Passive Defence
Vol. 16, No. 4, Winter 2026, Serial No. 64
ISSN: 2980-8030 , E-ISSN: 2008-6849

Passive Defense and Earthquake Risk Assessment in Urban Centers Using Linear Allocation Techniques (Case Study of Kermanshah Metropolis)

Kiumars Maleki*[1], Mohammadreza Pourmohammadi[2], Hanieh Yousefi Shahir[3], Masoud Norouzi[4], Mina Kashani Hamadani[5]

[1]Correspondence: Postdoctoral Researcher, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email Address: kioumars.maleki@tabrizu.ac.ir
[2]Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email Address: pourmohammadi@tabrizu.ac.ir
[3]Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, Marand Islamic Azad University, Marand, Iran. Email Address: hyousefi.geo@gmail.com
[4]Expert, Management and Planning Organization, Kermanshah, Iran. Email Address: masoudmath1351@gmail.com
[5]Urban Planning Researcher, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Isfahan Branch, Isfahan, Iran. Email Address: shahrsaz63@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 12 July 2025

Received in revised form: 18 August 2025

Accepted: 20 September 2025

Available online: 20 January 2026

Keywords:

Passive Defense

Earthquake

Risk Assessment

Linear Assignment Technique

Kermanshah Metropolis

ABSTRACT

Iran's location on a major seismic belt, the high vulnerability of its cities, and the inefficiency of the existing crisis management system highlight the necessity of applying passive defense principles. This study aims to assess earthquake risk in the metropolis of Kermanshah by identifying and analyzing vulnerability components across four dimensions—natural, physical, social, and economic—using 44 specialized indicators. Data were collected through questionnaires and expert consultations and processed using GIS and LINGO software. The applied method was the Linear Assignment Technique, which enables the ranking of urban districts in terms of seismic vulnerability. The results indicated that Districts 7 and 3 exhibit the highest levels of risk, whereas Districts 8 and 6 show the lowest levels of vulnerability. Furthermore, the findings revealed that the spatial overlap of physical and social indicators with fault-line locations plays a decisive role in the severity of potential damages. Based on these findings, the key factors contributing to increased risk in critical areas were identified, and strategies aligned with passive defense principles were proposed to reduce urban vulnerability.

Cite this article: K. Maleki, M. R. Pourmohammadi, H. Yousefi Shahir, M. Norouzi, and M. Kashani Hamadani, "Passive Defense and Earthquake Risk Assessment in Urban Centers Using Linear Allocation Techniques (Case Study of Kermanshah Metropolis)," Journal of Passive Defence, vol. 16, no. 4, pp. 105-120, 2026. DOI: https://doi.org/10.47176/PD.2026.1554

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University.

Introduction

Iran is located on the Alpine–Himalayan seismic belt, making it one of the most earthquake-prone countries in the world. The high frequency of destructive earthquakes, combined with rapid urbanization, population concentration, and inadequate crisis management systems, has significantly increased the vulnerability of Iranian cities. In recent decades, earthquake-related disasters have resulted in substantial human casualties and economic losses, highlighting the urgent need for preventive and non-structural approaches to risk reduction.

Passive defense, as a strategic and non-military approach, emphasizes foresight, spatial planning, and vulnerability reduction to mitigate the impacts of natural hazards such as earthquakes. In urban contexts, passive defense principles focus on land-use planning, dispersion of critical facilities, resilience of infrastructure, and reduction of exposure to hazards. Integrating these principles into urban planning can significantly enhance cities' capacity to withstand seismic events.

The metropolis of Kermanshah, located in western Iran, represents a highly vulnerable urban area due to its proximity to active fault lines, complex topography, dense population, and strategic geopolitical position. The devastating 2017 earthquake in the region exposed major weaknesses in urban preparedness and risk management. Therefore, systematic assessment of seismic vulnerability using scientific and spatial decision-making models is essential for informed planning and effective disaster risk reduction.

This study aims to assess earthquake risk in Kermanshah metropolis by identifying and analyzing urban vulnerability components based on passive defense principles. Specifically, the research seeks to (1) evaluate seismic vulnerability across natural, physical, social, and economic dimensions; (2) rank municipal districts according to their level of earthquake risk; and (3) propose practical strategies aligned with passive defense to reduce urban vulnerability. To achieve these objectives, the Linear Assignment Method (LAM) integrated with GIS tools was employed as a multi-criteria decision-making approach.

Results and Discussion

The research adopted an applied and descriptive–analytical methodology. Data were collected through a structured questionnaire distributed among 30 experts and academics specializing in urban planning, geography, and earthquake risk management. The questionnaire was designed based on four main vulnerability components—natural, physical, social, and economic—and included 44 specialized indicators. The reliability of the instrument was confirmed using Cronbach's alpha ($\alpha = 0.82$), indicating acceptable internal consistency.

Expert judgments were quantified using a five-level qualitative scale, which was converted into numerical values for analysis. The collected data were processed using GIS software for spatial analysis and LINGO software for solving the linear assignment optimization model. The Linear Assignment Method was selected due to its ability to rank multiple alternatives simultaneously based on weighted criteria and its compatibility with spatial decision-making systems.

The results of the analysis revealed significant spatial disparities in seismic vulnerability among the eight municipal districts of Kermanshah. Districts 7 and 3 were identified as the most vulnerable areas, primarily due to high population density, aging building structures, proximity to active fault lines, inadequate road networks, and limited access to emergency facilities. In contrast, Districts 8 and 6

demonstrated the lowest levels of vulnerability, benefiting from relatively newer urban fabrics, better infrastructure quality, and greater distance from seismic fault zones.

The findings also showed that physical and social vulnerability indicators play a decisive role in determining overall seismic risk. Areas with dense residential textures, narrow streets, and high concentrations of vulnerable population groups (children and the elderly) were particularly susceptible to severe earthquake damage. Moreover, the overlap between high-risk physical indicators and fault-line locations significantly increased the intensity of potential losses.

To validate the robustness of the Linear Assignment Method, the results were compared with outputs from the Weighted Sum Model implemented in a GIS environment. The comparison demonstrated over 78% consistency between the two methods, confirming the reliability and stability of the applied model. Sensitivity analysis further indicated that moderate changes in indicator weights did not substantially alter the final ranking of districts, underscoring the methodological strength of the approach.

From a passive defense perspective, the results highlight the importance of spatial reorganization, decentralization of critical land uses, and strengthening of urban infrastructure in high-risk districts. The integration of non-structural measures, such as land-use compatibility, emergency accessibility, and multifunctional open spaces, can significantly reduce urban vulnerability and improve resilience against seismic hazards.

Conclusion

This study demonstrates that integrating passive defense principles with multi-criteria decision-making techniques provides an effective framework for urban earthquake risk assessment. By applying the Linear Assignment Method combined with GIS analysis, the research successfully identified and ranked seismic vulnerability across municipal districts of Kermanshah metropolis.

The results indicate that Districts 7 and 3 require immediate intervention due to their high vulnerability, while Districts 8 and 6 can be considered relatively safe zones suitable for post-disaster support functions such as temporary shelters, emergency logistics, and relief centers. The findings emphasize that physical and social factors, particularly building quality, population density, and access to critical infrastructure, are key determinants of urban seismic risk.

Based on the outcomes, several practical recommendations aligned with passive defense principles are proposed: restricting hazardous land uses in high-risk areas, enhancing emergency road networks, promoting resilient and multifunctional urban spaces, and employing smart monitoring and early warning systems. Additionally, developing an integrated and dynamic “urban vulnerability map” can support real-time decision-making and improve disaster preparedness.

Despite its contributions, the study faces limitations related to expert-based data collection and the static nature of some indicators. Future research can expand the analytical framework by incorporating dynamic data sources, advanced decision-making models, and longitudinal assessments. Overall, the proposed approach offers valuable insights for urban planners, policymakers, and disaster management authorities aiming to enhance seismic resilience and reduce urban vulnerability through passive defense strategies.

