Physical Geography Research Quarterly

Online ISSN: 2423-7760

Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

Assessing the Vulnerability of Kermanshah Building Blocks in Earthquake and Site Selection for the Temporary Housing of the Vulnerable Population

Ali Veysi [1], Farhad Hosseinali [2]

1- *Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran*
Email: ali.veysi2011@gmail.com
2- (Corresponding Author) *Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran*
Email: f.hosseinali@sru.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:
Received:
28 November 2023
Received in revised form:
24 February 2024
Accepted:
30 March 2024
Available online:
3 May 2024

Keywords:
Fuzzy Analytic Hierarchical Process (FAHP),
Fuzzy Inference System (FIS),
Site Selection,
Temporary Housing,
Earthquake.

ABSTRACT

The risk of natural hazards, particularly earthquakes, is a highly significant concern in urban environments. In this research, the initial phase entails estimating the vulnerability map of the building blocks in Kermanshah metropolis, as well as determining the number of individuals at risk during an earthquake. Subsequently, the research identifies and introduces safe zones or suitable locations for accommodating the vulnerable population during such seismic events. For the first part, the vulnerability map was obtained using maps of distance from faults, the structural integrity of the buildings, the strength of the building blocks, and the size of the infrastructure. A fuzzy inference system was utilized. Thus, the high-risk blocks were determined, and their population was estimated. In the second part of the research, distance maps derived from rivers, faults, high-voltage power lines, electric substations, fuel stations, roads, hospitals, fire stations, and police stations were used. These generated maps have then undergone fuzzification, and the weight of the criteria employed has been assessed using the fuzzy hierarchical analysis process (FAHP). Subsequently, by applying the weight associated with each criterion to the corresponding map and merging the resultant maps, maps depicting the suitability for temporal settlement of the vulnerable population during an earthquake were obtained. Finally, the most optimal inner-city and outer-city sites for individuals' lodging amid an earthquake have been chosen. Moreover, certain locations inside the suggested sites and their capacity were assessed. The field research revealed that the selected sites involve the expected conditions for settlement after the earthquake.

Cite this article: Veysi, A., & Hosseinali, F. (2024). Assessing the Vulnerability of Kermanshah Building Blocks in Earthquake and Site Selection for the Temporary Housing of the Vulnerable Population. *Physical Geography Research Quarterly*, *56* (1), 61-82.
http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.368595.1007799

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

The risk of natural hazards, particularly earthquakes, is a significant concern in urban environments. This issue has garnered increased attention in light of recent seismic activity in Iran. Within the framework of this study, the initial phase entails estimating the vulnerability map of the building blocks in Kermanshah metropolis, as well as determining the number of individuals at risk during an earthquake. Subsequently, the research identifies and introduces safe zones or suitable locations for accommodating the vulnerable population during such seismic events. Various factors have been taken into account to construct the vulnerability map of the building blocks, including the distance from fault lines, the structural integrity of the buildings, the building blocks' strength, and the infrastructure's size. Additionally, population data for Kermanshah city has been utilized to estimate the vulnerable population. This study used a fuzzy inference system with 81 rules to estimate earthquake vulnerability. Blocks at high risk have been identified through thresholding on the vulnerability map, and the total population residing within those blocks has been acquired. The subsequent segment of this investigation involves the utilization of distance maps derived from rivers, faults, high-voltage power lines, electric substations, fuel stations, roads, hospitals, fire stations, and police stations. These generated maps have then undergone fuzzification, and the weight of the criteria employed has been assessed using the fuzzy hierarchical analysis process (FAHP). Subsequently, by applying the weight associated with each criterion to the corresponding map and merging the resultant maps, maps depicting the suitability of certain locations for housing the vulnerable population during an earthquake have been obtained. Finally, by examining the map indicating the appropriateness of locations, the most optimal inner-city and outer-city sites for individuals' lodging amid an earthquake have been chosen. The outcomes of the initial phase of this investigation demonstrate that no less than 65,110 individuals will sustain injuries in an earthquake with a moderate level of intensity. The outcomes of the subsequent phase likewise suggest that a region close to the central area of the city's western boundary is apt for accommodating the vulnerable populace in an earthquake.

Methodology

In this research, the shape files of faults, rivers, urban roads, high voltage power lines, hospitals, police stations, fire stations, fuel stations, building blocks, and urban places such as the location of schools and educational centers, rescue and rescue centers, clinics and clinics, shelters, Basij offices and bases, etc. of Kermanshah city were used. The vulnerability criteria were first fuzzified to prepare the vulnerability map of building blocks. Then, using MATLAB software, a fuzzy inference system was designed based on the Mamdani inference system with 81 fuzzy rules, and by defining the input and output membership functions, the vulnerability map of building blocks due to earthquakes was obtained. Finally, the number of vulnerable populations was estimated by combining this map with the population density map. Also, in order to prepare the map of accommodation sites, all the maps related to the location were fuzzy using ArcMap software, then a weight was assigned to each of the maps, and finally, by overlapping the maps, the suitable places for the construction of the sites were determined.

Results and discussion

An inner-city and an outer-city site were identified to accommodate the earthquake victims. There are 151 places available in the proposed inner-city accommodation site during the earthquake that can be used. These places include schools and colleges, green spaces, parks and gardens, hospitals, clinics and medical centers, administrative and organizational centers, and service centers such as parking lots, terminals, etc. It was found that the total area of habitable places in the inner-city site is over 978 thousand square meters. If the estimated population of vulnerable people in moderate and severe earthquakes are 65,110 and 448,282 people, respectively, a space of 15.02 square meters and 2.18 square meters

can be allocated for each vulnerable person. In other words, if an earthquake with moderate strength occurs during the day, the density of vulnerable people in the proposed sites inside the city will be approximately 7 people per 100 square meters. Also, suppose a strong earthquake occurs at night; in that case, the density of vulnerable people in the proposed sites inside the city will be approximately 46 people per 100 square meters, which is a high value. In case of a strong earthquake affecting many people, it is advisable to consider using the proposed out-of-town site, which is located near the inner-city site, simultaneously. This will help accommodate a larger number of people and ensure their safety.

Conclusion

In this research, a method based on the fuzzy inference system for estimating the vulnerability of building blocks during an earthquake and estimating the vulnerable population, as well as locating safe points for housing the vulnerable population of Kermanshah metropolis, was introduced and described. The output results of the vulnerability map of building blocks show that the middle and western building blocks are in better conditions than other building blocks due to their distance from the northern and southern faults and the high strength of their structures, and they are less damaged in case of an earthquake. Considering the vulnerable population during an earthquake, securing and renovating blocks that do not have sufficient strength against earthquakes is necessary. Regarding safe places for earthquake victims, the factors of distance from faults and proximity or access to the hospital have the highest degrees of importance, according to experts in crisis management and the Red Crescent. In this regard, construction near existing faults should be strictly avoided. Also, the location suitability map produced shows that the area close to the middle of the western border of Kermanshah city is suitable for housing the vulnerable population during an earthquake, and this area is suggested as an urban site during an earthquake. In case of an increase in the affected population, the injured or other displaced people should be accommodated in the out-of-town site by establishing a field hospital.

Funding

This work was supported by Shahid Rajaee Teacher Training University under grant number 4939

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to Kermanshah Management and Planning Organization for providing the data for this research.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی

شاپا الکترونیکی: 2423-7760

Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

ارزیابی آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی شهر کرمانشاه در برابر زلزله و مکان‌یابی محل اسکان موقت جمعیت آسیب‌پذیر

علی ویسی [۱]، فرهاد حسینعلی [۲]

۱- گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. رایانامه: ali.veysi2011@gmail.com

۲- نویسنده مسئول، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. رایانامه: f.hosseinali@sru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۹/۰۷

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۲/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۱/۱۱

تاریخ چاپ:
۱۴۰۳/۰۲/۱۴

واژگان کلیدی:
تحلیل سلسله مراتبی فازی،
سیستم استنتاج‌گر فازی،
مکان‌یابی،
اسکان موقت،
زلزله.

چکیده

یکی از خطراتی که سکونتگاه‌ها و مخصوصاً شهرها را تهدید می‌کند، وقوع زلزله است. در این پژوهش ابتدا نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی کلان‌شهر کرمانشاه تهیه و تعداد افراد آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله برآورد شده و سپس سایت‌های مناسب برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر شناسایی گردیده است. برای اجرای بخش اول با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی گسل‌ها، عمر سازه، استحکام بلوک‌های ساختمانی و مساحت زیربنای بلوک‌ها و بهره‌گیری از یک سیستم استنتاج فازی نقشه آسیب‌پذیری آماده‌شده و با حد آستانه گذاری بر روی نقشه، بلوک‌های با ریسک بالا شناسایی و مجموع جمعیت ساکن در آن بلوک‌ها به‌دست‌آمده است. برای بخش دوم این پژوهش نیز از لایه‌های اطلاعاتی فاصله از رودخانه‌ها، گسل‌ها، خطوط برق فشارقوی، پست برق، جایگاه‌های سوخت، راه‌ها، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و پلیس استفاده‌شده است. سپس نقشه‌های تولیدشده فازی سازی شده و وزن معیارها با فرآیند تحلیل سلسه‌مراتبی فازی (FAHP) برآورد گردیده است. پس‌ازآن با اعمال وزن هر معیار به نقشه مربوط به آن معیار و ادغام نقشه‌ها، نقشه‌های شایستگی مکانی برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زلزله به‌دست‌آمده است. در نهایت بهترین سایت‌های پیشنهادی داخل شهری و برون‌شهری برای اسکان مردم در زمان وقوع زلزله انتخاب‌شده است. علاوه بر آن، مکان‌های اسکان داخل سایت‌های پیشنهادی و ظرفیت آن‌ها برای اسکان موردبررسی قرار گرفت. بررسی میدانی نشان داد که سایت‌های انتخاب‌شده دارای شرایط موردنظر برای اسکان در زمان بحران زلزله می‌باشند.

استناد: ویسی، علی و حسینعلی، فرهاد. (۱۴۰۳). ارزیابی آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی شهر کرمانشاه در برابر زلزله و مکان‌یابی محل اسکان موقت جمعیت آسیب‌پذیر. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۱)، ۸۲-۶۱.

http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.368595.1007799

© نویسندگان

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

مقدمه

مخاطرات طبیعی همواره بخش جدایی‌ناپذیر زندگی بشر در طول تاریخ بوده است و انسان همیشه در طول تاریخ آسیب‌های گوناگون، سهمگین و سنگینی را از این مخاطرات تجربه کرده است. به‌رغم پیشرفت گسترده علم و تکنولوژی در دهه‌های گذشته، باز هم انسان در تشخیص وقوع بلایای طبیعی مانند زلزله ناکام بوده است. بااین‌وجود برنامه‌ریزی دقیق و کامل جهت کاهش آسیب‌های ناشی از این مخاطرات امکان‌پذیر بوده و می‌توان با استفاده از علم و تکنولوژی روز آسیب‌ها و خسارت‌های جانی و مالی ناشی از وقوع حوادث طبیعی نظیر زلزله و سیل را به حداقل ممکن رساند (آذرکیش و همکاران، ۱۳۹۶). نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران، حاکی از آن است که بیشتر نقاط شهری این کشور در نواحی با خطر نسبی زیاد قرارگرفته است (قنبری و همکاران، ۱۳۹۲). به همین خاطر عدم رعایت مکان‌گزینی صحیح و مناسب در زمان زلزله ممکن است فاجعه دیگری حتی به‌مراتب وخیم‌تر از سانحه اولیه به دنبال داشته باشد (رشیدی ابراهیم‌حصاری و همکاران، ۱۳۹۲).

