۱٪ یا از ۰٪ تا ۱۰۰٪ هستند. وزن‌ها نیز نشان‌دهنده اهمیت مختلف مولفه‌ها در مقایسه‌ها هستند. به عنوان مثال، "مولفه طبیعی" با وزن بالاتر نسبت به سایر مولفه‌ها نشان می‌دهد که در این تحلیل، اهمیت بیشتری دارد. در مقابل، "مولفه اجتماعی" با وزن کمتر در این تحلیل کمترین اهمیت را دارد.

در مرحله دوم، ماتریس تصمیم D در D ضرب شده و یک ماتریس جدید D2 ایجاد شد، اقدامات مرحله اول مجدداً انجام شد، ضمن اینکه به محاسبه اختلاف هر وزن با وزن مرحله قبل نیز پرداخته شد. جدول ۳ براساس معیارهای مورد نظر پژوهش تهیه و ارزش‌ها به صورت عددی در آن وارد شد که ستون وزن اهمیت هر معیار را نشان می‌دهد و ستون اختلاف وزن با وزن مرحله قبل، تغییرات در

وزن معیارها را نسبت به مرحله قبل نشان می‌دهد و هر معیار با یک مقدار عددی نمایش داده شد که نشان‌دهنده تاثیر هر مورد به معیار مربوطه است و وزن معیارها تاثیر مستقیمی بر ارزش کلی هر مورد یا گزینه دارند. مرحله بعد تا جایی ادامه یافت که اختلاف تمام وزن‌ها با وزن‌های مرحله قبل از یک میکرو کمتر شود از آنجا که در مرحله ۲ این هدف حاصل نشد، به ناچار این اقدام تا چندین مرحله ادامه یافت.

جدول ۳) ماتریس تصمیم

مولفه	طبیعی	اقتصادی	اجتماعی	کالبدی	مجموع	وزن	اختلاف‌وزن
طبیعی	٤/٠	٣٩/٠	٢٠/٣	٦/٧	٧٠/٠	٠/٥١٢١٢٤	٠/٠٣٧٨١٦
اقتصادی	٠/٥	٤/٠	٢/٢	٠/٨	٧/٤	٠/٠٥٤٠٦٢	٠/٠٠١٠٩٧
اجتماعی	١/٠	٨/٧	٤/٠	١/٥	١٥/١	٠/١١٠٥١٢	-٠/٠٣٠٢٠٠
کالبدی	٢/٥	٢٥/٥	١٢/٢	٤/٠	٤٤/٢	٠/٣٢٣٣٠٢	-٠/٠٠٨٧١٤

ضریب اهمیت مولفه‌های طبیعی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی و وزن هر یک از مولفه‌ها برای تعیین و تحلیل اولویت‌ها و تاثیرات مختلف مولفه‌ها در پژوهش تعیین شد، پس از آن که مولفه‌ها به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شدند در نهایت وزن نهایی آنها به دست آمد، وزن شاخص‌ها براساس روش بردار ویژه نشانگر این است که تمام مولفه‌ها یک توصیف کامل از مساله را ارایه می‌دهند.

مدل تاپسیس فازی

برای اولویت‌بندی مناطق شهری کلانشهر کرمانشاه از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله از مدل تاپسیس فازی استفاده شد که برای حل مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌ها روش شناخته‌شده‌ای است، در این مدل، وزن‌ها و ماتریس تصمیم‌گیری به صورت اعداد فازی تعریف شد و همانند تاپسیس کلاسیک براساس فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی رتبه‌بندی شد. در مرحله اول، هر یک از متغیرهای زبانی که به وسیله پرسش‌نامه تکمیل شده بود برای تمام شاخص‌ها و مناطق کلانشهر کرمانشاه وارد جدول شد، سپس متغیرهای کیفی برای اینکه بتوان آنها را مورد آزمون قرار داد به متغیرهای کمّی تبدیل شد.

در نهایت، میزان فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی محاسبه شد. در این مرحله قصد بر آن بود که فاصله تا ایده‌آل منفی به دست آید. در هر گزینه برای شاخص‌های mگانه، مربع اختلاف کران پایین گزینه و کران پایین ایده‌آل منفی و مربع اختلاف عدد وسط گزینه و عدد وسط ایده‌آل منفی و مربع اختلاف کران بالای گزینه و کران بالای ایده‌آل منفی ساخته شد. سپس برای هر شاخص، میانگین سه عدد اخیر حاصل‌شده به دست آمده و جذر گرفته شد. در ادامه، جذرهای گرفته‌شده در هر شاخص با هم جمع شده و برای هر گزینه یک عدد حاصل شد که -SK نامیده می‌شود. به طور مشابه، حال باید فاصله تا ایده‌آل مثبت به دست آید که +SK نام می‌گیرد. در نهایت، با استفاده از فرمول ذیل Cl محاسبه شد و گزینه‌ها اولویت‌بندی شدند، رتبه نهایی هر گزینه Ci* مقدار (تاپسیس) CI* به دست آمده بین صفر و یک است و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، راهکار به دست آمده به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است (رابطه ۹).