پدافند غیرعامل

سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، (پیاپی ۶۴): صص ۱۲۰-۱۰۵

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | شاپای الکترونیکی: ۸۰۳۰-۲۹۸۰

پدافند غیرعامل و ارزیابی خطر زلزله در مراکز شهری با استفاده از روش‌های تخصیص خطی (مطالعه موردی کلان‌شهر کرمانشاه)

کیومرث ملکی[*1]، محمدرضا پورمحمدی[2]، هانیه یوسفی شهیر[3]، مسعود نوروزی[4]، مینا کشانی همدانی[5]

[1] پژوهشگر پسادکتری گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران(نویسنده مسئول). رایانامه: kioumars.maleki@tabrizu.ac.ir

[2] استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: pourmohammadi@tabrizu.ac.ir

[3] استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه آزاد مرند، مرند، ایران. رایانامه: hyousefi.geo@gmail.com

[4] کارشناس سازمان مدیریت و برنامه ریزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: masoudmath1351@gmail.com

[5] پژوهشگر شهرسازی، جهاد دانشگاهی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: shahrsaz63@yahoo.com

چکیده

قرارگیری ایران بر روی کمربند زلزله، آسیب‌پذیری بالای شهرها و ناکارآمدی مدیریت بحران موجود، ضرورت به‌کارگیری اصول پدافند غیرعامل را آشکار می‌سازد. این پژوهش باهدف ارزیابی خطر زلزله در کلان‌شهر کرمانشاه، مؤلفه‌های آسیب‌پذیری را در چهار بُعد طبیعی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی و با استفاده از ۴۴ شاخص تخصصی شناسایی و تحلیل کرده است. داده‌ها از طریق پرسش‌نامه و نظرخواهی ازکارشناسان گردآوری و در محیط GIS و نرم‌افزار LINGO پردازش‌شده است. روش به‌کاررفته تخصیص خطی بوده که امکان رتبه‌بندی مناطق شهری ازنظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای را فراهم می‌کند. نتایج نشان داد مناطق ۷ و ۳ بیشترین خطرپذیری و مناطق ۸ و ۶ کمترین میزان آسیب‌پذیری را دارند. همچنین نتایج پژوهش نشان داد همپوشانی شاخص‌های کالبدی و اجتماعی با موقعیت گسل‌ها می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در شدت آسیب‌ها داشته باشد. بر اساس یافته‌ها، عوامل مؤثر بر افزایش خطر در مناطق بحرانی شناسایی و راهکارهای متناسب با اصول پدافند غیرعامل برای کاهش آسیب‌پذیری شهری ارائه شد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

کلیدواژه‌ها:

پدافند غیرعامل

زلزله

ارزیابی خطر

تکنیک تخصیص خطی

کلان‌شهر کرمانشاه

استناد: ملکی، کیومرث، پورمحمدی، محمدرضا، یوسفی شهیر، هانیه، نوروزی، مسعود، کشانی همدانی، مینا، " پدافند غیرعامل و ارزیابی خطر زلزله در مراکز شهری با استفاده از تکنیک‌های تخصیص خطی (مطالعه موردی کلان‌شهر کرمانشاه)"، نشریه پدافند غیرعامل، دوره ۱۶، شماره۴، صفحات ۱۲۰-۱۰۵، ۱۴۰۴. DOI: https://doi.org/10.47176/PD.2026.1554

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.

OPEN ACCESS

ناشر: دانشگاه جام امام حسین(ع).

۱- مقدمه

از اهداف اصلی شـهر، ایجـاد مکـان‌هـای مطلـوب بـرای زنـدگی ساکنان آن است. چنانچه چنین مکان‌هایی وجود نداشته باشند یا بنابه دلایل دیگر قابل‌دسترسی نباشند، نظام شهری دچار اختلال خواهد شد [۱]. ابعاد وسیع خسارات و تلفـات ناشـی از زلزلـه در شهرهای ایران نشان می‌دهد که کشور در دهه‌های اخیـر یکـی از ده کشور نخست جهان ازنظر تلفات انسانی ناشی از بلایای لرزه‌ای بوده است[۲]. براساس گزارش سازمان ملل، ایران سالانه بـه‌طـور متوسط متحمل خسارتی بالغبر ۱ میلیارد دلار از محـل زلزلـه‌هـا مـی‌شـود. ایـن واقعیـت ضـرورت مطالعـات کـاربردی درزمینـه بهینه‌سازی ایمنی شهرها را دوچندان می‌سازد.

ناکامی‌های مکرر در مدیریت بحران نیز حاکی از آن است که اقدامات موجود بیش‌تر ماهیت واکنشی داشته و فاقد کارآمدی در کاهش پیامـدهای جـانی و اقتصـادی‌انـد[۳] . ازایـن‌رو ضـرورت استفاده از اصول و معیارهـای پدافنـد غیرعامـل در برنامـه‌ریـزی شهری برای کاهش اثرات بحران مطرح می‌شود.

شهرها به دلیل انباشت سرمایه و تراکم بالای جمعیت نسبت به سایر سکونتگاه‌ها، صدمات بیشتری را متحمل مـی‌شـوند [۴]. همین امر اهمیت مهار بحـران در شـهرها را دوچنـدان مـی‌کنـد. بحران شهری، رویدادی ناگهانی است که با آسیب‌هـای گسـترده جانی و مالی همراه بوده و نیازمند اقدامات فوری در سطح شهری است [۵]. برای کنترل و مهـار بحـران و ایمنـی منـاطق شـهری ازجمله در زلزله است، اولین مسئولیت در طـرح امنیـت منـاطق، شناسایی تهدیدهای بالقوه و پیش‌بینی عوامل تهدیدکننده امنیت است [۶]. در ایران، به‌طور میانگین هرسال یک زلزلـه بـا بزرگـی بیش از ۶ ریشتر و هـر ده سـال یـک زلزلـه بـالای ۷ ریشـتر رخ می‌دهد [۷]. زلزله‌های اخیر مانند زمین‌لرزه ۷٫۳ ریشـتری ازگلـه در ۱۳۹۶ با بیش از ۶۰۰ کشته و ۱۲ هـزار مصـدوم، ناکارآمـدی سیستم مـدیریت بحـران و نـاتوانی در پیشـگیری از خسـارات را آشکار کرد.

زلزلـه ۶/۲ ریشـتری هجـده کرمـان در ۱۰ آذرمـاه ۱۳۹۶ و زلزله‌های ۶/۴ ریشتری ۴ آذرمـاه ۱۳۹۷ شـهر ازگلـه، زلزلـه ۵/۹ ریشتری میانه در استان آذربایجان شرقی در ۱۷ آبـان مـاه سـال ۱۳۹۸ و ۵/۴ ریشتری ۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۸ خانه زنیان استان فارس از این نمونه‌ها هستند [۸].

کلان‌شـهر کرمانشـاه بـه دلیـل موقعیـت ژئواسـتراتژیک، تـراکم جمعیتی بالا، وجود گسل‌های فعال و نقش ارتبـاطی و اقتصـادی در غرب کشور، نمونه‌ای بارز از شهری اسـت کـه در برابـر زلزلـه بسیار آسیب‌پذیر است؛ بنـابراین مسـأله اصـلی پـژوهش حاضـر، شناسایی دقیق عوامـل مـؤثر بـر آسـیب‌پـذیری شـهری در ایـن کلان‌شهر و تحلیل ناکارآمدی‌های موجـود در مـدیریت خطـر بـا تکیه‌بر اصول پدافند غیرعامل است.

اهداف این پژوهش عبارت‌اند از:

-پهنه‌بندی خطر و آسیب‌پـذیری منـاطق شـهرداری کـلان‌شـهر کرمانشاه بر اسـاس چهـار مؤلفـه طبیعـی، کالبـدی، اجتمـاعی و اقتصادی با بهره‌گیری از ۴۴ شاخص تخصصی.

-تحلیل میزان انطباق نتایج پهنه‌بندی با داده‌های واقعی خسارات لرزه‌ای در مناطق شهری.

-ارزیابی نقاط قوت و محدودیت‌های به‌کارگیری تکنیک تخصیص خطی در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره.

-ارائه راهکارهای اجرایی متناسب با اصول پدافند غیرعامل بـرای کاهش آسیب‌پذیری در مناطق پرخطر.

روش تحقیق این مطالعه ترکیبی از تحلیـل‌هـایGIS ، روش تخصیص خطی و نظر خبرگان است که نسبت به روش‌های صرفاً توصیفی دارای دو مزیت کلیدی است: اول، امکان رتبه‌بندی کمی منـاطق شـهری ازنظـر خطرپـذیری؛ دوم، قابلیـت همپوشـانی شاخص‌های چندبعدی در یک مـدل یکپارچـه. البتـه محـدودیت روش نیز وابستگی شدید به کیفیت داده‌ها و دقت نظـر خبرگـان است که در این پژوهش تـلاش شـد بـا نمونـه‌گیـری هدفمنـد و اعتبارسنجی پرسشنامه‌ها کاهش یابد.