سرعت شهرنشینی در شهرهای کشورهای درحال‌توسعه منجر شده است تا نصف جمعیت جهان در حال حاضر در مناطق شهری مستقر شوند. بیشتر این مناطق با تراکم جمعیتی بالا در برابر وقوع بحران‌هایی مانند زلزله آسیب‌پذیرند. در مورد شهرهای زلزله‌خیز مناسب‌ترین اقدام، جداسازی انسان از منطقه خطر است. به همین دلیل شناسایی قبلی و برنامه‌ریزی در شناسایی پهنه‌های خطرپذیر، مناطق امن و هم‌چنین مسیریابی بهینه برای رسیدن به سایت‌های اسکان موقت لازم و ضروری است (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۵). در هنگام وقوع بحران غالباً محل‌های سکونت دچار آسیب یا برای استفاده ناامن می‌شود. در این هنگام ایجاد محل سکونت مناسب اهمیت بسیار دارد. ازآنجاکه غالباً تأمین اسکان دائمی برای تعداد زیادی از افراد آسیب‌پذیر، نیاز به زمان طولانی دارد، اسکان موقت ضرورت می‌یابد (فرقانی و دربندی، ۱۳۹۴). انتخاب مکان مناسب برای اسکان موقت یا اضطراری برای بازماندگان بلایا همواره باید توسط مقامات یا سازمان‌های مسئول برای فاجعه مشخص گردد. در ایران و چند کشور دیگر در سراسر جهان این تصمیم به‌طورمعمول پس از وقوع بلایا و بدون توجه به استانداردهای لازم برای مکان‌یابی گرفته می‌شود. انتخاب یک مکان نامناسب می‌تواند منجر به وقوع فاجعه دوم گردد، به همین منظور برنامه‌ریزی، مدیریت، ارائه و انتخاب گزینه‌های مناسب برای اسکان موقت از اهمیت بسزایی برخوردار است. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] می‌تواند در شناسایی مکان اسکان موقت برای مردم زلزله‌زده کمک ارزنده‌ای باشد (پیام‌راد و وفایی‌نژاد، ۱۳۹۴).

تاکنون روش‌ها و الگوریتم‌های متفاوتی برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری زلزله و همچنین مکان‌یابی نقاط امن ارائه گردیده است که وابسته به نوع منبع داده‌ای مورداستفاده در هرکدام روش متناسبی جهت تهیه نقشه‌های مذکور به کار گرفته‌شده است. روش‌های مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2]، فرآیند تحلیل شبکه‌ای[3]، تکنیک ترتیب‌بندی اولویت بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل[4] و منطق فازی نمونه‌هایی از این روش‌ها می‌باشند (رشیدی ابراهیم‌حصاری و همکاران، ۱۳۹۲؛ بوزرجمهری و همکاران، ۱۳۹۵؛ آذرکیش و همکاران، ۱۳۹۶؛ نارویی و آقائی‌زاده، ۱۳۹۶؛ حسن‌پورکازرونی و همکاران، ۱۳۹۹)، Tudes & Yigiter, 2009; Donevska et al, 2011; Chu & Su, 2012; Li et al, 2017; Allali et al,)

1. Geographic information system
2. Analytical Hierarchy Process (AHP)
3. Analytic al Network Process (ANP)
4. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

2018; Malakara & Rai, 2022). در ادامه برخی از پژوهش‌های انجام‌گرفته در داخل و خارج از کشور در دو دهه اخیر موردبررسی قرارگرفته است.

نوجوان و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به مسئله تعیین معیارهای مناسب برای مکان‌یابی اسکان موقت سانحه‌دیدگان زلزله پرداختند. آنان برای دستیابی به این هدف و همچنین مشخص کردن مکان‌های بهینه جهت اسکان موقت، منطقه یک شهرداری تهران را موردمطالعه قرار دادند و در نهایت، سیزده معیار اصلی و یازده معیار فرعی که درمجموع شامل بیست‌وچهار معیار می‌شود، تدوین و معرفی گردید. در آن پژوهش بر اساس محاسبات، چهارده مکان به‌عنوان مکان‌های ایده‌آل اسکان موقت سانحه‌دیدگان در منطقه یک شهرداری تهران معرفی گردید.

رشیدی ابراهیم‌حصاری و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مکان یابی اسکان موقت پس از زلزله را در منطقه شش شیراز موردبررسی قرار دادند. نتایج آن پژوهش نشان داد معیارهای دسترسی و خصوصیات مکانی موجود در بین سایر لایه‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است.

آذرکیش و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و به‌وسیله معیارهای طبیعی، عملکردی و جمعیتی، اقدام به مکان‌یابی اسکان موقت آسیب‌دیدگان در منطقه دو شهر زاهدان کردند. نتیجه آن پژوهش نشان داد که فضاهای باز خصوصاً پارک‌ها و اراضی بایر با توجه به دولتی بودن و قرارگیری در بافت مسکونی و داشتن حداقل مساحت موردنیاز و کم‌هزینه بودن احداث آن‌ها مناسب‌ترین مکان‌ها برای اسکان موقت در زمان وقوع زلزله می‌باشند.

حسن‌پور کازرونی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اولویت‌بندی بناهای عمومی و دولتی منطقه پنج شهر تهران جهت اسکان در شرایط زلزله پرداختند. در آن پژوهش ابتدا بناهای عمومی خاصی به‌عنوان مراکز اسکان در نظر گرفته شدند و پس‌ازآن معیارهایی تعیین گردید. سپس با استفاده از نظر کارشناسان و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن دهی معیارها انجام گرفت و بناهای در نظر گرفته‌شده اولویت‌بندی شدند. نتایج آن پژوهش نشان داد که بناهای ورزشی، اقامتی، مذهبی و آموزشی مطلوبیت مکانی مناسب‌تری جهت اسکان نسبت به کاربری‌های اقامتی و فرهنگی در این منطقه را دارند.

آنهورن[1] و خزایی[2] در سال ۲۰۱۴ میلادی، شهر کاتماندو نپال را موردمطالعه قرار دادند و به تحلیل فضاهای باز شهری اقدام نمودند و نشان دادند ۴۱۰ فضای باز شهری مناسب اسکان اضطراری پس از وقوع زلزله است (Anhorn et al, 2014).

تودس[3] و یجیتر[4] در سال ۲۰۱۰ میلادی، در پژوهشی ابتدا با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و معیارهای مختلف از جمله نوع کاربری، شیب، کیفیت زمین و ارتفاع، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله برای شهرستان آدانا کردند که یکی از زلزله‌خیزترین مناطق کشور ترکیه می‌باشد. آنان سپس از نقشه خطر نسبی زلزله به‌دست‌آمده برای مکان یابی نقاط امن شهری بهره گرفتند (Tudes & Yigiter, 2010).

لیو[5] و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی، در پژوهشی زلزله مخرب ۷/۱ ریشتری سال ۲۰۱۰ میلادی بخش یوشو[6] کشور چین با ۲۶۹۸ نفر کشته را موردمطالعه قرار داده و در آن ضمن بیان عوامل مؤثر بر شدت گرفتن خسارات وارده بر منطقه، به تجربیات بازسازی و بازگرداندن منطقه به حالت قبل از وقوع زلزله و نقش سازمان‌ها و نهادهای دولتی در امدادرسانی به

1. Anhorn
2. khazaei
3. Tudes
4. Yigiter
5. Liu
6. Yocho

آسیب دیدگان از جمله اسکان آن‌ها پرداختند. آن پژوهش شرایط محیطی خاص منطقه و کمبود امکانات زیرساختی برای امدادرسانی را از جمله عوامل مؤثر در شدت تلفات دانسته است (Liu et al, 2012).

کیلچی[1] و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی، در پژوهشی برای انتخاب محل اسکان موقت، مدل ریاضی را پیشنهاد نمودند و آن را با تولید یک سناریوی پایه با استفاده از داده‌های واقعی برای شهر استانبول ترکیه تأیید کردند. آنان تحلیل حساسیت را نیز بر روی پارامترهای مدل ریاضی ذکرشده انجام دادند (Kılcı et al, 2015).

لی[2] و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به بررسی و برنامه‌ریزی پناهگاه‌های زلزله در منطقه‌ای در شهر شانگهای چین پرداختند و نتیجه گرفتند برنامه‌ریزی پناهگاه‌های اضطراری بر اساس تقاضای تغییر زمان می‌تواند هزینه ساخت پناهگاه‌ها و میانگین فاصله موردنیاز طی شده توسط قربانیان تا پناهگاه را کاهش دهد (Li et al, 2017).

شریار علم[3] و محبوب الحق[4] در سال ۲۰۲۲ میلادی در پژوهشی در شهر میمن‌سینگ[5] کشور بنگلادش به ارزیابی آسیب پذیری زلزله مناطق مسکونی با استفاده از یک رویکرد بر مبنای تحلیل‌های چند معیاره مکانی پرداختند. در این مطالعه از مجموع ۲۳ معیار مکانی در چهار بعـد، معیارهای زمین‌شناسی، سیستماتیک، ساختاری و اجتماعی–اقتصادی استفاده شد. برای محاسبه وزن معیارها روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری روش ترکیب خطی وزنـــی به کار گرفته شد. یافته‌های آن پژوهش نشان می‌دهد از ۲۴۱ محله مسکونی شهر میمن‌سینگ ۵۱ محله به‌شدت آسیب‌پذیر، ۱۲۳ محله در معرض آسیب‌پذیری متوسط و ۶۷ محله در معرض آسیب‌پذیری پایین قرار دارند (Shariar Alam & Mahbubul Haque, 2022).

این پژوهش از روش‌های موفق به کار گرفته‌شده در تحقیقات قبلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری و سپس یافتن مناطق اسکان امن در کلان‌شهر کرمانشاه استفاده می‌کند. بدین ترتیب، در بخش اول، نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی کلان‌شهر کرمانشاه در زمان وقوع زلزله تهیه می‌شود و مجموع جمعیت ساکن در بلوک‌های ساختمانی با ریسک بالا به دست می‌آید و در بخش دوم نیز به مکان‌یابی نقاط امن برای اسکان موقت در زمان وقوع زلزله پرداخته می‌شود.

روش پژوهش

داده‌های به کار گرفته‌شده در این پژوهش شامل موارد ذیل می‌باشد:

❖ مراکز خدماتی مرتبط: در این پژوهش از پنج نقشه نقطه‌ای موقعیت بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های پلیس، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، جایگاه‌های سوخت و مکان‌های شهری (موقعیت مدارس و مراکز آموزشی، مراکز امداد و نجات، کلینیک‌ها و درمانگاه‌ها، پناهگاه‌ها، ادارات و پایگاه‌های بسیج و غیره) استفاده است.