رابطه ۹)

$$CI^{*}\frac{Sk^{-}}{Sk^{-}+Sk^{+}}$$

جدول ٤) ماتریس تصمیم

مولفه	منطقه ١	منطقه ٢	منطقه ٣	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٦	منطقه ٧	منطقه ٨
طبیعی	٣	٩	٩	٧	٧	٣	٥	٧
اقتصادی	٩	٥	٥	٩	٥	٧	٥	٩
اجتماعی	٩	٥	٥	٧	٥	٧	٥	٩
کالبدی	٩	٥	٥	٩	٧	٩	٥	٩

ماتریس تصمیم‌گیری برای ۸ گزینه و ۴ شاخص در جدول ۴ مشخص شده که تلفیق نظرات تصمیم‌گیرندگان است. اعداد ۹، ۷، ۵ و ۳ معادل بسیار مناسب، مناسب، نامناسب و بسیار نامناسب است.

یافته‌ها

به منظور تحلیل آسیب‌پذیری مخاطره زلزله در شهر کرمانشاه ابتدا مولفه‌ها و شاخص‌های اثرگذار در این فرآیند انتخاب شد و سپس آسیب‌پذیری کلانشهر کرمانشاه در برابر زلزله از طریق اولویت‌بندی شاخص‌ها بررسی شد. بر اساس پژوهش‌های مرتبط با توسعه شهری از دیدگاه مخاطره‌پذیری در برابر زلزله، همواره مولفه‌هایی همچون مولفه‌های طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و کالبدی مورد توجه قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های تحلیل و به‌کارگیری ساختار مولفه‌های اثرگذار، برآورد میزان آسیب‌پذیری روش و یا تکنیک بردار ویژه است. ابتدا یافته‌های بخش توصیفی پژوهش و در ادامه یافته‌های استنباطی تجزیه و تحلیل شد.

آنچه مسلم است این است که آسیب‌پذیری زلزله هر چقدر 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 مولفه‌ها و شاخص‌های مرتبط دقیق انجام پذیرد. در بحث ساختارشناسی شهری و بررسی وضعیت کالبدی-فضایی کلانشهر کرمانشاه عوامل متعددی از جمله نزدیکی و یا استقرار بر روی گسل، مساحت زیاد، نبود امکانات زیرساختی و غیره در افزایش میزان آسیب‌پذیری تاثیر بسزایی دارد. در مقاله حاضر، مولفه‌های طبیعی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی و شاخص‌های مورد پرسش، متناسب با اهداف و اصول پدافند غیرعامل شهری و در هم‌پوشی با مطالعات مشابه تهیه و تدوین شدند. این شاخص‌ها در جدول ۱ به تفصیل نمایش داده شده است تا در تحلیل آسیب‌پذیری مناطق هشت‌گانه شهرداری کلانشهر کرمانشاه و به عنوان داده ورودی مدل مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه، میزان تاثیرگذاری مولفه‌ها به وسیله