۲ - مبانی نظری

۲-۱- گذری بـر پدافنـد غیرعامـل در برنامـه‌ریـزی سکونتگاه‌ها

بشـر در طـول تـاریخ تـدابیر گونـاگونی را در راسـتای امنیـت و حفاظت خویش اتخاذ کرده است و همیشه مسائل پدافندی را در حفظ و برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های خود مدنظر داشته است. علم و هنر پدافند سابقه ایی به درازای تاریخ دارد [۹]. واژه «پدافنـد» از دو جزء «پد» و «آفنـد» تشـکیل‌شـده اسـت. در فرهنـگ و ادب فارسی «پاد» یا «پد» پیشـوندی اسـت کـه بـه معـانی «متضـاد،

پی‌درپی و دنبال هم» بوده [۱۰] و هرگاه قبل از واژه‌ای قرارگیرد، معنای آن را معکوس می‌نماید. باعنایت به این مهم می‌توان پدافند غیرعامل را تدبیر و اندیشه خردمندانه در وضع موجود با نگرشی عمیق به آینده دانست و به عبارتی عملیاتی نمودن سریع تدابیر اندیشیده شده در زمان حال و بصیرت به آینده جهت برنامه‌ریزی محیطی باهدف آسیب‌شناسی[1] و شناسایی توانمندی‌ها و نقاط ضعف محیط متبوع در جهت مدیریت بهینه و توسعه پایدار تعریف نمود [۱۱]؛ اما سازه، ساختار، مضمون و موضوعیت پدافند غیرعامل شامل: ۱(بحران شناسی و شناسایی تهدیدات قابل وقوع ۲) آسیب‌شناسی مخاطره و تهدیدات محتمل ۳) آینده‌نگری و تدوین استراتژی‌های مقابله و مهار مخاطرات جهت کاستن از آثار مخاطره ۴) ارائه ملاحظات مرتبط، به‌شرط همخوانی و سنجش با اصول پدافند غیرعامل باهدف بازدارندگی، حفظ و تقویت امنیت پایدار در جغرافیای محیطی هست [۱۲].

در ادبیات جهانی، مفاهیمی چون Resilience و Disaster Risk Reduction نیز هم‌راستا با اصول پدافند غیرعامل شناخته می‌شوند. برای نمونه، مطالعات[2] نشان می‌دهد که به‌کارگیری رویکردهای غیر سازه‌ای و پیشگیرانه در طراحی شهری می‌تواند تاب‌آوری مناطق شهری در برابر بلایای طبیعی، به‌ویژه زلزله را به شکل معناداری ارتقا دهد [۱۳]. این تطبیق نشان می‌دهد که اصول سنتی پدافند غیرعامل در ایران می‌تواند با نظریه‌های نوین بین‌المللی ادغام و در برنامه‌ریزی شهری به‌کار گرفته شود.

پدافند غیرعامل دارای اصولی است که عبارت‌اند از: استتار، اختفاء، پوشش، فریب، مکان‌یابی، پراکندگی-تفرقه و جابجایی، مقاوم‌سازی استحکامات و ایمن‌سازی سازه‌های حیاتی، اعلام خبر و مدیریت سازمانی. رعایت و به‌کارگیری این اصول متناسب با نوع مخاطره محتمل و مکان خطر، می‌تواند آسیب‌پذیری شهرها را در برابر زلزله کاهش دهد و زمینه تطبیق آن‌ها با شاخص‌های آسیب‌پذیری شهری را فراهم آورد [۱۴].

۲-۲- عوامل خطرساز و تهدیدات زلزله

بررسی‌ها نشان می‌دهد درصد بالایی از صدمات ناشی از زلزله به‌طور مستقیم به وضعیت نامطلوب برنامه‌ریزی، مربوط می‌شود. عوامل متعددی همچون کاربری نامناسب زمین، ساخت و طراحی نامناسب ساختمان و زیرساخت‌های ناکارآمد شهری، موجب افزایش خطر سکونتگاه‌های انسانی شده است [۱۵]. احتمال آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در محیط‌های شهری به دلایلی ازجمله مکان گزینی شهرها در نواحی مستعد خطر، رشد شهرنشینی و غیره به‌طور آشکاری در دهه‌های اخیر در سراسر جهان افزایش‌یافته است. مطالعات جهانی نیز این روند را تأیید می‌کنند؛ به‌ویژه گزارش UNDRR (2015) در «چارچوب سندای برای کاهش خطر بلایا» تأکید می‌کند که قرارگیری سکونتگاه‌های انسانی در مجاورت گسل‌های فعال و ضعف برنامه‌ریزی کاربری زمین، از اصلی‌ترین دلایل افزایش ریسک لرزه‌ای در کشورهای درحال‌توسعه است [۱۶] .آسیب‌پذیری لرزه‌ای در محیط شهری باگذشت سال‌ها به دلیل افزایش پیچیدگی‌های محیط شهری افزایش‌یافته است [۱۷]. زلزله چه به لحاظ روانی و چه به لحاظ مالی به دلیل سرعت وقوع و حجم تخریب، آثار ویرانگری را به همراه داشته و در صدر بلایای طبیعی قرار دارد. به همین دلیل، پژوهش‌های اخیر[3] نشان داده‌اند که استفاده از مدل‌های پیش‌بینی سریع خسارات زلزله، با ترکیب داده‌های جمعیتی و شاخص‌های کالبدی، می‌توانند در کاهش تلفات انسانی و اقتصادی نقش مؤثری ایفا کند و این امر هم‌راستا با اصول پدافند غیرعامل در شناسایی تهدیدات و اولویت‌بندی مناطق بحرانی است [۱۸].

آسیب‌پذیری‌های شهری نسبت به حوادث طبیعی چون زلزله می‌تواند برآیندی از نقش رفتارهای انسانی باشد که اهمیت نظام های برنامه ریزی در کاهش اثرات مخرب حوادث طبیعی را نشان می‌دهد [۱۹]. در کشورهای توسعه‌یافته تلفات مالی حوادث طبیعی بیشتر از تلفات جانی است؛ اما در کشورهای درحال‌توسعه این امر عکس است که نشان دهندهٔ برنامه‌ریزی صحیح در کشورهای توسعه‌یافته است [۲۰]. بااین‌حال امکان کنترل و یا پیش‌بینی دقیق بلایای طبیعی وجود ندارد و آنچه امکان‌پذیر است برنامه‌ریزی درست و گام برداشتن در مسیر ساخت شهرهایی با آسیب پذیری کمتر در مواجه با یک بلای طبیعی است [۲۱]. بر طبق گزارش سازمان ملل از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۸ و به دنبال زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته در ایران، تعداد ۷۳۲۷۶ نفر از ایرانیان جان خود را ازدست‌داده‌اند که زیان

[1] Pathology
[2] Cutter et al. 2016
[3] Jaiswal & Wald.2013

اقتصادی حاصل از این زلزله‌ها بالغبر ۱۰ میلیارد و ۳۰۰ میلیون دلار برآورده شده است [۲۲]. در ایران به‌طور متوسط هرسال یک زلزله به بزرگی ۶ ریشتر و هر ۱۰ سال یک زلزله به بزرگی ۷ درجه در مقیاس ریشتر رخ می‌دهد [۲۳]. پراکندگی وقوع زلزله در ایران نشان می‌دهد که منطقه خراسان با ۹۸ زلزله مخرب در طول تاریخ لرزه‌خیزترین پهنه ایران و استان‌های اصفهان و یزد با ۹ زلزله آسیب‌پذیری کمتری در برابر زلزله داشته‌اند [۲۴]. به لحاظ تلفات ناشی از زلزله، ایران ۶ درصد تلفات زلزله‌ای را در جهان دارا هست [۲۵]. به دلیل قرار داشتن کشور ایران بر روی کمربند زلزله آلپ هیمالیا، زلزله وجه غالب بلایای طبیعی در ایران است و طی ۶ دهه اخیر حداقل ۱۲ زمین‌لرزه با شدت مطلق بیش از ۷ ریشتر رخداده است [۲۶]. این داده‌ها، درکنار شواهد بین‌المللی، نشان می‌دهد که بدون اصلاح الگوهای برنامه‌ریزی شهری و بهره‌گیری از رویکردهای غیرعامل، امکان کاهش معنادار اثرات بحران وجود نخواهد داشت.

۲-۳- برنامه‌ریزی کاهش آسیب‌پذیری ناشی از عوارض زلزله

میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل زلزله به‌ویژه در شهرهای که محدوده توسعه فیزیکی آن‌ها درروی توپوگرافی پرشیب و در مجاورت گسل‌های فعال بسیار متفاوت بوده است [۲۷].

تجربه زلزله‌های اخیر ایران و جهان نشان می‌دهد که توسعه در اراضی پرخطر، بدون رعایت اصول ایمنی و دفاع غیرعامل، موجب افزایش تصاعدی خسارات انسانی و اقتصادی می‌شود. [۱۶].

ساخت‌وساز اصولی با توجه به امکانات و محدودیت‌های طبیعی ازجمله ویژگی‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژی، سبب می‌شود که در زمان بروز زلزله ابعاد فاجعه کاهش‌یافته و خسارات قابل جبران باشند. این امر خود به ارتقای احساس امنیت در میان ساکنان منجر می‌شود. در مقابل، توسعه در مناطق پرخطر، ضعف در نگهداری زیرساخت‌ها و بی‌توجهی به اصول پدافند غیرعامل از عوامل اصلی افزایش آسیب‌پذیری در کشورهای درحال‌توسعه محسوب می‌شوند.