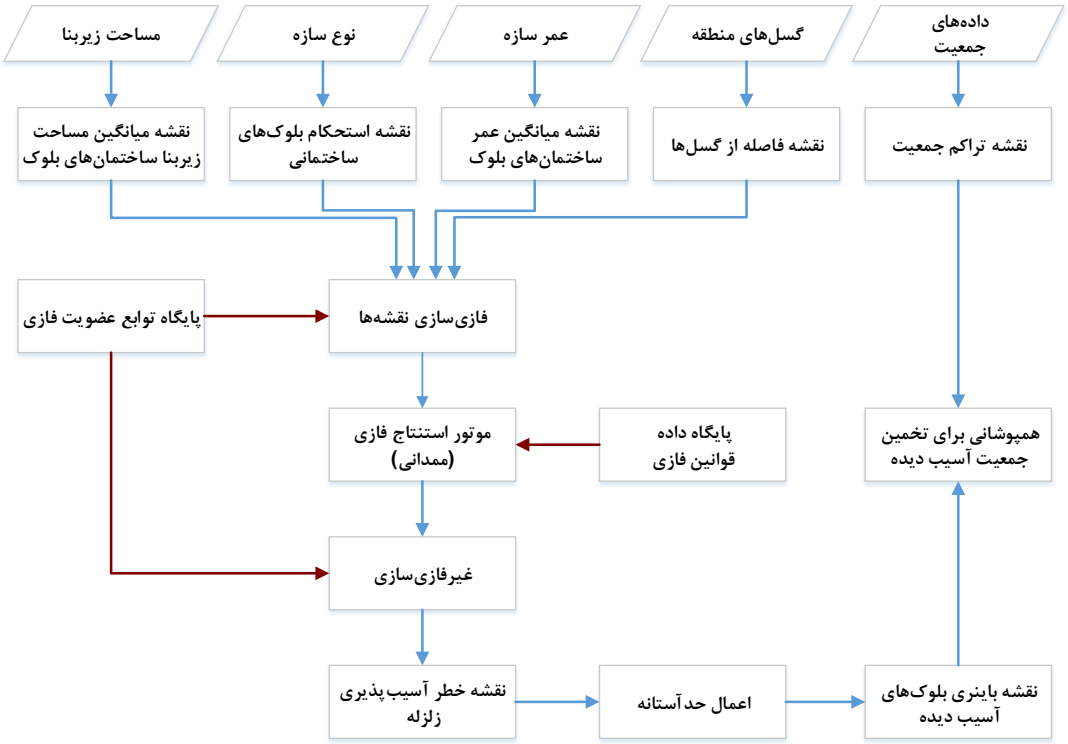
❖ عوارض خطی مرتبط: در کنار نقشه‌های نقطه‌ای از چهار نقشه خطی مربوط به گسل‌ها، رودخانه‌ها، راه‌های شهری و خطوط برق فشارقوی نیز استفاده‌شده است.

1. Kılcı
2. Li
3. Shariar Alam
4. Mahbubul Haque
5. Mymensingh

❖ بلوک‌های شهری: در این پژوهش بلوک‌های ساختمانی شهر کرمانشاه از داده‌های مهم مورداستفاده بوده است. جمعیت ساکن در این بلوک‌ها (مطابق با آخرین سرشماری صورت گرفته در سال ۱۳۹۵) برای برآورد جمعیت آسیب‌پذیر مورداستفاده قرار می‌گیرد.

در بخش اول این تحقیق، ارزیابی آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی شهر کرمانشاه انجام می‌گیرد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. در این پژوهش از مدل استنتاج فازی برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری استفاده‌شده است. به همین منظور در قدم اول، عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیل و زلزله شناسایی شدند و سپس داده‌های در دسترس مرتبط با عوامل مؤثر شناسایی‌شده، جمع‌آوری و پردازش گردیدند. طبق تحقیقات انجام‌شده، عوامل و پارامترهایی که می‌تواند در افزایش یا کاهش آسیب‌پذیری ناشی از سیل و زلزله تأثیر داشته باشند شامل: حداکثر شتاب ثقل زمین در محل، جنس یا نوع خاک محل، شیب زمین، عمر سازه، مساحت زیربنای سازه، تعداد طبقات یا بلندی ساختمان‌ها، سیستم باربر جانبی سازه، نوع اسکلت سازه، نوع سقف سازه، نوع فنداسیون سازه، وضعیت منظمی سازه در پلان و وضعیت منظمی سازه در ارتفاع هستند (حسنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قدرتی‌امیری و همکاران، ۱۳۹۲).

از بین پارامتر مذکور باید مؤثرترین و در دسترس‌ترین پارامترهای موجود به‌عنوان ورودی‌های سیستم فازی برای تعیین میزان آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله برگزیده شود. برای انتخاب پارامترها دو محدودیت دسترسی به داده و میزان تأثیر آن پارامتر وجود داشت. در این پژوهش اطلاعات کافی در مورد شتاب ثقل زمین و جنس خاک با قدرت تفکیک مناسب یافت نشد، چه اینکه در محدوده شهری با ابعاد کرمانشاه تغییرات شتاب ثقل زمین چندان زیاد نیست. از سوی دیگر با توجه به اینکه شهر کرمانشاه در دشتی هموار قرارگرفته و هنوز به دامنه‌های کوه کشیده نشده است، شیب زمین پارامتر مؤثری در مورد آن نخواهد بود. اطلاعات ارتفاعی ساختمان‌ها نیز برای کل شهر موجود نیست و این یک مشکل کلی در تقریباً تمام ایران است. در نهایت با نظر کارشناسان و جمع‌بندی تحقیقات پیشین، چهار پارامتر فاصله از گسل‌ها، سن یا عمر سازه، استحکام بلوک‌های ساختمانی (نوع سازه) و مساحت زیربنای سازه برای زلزله انتخاب گردیدند. میزان تأثیر این پارامترها با توجه به قدرت تفکیک مکانی اطلاعات در حدی است که این اطمینان حاصل شود که مهم‌ترین عوامل در نظر گرفته‌شده‌اند و نقشه‌های حاصل برای به دست آوردن یک برآورد ارزشمند از میزان خسارت زمین‌لرزه در سطح شهر، مؤثر و کارآمد خواهند بود. روند کلی تهیه نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله و تخمین جمعیت آسیب‌پذیر در روند نمای شکل ۱ نشان داده شده است که در ادامه در سه مرحله تشریح می‌گردد.



شکل ۱. فلوچارت و روند پیشنهادی برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان وقوع زلزله

مرحله اول: مرحله اول شامل آماده‌سازی داده‌ها می‌باشد. در این مرحله، داده‌های موردنیاز برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله آماده‌سازی می‌شوند. داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش برای آسیب‌پذیری در زمان زلزله شامل نقشه‌های گسل‌ها، نوع سازه، عمر سازه و مساحت زیربنای ساختمان‌ها می‌باشد. برای این منظور از داده‌های یادشده استفاده می‌گردد تا نقشه‌های فاصله از گسل‌ها، عمر یا سن سازه، استحکام بلوک‌های ساختمانی و مساحت زیربنای بلوک‌های ساختمانی آماده‌سازی گردند. همچنین از داده‌های جمعیت برای تولید نقشه تراکم جمعیت استفاده‌شده است. لازم به ذکر است که نقشه تراکم جمعیت در تهیه نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی شرکت نمی‌کند بلکه صرفاً برای تخمین جمعیت آسیب‌پذیر استفاده می‌گردد. در این پژوهش با توجه به اینکه نقشه‌های موجود و در دسترس برای شهر کرمانشاه در سطح ساختمان نبوده و به‌صورت بلوک‌های ساختمانی هستند، برای تهیه نقشه عمر سازه و مساحت زیربنا از روش میانگین‌گیری بین ساختمان‌های موجود در داخل هر بلوک استفاده گردید.

مرحله دوم: در این مرحله که قسمت اصلی کار می‌باشد، نقشه‌های آماده‌سازی شده در مرحله قبلی، فازی سازی می‌شوند و وارد سیستم استنتاج فازی طراحی‌شده می‌گردند. در این پژوهش یک سیستم استنتاج فازی بر مبنای سیستم استنتاج ممدانی با ۸۱ قانون فازی طراحی و استفاده‌شده است. در یک سیستم استنتاج فازی، فازی سازی و غیرفازی‌سازی بر اساس توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی‌ها انجام می‌گیرد. در این پژوهش برای طراحی توابع عضویت پارامترهای ورودی و خروجی (آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله) به ترتیب از توابع ذوزنقه‌ای و گوسین استفاده‌شده است. هم‌چنین برای پارامترهای ورودی سه تابع عضویت با سطوح کم، متوسط، زیاد و برای پارامتر خروجی پنج تابع عضویت با سطوح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در نظر گرفته‌شده است. خروجی این مرحله بعد از غیرفازی‌سازی، نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله می‌باشد.

مرحله سوم: در مرحله سوم، نقشه باینری ساختمانی آسیب‌پذیر با اعمال حد آستانه بر روی نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی به دست می‌آیند و با نقشه تراکم جمعیت تهیه‌شده در مرحله اول همپوشانی داده می‌شوند تا مجموع جمعیت ساکن در بلوک‌های ساختمانی آسیب‌پذیر توسط زلزله به دست آیند.

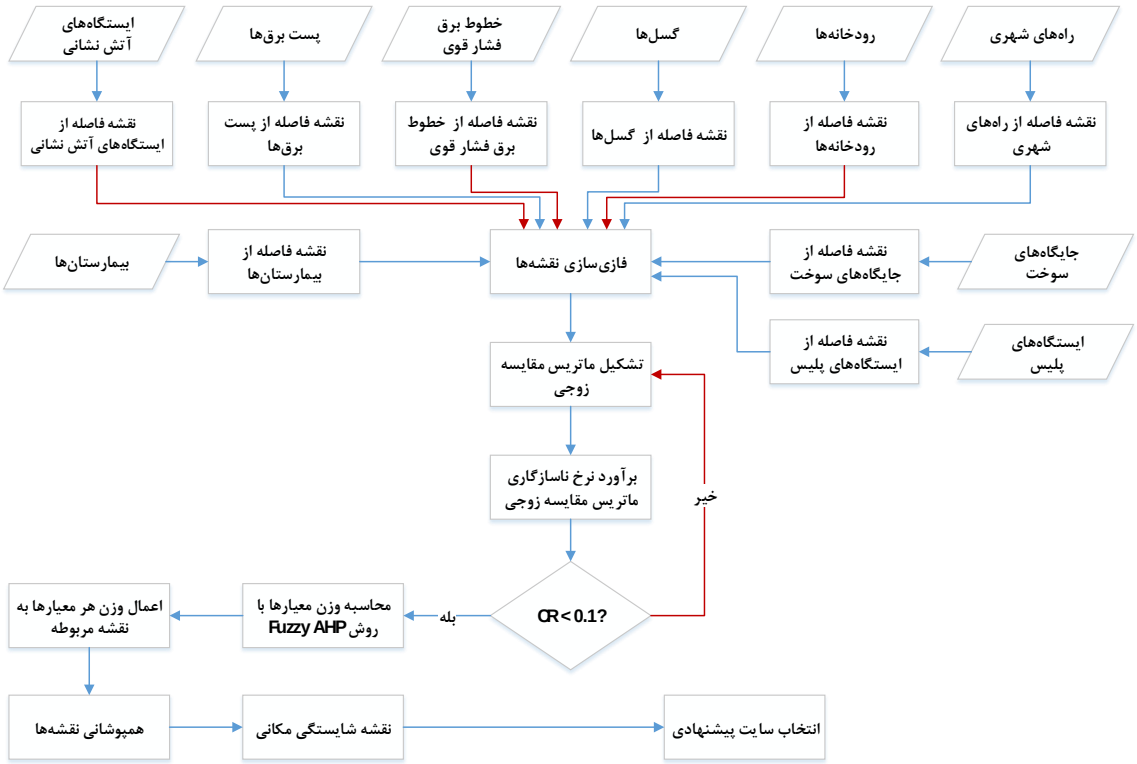
در این پژوهش با توجه به اینکه برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله از چهار پارامتر استفاده‌شده است و برای هر پارامتر سه تابع عضویت کم، متوسط و زیاد تعریف‌شده است، برای پوشش تمام حالات ممکن با عملگر AND به تعداد 3^4 یا ۸۱ قانون نیاز می‌باشد. هم‌چنین برای غیرفازی‌سازی نتایج و خروجی‌ها از روش Centroid در متلب استفاده‌شده است که همان روش مرکز گرانش (CoG) می‌باشد (Sugeno, 1985; Van Leekwijck & Kerre, 1999).