مدل آنتروپی شانون مورد سنجش قرار گرفت و با استفاده از دیدگاه کارشناسان و اساتید خبره در حوزه برنامه‌ریزی و زلزله، جدولی از مولفه‌ها به صورت تحلیل کیفی تدوین شد. در نهایت، نظرات متخصصان در قالب جدول اولویت‌بندی مناطق کلانشهر کرمانشاه از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله به صورت کمّی استخراج شد. یادآور می‌شود که اعداد ۹، ۷، ۵ و ۳ معادل بسیار مناسب، مناسب، نامناسب و بسیار نامناسب بود. در نهایت، وضعیت مناطق شهرداری کلانشهر کرمانشاه پس از ارزش‌گذاری به‌وسیله متخصصین امر، در مدل تاپسیس فازی مورد تحلیل قرار گرفت. در مرحله بعد، به تحلیل نقشه خروجی به دست آمده به منظور مقایسه مناطق شهری از نظر توسعه کالبدی و غیره اقدام شد و نتایج عملی از جمله تعیین جهات بهینه توسعه آتی و کاستن از آثار بحرانی زلزله با شناسایی محدوده‌های آسیب‌پذیر و میزان آسیب‌پذیری مناطق سکونتگاهی به دست آمد.مولفه کالبدی اهمیت کمتری نسبت به دیگر مولفه‌ها داشت، اهمیت مولفه اجتماعی و در مرحله بعد مولفه اقتصادی کمتر از مولفه‌های دیگر بود و مولفه طبیعی تاثیرگذاری بیشتری را به خود اختصاص داد. در فایل مربوط به بردار مقدار اپسیلون یک میکرو در نظر گرفته شد و مقدار وزن نهایی محاسبه شد، نرخ سازگاری محاسبات نیز زیر ۰/۱ بود و نتیجه قابل قبول بود. چراکه، اگر نرخ سازگاری بالاتر از این مقدار باشد نتیجه قابل قبول نیست و باید بازنگری شود در اینجا نتایج روش بردار ویژه قابل قبول بود. یافته‌های به دست‌آمده از تکنیک بردار ویژه در بررسی وضعیت مولفه‌های آسیب‌پذیری در برابر زلزله در کلانشهر کرمانشاه با استفاده از روش بردار نشان داد مولفه طبیعی از اهمیت بالایی برخوردار است و در اولویت اول، مولفه کالبدی هم اهمیت قابل توجهی دارد، در اولویت دوم و مولفه اجتماعی و اقتصادی با درجه اهمیت کمتری در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

مولفه‌های مورد نظر پژوهش برای مناطق هشت‌گانه شهرداری کلانشهر کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفت که این ارزیابی‌ها نشان‌دهنده مناسب یا نامناسب‌بودن هر مولفه برای هر منطقه است. نتایج نشان داد بیشتر مناطق از نظر مولفه‌های طبیعی و اقتصادی "مناسب"، از نظر مولفه اجتماعی، مناطق ۱ و ۸ "بسیار مناسب" و در عین حال، مناطق ۲، ۳، ٦ و ۷ "نامناسب" ارزیابی شدند که نیاز به توجه و بهبود در این مولفه‌ها دارند، مناطق ۱، ٤ و ٦ از نظر مولفه کالبدی "بسیار مناسب" ، اما مناطق ۲، ۳، ۵، ۷ و ۸ "نامناسب" ارزیابی شدند و نیاز به تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و اصلاحی دارند، تفاوت‌ها در ارزیابی مناطق، نشانگر اتخاذ تصمیمات منطقی‌تری برای بهبود آسیب‌پذیری در برابر را زلزله بود (جدول ٤).

جدول ۵) ماتریس تصمیم فازی و مجذور مقادیر

مولفه	منطقه ۱			منطقه ۲			منطقه ۳			منطقه ٤			منطقه ۵			منطقه ٦			منطقه ۷			منطقه ۸		
ماتریس تصمیم فازی																								
طبیعی	۱	۳	۵	۷	۹	۹	۷	۹	۹	۵	۷	۹	۵	۷	۹	۱	۳	۵	۳	۵	۷	۵	۷	۹
اقتصادی	۷	۹	۹	۳	۵	۷	۳	۵	۷	۷	۹	۹	۳	۵	۷	۵	۷	۹	۳	۵	۷	۷	۹	۹
اجتماعی	۷	۹	۹	۳	۵	۷	۳	۵	۷	۷	۵	۹	۳	۵	۷	۵	۷	۹	۳	۵	۷	۷	۹	۹
کالبدی	۷	۹	۹	۳	۵	۷	۳	۵	۷	۷	۷	۹	۵	۷	۹	۷	۹	۹	۳	۵	۷	۷	۹	۹
مجذور مقادیر																								
طبیعی	۱	۹	۲۵	٤۹	۸۱	۸۱	٤۹	۸۱	۸۱	۲۵	٤۹	۸۱	۲۵	٤۹	۸۱	۱	۹	۲۵	۹	۲۵	٤۹	۲۵	٤۹	۸۱
اقتصادی	٤۹	۸۱	۸۱	۹	۲۵	٤۹	۹	۲۵	٤۹	٤۹	٤۹	۸۱	۹	۲۵	٤۹	۲۵	٤۹	۸۱	۹	۲۵	٤۹	٤۹	۸۱	۸۱
اجتماعی	٤۹	۸۱	۸۱	۹	۲۵	٤۹	۹	۲۵	٤۹	۲۵	٤۹	۸۱	۹	۲۵	٤۹	۲۵	٤۹	۸۱	۹	۲۵	٤۹	٤۹	۸۱	۸۱
کالبدی	٤۹	۸۱	۸۱	۹	۲۵	٤۹	۹	۲۵	٤۹	٤۹	٤۹	۸۱	۲۵	٤۹	۸۱	٤۹	۸۱	۸۱	۹	۲۵	٤۹	٤۹	۸۱	۸۱

مقادیر حاصل از ارزیابی به صورت اعداد فازی برای هر مولفه و منطقه در جدول ۵ نشان داده شده است.