برنامه‌ریزی کاهش عوارض زمین‌لرزه به‌منظور کاهش اثرات مخرب و مرگبار سانحه زلزله مورد عمل قرار می‌گیرد و در سه بخش قابل‌طبقه‌بندی است:

۱- برنامه‌ریزی کالبدی کاهش عوارض زمین‌لرزه

۲- برنامه‌ریزی اجتماعی- اقتصادی کاهش عوارض

۳- برنامه‌ریزی مدیریتی کاهش عوارض

در حوزه کالبدی، این برنامه‌ریزی شامل پهنه‌بندی لرزه‌ای و ارزیابی توزیع فضایی خطر ست. بر این اساس، کاربری‌های شهری درمعرض خطر شناسایی و راهکارهای اصلاحی مبتنی بر اصول پدافند غیرعامل پیشنهاد می‌شوند.

در حوزه اجتماعی- اقتصادی، این برنامه‌ریزی بخشی از فرآیند توسعه ملی به شمار می‌رود. به‌کارگیری ابزارهایی چون بیمه فاجعه، آموزش همگانی و کدگذاری ایمنی ساختمان‌ها نمونه‌هایی از اقدامات مؤثر در این بخش هستند.

در حوزه مدیریتی، هدایت نهادهای مسئول در چارچوب یک نظام یکپارچه مدیریت ریسک ضروری است. همان‌گونه که بیان می‌کنند. ادغام سیاست‌های کاهش خطر با سازوکارهای تصمیم‌گیری شهری، کارآمدترین رویکرد برای ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر زلزله است [۲۸].

بنابراین، برنامه‌ریزی کاهش آسیب‌پذیری ناشی از عوارض زلزله متناسب با اصول پدافند غیرعامل، استراتژی‌هایی را می‌طلبد که در سطح شهر و منطقه شامل موارد زیر هستند:

۱- ارائه نقشه‌های آسیب‌پذیری و نقاط حساس شهری؛ شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و مناطق قابل توسعه.

۲- تدوین و اجرای ضوابط کدگذاری ایمنی ساختمان‌ها و تخمین زدن محله‌های در معرض خطر.

۳- اجرای طرح‌های اقتصادی حمایتی مانند بیمه‌کردن ساکنان مناطق پرخطر و تدوین طرح‌های آمایش شهری و منطقه‌ای با رعایت توان محیطی [۲۹].

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر ازنظر هدف کاربردی و ازنظر شیوه اجرا توصیفی- تحلیلی است جامعه آماری مورد پرسش را کارشناسان و اساتید مرتبط با موضوع، تشکیل داده است که از میان آن‌ها تعداد ۳۰ نفر با استفاده از روش تخمین شخصی[۱] به‌عنوان حجم نمونه انتخاب‌شده است در مناطق دهگانه اقدام گردید، بدین ترتیب که ابزار گردآوری داده‌ها یک پرسش‌نامه ساختاریافته بود که در

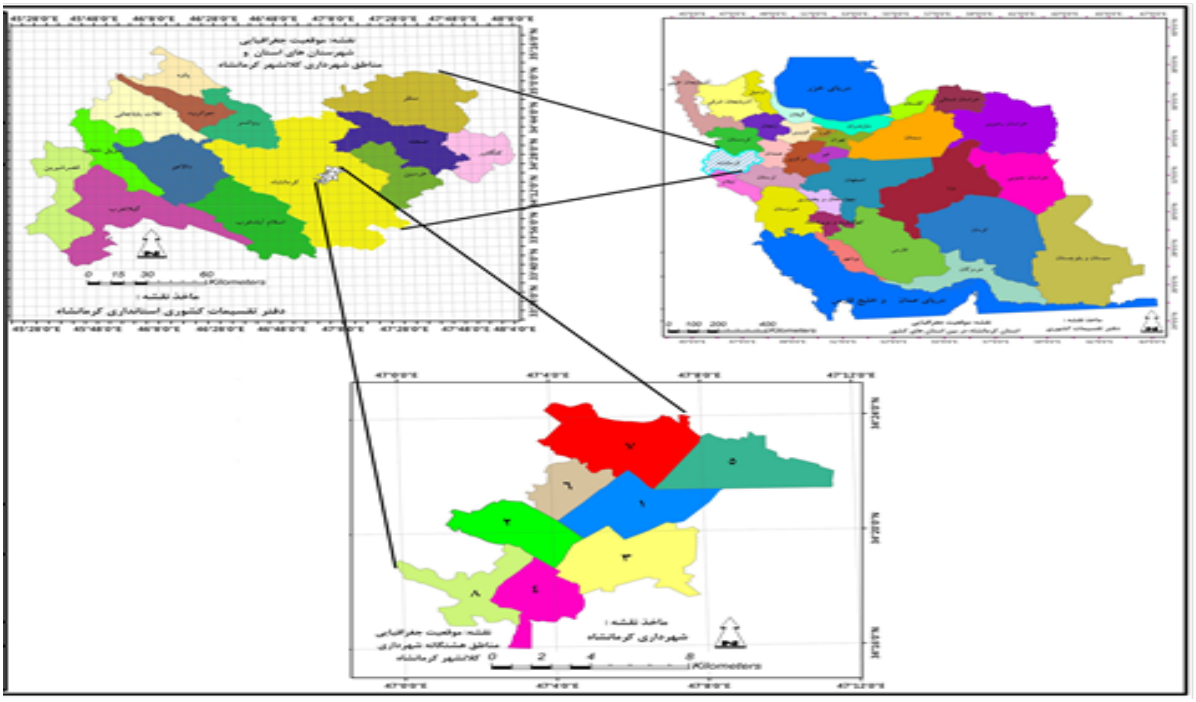
[۱] چون تعداد کارشناسان و متخصصان در رابطه با موضوع ۵۰ نفر در دسترس محقق بود به همین خاطر بیش از ۵۰ درصد از کارشناسان به تعداد ۳۰ نفر انتخاب شدند.

چهار بخش اصلی (مؤلفه‌های طبیعی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی) و بر اساس ۴۴ شاخص تخصصی تدوین شد. پرسش‌نامه شامل ۴۸ سؤال بسته (بر مبنای طیف لیکرت پنج‌درجه‌ای از "بسیار کم" تا "بسیار زیاد") و ۶ سؤال باز برای دریافت دیدگاه‌های تکمیلی کارشناسان بود. روایی محتوایی پرسش‌نامه از طریق نظرخواهی از ۵ استاد متخصص در حوزه برنامه‌ریزی شهری و زلزله موردتأیید قرار گرفت و پایایی آن با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد که مقدار آن ۰/۸۲ به‌دست آمد و نشان‌دهنده پایایی مناسب ابزار بود. مؤلفه‌های طبیعی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی و شاخص‌های مورد پرسش، متناسب با اهداف و اصول پدافندغیرعامل شهری و در همپوشی با مطالعاتی که در مقالات، طرح‌های پژوهشی انجام‌گرفته بود، تهیه و تدوین شدند. در ادامه بااستفاده ازنظر اساتید خبره در حوزه برنامه‌ریزی و زلزله، جدولی از مؤلفه‌ها به‌صورت کیفی و کمی استخراج گردید و خروجی نظرسنجی وضعیت مناطق شهرداری کلان‌شهر کرمانشاه در مدل تکنیک تخصیص خطی مورد تحلیل قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزار GIS و نرم‌افزار لینگو LINGO خروجی مدل‌ها به همراه دیگر لایه‌ها به‌صورت نقشه ترسیم گردید. انتخاب مدل تخصیص خطی به دلیل توانایی آن در رتبه‌بندی هم‌زمان مناطق شهری بر اساس چندین شاخص کمی و کیفی انجام گرفت. این مدل به پژوهشگر اجازه می‌دهد اولویت‌بندی مناطق پرخطر با دقت بیشتری صورت گیرد و مقایسه میان مناطق امکان‌پذیر گردد. ازنظر علمی، مزیت اصلی مدل تخصیص خطی نسبت به سایر مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سادگی محاسبات، قابلیت ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی و انعطاف‌پذیری در اعمال شاخص‌های متعدد است [۳۰] همچنین برای تحلیل داده‌ها، از روش مجموع وزین به‌منظور محاسبه اوزان شاخص‌ها و رتبه‌بندی مناطق شهری و وزن‌دهی شاخص‌ها با بهره‌گیری از مقایسه زوجی اجماع نظر خبرگان انجام گرفت و سپس در قالب مدل تخصیص خطی وارد شدند. این فرایند امکان مقایسه کمی مناطق مختلف را فراهم کرد نهایتاً به تحلیل نقشه خروجی مدل تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی‌شده در جهت مقایسه مناطق شهری ازنظر آسیب‌پذیری اقدام گردید. مطابق یافته‌های معرب و سپهرزاد (۱۳۹۹)، تحلیل آسیب‌پذیری شهری از طریق مقایسه زوجی شاخص‌ها و نقشه‌بندی در محیط GIS نشان می‌دهد که ترکیب رویکرد-GIS محور با اصول پدافند غیرعامل می‌تواند نقاط بحرانی را با دقت بالاتر شناسایی کند و زمینه برنامه‌ریزی دقیق را فراهم آورد[۳۱] .