در این پژوهش برای تخمین جمعیت آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله، وقوع زلزله در دو زمان روز و شب و همچنین با قدرت متوسط و شدید بررسی‌شده است. در طی روز برخی از افراد ساکن در بلوک به جهت اشتغال از محل سکونت خود خارج می‌شوند و در شب دوباره در محل سکونت خود حاضر می‌گردند. در نتیجه آسیب جمعیتی ناشی از وقوع زلزله در طی یک روز با آسیب جمعیتی ناشی از وقوع زلزله با همان قدرت در شب می‌تواند متفاوت باشد. به همین دلیل در این پژوهش برای تخمین جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله، دو حالت روز و شب جداگانه بررسی‌شده است. علاوه بر آن چون قدرت زلزله در دو حالت متوسط و شدید نیز در نظر گرفته‌شده است، در کل چهار تخمین از جمعیت آسیب‌پذیر انجام‌گرفته است که شامل موارد ذیل می‌باشند:

- ❖ جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت متوسط در روز
- ❖ جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت بالا در روز
- ❖ جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت متوسط در شب
- ❖ جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت بالا در شب

برای تخمین جمعیت آسیب‌پذیر در حالت‌های سوم و چهارم، از نقشه تراکم جمعیت با کل ساکنین استفاده‌شده است اما برای تخمین جمعیت آسیب‌پذیر در حالت‌های اول و دوم، از نقشه تراکم جمعیت با ساکنین غیر شاغل استفاده‌شده است. لازم به ذکر است که برای محاسبه ساکنین غیر شاغل در یک بلوک، از کل ساکنین بلوک، ساکنین شاغل کم شده است. با توجه به مطالب تشریح شده فوق، برای تخمین جمعیت آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله، ابتدا نقشه باینری بلوک‌های ساختمانی آسیب‌پذیر در زلزله متوسط و شدید به ترتیب با اعمال حد آستانه Th_1 و Th_2 بر روی نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله به دست می‌آیند، سپس نقشه‌های باینری بلوک‌های ساختمانی آسیب‌پذیر در زلزله متوسط و شدید با نقشه تراکم جمعیت با کل ساکنین و ساکنین غیر شاغل همپوشانی داده می‌شوند و در انتها با جمع‌کردن تمام مقادیر پیکسل‌های نقشه حاصل، جمعیت آسیب‌پذیر در زمان زلزله در چهار حالت تخمین زده می‌شود

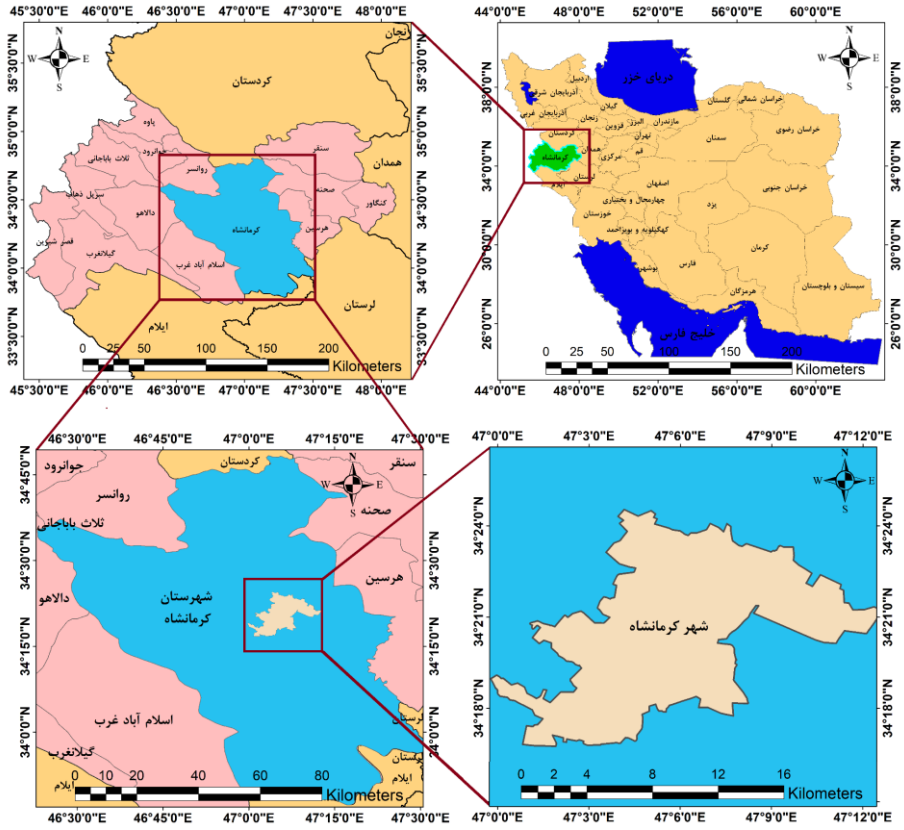
بخش دوم این پژوهش به مکان‌یابی نقاط امن درون و برون‌شهری برای اسکان موقت پس از زمین‌لرزه اختصاص دارد. روند کلی مکان‌یابی نقاط امن برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله در روند نمای شکل ۲ نشان داده شده است که در ادامه در سه مرحله تشریح می‌گردد.



شکل ۲. روند نمای پیشنهادی برای مکان‌یابی نقاط امن اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله

محدوده مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این پژوهش کلان‌شهر کرمانشاه مرکز استان کرمانشاه می‌باشد که در شکل ۳ محدوده آن نسبت به کشور ایران و استان و شهرستان کرمانشاه نشان داده شده است. منطقه مطالعاتی منتخب از نظر طول جغرافیایی در محدوده ۴۶ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی قرارگرفته است و از نظر عرض جغرافیایی در محدوده ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی قرار دارد. منطقه مطالعاتی انتخاب‌شده دارای مساحتی بالغبر ۱۲۲ کیلومترمربع می‌باشد. شهر کرمانشاه نهمین شهر پرجمعیت ایران است به‌طوری‌که جمعیت کلان‌شهر کرمانشاه در سرشماری سال ۱۳۹۵، ۹۴۶۶۵۱ نفر برآورد شده است. حداقل ارتفاع شهر کرمانشاه ۱۲۹۹ متر و حداکثر ارتفاع آن ۱۶۸۸ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. متوسط ارتفاع منطقه نیز ۱۴۹۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد.



شکل ۳. موقعیت منطقه موردمطالعه

یافته‌ها

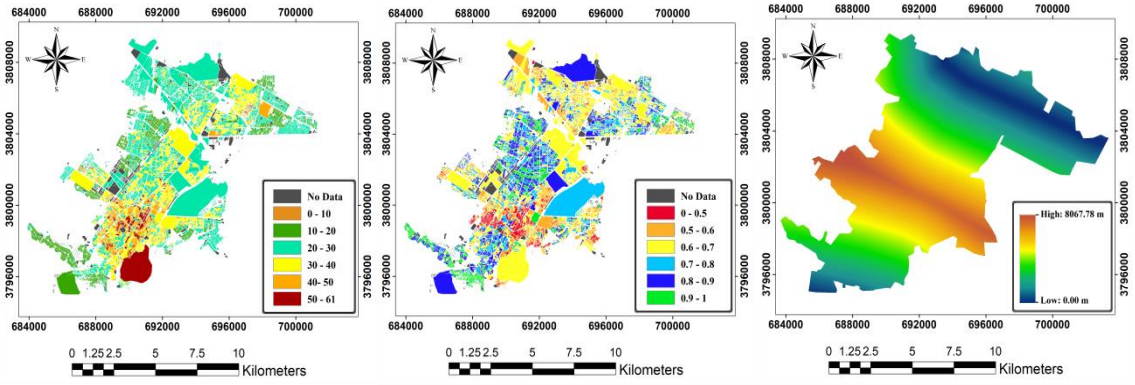
مرحله اول: در مرحله اول تمام نقشه‌های موردنیاز برای مکان‌یابی نقاط امن در زمان زلزله آماده‌سازی می‌گردند. برای این منظور با استفاده از نقشه‌های نقطه‌ای، خطی و سطحی موجود و در دسترس نقشه‌های فاصله از رودخانه‌ها، گسل‌ها، خطوط برق فشارقوی، پست برق‌ها، جایگاه‌های سوخت، راه‌ها، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و ایستگاه‌های پلیس تهیه می‌گردند. لازم به ذکر است که برای مکان‌یابی نقاط امن در زمان وقوع زلزله، محدوده مطالعاتی چهار کیلومتر بزرگ‌تر از محدوده شهری کرمانشاه در نظر گرفته‌شده است به‌این‌علت که امکان انتخاب سایت پیشنهادی در حومه شهر نیز میسر باشد.

مرحله دوم: در مرحله دوم، تمام نقشه‌های تولیدشده در مرحله قبلی فازی سازی می‌شوند. در این پژوهش برای فازی سازی نقشه‌های تولیدشده در مرحله قبلی از روش خطی مستقیم و معکوس استفاده‌شده است (Jang et al, 1997; Ling, 2007; Wu & Mendel, 2019; ArcGIS-DevelopTeam, 2023). نقشه‌های تهیه‌شده در این مرحله در شکل‌های ۴ تا ۹ قابل‌ملاحظه هستند.

علت استفاده از روش خطی ماهیت نقشه‌های استفاده‌شده می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر نقشه‌های استفاده‌شده در این پژوهش به‌گونه‌ای می‌باشند که یا مقادیر پایین در آن‌ها (مثل فاصله از بیمارستان) بیانگر حالت مطلوب می‌باشد، یا مقادیر بالا در آن‌ها (مثل فاصله از رودخانه‌ها) بیانگر حالت مطلوب می‌باشد. در نتیجه اگر از توابع عضویتی مثل گوسین یا مثلثی استفاده گردد به مقادیر میانی نقشه‌ها امتیاز بیش‌تری تعلق خواهد گرفت که نادرست می‌باشد. به همین منظور در این پژوهش برای فازی سازی نقشه‌هایی با تأثیر منفی، یعنی نقشه‌های فاصله از رودخانه‌ها، گسل‌ها، خطوط برق فشارقوی، پست برق‌ها و جایگاه‌های سوخت، از روش خطی مستقیم استفاده‌شده است که در نتیجه آن، نقاط دور از عوارض یادشده امتیاز

بیشتری دریافت می‌کنند و برای فازی سازی نقشه‌های با تأثیر مثبت، یعنی نقشه‌های فاصله از راه‌ها، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و ایستگاه‌های پلیس، از روش خطی معکوس استفاده‌شده است که در نتیجه آن، نقاط نزدیک به عوارض یادشده امتیاز بیشتری دریافت می‌کنند. بعد از عملیات فازی سازی، وزن معیارهای استفاده‌شده در مکان‌یابی نقاط امن محاسبه می‌گردد که برای این منظور ابتدا ماتریس مقایسه زوجی فازی برای هر کدام از معیارهای زلزله (۹ معیار) تشکیل و توسط کارشناسان حوزه مدیریت بحران تکمیل گردیده است و از نتایج آن میانگین‌گیری شده است. سپس نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی محاسبه می‌گردد. درصورتی‌که نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی فازی کمتر از مقدار مجاز یعنی مقدار ۱/. باشند وزن‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) برآورد می‌گردند، در غیر این صورت نیاز هست در ماتریس مقایسه زوجی فازی به‌دست‌آمده تجدیدنظری صورت بگیرد تا زمانی که نرخ ناسازگاری آن کمتر از مقدار ۱/. گردد.