سپس، بی‌مقیاس‌سازی با استفاده از روش نُرم اقلیدسی انجام شد. جذر مجموع مربعات کران‌های پایین مناطق ۸گانه برای هر شاخص به دست آمد. این عملیات برای اعداد وسط و کران بالا نیز انجام شد. در مرحله بعد، کران پایین مناطق ۸گانه بر کران بالای نُرم اقلیدسی تقسیم شده و کران بالای مناطق ۸گانه بر کران پایین نُرم اقلیدسی تقسیم شد و اعداد وسط مناطق ۸گانه بر اعداد وسط نُرم اقلیدسی تقسیم شد، بدین ترتیب ماتریس بی‌مقیاس به دست آمد. وزن شاخص‌ها به روش بردار ویژه و یا آنتروپی شانون به دست آمده و وزن‌ها به فرمت مثلثی درآمد و برای به‌دست‌آوردن میزان فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی از فرمول‌های ذیل استفاده شد (رابطه ۱۰).

رابطه ۱۰)

$$d^{+} = \sqrt{1/3 \sum_{j=1}^{m} (aij - lV^{+}ij^{+})2 + (bij - mV^{+}ij^{+})2 + (cij - uV^{+}ij^{+})2}$$

$$d^{-} = \sqrt{1/3 \sum_{j=1}^{m} (aij - lV^{-}ij^{-})2 + (bij - mV^{-}ij^{-})2 + (cij - uV^{-}ij^{-})2}$$

میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده‌آل و اولویت‌بندی آنها در این مرحله محاسبه می‌شود (رابطه ۱۱).

رابطه ۱۱)

$$CI^{*}\frac{Sk^{-}}{Sk^{-}+Sk^{+}}$$

برای محاسبه مقدار فاصله هر گزینه تا ایده‌آل مثبت با استفاده از فرمول جذر میانگین مربع اختلاف کران‌های گزینه‌ها تا کران‌های ایده‌آل مثبت (ماتریس+D) نیاز است که مربع اختلاف هر عدد در هر ستون با کران مثبت متناظر آن محاسبه شود. سپس میانگین این مربعات را محاسبه شده و جذر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، برای هر منطقه و هر مولفه، ابتدا اختلاف مقدار گزینه با کران مثبت متناظر آن محاسبه شده و سپس میانگین مربع این اختلافات به دست می‌آید. در نهایت، جذر میانگین مربع اختلاف‌ها برای هر منطقه و مولفه محاسبه می‌شود (جدول ٦).

جدول ٦) مقدار فاصله هر گزینه تا ایده‌آل مثبت به کمک فرمول جذر میانگین مربع اختلاف کران‌های گزینه‌ها تا کران‌های ایده‌آل مثبت (ماتریس+D)

مولفه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٦	منطقه ۷	منطقه ۸
طبیعی	۲/٥٠٥١٦٦	۰/۰۰۰۱۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/٦٦٠٦٤٢	۰/٦٦٠٦٤٢	۲/٥٠٥١٦٦	۱/٥۲۷۳۳٤	۰/٦٦٠٦٤۲
اقتصادی	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/٥٤۱۲٥۹	۰/٥٤۱۲٥۹	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/٥٤۱۲٥۹	۰/۱۸۲۱٤٤	۰/٥٤۱۲٥۹	۰/۰۰۰۰۰۰
اجتماعی	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۹۰٤۲۹٦	۰/۹۰٤۲۹٦	۰/۳٤۰۱۰۲	۰/۹۰٤۲۹٦	۰/۳٤۰۱۰۲	۰/۹۰٤۲۹٦	۰/۰۰۰۰۰۰
کالبدی	۰/۰۰۰۰۰۰	۱/۱۲۲٦٥۹	۱/۱۲۲٦٥۹	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/٤٥٤۱۱٤	۰/۰۰۰۰۰۰	۱/۱۲۲٦٥۹	۰/۰۰۰۰۰۰