۴- منطقه موردمطالعه

استان کرمانشاه با وسعت ۲۵۰۰۸ کیلومترمربع معادل ۱/۵ درصد مساحت کشور[۳۲] . در میانه ضلع غربی کشور از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام و از شرق به استان همدان و از غرب با ۳۶۳/۴۲ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق همسایه است[۳۳] . مرکز استان کرمانشاه، شهر کرمانشاه است. استان کرمانشاه ازلحاظ تقسیمات کشوری به ۱۴ شهرستان ۳۵ بخش، ۳۵ شهر و ۸۸ دهستان و ۲۶۲۲ نقطه روستایی دارای سکنه تقسیم‌شده است در سده‌های گوناگون به دلیل جایگاه ویژه راهبردی شهر کرمانشاه دارای اهمیت ویژه‌ای بوده است و امروزه

نیز کلان‌شهر کرمانشاه از مهم‌ترین شهرهای غرب ایران و مرکزیت استان را دارا هست. کلان‌شهر کرمانشاه با موقعیت ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی از استوا و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در شرق استان مساحت مناطق شهری کلان‌شهر کرمانشاه بالغبر ۱۱ هزار هکتار هست[۳۴]. که بنابر آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت استان کرمانشاه ۱۹۵۲۴۳۴ نفر و جمعیت کلان‌شهر کرمانشاه ۹۴۶۶۵۱ نفر به‌عنوان مرکز استان بوده است [۳۵]. 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 به‌عنوان کلان‌شهر اعلام گردید. در این میان شهر کرمانشاه به‌عنوان مهم‌ترین مرکز جمعیتی، سیاسی و کالبدی استان بوده که دارای ۸ منطقه شهرداری است[۳۶]. کرمانشاه دارای چندین گسل فعال و نیمه فعال هم در داخل شهر و شهرستان هست. نباید ازنظر دور داشت که شدت زلزله، عمق کم، ساعت وقوع، طولانی بودن مدت زمین‌لرزه و نزدیکی کانون زلزله به شهر موجب خسارات فراوان می‌گردد که زلزله‌های تاریخی گویای این مهم است.



شکل(۱): موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر کرمانشاه

جدول (۱): مؤلفه‌ها و شاخص‌های اثرگذار در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کلان‌شهر کرمانشاه[۳۷]،[۳۸]، [۳۹]

ردیف	مؤلفه	شاخص	ردیف	مؤلفه	شاخص	ردیف	مؤلفه	شاخص	ردیف	مؤلفه	شاخص
۱	اجتماعی	تراکم جمعیت	۱۳	اقتصادی	تراکم شاغلین مرد و زن	۲۴	طبیعی	فاصله از خط گسل	۳۶	کالبدی	تراکم سازه‌های بتن آرمه
۲		تراکم خانوار	۱۴		تراکم بیکاران مرد و زن	۲۵		فاصله از رودخانه	۳۷		تراکم سازه‌های آجر و آهن
۳		تراکم نسبت سالخوردگی	۱۵		تراکم تکفل	۲۶	کالبدی	فاصله از خیابان‌های اصلی	۳۸		تراکم سازه‌های خشت چوب و گل
۴		نسبت جنسی				۲۷		فاصله از خیابان‌های فرعی	۳۹		تراکم سازه‌های آجر، سیمان و سنگ
۵		نسبت جوانی	۱۶		تراکم فعالیت واقعی	۲۸		تراکم واحدهای آپارتمان	۴۰		کاربری اراضی (سازگاری اراضی)
۶		تراکم جمعیت زیر ۱۰سال	۱۷		تراکم واحدهای استیجاری	۲۹		فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی	۴۱		تراکم مساحت ۱۰۰ مترمربع و پایین‌تر

جدول (۱): مؤلفه‌ها و شاخص‌های اثرگذار در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کلان‌شهر کرمانشاه[۳۷]،[۳۸]، [۳۹]

ردیف	مؤلفه	شاخص	مؤلفه	ردیف	شاخص	مؤلفه	ردیف	شاخص	مؤلفه	ردیف	شاخص
۷		تراکم جمعیت ۱۰ الی ۴۵ سال		۱۸	تراکم مالکیت		۳۰	فاصله از مراکز درمانی و بیمارستان		۴۲	تراکم مساحت ۲۰۰-۱۰۰ مترمربع
۸		تراکم جمعیت ۴۵ سال و بالاتر		۱۹	تراکم نسبت خانوار به مسکن		۳۱	فاصله از مراکز نظامی		۴۳	تراکم مساحت ۲۰۰ مترمربع و بالاتر
۹		تراکم جمعیت باسواد مرد		۲۰	تراکم جمعیت غیرفعال		۳۲	فاصله از مراکز صنعتی		۴۴	فضاهای باز و سبز و...
۱۰		تراکم جمعیت باسواد زن		۲۱	تراکم جمعیت فعال		۳۳	فاصله از تأسیسات و تجهیزات شهری			
۱۱		تراکم نرخ اشتغال	طبیعی	۲۲	درصد شیب		۳۴	فاصله از مراکز حمل‌ونقل			
۱۲		تراکم نرخ بیکاری		۲۳	زمین‌شناسی		۳۵	تراکم سازه های اسکلت فلزی			

بـا اسـتفاده ازدیـدگاه کارشناسـان و اسـاتید خبـره در حـوزه برنامه‌ریزی و زلزله، جدولی از مؤلفه‌ها بـه‌صـورت تحلیـل کیفـی تدوین شد،

کـه درنهایـت، نظـرات متخصصـان در قالـب جـدول (۲) اولویت‌بندی مناطق کلان‌شهر کرمانشاه ازنظـر آسـیب‌پـذیری در برابر زلزله، داده‌ها به‌صورت کمی استخراج گردید. یادآور می‌شـود که معادل بسیار مناسب عدد ۹مناسـب ۷ و نامناسـب ۵ و بسـیار نامناسـب ۳ جـایگزین شـده اسـت. درنهایـت وضـعیت منـاطق شهرداری کـلان‌شـهر کرمانشـاه پـس از ارزش‌گـذاری بـه‌وسـیله متخصصین امر، در مدل تکنیک تخصیص خطی موردتحلیل قرار گرفت. بعدازآن، به تحلیل نقشه خروجی به‌دست‌آمـده درجهـت مقایسه مناطق شهری ازنظر توسعه کالبدی اقدام گردید و نتـایج علمی ازجمله تعیین جهات بهینـه توسـعه آتـی، کاسـتن از آثـار بحرانی زلزله با شناسایی محدوده‌های آسیب‌پذیر، منـاطق امـن و ناامن شهری، میزان آسیب‌پذیری مناطق سکونتگاهی متناسب بـا کاستی‌های به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی منتج شـد (ماخـذ جـداول تهیه شده از شماره یک تا جدول شماره هفـت نگارنـدگان مقالـه می باشد). پژوهش خلقی‌فرد و بدخشان‌نـژاد [۴۰] بـا اسـتفاده از مدل ATC نشان داده که تقویت پدافنـدی سـازه‌ای - بـه‌ویـژه در مؤسسات حیاتی مانند بیمارستان‌ها- به‌طور قابل‌توجهی تاب‌آوری را افزایش می‌دهد.