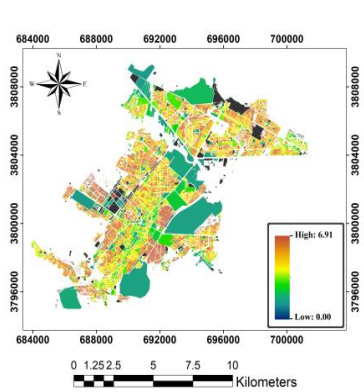
مرحله سوم: در مرحله سوم که مرحله پایانی می‌باشد، وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر کدام از معیارها به نقشه مربوط به آن معیار اعمال می‌گردند و سپس تمامی نقشه‌های معیارها با هم ادغام می‌گردند تا نقشه شایستگی مکانی برای اسکان موقت به دست آید. نقشه شایستگی تولیدشده دارای مقادیری بین صفر و یک می‌باشند که مقادیر یک بیشترین شایستگی مکانی را نشان می‌دهند و مقادیر صفر کمترین شایستگی مکانی را نشان می‌دهند. با بررسی نقشه شایستگی مکانی، بهترین سایت یا سایت‌های پیشنهادی برای اسکان مردم در زمان وقوع زلزله انتخاب می‌گردند. در انتها در هر کدام از سایت‌های پیشنهادی تعداد بیمارستان‌ها، پایگاه‌های امداد، مدارس و فضاهای سبز و غیره برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر شمارش می‌گردند.



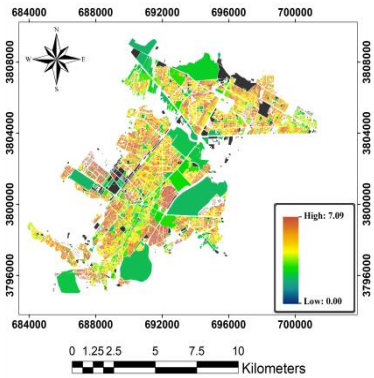
شکل ٦. میانگین عمر سازه‌ها در بلوک

شکل ٥. میانگین شاخص استحکام بلوک‌ها

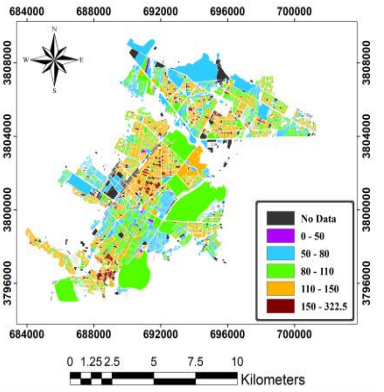
شکل ٤. فاصله از گسل



شکل ۹. تراکم جمعیت کل ساکنین غیر شاغل



شکل ۸. تراکم جمعیت کل ساکنین کرمانشاه



شکل ۷. میانگین مساحت زیربنای سازه‌ها

پیاده‌سازی

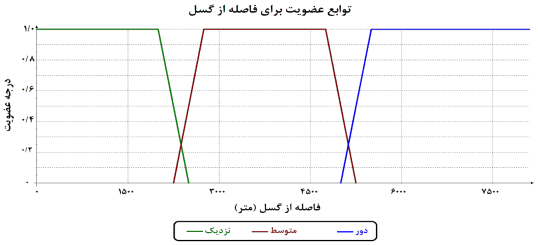
در این بخش نتایج پیاده‌سازی، ارائه می‌شود. در ادامه نتایج به‌دست‌آمده به تفکیک هر مرحله آورده شده است:

الف) **تولید نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی**

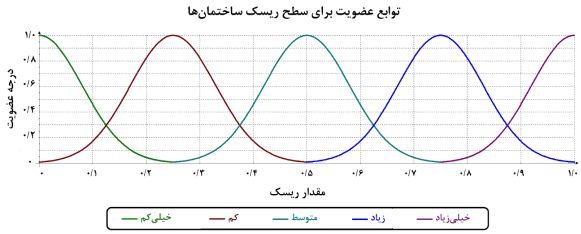
همان‌طور که پیش‌تر نیز تشریح گردید برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله از نقشه‌های فاصله از گسل‌ها، میانگین استحکام، عمر سازه و مساحت زیربنای بلوک‌های ساختمانی استفاده‌شده است که در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده‌اند. همچنین نقشه‌های تراکم جمعیت کل افراد ساکن و ساکنین غیر شاغل بلوک‌های ساختمانی کرمانشاه در شکل‌های ۸ و ۹ قابل‌ملاحظه می‌باشند. کلیهٔ مراحل تولید نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS انجام‌گرفته است.

طراحی سیستم استنتاج فازی

مطابق آنچه تشریح گردید در این پژوهش برای طراحی توابع عضویت پارامترهای ورودی و خروجی به ترتیب از توابع ذوزنقه‌ای و گوسین استفاده‌شده است. نمونه‌ای از این تابع در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

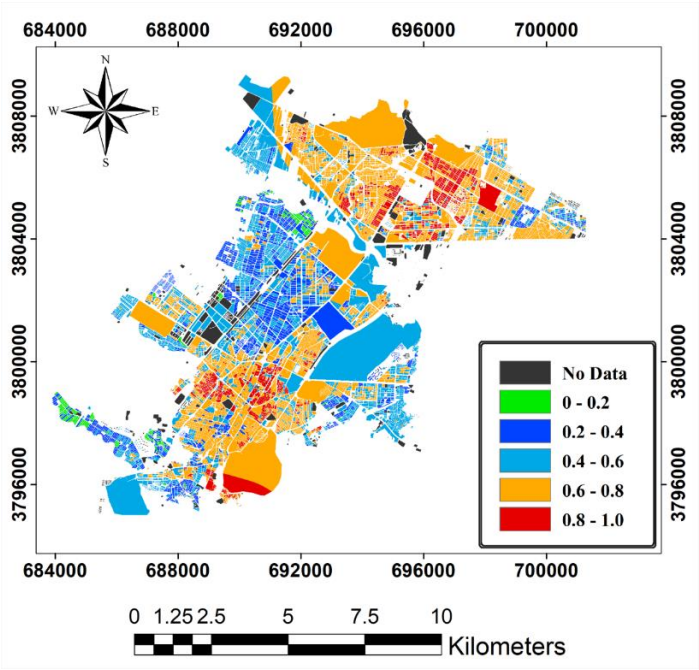


شکل ۱۰. تابع عضویت برای پارامتر فاصله از گسل



شکل ۱۱. تابع عضویت برای آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی

با تعریف توابع عضویت ورودی و خروجی، سیستم استنتاج فازی طراحی می‌گردد که برای این منظور از نرم‌افزار MATLAB استفاده‌شده است. همچنین یادآوری می‌گردد که موتور سیستم استنتاج طراحی‌شده در این پژوهش هر دو از نوع ممدانی می‌باشد و برای تعریف قوانین از ۸۱ قانون فازی با عملگر AND استفاده‌شده است. بعد از طراحی بخش‌های فازی سازی، قوانین، موتور استنتاج و غیرفازی‌سازی، سیستم طراحی‌شده با دریافت مقادیر ورودی‌ها مقدار آسیب‌پذیری را برآورد می‌کند. نقشه آسیب‌پذیری به‌دست‌آمده از روش فازی برای بلوک‌های ساختمانی در زمان زلزله در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲. نقشه آسیب‌پذیری برآورد شده توسط روش فازی برای بلوک‌های ساختمانی کرمانشاه در زمان زلزله

همان‌طور که از شکل ۱۲ مشخص می‌باشد بلوک‌های ساختمانی میانی و غربی شرایط بهتری (ریسک کمتر) را دارا می‌باشند به دلیل آن‌که گسل‌های کرمانشاه در شمال و جنوب کرمانشاه می‌باشند و این نقاط میانی بیشترین فواصل را از گسل دارند. همچنین بلوک‌های میانی و غربی استحکام بیشتری را دارا می‌باشند.

تخمین جمعیت آسیب‌پذیر

برای تخمین جمعیت آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله، برای حد آستانه‌های Th_1 و Th_2 به ترتیب از دو مقدار ۰/۷ و ۰/۹ (برای زلزله‌های متوسط و شدید) استفاده‌شده است و جمعیت آسیب‌پذیر برآورد شده در چهار حالت تشریح شده است. در اینجا برای تقریب به ذهن و بر اساس استانداردهای موجود، منظور از زلزله با قدرت متوسط، زمین‌لرزه‌هایی با قدرت حدود ۶ و منظور از زلزله با قدرت بالا، زمین‌لرزه‌هایی با قدرت ۷ تا ۷/۵ در مقیاس ریشتر[1] می‌باشد. هرچند شدت زمین‌لرزه تنها با این سنجه قابل‌بیان نیست و عوامل دیگری نظیر عمق و مدت لرزه تأثیر زیادی در برآورد شدت آن دارند ولی در اینجا مجال پرداختن به این موضوع نیست (Pasten et al, 2022).

جدول ۱. تعداد جمعیت آسیب‌پذیر شهر کرمانشاه در زمان وقوع زلزله در حالت‌های مختلف

ردیف	حالت	جمعیت آسیب‌پذیر برآوردی (نفر)
۱	جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت متوسط در روز	۶۵,۱۱۰ نفر
۲	جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت بالا در روز	۳۸۵,۸۹۹ نفر
۳	جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت متوسط در شب	۷۳,۸۲۶ نفر
۴	جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت بالا در شب	۴۴۸,۲۸۲ نفر

نتایج جدول فوق نشان می‌دهند که در صورت وقوع زلزله با شدت متوسط حداقل ۶۵,۱۱۰ نفر دچار آسیب خواهند شد. باوجوداینکه تعداد جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله با قدرت بالا تخمین زده‌شده است اما نمی‌توان برای حداکثر جمعیت

1. Richter

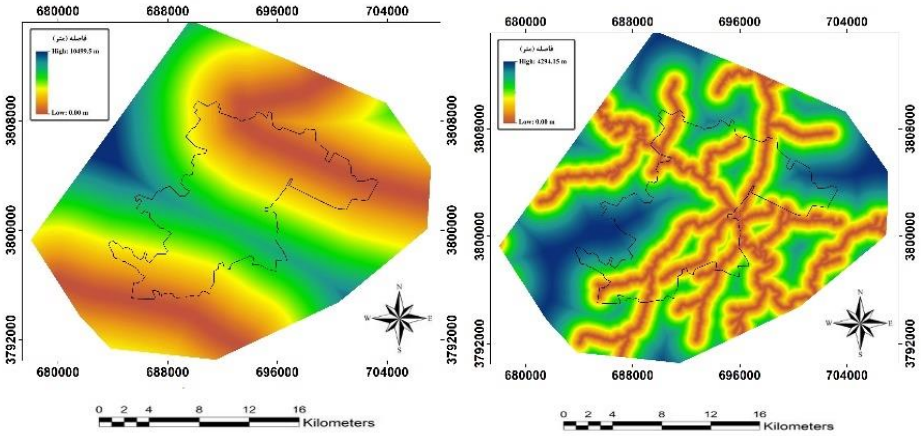
آسیب‌پذیر سقفی مشخص کرد چون در صورت وقوع زلزله بسیار شدید تعداد جمعیت آسیب‌پذیر نسبت به مقدار تخمینی افزایش پیدا خواهد کرد. در کل با توجه به حداقل جمعیت آسیب‌پذیر ضروری می‌باشد که نسبت به ایمن‌سازی و نوسازی بلوک‌هایی که استحکام کافی در برابر زلزله را دارا نمی‌باشند، اقدام گردد. در ادامه نقاط امن یا مناسب در داخل و خارج از محدوده شهر برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر ناشی از زلزله مکان‌یابی شده است.