محاسبه میزان نزدیکی که به محاسبه رتبه گزینه‌ها منتهی می‌شود در جدول ۷ ارایه شده است. منطقه ۸ در رتبه اول، منطقه ٤ در رتبه دوم، منطقه ٥ در رتبه سوم، منطقه ۱ در رتبه چهارم، منطقه ۲ و ۳ رتبه پنجم، منطقه ٦ رتبه ششم و منطقه ۷ رتبه هفتم را داشتند. باتوجه به نتایج به دست‌آمده از مدل تاپسیس فازی میزان و دامنه آسیب‌پذیری مناطق ۸، ٤، ٥ و ۱ دارای کمترین میزان آسیب‌پذیری و مناطق دیگر (۷، ٦، ۳ و ۲) از وضعیت و موقعیت تقریباً نامطلوبی برخوردار بودند؛ اما به طور کلی کاربری فضای باز و سبز مناطق ٥ و ۲ و تا حدودی منطقه ٦ از وضعیت نسبتاً نامطلوبی برخوردار بود.

جدول ۷) ماتریس +Sk حاصل جمع مقادیر و محاسبه میزان نزدیکی و محاسبه رتبه مناطق

منطقه	SK+	CL	رتبه
۱	۲/٥۰٥۲	۰/٥۰٦۲۱٤	چهارم
۲	۲/٥٦۸۲	۰/٤۹۳۷۸٦	پنجم
۳	۲/٥٦۸۲	۰/٤۹۳۷۸٦	پنجم
۴	۱/۰۰۰۷	۰/۸۱۳۷۸۲	دوم
۵	۲/٥٦۰۳	۰/٥۲٤٥۱٦	سوم
۶	۳/۰۲۷٤	۰/٤۲٦۱۹۰	ششم
۷	٤/۰۹٥٥	۰/۱۹۸۰۸۱	هفتم
۸	۰/٦٦۰٦	۰/۸۷٤۲۱٤	اول

بحث

بررسی‌ها نشان می‌دهد آنچه بحران زلزله را در شهرها به یک فاجعه تبدیل می‌کند در بسیاری موارد وضعیت شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری نامناسب است بنابراین، با به‌کاربردن اصول پدافند غیرعامل متناسب با مباحث برنامه‌ریزی شهری و دفاع شهری، همچون برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، تمرکززدایی، جلوگیری از توسعه نواحی در هم‌جواری با کاربری‌های پرمخاطره و مورد تهدید، می‌توان ضریب آسیب‌پذیری شهرها را در مقابل مخاطره زلزله کاهش داد. از سوی دیگر با ارزیابی پتانسیل خطر زلزله، احتیاط‌های موردنیاز کاهش پیداکرده و می‌توان از یک تراژدی بزرگ و ازدست‌دادن جان بسیاری از مردم اجتناب ورزید [Khatsü, 2011]. نقش و اهمیت جایگاه کلانشهر کرمانشاه با توجه به جمعیت‌پذیری آن تحلیل آسیب‌پذیری زلزله را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. هدف پژوهش حاضر ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلانشهر کرمانشاه از منظر پدافند غیرعامل و بررسی مولفه‌های اثرگذار در زلزله بود که نتایج پژوهش حاضر در این راستا نشان داد که در تدوین استراتژی‌ها و سیاست‌های آمادگی و مدیریت بحران، ابتدا نیاز است که به فاکتورهایی همچون فاصله از گسل و درصد شیب زمین توجه شود. در مرحله بعد، اهمیت عواملی مانند فاصله از خیابان‌های اصلی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و مراکز درمانی، کاربری اراضی و غیره و سپس تاثیر عوامل و جوانب اجتماعی (مانند تراکم جمعیت و خانوار و غیره) مدنظر قرار گیرد. در نهایت، مولفه‌های اقتصادی همچون تراکم تکفل، تراکم جمعیت فعال، غیرفعال و نرخ بیکاری و غیره اهمیت خود را به عنوان یک عامل موثر در حفظ پایداری اقتصادی و اجتماعی پس از وقوع زلزله نشان می‌دهند تا به بهبود آمادگی کلانشهر کرمانشاه برای مواجهه با مخاطره زلزله به‌طور موثرتری کمک شود [Ebrahimi *et al.*, 2016].