جدول (۲): مقادیر در تحلیل مؤلفه‌های اثرگذار محیطی، اقتصادی، اجتماعی و کالبدی

مؤلفه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸
طبیعی	بسیارنامناسب	بسیارمناسب	بسیارمناسب	مناسب	مناسب	بسیارنامناسب	نامناسب	مناسب
اقتصادی	بسیارمناسب	نامناسب	نامناسب	بسیارمناسب	نامناسب	مناسب	نامناسب	بسیارمناسب
اجتماعی	بسیارمناسب	نامناسب	نامناسب	مناسب	نامناسب	مناسب	نامناسب	بسیارمناسب
کالبدی	بسیارمناسب	نامناسب	نامناسب	بسیارمناسب	مناسب	بسیارمناسب	نامناسب	بسیا مناسب
مؤلفه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸
طبیعی	۳	۹	۹	7	۷	۳	5	7
اقتصادی	9	5	5	9	5	7	5	9
اجتماعی	9	5	5	7	5	7	5	9
کالبدی	9	5	5	9	۷	9	5	9

۵- بحث۴

۵-۱- تکنیک تخصیص خطی

در تکنیک تخصیص خطی با استفاده از اولویت هر یک از گزینه‌ها در هر یک از شاخص‌ها به یک مدل برنامه‌ریزی صفر- یکدست خواهیم یافت و از حل مدل به اولویت گزینه‌ها می‌توان دست‌یافت. مراحل الگوریتم تکنیک تخصیص خطی: مرحله ۱: ماتریسی تشکیل داده که سطرهای آن بیانگر معیارها و ستون‌های آن بیانگر گزینه‌ها باشد. مرحله ۲: با توجه به رتبه هر گزینه در هر شاخص، مؤلفه‌های ماتریس را با Ai پر کنید. این مرحله رتبه‌بندی گزینه‌ها نامیده می‌شود. بدین ترتیب جدول اولویت‌بندی ساخته می‌شود. به کمک روش آنتروپی شانون وزن نسبی معیارها را به دست می‌آوریم و در مجاورت ماتریس می‌نویسیم. در درایه‌های هر سطر مقادیر وزن آنتروپی را درج می‌کنیم. مقادیر قبلاً محاسبه‌شده و برابر با ۰/۱۷، ۰/۱۴، ۰/۱۲، ۰/۵۷ هست. حال به دنبال تشکیل ماتریس Y m×m که ماتریس (مرجع با عناصر غیر منفی رتبه / شاخص) نام دارد هستیم. ماتریس Y از روی جدول اولویت‌بندی و مقادیر آنتروپی به شرح زیر تشکیل می‌شود. m تعداد گزینه‌ها (منطقه‌ها) هست. لذا ماتریس مربوط ۸ در ۸ هست. به‌عنوان‌مثال با توجه به اینکه در ستون اول جدول اولویت‌بندی اعداد ۴، ۱، ۱، ۷ دیده می‌شود. در سطر اول (ماتریس مرجع با عناصر غیرمنفی رتبه / شاخص) در خانه هفتم مقدار ۰/۵۷ درج می‌شود و در خانه اول مقدار ۰/۲۶ که از مجموع ۰/۱۲ و ۰/۱۴ حاصل‌شده قرار داده می‌شود و در خانه چهارم عدد ۰/۱۷ قرار داده می‌شود. سایر سطرهای (ماتریس مرجع با عناصر غیرمنفی رتبه / شاخص) به همین سبک تکمیل می‌شود. لذا یک ماتریس ۸ در ۸ با عنوان (ماتریس مرجع با عناصر غیر منفی رتبه / شاخص) تشکیل شد. حال به ساخت مدل برنامه‌ریزی خطی می‌پردازیم. با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و حل آن رتبه‌بندی گزینه‌ها حاصل می‌شود. به مدل زیر برنامه‌ریزی صفر و یک گفته می‌شود، زیرا جواب‌های این مدل تنها اعداد صفر و یک هستند که نشانه تخصیص یا عدم تخصیص هستند.

$$MIN = \sum_i \sum_j y_{ij} Y_{IJ}$$

$$\sum_{i=1}^{m} y_{ij} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{m} y_{ij} = 1$$

$$y_{ij} = 0 \; or \; 1$$

(۱)

اگر گزینه i به رتبه j اختصاص یابد آنگاه yij=1 اگر گزینه i به رتبه j اختصاص داده نشود آنگاه yij=0، تکنیک تخصیص خطی (Linear Assignment Method) از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارهِ است که توسط هانگ در سال ۱۹۸۳ ارائه شد و سپس توسط آکگول در سال ۱۹۹۳ توسعه داده شد. هدف این تکنیک رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش است در این روش یک مسئله تصمیم‌گیری چند شاخصه را در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله می‌کنیم که در ادامه ذکر می‌گردد.

جدول (۳): ماتریس مرجع با عناصر غیر منفی رتبه / شاخص

شاخص	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	وزن آنتروپی
طبیعی	۳	۷	۳	۷	۷	۳	۳	۷	۰/۲۶۶
اقتصادی	۹	۳	۳	۷	۷	۷	۳	۹	۰/۲۸۹
اجتماعی	۷	۷	۳	۷	۷	۷	۳	۷	۰/۱۵۶
کالبدی	۹	۷	۳	۳	۷	۷	۳	۹	۰/۲۸۹

جدول(۴): اولویت‌بندی

شاخص	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	وزن آنتروپی
طبیعی	۸	۴	۷	۳	۲	۶	۵	۱	۰/۲۶۱
اقتصادی	۲	۸	۷	۵	۴	۳	۶	۱	۰/۲۸۹
اجتماعی	۶	۵	۸	۴	۳	۲	۷	۱	۰/۱۵۱
کالبدی	۲	۵	۸	۷	۴	۳	۶	۱	۰/۲۸۹

مدل برنامه‌ریزی ارائه‌شده باهدف **کمینه‌سازی تابع هدف**

=0/578*A2+0/156*A6+0/266*A8+0/266*B4+0/445*B5+0/289*B8+0/555*C7

+0/445*C8+0/266*D3+0/156*d4+0/289*d5+00/289*d7+0

/266*e2+0/156*e3+0/578*e4+

0/156*f2+0/578*f3+0/266*f6+0/266*g5+0/578*g6+0/156*g7+1*h1;

s.t:

a2+a6+a8=1;

b4+b5+b8=1;

C7+c8=1;

d3+d4+d5+d7=1;

e2+e3+e4=1;

f2+f3+f6=1;

g5+g6+g7=1;

a2+e2+f2=1;

d3+e3+f3=1;

b4+d4+e4=1;

b5+d5+g5=1;

a6+f6+g6=1;

c7+d7+g7=1;

a8+b8+c8=1;

h1=1;

مدل برنامه‌ریزی خطی طراحی‌شده در محیط نرم‌افزارLINGO با موفقیت اجرا شد و پس از ۷ تکرار توسط حل‌کننده، راه‌حل بهینه سراسری با مقدار نهایی تابع هدف برابر با ۲/۶۲۴ حاصل گردید.

جدول (۵): جواب بهینه مدل برنامه‌ریزی خطی

متغیر	مقدار	هزینه کاهش‌یافته
A2	**0/000000**	**0/5320000**
A6	1/000000	**0/000000**
A8	**0/000000**	**0/5270000**
B4	1/000000	**0/000000**
B5	**0/000000**	**0/4600000E-01**
B8	**0/000000**	**0/1100000**
C7	**0/000000**	**0/000000**
C8	1/000000	**0/000000**
D3	**0/000000**	**0/000000**
D4	**0/000000**	**0/000000**
D5	1/000000	**0/000000**
D7	**0/000000**	**0/1100000**
E2	**0/000000**	**0/000000**
E3	1/000000	**0/000000**
E4	**0/000000**	**0/5320000**

جدول (۵): جواب بهینه مدل برنامه‌ریزی خطی

F2	1/000000	**0/000000**
F3	**0/000000**	**0/5320000**
F6	**0/000000**	**0/000000**
G5	**0/000000**	**0/000000**
G6	**0/000000**	**0/1150000**
G7	1/000000	**0/000000**
H1	1/000000	**0/000000**

جدول (۶): مقادیر متغیرهای مازاد، کمبود و ارزش‌های سایه‌ای

ردیف	مازاد (کسری)	قیمت سایه‌ای
1	**2/624000**	**-1/000000**
2	**0/000000**	**0/2610000**
3	**0/000000**	**-0/1790000**
4	**0/000000**	**-0/4450000**
5	**0/000000**	**-0/6900000E-01**
6	**0/000000**	**0/4100000E-01**
7	**0/000000**	**0/1510000**
8	**0/000000**	**-0/4600000E-01**
9	**0/000000**	**-1/000000**
10	**0/000000**	**-0/3070000**
11	**0/000000**	**-0/1970000**
12	**0/000000**	**-0/8700000E-01**
13	**0/000000**	**-0/2200000**
14	**0/000000**	**-0/4170000**
15	**0/000000**	**-0/1100000**
16	**0/000000**	**0/000000**
17	**0/000000**	**0/000000**

جدول (۷): جواب بهینه مدل

گروه	اولین رتبه	دومین رتبه	سومین رتبه	چهارمین رتبه	پنجمین رتبه	ششمین رتبه	هفتمین رتبه	هشتمین رتبه	مجموع
منطقه ۱						۱			۱
منطقه ۲				۱					۱
منطقه ۳								۱	۱
منطقه ۴					۱				۱
منطقه ۵			۱						۱
منطقه ۶		۱							۱
منطقه ۷							۱		۱
منطقه ۸	۱								۱
مجموع	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۸

مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه‌شده را به کمک نرم‌افزار لینگو ارائه و پروسه انجام آن طی شد. نتیجه نهایی به‌گونه‌ای می‌شود که در