ب- مکان‌یابی مناطق امن

پیش‌تر نیز بیان شد در این پژوهش جهت مکان‌یابی مناطق امن برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر از روش فازی و برای محاسبه وزن معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) استفاده‌شده است. در ادامه جزئیات بیشتری از مراحل یاد شده در سه قسمت مجزا تشریح می‌گردد.

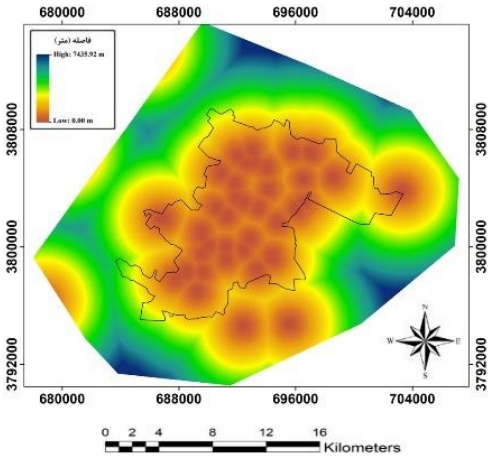
آماده‌سازی داده‌ها و فازی سازی

فاکتورها یا عوامل به کار گرفته‌شده برای مکان‌یابی نقاط امن عبارت‌اند از: نقشه‌های فاصله از رودخانه‌ها، گسل‌ها، جایگاه‌های سوخت، خطوط برق فشارقوی، پست برق‌ها، بیمارستان‌ها، راه‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و ایستگاه‌های پلیس. نقشه‌های یاد شده بعد از آماده‌سازی فازی سازی می‌شوند که برای این منظور از روش خطی مستقیم و معکوس استفاده‌شده است. در تهیه این نقشه‌ها برخلاف بخش مربوط به آسیب‌پذیری، محدوده مطالعاتی کمی بزرگ‌تر از محدوده شهری کرمانشاه در نظر گرفته‌شده است به‌این‌علت که امکان انتخاب سایت پیشنهادی در خارج از شهر (ولی با فاصله قابل قبولی از شهر) نیز میسر باشد. نقشه‌های یادشده به همراه محدوده شهری در شکل‌های ۱۳ تا ۲۱ نشان داده شده است.

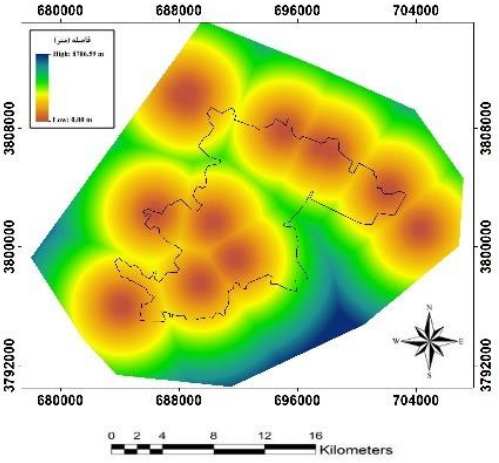


شکل ۱۳. رودخانه‌ها

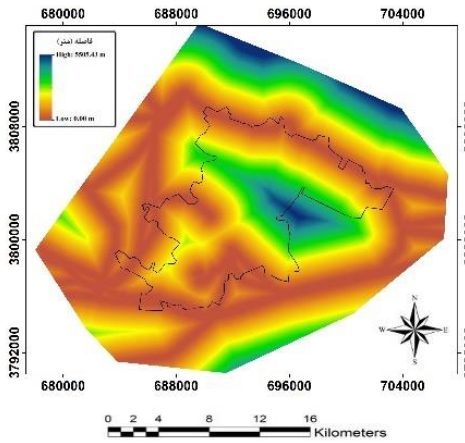
شکل ۱٤. گسل‌ها



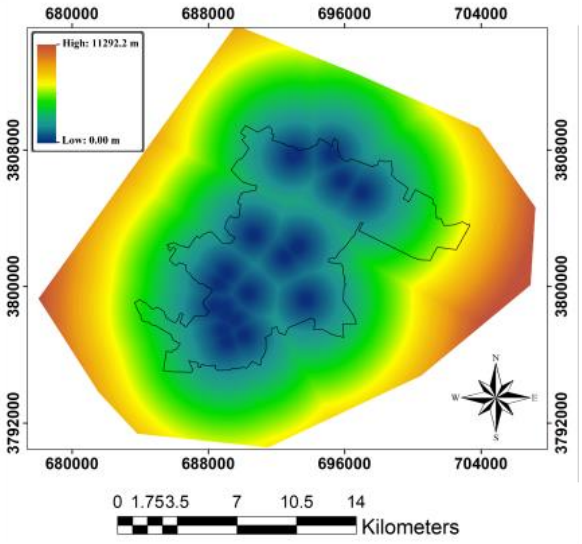
شکل ۱۵. جایگاه‌های سوخت



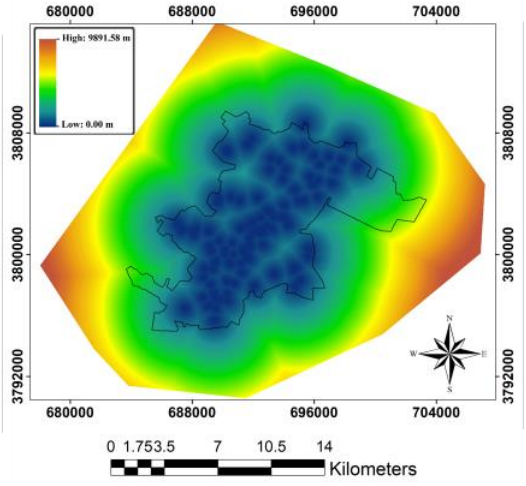
شکل ۱٦. پست برق



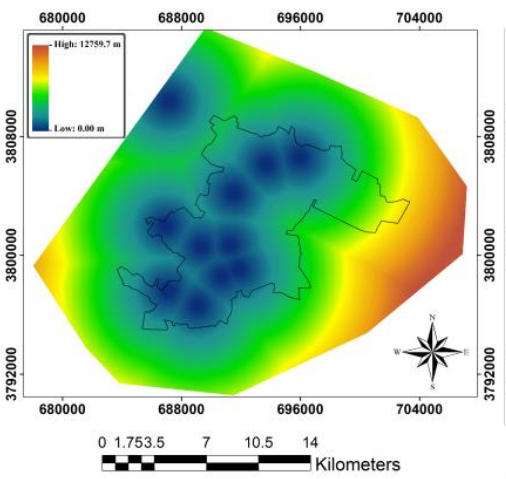
شکل ۱۷. خطوط برق فشارقوی



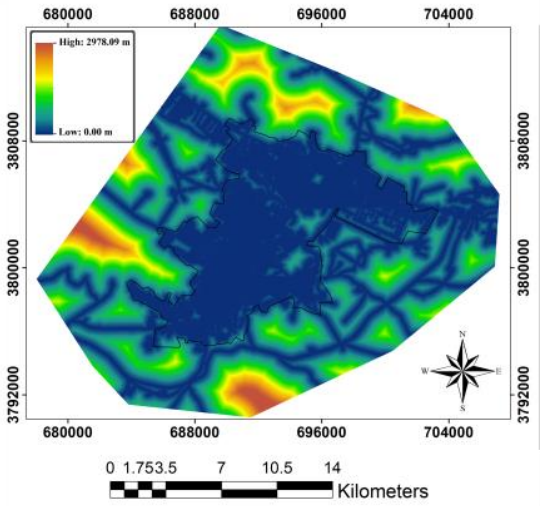
شکل ۱۸. بیمارستان‌ها



شکل ۱۹. کلانتری‌ها



شکل ۲۰. ایستگاه‌های آتش‌نشانی



شکل ۲۱. راه‌ها

محاسبه وزن معیارها

در این پژوهش برای محاسبه وزن‌های نقشه‌های یادشده در بخش قبلی، جدول مقایسه زوجی فازی تشکیل گردید و وزن‌ها به روش فازی با توابع عضویت مثلثی محاسبه گردید. جدول مقایسه زوجی فازی برای معیارها در جدول ۲ آورده شده است. مقدار نرخ ناسازگاری به‌دست‌آمده برای جدول مقایسه زوجی فازی طراحی‌شده برابر با ۰/۰۵۸۳ می‌باشد که با توجه به کوچک‌تر بودن مقدار نرخ ناسازگاری از مقدار ۰/۱، جدول مقایسه زوجی فازی موردپذیرش قرار گرفت و وزن معیارها طبق ارزش‌دهی فازی در جدول مقایسه زوجی برآورد گردید. وزن‌های به‌دست‌آمده از روش فازی برای معیارهای یادشده در جداول ۳ ارائه‌شده است. بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده از روش فازی، فاکتورهای فاصله از گسل‌ها و نزدیکی یا دسترسی به بیمارستان به ترتیب بیشترین درجات اهمیت را از نظر کارشناسان حوزه مدیریت بحران، هلال‌احمر و تعدادی از اساتید دانشگاه رازی کرمانشاه دارا می‌باشند.

جدول ۲. ماتریس مقایسه زوجی فازی برای معیارهای زلزله

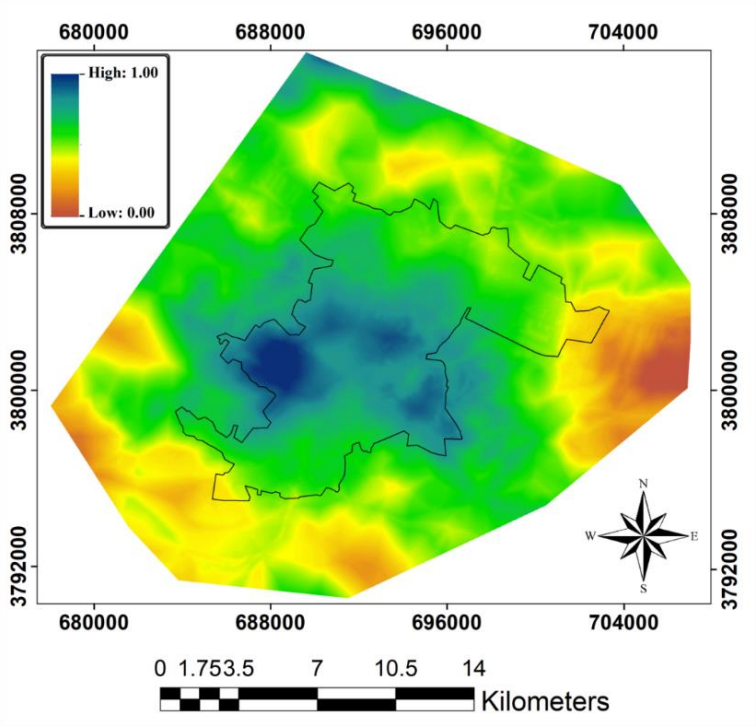
ردیف	معیارها	فاصله از گسل	فاصله از بیمارستان	فاصله از معابر	فاصله از رودخانه	فاصله از خطوط برق فشارقوی	فاصله از پست برق	فاصله از مراکز انتظامی	فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی	فاصله از پمپ‌بنزین‌ها
۱	فاصله از گسل	1								
۲	فاصله از بیمارستان	$\tilde{5}$	1							
۳	فاصله از معابر	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	1						
۴	فاصله از رودخانه	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	1					
۵	فاصله از خطوط برق فشارقوی	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	1				
۶	فاصله از پست برق	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	1			
۷	فاصله از مراکز انتظامی	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	1		
۸	فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	1	
۹	فاصله از پمپ‌بنزین‌ها	$\tilde{9}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	1

جدول ۳. وزن معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy AHP) برای تولید نقشه شایستگی اسکان