نتایج رتبه‌بندی مناطق شهری کرمانشاه از لحاظ آسیب‌پذیری در برابر زلزله بر اساس مدل تاپسیس فازی نشانگر این بود که مناطقی با رتبه‌های بالاتر از نظر خطرپذیری احتیاج به توجه و اقدامات فوری در زمینه مدیریت بحران زلزله دارند. همچنین، مناطق با رتبه‌های پایین‌تر نیز به نوعی کمتر تحت تاثیر از زلزله‌ها قرار می‌گیرند، اما همچنان نیاز به برنامه‌ریزی برای افزایش پایداری در مقابل حوادث زلزله دارند. این تحلیل می‌تواند به تدوین استراتژی‌ها و تصمیمات مدیریتی در حوزه آمادگی و پاسخگویی در مواجهه با زلزله کمک کند. نتایج پژوهش حاضر از نظر هدف با پژوهش *عیسی‌لو* و همکاران همسو است که در ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی نواحی شهرداری بافت منطقه یک شهر تهران در برابر زلزله از روش تحلیل سلسله مراتبی IHWP در محیط Arc GIS برای نواحی ده‌گانه شهرداری منطقه یک تهران استفاده کردندو آنها را از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله رتبه‌بندی کرده‌اند [Isalu *et al.*, 2015]. همچنین، پژوهش

محمدپور و همکاران از نظر موضوع و روش‌های مورد استفاده با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. این مقاله با رویکرد مدیریت بحران زلزله در محله سیروس تهران به تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری در بافت‌های فرسوده شهری پرداخته است که یافته‌های این پژوهش نشانگر آسیب‌پذیری بالای محدوده موردمطالعه با توجه به عوامل کالبدی مورد تحلیل است [Mohammadpour *et al*, 2016]. همچنین، پژوهش حاضر از نظر پهنه‌بندی خطر و آسیب‌پذیری مناطق شهرداری برای سهولت در شناسایی مناطق بحرانی کلانشهر کرمانشاه از منظر پدافند غیرعامل با نتایج پژوهش *کریمی* و *امیریان* و *علی‌خانی* و همکاران در بررسی آسیب‌پذیری پهنه‌های شهری با رویکرد پدافند غیرعامل هم‌راستا است که نشان می‌دهد در کلانشهر کرمانشاه، شبکه زیرساخت‌های شهری نقش بسزایی در آسیب‌پذیری شهر ایفا می‌کند که لزوم ارزیابی و تقویت ساختارهای شهری از جمله پل‌ها، تونل‌ها و تجهیزات شهری، استفاده از سامانه‌های پیش‌بینی زلزله و پایش لرزه‌ها و تهیه طرح‌های اضطراری برای مدیریت بحران ضروری به‌نظر می‌رسد و در کنار این اقدامات، همکاری بین مراکز مختلف شهری و دولتی می‌تواند به افزایش امنیت در برابر زلزله کمک کند [Karami & Amirian, 2018; Alikhani *et al*., 2018].

نتایج پژوهش حاضر از نقطه‌نظر استفاده از مدل‌ها با پژوهش‌های انجام شده توسط *فرجزاده* و همکاران و *مددی* و همکاران و همسو است، چرا که پژوهش‌های اشاره‌شده هم آسیب‌پذیری مناطق مرکزی شهر را به فرسودگی بافت و ساخت‌وساز در جوار خطوط گسل در محلات حاشیه‌نشین و کمبود فضاهای باز و سبز و غیره نسبت داده‌اند [Farajzadeh *et al*., 2011]. در این نوشتار هم آسیب‌پذیری مناطق شهری کرمانشاه به فاصله از گسل، وضعیت و جایگاه طبقه اقتصادی و اجتماعی ساکنین، مقاومت سازه، میزان فضاهای باز و سبز، نوع تراکم جمعیت و غیره نسبت داده شد. تمامی این موارد لزوم مطالعات زمین‌شناسی برای تشخیص خطرات زلزله، مقاوم‌سازی ساختمان‌های بافت فرسوده کلانشهر کرمانشاه، تنظیم قوانین ساخت و ساز، تخلیه مساکن موجود در جوار گسل، آموزش عمومی افراد، استفاده از تجهیزات ایمنی، پایش و ارزیابی دوره‌ای ساختمان‌ها جهت اطمینان از کیفیت و مقاومت آنها در برابر زلزله را تداعی می‌کند.

در پژوهش حاضر از روش پرسشنامه‌ای مدل تاپسیس برای ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق هشت‌گانه شهرداری کلانشهر کرمانشاه و بیش از ٤٥ شاخص در ٤ مولفه استفاده شد. در مقایسه با مقالات دیگر که تنها در وزن‌دهی از پرسش‌نامه‌ای با تعداد شاخص‌های محدود استفاده کرده‌اند، خروجی نهایی این پژوهش به صورت پهنه‌بندی در نرم‌افزار GIS ترسیم شد. در این راستا و متناسب با خروجی مدل و عنوان مقاله و با عنایت به اینکه آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلانشهر کرمانشاه با قرارگیری خطوط گسل و غیره ارتباط معناداری دارد پیشنهادهایی به شرح زیر ارایه می‌شود.