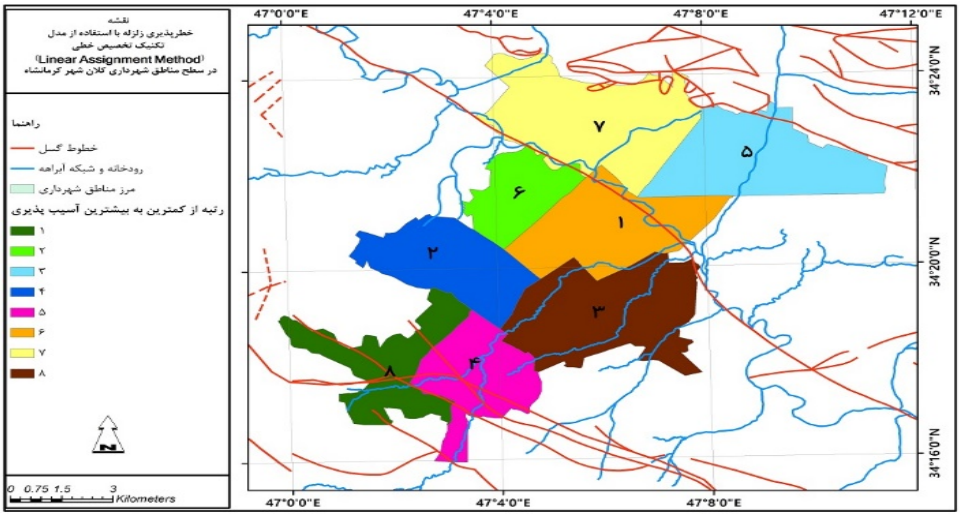
هر سطر و در هر ستون فقط یک متغیر مقدار یک می‌گیرد و مابقی متغیرها صفر می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، باهدف منیمم سازی تابع هدف، مسئله پس از ۷ مرحله تکرار سیمپلکس به جواب بهینه رسیده است. باتوجه به ماتریس نتیجه می‌گیریم، منطقه ۸ رتبه اول، منطقه ۶ رتبه دوم، منطقه ۵ در رتبه سوم، منطقه ۲ در رتبه چهارم، منطقه ۴ در رتبه پنجم، منطقه ۱ در رتبه ششم و درنهایت منطقه هفت رتبه هفتم و

منطقه ۳ رتبه هشتم را دارد.

جهت اعتبارسنجی مدل تخصیص خطی، نتایج حاصل با خروجی روش مجموع وزین در محیط GIS مقایسه گردید. تطابق بیش از ۷۸ درصد بین رتبه‌بندی مناطق در دو روش، حاکی از اعتبار بالای مدل بود. همچنین یک تحلیل حساسیت انجام شد که طی آن تغییرات ۱۰ درصدی در وزن شاخص‌ها اعمال گردید. نتایج نشان داد رتبه مناطق در برابر این تغییرات پایدار بوده و فقط در یک مورد جابه‌جایی جزئی مشاهده شد.

این امر بیانگر استحکام و قابلیت اطمینان مدل تخصیص خطی در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شهری است.

باوجود کارآمدی مدل تخصیص خطی در تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. ازجمله اینکه دقت نتایج به کیفیت داده‌ها و نحوه تعیین اوزان شاخص‌ها وابسته است و در صورت تغییر وزن‌ها ممکن است اختلافات جزئی در رتبه‌بندی مناطق رخ دهد. همچنین این مدل تعاملات پیچیده بین شاخص‌ها را به‌صورت ساده‌سازی‌شده در نظر می‌گیرد و نمی‌تواند اثرات غیرخطی یا وابستگی متقابل میان متغیرها را به‌طور کامل تبیین کند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از ترکیب مدل تخصیص خطی با سایر رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP یا TOPSIS برای ارتقای دقت و تحلیل جامع‌تر استفاده شود [۴۱].



نقشه (۲): رتبه آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلان‌شهر کرمانشاه حاصل خروجی مدل روش تخصیص خطی

۴- نتیجه‌گیری

در مقاله پیش رو تحت عنوان "پدافند غیرعامل و ارزیابی خطر زلزله در مراکز شهری" با استفاده از روش‌های تخصیص خطی و روش مجموع وزین و رده‌بندی‌شده در مناطق شهرداری کلان‌شهر کرمانشاه مورد تجزیه‌وتحلیل و بررسی قرارگرفته است و اهدافی همچون: ۱) پهنه‌بندی خطر و آسیب‌پذیری از مناطق شهرداری برای سهولت در شناسایی مناطق بحرانی کلان‌شهر کرمانشاه از منظر پدافندغیرعامل ۲) بررسی میزان آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلان‌شهر کرمانشاه متناسب با قرارگیری خطوط گسل و اینکه آسیب‌پذیری چه میزان با واقعیت تطابق دارند. ۳) تحلیل همخوانی نتایج خروجی مدل‌ها با یکدیگر و دلایل آسیب‌پذیری و کمتر آسیب‌پذیری مناطق شهرداری کلان‌شهر کرمانشاه با ارائه راهکارهای پدافند غیرعامل شهری دنبال می‌شود. با توجه به نتایج ماتریس تخصیص خطی نتیجه می‌گیریم، منطقه ۸ رتبه اول، منطقه ۶ رتبه دوم، منطقه ۵ در رتبه سوم، منطقه ۲ در رتبه چهارم، منطقه ۴ در رتبه پنجم، منطقه ۱ در رتبه ششم و درنهایت منطقه هفت رتبه هفتم و منطقه ۳ رتبه هشتم را دارد. پس می‌طلبد در طرح‌های توسعه شهری نقاط قوت و ضعف، فرصت و تهدید هر منطقه شهرداری در ابعاد توزیع کاربری‌هایی که در مهار و کنترل خطر و کاهش آسیب‌پذیری مؤثرند بازبینی صورت پذیرد و گسترش و توسعه فضاهای بی کالبد و چندمنظوره و انتقال و تغییر کاربری اراضی بخصوص در مناطق پرخطر و هم‌جوار با گسل در مناطق شهرداری لحاظ گردد. ادغام تحلیل ساختار شبکه معابر با معیارهای پدافند غیرعامل، امکان شناسایی فضاهای بی‌دفاع شهری و تدوین طرح‌های بازسازی و

تقویت زیرساخت‌ها را به‌ویژه در مناطق پرخطر فراهم می‌سازد [۴۲].

۱- در مناطق ۷ و ۳ که بیشترین آسیب‌پذیری لرزه‌ای را دارند، پیشنهاد می‌شود توسعه کاربری‌های پرخطر (مانند انبارها و صنایع) متوقف و به مناطق کم‌خطرتر منتقل شود. همچنین ایجاد کاربری‌های چندمنظوره مقاوم و ایمن در این مناطق در اولویت قرار گیرد.

۲- برای مناطق ۸ و ۶ که کمترین آسیب‌پذیری را دارند، برنامه‌ریزی برای تبدیل این مناطق به مراکز پشتیبان در شرایط بحران (مانند ایجاد فضاهای اسکان موقت، انبارهای امدادی و مراکز درمانی مقاوم) ضروری است.

۳- در مناطق دارای تراکم بالای جمعیتی و شبکه معابر باریک (مانند مناطق ۱ و ۴)، ایجاد مسیرهای اضطراری و تقویت دسترسی به شریان‌های حیاتی با ملاحظات پدافند غیرعامل در اولویت قرار گیرد.

۴- استفاده از ابزارهای نوین مانند سامانه‌های هشدار سریع، سنسورهای پایش لرزه‌ای و پهپادهای شناسایی برای مناطق بحرانی (به‌ویژه مناطق ۲ و ۵) می‌تواند میزان خسارت و زمان واکنش مدیریت بحران را کاهش دهد.

۵- در سطح کلان‌شهر کرمانشاه، طراحی یک "نقشه هوشمند آسیب‌پذیری" با ترکیب داده‌های GIS، مدل تخصیص خطی و تحلیل شبکه‌ای توصیه می‌شود تا امکان به‌روزرسانی پویا و تصمیم‌گیری سریع در شرایط اضطراری فراهم شود.

۵- مراجع

[1] K. Ziari, “Urban Land Use Planning,” Yazd: Yazd University Press, 2007.

[2] UNDRR, “Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years 2000–2019,” Geneva: United Nations, 2020. [Online]. Available: https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019.

[3] World Bank, “Resilient Infrastructure: Building Forward Better,” Washington, DC: World Bank, 2021. [Online]. Available: https://www.worldbank.org/en/topic/resilientinfrastructure.

[4] M. Asadi Nazari, “Planning and Locating Temporary Settlement Camps for Earthquake Survivors: Case Study of District 1, Tehran,” M.S. thesis, Tarbiat Modares Univ., Tehran, Iran, 2004. (in Persian)

[5] D. Alexander, “Principles of Emergency Management,” Oxford: Oxford University Press, 2002.