معیارها	وزن معیار	معیارها	وزن معیار
فاصله از گسل	۰/۲۱۴۷	فاصله از پست برق	۰/۰۸۷۴
فاصله از بیمارستان	۰/۱۸۹۱	فاصله از مراکز انتظامی	۰/۰۶۲۳
فاصله از معابر	۰/۱۶۳۰	فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی	۰/۰۲۹۸
فاصله از رودخانه	۰/۱۳۸۳	فاصله از پمپ‌بنزین‌ها	۰/۰۰۲۲
فاصله از خطوط برق فشارقوی	۰/۱۱۳۳		

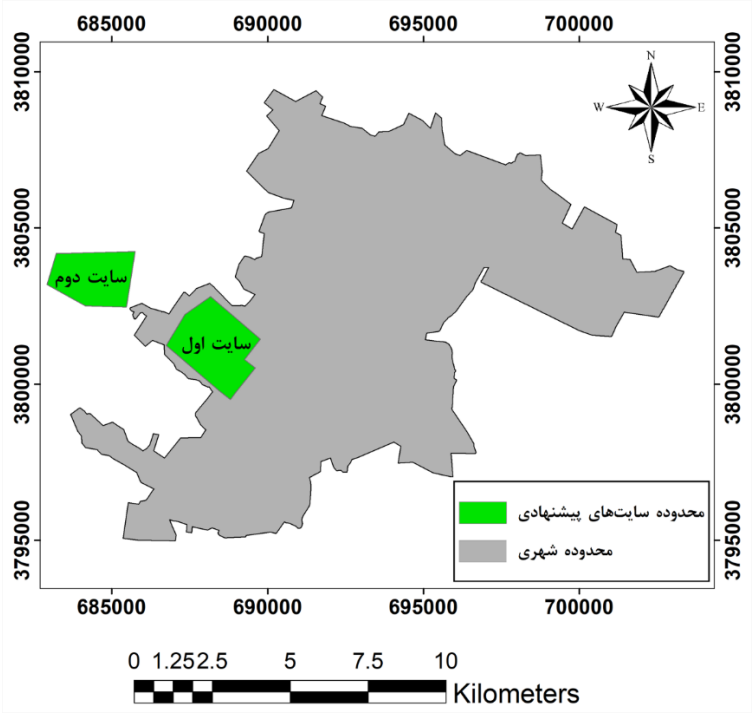
تولید نقشه شایستگی و انتخاب سایت‌ها

بعد از فازی سازی نقشه‌های تولیدشده و محاسبه وزن معیارهای به کار گرفته‌شده با روش فازی، نقشه‌های فازی سازی برهم‌نهی می‌شوند تا نقشه‌های شایستگی مکانی به دست آید. نقشه شایستگی مکانی برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زمان زلزله به همراه محدوده شهری در شکل ۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۲. نقشه شایستگی مکانی کرمانشاه و حومه برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زلزله

در شکل فوق، مناطقی که با رنگ آبی پررنگ مشخص‌شده است، بیشترین مقادیر شایستگی برای اسکان جمعیت را دارا می‌باشند. با توجه به نقشه‌های شایستگی، منطقه‌ای با مساحت ۵۳۹/۷۹ که نزدیک به وسط مرز غربی شهر می‌باشد برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زلزله مناسب می‌باشد که این منطقه به‌عنوان سایت پیشنهادی داخل شهری انتخاب‌شده است. در خارج از محدوده شهری نیز یک سایت پیشنهادی با مساحت ۳۰۶/۰۵ هکتار برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زلزله انتخاب‌شده است. موقعیت سایت‌های پیشنهادی در این پژوهش نسبت به موقعیت محدوده شهری در شکل ۲۳ نشان داده شده است. شایان‌ذکر است که موقعیت سایت‌های پیشنهادی از نظر عوامل مورفولوژیک و کاربری بررسی و تأیید گردید.



شکل ۲۳. موقعیت سایت‌های پیشنهادی برای اسکان در زمان زلزله نسبت به محدوده شهری کرمانشاه

بحث

یکی از چالش‌هایی که در انتخاب سایت مناسب از طریق نقشه‌های شایستگی وجود دارد بزرگ بودن سایت و نزدیک نبودن آن به عوارض پرخطر می‌باشد به‌عنوان‌مثال در برخی قسمت‌های نقشه شایستگی، برخی نقاط مناسب (با مقادیر شایستگی بالا) وجود دارند اما تمامی این نقاط در مجاورت و کنار هم نمی‌باشند و به‌صورت پراکنده در سطح منطقه می‌باشند. این موضوع انتخاب سایتی که مساحت کافی برای اسکان جمعیت تخمینی را دارا باشد را با چالش روبرو می‌کند. در نتیجه با توجه به گستردگی جمعیت آسیب‌پذیر در زلزله شدید و همچنین محدودیت مکانی سایت‌های پیشنهادی، ممکن است نیاز باشد از دو سایت (با اولویت سایت داخل شهری) به‌صورت هم‌زمان استفاده شود. هرچند برپایی اردوگاه‌های صحرایی در سایت‌های خارج از شهر مشکلاتی همانند غذا رسانی را تا حدودی سخت‌تر می‌کند، اما به‌ناچار برای حفظ امنیت افراد آسیب‌پذیر و دور بودن از مناطق پرخطر و عدم بروز حوادثی دیگر نیاز است زمانی که تعداد افراد آسیب‌پذیر بیشتر می‌باشد، از دو سایت به‌صورت هم‌زمان استفاده گردد و تمامی افراد در یک سایت متمرکز نگردند. لازم به ذکر است که در استفاده از سایت‌های انتخابی اولویت با سایت درون‌شهری می‌باشد به دلیل آنکه تجهیزات و تأسیسات موردنیاز برای اسکان جمعیت آسیب‌دیده در دسترس‌تر می‌باشند. در ادامه تعداد و نوع مکان‌های در دسترس در سایت پیشنهادی داخل شهر (سایت اول) که در صورت سالم بودن می‌توانند در زمان وقوع زلزله مورداستفاده قرار بگیرند، در جدول ۵ ارائه‌شده است.

جدول ۵. مکان‌های در دسترس در سایت پیشنهادی داخل شهر (سایت اول) برای اسکان موقت در زمان وقوع زلزله

مکان	تعداد	مساحت (مترمربع)	مکان	تعداد	مساحت (مترمربع)
مدرسه و دانشکده	۴۷	۴۴۲۳۹۹	مسجد و حسینیه	۸	۱۳۷۷۲
فضای سبز، پارک و بوستان	۲۶	۳۱۳۷۱۲	مجتمع و سالن ورزشی	۵	۱۲۲۱۰
بیمارستان، کلینیک و مرکز درمانی	۱۰	۱۰۱۱۷۸	پایگاه بسیج	۶	۱۴۷۰
مرکز اداری و سازمانی	۲۰	۲۸۱۷۰	کتابخانه و مرکز فرهنگی	۳	۷۸۶
مرکز خدماتی (همچون پارکینگ، ترمینال و غیره)	۲۱	۶۴۸۵۵	پناهگاه جنگی	۵	نامشخص

مطابق جدول فوق، در سایت پیشنهادی درون‌شهری برای اسکان در زمان زلزله ۱۵۱ مکان در دسترس می‌باشند که می‌توانند مورداستفاده قرار بگیرند. مجموع مساحت مکان‌های اسکان‌پذیر در سایت درون‌شهری بالای ۹۷۸ هزار مترمربع می‌باشد. در این پژوهش بنا به دلایل امنیتی امکان استخراج مساحت پناهگاه‌های جنگی در سایت پیشنهادی درون‌شهری میسر نبود. با توجه به جمعیت تخمینی افراد آسیب‌پذیر در زلزله متوسط و شدید که به ترتیب ۶۵,۱۱۰ و ۴۴۸,۲۸۲ نفر می‌باشند، برای هر فرد آسیب‌پذیر می‌تواند فضایی به ترتیب ۱۵/۰۲ و ۲/۱۸ مترمربع اختصاص یابد. به‌عبارت‌دیگر درصورتی‌که زلزله با قدرت متوسط در طی روز اتفاق بیفتد تراکم افراد آسیب‌پذیر در سایت‌های پیشنهادی داخل شهری به طور تقریبی ۷ نفر در هر ۱۰۰ مترمربع خواهد بود. همچنین درصورتی‌که زلزله با قدرت شدید در طی شب اتفاق بیفتد تراکم افراد آسیب‌پذیر در سایت‌های پیشنهادی داخل شهری به‌طور تقریبی ۴۶ نفر در هر ۱۰۰ مترمربع خواهد بود که مقدار بالایی می‌باشد و به همین دلیل پیشنهاد می‌گردد درصورتی‌که زلزله شدید و تعداد افراد آسیب‌دیده زیاد باشد از سایت پیشنهادی برون‌شهری نیز که در نزدیکی سایت درون‌شهری می‌باشد به‌طور هم‌زمان استفاده گردد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق روشی بر مبنای سیستم استنتاج فازی برای برآورد آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در زمان وقوع زلزله و تخمین جمعیت آسیب‌پذیر و همچنین مکان‌یابی نقاط امن برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر کلان‌شهر کرمانشاه معرفی و تشریح گردید. نتایج خروجی نقشه آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی نشان می‌دهند که بلوک‌های ساختمانی میانی و غربی به دلیل دوری از گسل‌های شمالی و جنوبی و استحکام بالای سازه‌های آن‌ها شرایط بهتری را نسبت به دیگر بلوک‌های ساختمانی دارا می‌باشند و در صورت وقوع زلزله کمتر دچار آسیب می‌گردند. در این راستا جمعیت آسیب‌پذیر در صورت وقوع زلزله با شدت متوسط در روز، حداقل ۶۵,۱۱۰ نفر تخمین زده می‌شود ولی چنانچه زلزله با شدت بالا در شب اتفاق بیفتد تعداد افراد آسیب‌پذیر می‌تواند به ۴۴۸,۲۸۲ نفر برسد. با توجه به حداقل جمعیت آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله متوسط (۶۵,۱۱۰ نفر)، ضروری می‌باشد که نسبت به ایمن‌سازی و نوسازی بلوک‌هایی که استحکام کافی در برابر زلزله را دارا نمی‌باشند، اقدام گردد.

در مبحث نقاط امن برای آسیب‌پذیران زلزله نیز، فاکتورهای فاصله از گسل‌ها و نزدیکی یا دسترسی به بیمارستان به ترتیب بیشترین درجات اهمیت را از نظر کارشناسان دارا می‌باشند. در این راستا باید از ساخت‌وساز در نزدیکی گسل‌های موجود اکیداً اجتناب گردد. هم‌چنین نقشه شایستگی مکانی تولیدشده نیز نشان می‌دهد منطقه‌ای که نزدیک به وسط مرز غربی شهر کرمانشاه می‌باشد برای اسکان جمعیت آسیب‌پذیر در زمان وقوع زلزله مناسب می‌باشد که این منطقه به‌عنوان سایت داخل شهری در زمان وقوع زلزله پیشنهاد می‌گردد. در سایت پیشنهادی درون‌شهری درمجموع ۱۵۱ مکان همانند مدارس، سالن‌های ورزشی و غیره با مساحت کل تقریبی ۹۷۸ هزار مترمربع در دسترس می‌باشند که می‌توانند مورداستفاده

قرار بگیرند. در این خصوص اگر به هر فرد آسیب‌دیده فضایی به مساحت ۵ مترمربع اختصاص داده شود سایت درون‌شهری می‌تواند پذیرای حداکثر ۱۹۵,۷۱۰ نفر باشد و در صورت ازدیاد جمعیت آسیب‌دیده، مصدومان یا آوارگان دیگر باید در سایت برون‌شهری با برپایی بیمارستان صحرایی اسکان داده شوند. برای ادامه تحقیق در این زمینه پیشنهاد می‌شود که این موضوع در سطح گسترده‌تری که شامل شهرها و مناطق مسکونی اطراف شهر هم بشود موردبررسی قرار گیرد.