۱- بازنگری طرح جامع با اولویت نوسازی و بهسازی بافت‌های فرسوده شهری و مناطق آسیب‌پذیرو لزومتوجه به پیوست پدافند غیرعامل در تهیه طرح‌های توسعه شهری.

۲- تغییر و انتقال کاربری‌های معارض، استفاده از اراضی قهوه‌ای و بازیافتی، توسعه و ایجاد کاربری‌های چندمنظوره و انعطاف‌پذیر و حتی‌الامکان دوری‌گزینی از گسل‌ها.

۳- توجه به الگوی شکل شهر و پذیرش اینکه الگوی کالبدی-فضایی شهر به صورت شعاعی-خطی (الگوی فعلی) شاید بهترین مدل برای توسعه شهری کلانشهر کرمانشاه با نظم داخلی-شطرنجی باشد هرچند توسعه‌ای اندک در حوزه غربی شهر لازم است و بهتر است در الگوی توسعه آتی مد نظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

آسیب‌پذیری مناطق هشتگانه کلانشهر کرمانشاه در برابر زلزله را می‌توان به فاصله ساخت‌وسازهای شهری از گسل، جایگاه طبقه اقتصادی و اجتماعی ساکنین، مقاومت سازه، میزان فضاهای باز و کاربری‌های امدادی، تراکم جمعیت، هم‌جواری‌ها و وجود محلات فرسوده نسبت داد.

تشکر و قدردانی: موردی از طرف نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه اخلاقی: موردی از طرف نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از طرف نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: کیومرث ملکی (نویسنده اول) پژوهشگر اصلی/نگارنده مقدمه/تحلیل‌گر آماری(۵۰٪)؛ محمدرضا پورمحمدی (نویسنده دوم)، روش‌شناس (۲۰٪)؛ هانیه یوسفی شهیر (نویسنده سوم)، روش‌شناس/نگارنده بحث (۲۰٪)؛ بهزاد مسعودی اصل (نویسنده چهارم)، پژوهشگر کمکی/تحلیل‌گر آماری (۱۰٪)

منابع مالی: این پژوهش با هزینه شخصی نویسندگان نوشته شده است.

منابع

- Akbari I, Talshi M, Kerami M, Maleki K (1400). Vulnerability analysis of natural, physical, social and economic dimensions of Kermanshah metropolis against earthquakes. Geographical Information Scientific Research Quarterly (Sephehr). 30(117):223-249.
- Alavi A, Ebrahimi M, NajafpourMahmoudabad B, Khaledi A (2016). The assessment of Minab's worn urban textures versus earthquakes. Emergency Management. 5(9):71-82. [Persian]
- Alexander D (2002). Principles of emergency planning and management. England: Oxford University Press.
- Alikhani A, Barzegar A, Nooralhi H (2018). Presentation of a comprehensive evaluation model of the vulnerability of urban areas by dividing the constituent layers of the city with a passive defense approach. Emergency Management. 8(16):33-46. [Persian]
- Alshehabi O (2014). Migration, urban commodification, and the " right to the city " in the GCC. Transit States: Labour, migration, and citizenship in the Gulf. London: Pluto Books.
- Bazrafshan J, Toulabi Nejad M, Toulabi Nejad M (2018). Spatial analysis of differences in urban and rural areas in terms resilience against spontaneous phenomena (case study: City Poldokhtar). Journal of Rural Research.