[6] K. Maleki, M. Talashi, M. Modiri, and M. Heydarifar, “An Analysis of Threat Networks and Risk Circles in Earthquake Hazard Vulnerability with a Passive Defense Approach: Case Study of Kermanshah Metropolis,” J. Spatial Anal. Environ. Hazards, Kharazmi Univ., 2022. (in Persian)

[7] RSC, “Earthquake Catalog of Iran,” Inst. of Geophysics, Univ. of Tehran, Tehran, Iran, 2022. [Online]. Available: http://irsc.ut.ac.ir

[8] K. Maleki, A. Aliakbari, and E. Pahkideh, “Physical Development Risk in Kermanshah Against Earthquake Hazards with a Passive Defense Approach,” Urban Plan. Reg. Dev. J., Univ. of Tabriz, no. 2, pp. 95–114, 2022. (in Persian)

[9] K. Maleki, A. Malek Hosseini, E. Pahkideh, and Y. Maleki, “An Analysis of Flood Risk Networks and Risk Circles in Land Use Vulnerability with a Passive Defense and Urban Resilience Approach: Case Study of Ravanser City,” Geogr. Environ. Stud. Q., no. 45B, pp. 52–67, 2023. (in Persian)

[10] K. Hosseinzadeh Dalir, K. Maleki, A. Shefaati, and M. R. Heydarifar, “Passive Defense and Sustainable Urban Development with Emphasis on Vulnerable Land Uses in Tabriz from a War Perspective,” Geogr. Environ. Sustain., no. 5, pp. 1–24, 2012. (in Persian)

[11] K. Maleki, M. Pourmohammadi, H. Yousefi Shahir, and M. Karami, “Assessment of Neighborhood-Spatial Structures of Urban Settlements Based on Earthquake Risk and Passive Defense: Case Study of Kermanshah Metropolis,” Crisis Manage. Semiannu., no. 22, pp. 1–21, 2022. (in Persian)

[12] M. Pourmohammadi and K. Maleki, “Passive Defense and Strategies for Urban Development and Security,” 2nd ed., Tabriz: Forouzeh Publications, 2021. (in Persian)

[13] S. L. Cutter, K. D. Ash, and C. T. Emrich, “Urban Resilience to Disasters: Lessons from Integrating Science, Policy, and Practice,” Nat. Hazards Rev., vol. 17, no. 4, pp. 1–12, 2016. doi:10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000190

[14] K. Maleki, M. R. Heydarifar, M. Norouzi, and N. Pejman, “Cyclical Development and Earthquake Vulnerability Analysis from a Passive Defense Perspective: Case Study of Kermanshah Metropolis,” Spatial Political Plan., 2023. (in Persian)

[15] Sh. Eissalou, Q. Latifi, and V. Goodarzi, “Assessment of Physical Vulnerability in District 1 of Tehran Against Potential Earthquakes Using IHWP Method and GIS,” Sepehr Geogr. Inf. Q., no. 100, pp. 73–87, 2016. (in Persian).

[16] UNDRR, “Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030,” Geneva: United Nations, 2015.

[17] A. Alavi, M. Ebrahimi, B. Najafpourmahmoudabad, and A. Khaledi, “Assessment of Vulnerability in the Deteriorated Urban Fabric of Minab to Earthquakes,” Crisis Manage. Semiannu., pp. 71–82, 2016. (in Persian)

[18] K. S. Jaiswal and D. J. Wald, “Estimating Economic Losses from Earthquakes Using Rapid Impact Modeling,” Earthquake Spectra, vol. 29, no. 1, pp. 309–324, 2013. doi:10.1193/1.4000104

[19] T. Rashed, J. Weeks, H. Couclelis, and M. Herold,

[32] K. Maleki, *Assessment and Analysis of the Vulnerability of Critical Urban Land Uses in Tabriz from a Passive Defense Perspective with Emphasis on Earthquake Crisis Using GIS,* Collaborative Research Project, Armed Forces Geogr. Org., 2012. (in Persian)
[33] K. Maleki, *Spatial Planning of Kermanshah Province,* Kermanshah: Razi Univ., 2018.
[34] Management and Planning Org., Kermanshah, *Province Statistical Yearbook,* 2019.
[35] K. Maleki, M. Pourmohammadi, H. Yousefi Shahir, B. Masoudi Asl, and M. Karami, "Urban Historiography with a Review of the Geography of Environmental Defense and the Formation Process of Kermanshah Metropolis," Geography and Human Relations, no. 4, pp. 732–763, 2024. (in Persian)
[36] A. Ali Akbari, M. Taleshi, M. Karami, and K. Maleki, "Uncertainty Approach in Earthquake Vulnerability Assessment in Geographic Information System (GIS) Environment, Case Study of Kermanshah Metropolis," Q. Sci. Res. J. Geogr. (Reg. Plan.), Qeshm Inst. of Higher Educ., no. 43, 2021. (in Persian)
[37] A. Ghanbari, M. Saleki Maleki, and M. Ghasemi, "Zoning the Vulnerability of Cities to Earthquake Risk (Case Study: Tabriz City)," Geography and Environ. Hazards, no. 5, pp. 21–33, 2013. (in Persian)
[38] S. Fazel, M. Taghvaei, and A. Mahmoudzadeh, "Urban Seismic Vulnerability Zoning Using the ANP Model, Case Study: Najafabad City," Crisis Manage., pp. 121–132, 2017. (in Persian)
[39] H. Noorollahi, A. Soleimani, A. Barzegar, and A. Alidoosti, "Evaluating the Sensitivity of Urban Assets and Areas Using Interaction Analysis with an Urban Planning Approach," Bi-Quarterly J. Crisis Manage., 2013. (in Persian)
[40] M. Khalghifard and B. Badakhshan-Nejad, "Seismic Vulnerability Assessment of Yasuj City Hospitals from the Perspective of Passive Defense and Methodology ATC," Passive Defense J., no. 1, pp. 1–12, 2021. (in Persian). [Online]. Available: https://pd.ihu.ac.ir/article_202756.html?lang=en
[41] E. Triantaphyllou, *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study,* Springer, 2013.
[42] E. Mavedat and M. Lorzangeneh, "The Role of Urban Streets Network Structure in Creation of Urban Defenseless Spaces (Case Study: Qatarchian Neighborhood in Sanandaj)," Passive Defense, vol. 11, no. 3, pp. 79–91, 2020. (in Persian). doi:10.1001.1.20086849.1399.11.3.7.0
"An Integrative GIS and Remote Sensing Model for Place-Based Urban Vulnerability Analysis," 2017.
[20] A. Ebert, N. Karle, and A. Stein, "Urban Social Vulnerability Assessment Using Object-Oriented Analysis of Remote Sensing and GIS Data: A Case Study for Tegucigalpa, Honduras," Remote Sens. Spatial Inf. Sci., vol. XXXVII, pt. B7, pp. 1307–1311, 2008.
[21] J. Moehle, C. Barkley, D. Bonowitz, S. Karlinsky, J. Maffei, and C. Poland, "The Resilient City: A Way of Thinking about Preparedness, Mitigation, and Rebuilding," in Proc. NZSEE Conf., Christchurch, Apr. 3–5, 2009.hristchurch. 2009
[22] UN/ISDR, "World Conference on Disaster Reduction," Kobe, Hyogo, Japan, Jan. 18–22, 2005.

[23] S. Alidousti, *The Application of Crisis Management in Reducing Earthquake Losses,* Tehran: Univ. of Tehran, 1992. (in Persian)
[24] H. Ahmadi and M. Bochanie, "The History of Earthquakes in Iran," Municipalities Monthly, no. 58, 2003. (in Persian)
[25] A. Ablaqei, "Editor's Note," Haft Shahr J., Urban Dev. Renov. Org., no. 18, 2005. (in Persian)
[26] F. Ghozban, *Environmental Geology,* Tehran: Univ. of Tehran, 2002. (in Persian)
[27] M. Bayati Khatibi, "Hazards Resulting from Urban Development over Faulted Topographies," Housing and Revolution, no. 107, 2004. (in Persian)
[28] A. Safari, "Planning for Natural Disaster Response: Case Study of Tarom Olya Earthquake," M.S. thesis, Shahid Beheshti Univ., Tehran, Iran, 1997. (in Persian)
[29] K. Maleki, A. Pahkideh, and N. Marsousi, "Health and Security in Defensive Cities with a Multipurpose Land Use Planning Model: Case Study of Sanandaj," Environ. Spatial Plan. J., no. 29, pp. 28–50, 2015. (in Persian)
[30] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction to Operations Research,* 11th ed., New York: McGraw-Hill, 2021.
[31] Y. Moareb, B. Sepehrzad, and M. Naderi, "Assessment of Urban Fabric Vulnerability to Earthquake with a Passive Defense Approach (District 2 of Tehran)," Passive Defense J., no. 2, pp. 31–43, 2020. (in Persian). [Online]. Available: https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086849.1399.11.2.4.5