حامی مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی طبق ابلاغ گرنت شماره ۴۹۳۹ مورخ ۱۴۰۲/۳/۶ انجام‌شده است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام این پژوهش سهم برابر داشته‌اند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از سازمان مدیریت‌وبرنامه‌ریزی کرمانشاه که داده‌های این پژوهش را فراهم نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

آذرکیش، محسن؛ حافظ رضازاده، معصومه؛ و میری، غلامرضا. (۱۳۹۶). کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مکان‌یابی محل های اسکان موقت پس از وقوع حوادث طبیعی (مطالعه موردی: منطقه دو شهرداری زاهدان). *فضای جغرافیایی*، ۱۷(۵۸)، ۱۶۹-۱۸۹.

بوزرجمهری، خدیجه؛ جوانی, خدیجه و کاتبی، مجیدرضا. (۱۳۹۴). مکان‌یابی بهینه پایگاه اسکان موقّت در مدیریت بحران نواحی روستایی (نمونه موردمطالعه: بخش مرکزی شهرستان فاروج). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴(۴)، ۱-۲۰. doi: 10.22067/GEO.V4I4.42299

حسن‌پور کازرونی، ناصر؛ علویان، سیدمحمدحسین؛ طهماسبی‌زاده، فرشاد. (۱۳۹۹). تحلیل تناسب و اولویت‌بندی بناهای عمومی و دولتی برای مرکز اسکان جمعی در شرایط بحران زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی منطقه ۵ شهر تهران. *دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۱۰ (۱)، ۹۱-۱۰۳. doi: 20.1001.1.23225955.1399.10.1.7.3

حسنی، نعمت؛ رفیعی انزاب، نعیمه و شاداب فر، مهدی. (۱۳۹۱). بهسازی لرزه‌های مدارس و مقایسه روش‌های به‌کاررفته با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور. *دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران، تهران*.

رشیدی ابراهیم‌حصاری، اصغر؛ عطار، محمدامین؛ گیوه‌چی، سعید؛ نصبی، نسترن. (۱۳۹۲). مکان‌یابی اسکان موقت پس از زلزله با استفاده از GIS و تکنیک AHP مطالعه موردی: منطقه شش شهر شیراز. *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۵(۱۷)، ۱۰۱-۱۱۸.

پیام راد، داوود و وفایی‌نژاد، علیرضا. (۱۳۹۴). کمک به مدیریت بحران زلزله با مکان‌یابی مراکز اسکان موقت با استفاده از یک سیستم حامی تصمیم‌گیری GIS مبنا (مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری اصفهان). *علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۵(۲)، ۲۳۱-۲۴۶.

رنگزن، کاظم؛ کابلی‌زاده، مصطفی؛ کریمی، دانیال و منصورنعیمی، ابراهیم. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله و مکان‌یابی مناطق امن در زمان مخاطرات طبیعی با استفاده الگوریتم‌های هوش مصنوعی و GIS (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری کلان‌شهر اهواز). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۷(۳)، ۴۹-۶۶. doi: 10.22108/GEP.2017.97958

فرقانی، محمدعلی و دربندی، سمانه. (۱۳۹۴). ارزیابی عوامل مؤثر در انتخاب مکان‌های اسکان موقت پس از زلزله با استفاده از GIS و تکنیک AHP (مطالعه موردی: منطقه ۴ کرمان). *امداد و نجات*، ۷(۲)، ۵۴-۸۰.

قدرتی امیری، غلامرضا؛ اثمری سعدآباد، سهیل و زارع حسین‌زاده، علی. (۱۳۹۲). تحلیل ریسک زلزله با استفاده از سیستم استنتاج‌گر فازی و کاربرد آن در مطالعات بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود. *مهندسی عمران مدرس*، ۱۳(۴)، ۸۴-۷۱.

قنبری، ابوالفضل؛ سالکی ملکی، محمدعلی و قاسمی، معصومه. (۱۳۹۲). مکان‌یابی بهینه پایگاه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان با رویکرد فازی (مطالعه موردی: شهر تبریز). *امداد و نجات*، ۵(۲)، ۵۲-۶۹.

نارویی، خدیجه و آقائی‌زاده، اسماعیل. (۱۳۹۶). مکان‌یابی سایت اسکان موقت در برابر زلزله در شهرها (مطالعه موردی: شهر زاهدان). *جغرافیا و توسعه فضای شهری*، ۴(۱)، ۱۵۵-۱۷۳. doi: 10.22067/gusd.v4i1.54032

نوجوان، مهدی؛ امیدوار، بابک؛ و صالحی، اسماعیل. (۱۳۹۲). مکان‌یابی اسکان موقت با استفاده از الگوریتم‌های فازی؛ مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تهران. *مدیریت شهری*، ۱۱(۳۱)، ۲۰۵-۲۲۱.

References

Allali, S.A., Abed, M., & Mebarki, A. (2018). Post-earthquake assessment of buildings damage using fuzzy logic. *Engineering Structures*. 166, 117-127. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.03.055

Anhorn, J., & Khazai, B. (2014). Open space suitability analysis for emergency shelter after an earthquake. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2, 4263–4297. doi: 10.5194/nhessd-2-4263-2014

ArcGIS-DevelopTeam. (2023). An overview of fuzzy classes (ArcGIS Online Help) Retrieved 2023.03.05, from http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/arcpy-spatial-analyst/an-overview-of-fuzzy-classes.htm

Azarkish, M., Hafez Rezazadeh, M. & Miri, G. (2017). Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) in locating temporary shelters after natural disasters (Case study: District 2 of Zahedan Municipality). *Geographic Space*, 17(58), 169-189. [In Persian]

Bouzarjomehri, K., Javani, K., & Katebi, M.R. (2015). Optimal location of temporary shelters in crisis management of rural areas (Case study: Central part of Farouj County). *Geography and Environmental Hazards*, 4(4), 1-20. doi: 10.22067/GEO.V4I4.42299 [In Persian]

Chu, J., & Su, Y. (2012). The Application of TOPSIS method in selecting fixed seismic shelter for evacuation in cities. *Systems Engineering Procedia*, 3, 391-397. doi: 10.1016/j.sepro.2011.10.061

Donevska, K., & Gorsevski, P., Jovanovski, M. & Peshevski, I. (2011). Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and Geographic Information Systems. *Environmental Earth Sciences*, 67, 121-131. doi: 10.1007/s12665-011-1485-y

Forghani, M. A., & Darbandi, S. (2015). Evaluation of effective factors in selecting temporary shelter locations after earthquakes using GIS and AHP technique (Case study: District 4 of Kerman). *Journal of Rescue and Relief*, 7(2), 54-80. [In Persian]

Ghanbari, A., Salekimaleki, M. A., & Ghasemi, M. (2013). Optimal location of temporary shelters for earthquake victims with fuzzy approach (Case study: Tabriz city). *Journal of Rescue and Relief*, 5(2), 52-69. [In Persian]

Ghodrati Amiri, G., Esmari Saadabad, S. & Zare Hosseinzadeh, A. (2013). Earthquake risk analysis using fuzzy inference system and its application in seismic rehabilitation studies of existing buildings. *Modares Civil Engineering Journal*, 13(4), 71-84. [In Persian]

Hassani, N., Rafiei Anzab, N., & Shadabfar, M. (2012). Seismic retrofitting of schools and comparison of applied methods using pushover nonlinear static analysis. 2nd National Crisis Management Conference, Tehran. [In Persian]

Hassanpour Kazerouni, N., Alavian, S.M.H. & Tahmasebizadeh, F. (2020). Analyzing the suitability and prioritizing public and governmental buildings for collective sheltering centers in earthquake crisis conditions using Geographic Information System, Case study: District 5 of Tehran. *Knowledge of Crisis Prevention and Management*, 10(1), 91-103. doi: 20.1001.1.23225955.1399.10.1.7.3 [In Persian]

Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997). Neuro-Fuzzy and Soft Computing-A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence [Book Review]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 42(10), 1482-1484. doi: 10.1109/TAC.1997.633847

Kılcı, F., Bahar Yetiş, K. & Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 323-332. doi: 10.1016/j.ejor.2014.11.035

Li, H., Zhao, L., Huang, R., & Hu, Q. (2017). Hierarchical earthquake shelter planning in urban areas: A case for Shanghai in China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 431-446. doi: 10.1016/j.ijdrr.2017.01.007

Ling, W. K. (2007). Nonlinear Digital Filters: Analysis and Applications (1st ed.). Academic Press.

Liu, J., Fan, Y., & Shi, P. (2011). Response to a high-altitude earthquake: The Yushu Earthquake example. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2, 43-53. doi: 10.1007/s13753-011-0005-8

Malakar, S., & Rai, A. K. (2021). Earthquake vulnerability in the Himalaya by integrated multi-criteria decision models. *Natural Hazards*, 111, 213-237. doi: 10.1007/s11069-021-05050-8

Narouei, K., & Aghaeezadeh, E. (2017). Locating temporary shelter sites against earthquakes in cities (Case study: Zahedan city). *Geography and Urban Space Development*, 4(1), 155-173. doi: 10.22067/gusd.v4i1.54032 [In Persian]

Nojavaan, M., Omidvar, B., & Salehi, E. (2013). Locating temporary shelters using fuzzy algorithms; Case study: District 1 of Tehran Municipality. *Urban Management*, 11(31), 205-221. [In Persian]

Pasten, D., Saravia, G., Vogel, E. E. & Posadas, A. (2022). Information theory and earthquakes: Depth propagation seismicity in northern Chile. *Chaos, Solitons & Fractals*, 165(P2), 112874. doi: 10.1016/j.chaos.2022.112874

Payamrad, D., & Vafainezhad, A.R. (2015). Assisting earthquake crisis management by locating temporary shelter centers using a GIS-based decision support system (Case study: District 8 of Isfahan Municipality). *Geomatics Science and Technology*, 5(2), 231-246. [In Persian]

Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi, D. & Mansoornaeimi, E. (2016). Earthquake vulnerability zoning and safe area locating during natural hazards using artificial intelligence algorithms and GIS (Case study: District 1 of Ahvaz Municipality). Geography and Environmental Planning, 27(3), 49-66. doi: 10.22108/GEP.2017.97958 [In Persian]

Rashidi Ebrahimhesari, A., Attar, M.A., Givehchi, S. & Nasbi, N. (2013). Locating temporary shelters after earthquake using GIS and AHP technique, case study: District 6 of Shiraz. *Urban and Regional Studies and Research*, 5(17), 101-118. [In Persian]

Shariar Alam, Md., & Mahbubul Haque, S. (2021). Multi-dimensional earthquake vulnerability assessment of residential neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh: A spatial multi-criteria analysis based approach. *Journal of Urban Management*, 11(1), 37-58. doi: 10.1016/j.jum.2021.09.001

Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. Information Sciences, 36(1-2), 59-83. doi: 10.1016/0020-0255(85)90026-X

Tudes, S., & Yigiter, N.D. (2010). Preparation of land use planning model using GIS based on AHP: case study Adana-Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69, 235-245. doi: 10.1007/s10064-009-0247-5

Van Leekwijck, W. & Kerre, E.E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy Sets and Systems*, 108(2), 159-178. doi: 10.1016/S0165-0114(97)00337-0

Wu, D., & Mendel, J. (2019). Recommendations on designing practical interval type-2 fuzzy systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 85. 182-193. doi: 10.1016/j.engappai.2019.06.012