University of Tabriz. Supervisor: Professor Mohammad Reza Pourmohammadi. [Persian]
- Maleki K, Pourmohammad M, Yousefi Shahir H, Karami M (2022). Assessing the neighborhood-spatial structure of urban settlements based on earthquake risk from the perspective of passive defense (case study: Kermanshah metropolis). Emergency Management. 11(2). [Persian]
- Mohammadpour S, Zali N, Pourahmad A (2016). Analysis of seismic vulnerability factors in urban old texture with the approach of earthquake crisis management (case study: Sirus neighborhood). Human Geography Research Quarterly. 48(1):33-52. [Persian]
- Paton D, Johnson D (2001). Disasters and communities: Vulnerability, resilience and preparedness. Disaster Prevention & Management. 10(4):270-277.
- Pourmohammadi M, Maleki K (2016). Passive defense and security and development strategies urban regional. 1st ed. Tehran: Shahr Publishing Institute in collaboration with the Social and Cultural Affairs Deputy of Tehran Municipality. [Persian]
- Pourmohammadi M, Maleki K (2021). Passive defense and security and development strategies urban regional. 2nd ed. Tabriz: Foroozesh Publishing. [Persian]
- Rashed T, Weeks J, Couclelis H, Herold M (2017). An integrative GIS & remote sensing model for place-based urban vulnerability analysis. In: Mesev V, editor. Integration of GIS and remote sensing. New Jersey: Wiley. p. 199-231.
- Saaty TL (2013). Theory and applications of the analytic network process: Decision ,aking with benefits, opportunities, costs, and risks. Pittsburgh: RWS Publications.
- Soltani A, Musavi R, Zali N (2017). Analysis and risk assessment of regional infrastructure with passive defense approach (case study: One south Pars industrial zone). Journal of Regional Planning. 7(25):83-94. [Persian]
- Tapsell S, McCarthy S, Faulkner H, Alexander M (2010). Social vulnerability to natural hazards. London: Flood Hazard Research Centre (FHRC), Middlesex University.
- Shams M, Masoumpour Samakoush J, Saeidi S, Shahbazi H (2011). The study of earthquake crisis management in Kermanshah city's eroded tissues: A case study of Feyzabad district. Environmental Based Territorial Planning (Amayesh). 4(13):41-66. [Persian]
- Zangiabadei A, Mohammadi J, Safaei H, Ghaed Rahmati S (2008). Vulnerability indicators assessment of urban housing against the earthquake hazard case study: Isfahan housing. Geography and Development. 6(12):61-79. [Persian]
- Ziari K, Ehsanifard A (2022). Future research of urban smart growth and probable and desirable scenario making with structural and network analysis method (case study: Dar ol-marhame, Semnan). Urban Planning Knowledge. 6(1). [Persian]
9(1):116-135. [Persian]
- Chanliang X, lin C, Wei S, Wei W (2011). Vulnerability of large city and its implication in urban planning: A perspective of intra-urban structure. Chinese Geographical Science. 21(2):204-210.
Link:
- Church RL, Murray AT (2008). Business site selection, location analysis and GIS. New Jersey: Wiley.
- Cutter SL, Ash KD, Emrich CT (2016). Urban–rural differences in disaster resilience. Annals of the American Association of Geographers. 106(6):1236-1252.
- Ebrahimi M, Salmani Moghadam M, Amiraahmadi A, Nouri M (2016). Bardaskan seismic vulnerability assessment against earthquake using Inversion Hierarchical Weight Process (IHPW). Journal of Natural Environmental Hazards. 4(6):105-137. [Persian]
- Farajzadeh M, Ahadenjad M, Amini J (2011). The vulnerability assessment of urban housing in earthquake against (a case study: 9th district of Tehran municipality). Urban Regional Studies and Researche. 3(9):19-36. [Persian]
- Hosseinzadeh Dalir K, Maleki K, Shafaati A, HeydariFar MR (2012). The passive defense and sustainable development with emphasis on threat ridden land uses of Tabriz, as a metropolitan city, in terms of war. Geography and Environmental Sustainability. 2(5):1-24. [Persian]
- Isalu Sh, Latifi G, Gudarzi V (2015). Evaluation of physical vulnerability in district one of Tehran city against a possible earthquake using "IHWP" method and "GIS" system. Geographical Data. 25(100):73-87. [Persian]
- Karami M, Amirian S (2018). Zoning the urban earthquake vulnerability using fuzzy logic-AHP model (case study: Tabriz city). Physical Development Planning. 5(2): 110-124. [Persian]
-Khatsü P (2011). Urban multi-hazard risk analysis using GIS and remote sensing: A case study of a part of Kohima town, India. Germany: Lap Lambert Academic Publishing. P. 101-121.
- Maleki K (2018). Regional land use planning of Kermanshah province, Part 1, Chapter 4, Research Section: non-military defense and environmental hazards, Kermanshah provincial management and planning organization. Implemented by Razi University. project manager Dr. Jamal Fathollahi. Summer, 367. [Persian]
- Maleki K (2020). Explaining and presenting a spatial-cognitive model of urban development in earthquake-prone areas (case study: Kermanshah metropolitan area) [dissertation]. Tehran: Payame Noor University. [Persian].
- Maleki K (2023). Threat network and risk loop in earthquake crisis with a focus on non-military defense in land use planning (case study: Tabriz metropolitan area). Post-doctoral research project in geography and urban planning. Geography and Urban Planning Department, Faculty of Planning and Environmental Sciences,