

Locating safe places for temporary accommodation during an earthquake By using GIS and BWM technique (case study of Tabriz city)

Saeed Fazaeli ^{a*}, Ronak Abbasi Ghasemloei ^b, Mahdi Alipour ^c

^a Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Technical and Engineering Faculty, Urmia University, Iran

^b M.Sc. degree, Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Urmia University, Iran

^c M.Sc. degree, Department of Industrial Engineering, Siraj Institute of Higher Education Tabriz, Iran

PAPER INFO

Paper history:

Received:
Revised:
Accepted:

Keywords:

Location,
Earthquake,
safe places,
geographic information
system,
best-worst techniqu ,

ABSTRACT

Skill during an earthquake and moving the injured to safe places is one of the treatment ways to prevent the earthquake disaster and save people's lives. Geographic information system (GIS) has a high power in earthquake risk zoning, so that the location of faults and distances and places prone to fire and explosion are already known. In these researches, by using geographic information system techniques in the ARCGIS10.8 software environment, analysis is done and finally, safe places extracted. In order to weight the layers, the linear programming model of the best-worst technique (BWM) is used, the data of which is created through the creation of a questionnaire that is scored by experts, and finally, the overlapping operation of the layers. Through the application of fuzzy functions, it is written to prepare the final map and select the safest places during an earthquake for the city of Tabriz. The innovation used in this research is the simultaneous use of GIS and BWM technique for the first time in the field of locating safe places to create earthquake shelters in Tabriz city. The main goal of this research is to help crisis management in urban planning and provide management suggestions for Tabriz .

DOI: <https://doi.org/>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: s.fazaveli@urmia.ac.ir

How to cite this article:

مکان‌یابی محل‌های امن جهت اسکان موقت هنگام زلزله

با بکارگیری GIS و تکنیک BWM

(مطالعه موردی شهر تبریز)

سعید فضائی^{۱*}، روناک عباسی قاسملوئی^۲ و مهدی علی‌پور^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: بازنگری مقاله: پذیرش مقاله:	مهارت تخلیه در هنگام زلزله و انتقال افراد آسیب‌دیده به محل‌های امن، یکی از راه‌های موثر برای کاهش خطر فاجعه زلزله و حفظ زندگی افراد است. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) دارای توان بالایی در پهنه‌بندی خطر زلزله می‌باشد، به طوری که محل گسل‌ها و فواصل و مکان‌های مستعد آتش‌سوزی و انفجار از قبل معلوم است. در این پژوهش معیارهایی با بهره‌گیری از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط نرم‌افزار ArcGis10.8، مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته و در نهایت، نقشه محل‌های امن استخراج می‌شوند. جهت وزن‌دهی لایه‌ها از مدل برنامه‌ریزی خطی تکنیک بهترین - بدترین (BWM) استفاده می‌گردد که داده‌های آن از طریق ایجاد پرسشنامه که توسط خبرگان امتیازدهی می‌شود و در نهایت عملیات هم‌پوشانی لایه‌ها از طریق اعمال توابع فازی، برای تهیه نقشه نهایی و انتخاب امن‌ترین محل‌ها در هنگام زلزله برای شهر تبریز نوشته می‌شود. نوآوری بکار رفته در این پژوهش، استفاده همزمان از GIS و تکنیک BWM برای نخستین بار در زمینه مکان‌یابی محل‌های امن جهت ایجاد پناهگاه‌های زلزله در شهر تبریز می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش کمک به مدیریت بحران در برنامه‌ریزی شهری و ارائه پیشنهادات مدیریتی برای کالانشهر تبریز است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق جنوب و جنوب‌شرقی شهر تبریز از شرایط بهتری به منظور احداث پناهگاه‌های تخلیه زلزله جهت اسکان برخوردار می‌باشند.
واژگان کلیدی: مکان‌یابی، زلزله، محل‌های امن، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تکنیک بهترین - بدترین،	
DOI: https://doi.org/ © 2024 Published by Semnan University Press. This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)	

۱-مقدمه

مدیریت بحران جزء جدایی‌ناپذیر برنامه‌ریزی شهری به شمار می‌رود. «مکان‌یابی محل‌های امن» یکی از سناریوهای مؤثر برای ساماندهی وضعیت آسیب‌دیدگان ناشی از زلزله محسوب می‌شود. اسکان اضطراری در محل‌های امن مرحله‌ای است که طی آن فرآیندهای توانمندسازی و بهبود

زلزله یکی از خطرناک‌ترین پدیده‌های طبیعی در دوره حاضر به شمار می‌رود که اهمیت آن به وضوح مشخص شده است. به طور کلی در هنگام وقوع بحران زلزله در شهرها، مسئله‌ی بهینه‌سازی اسکان موقت جمعیت در محل‌های امن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. امروزه

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: s.fazayeli@urmia.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی سراج تبریز

نوع سکونتگاه‌ها پس از بحران انجام می‌گیرد. از این نظر مکان اضطراری به معنای شروع فعالیت‌های پس از بحران به صورت کمک به مصدومان، نجات آوارگان و امداد رسانی است [۱]. یکی از راه‌های مؤثر، ارتقاء و گسترش دانش و فناوری در حوزه آمادگی و پیشگیری از بحران است. علاوه بر این، اجرای اقداماتی که به کاهش میزان خطر کمک می‌کنند نیز می‌تواند نتایج مثبتی به همراه داشته باشد [۲]. طبقه‌بندی انواع اسکان در فرآیند امداد رسانی به سه دسته کلی شامل اسکان اضطراری، اسکان موقت و اسکان دائم تقسیم می‌شود. سرپناه موقت به عنوان مرحله‌ای برای انتقال افراد از سرپناه‌های اضطراری به مسکن‌های دائمی عمل می‌کند و معمولاً برای مدت چند ماه تا چند سال در اختیار خانواده‌های بی‌خانمان قرار می‌گیرد. تبدیل فضاهای آزاد موجود در شهرها به پناهگاه‌های اسکان و امداد، روشی مؤثر برای حمایت و تسهیل بهبودی پس از وقوع بلایای طبیعی به شمار می‌آید [۳]. مکان‌یابی محل‌های امن برای اسکان موقت آسیب‌دیدگان زلزله بسیار مهم است و می‌تواند از بروز فاجعه‌های بیشتر جلوگیری کند. برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب و استفاده از فناوری‌های نوین در این زمینه ضروری است. پس از زلزله، یک فرآیند پنج مرحله‌ای شامل امداد و نجات، اسکان اضطراری، مطالعات اسکان موقت، اسکان موقت و بازسازی لازم است که موفقیت آن به مکان‌یابی صحیح محل‌های امن قبل از وقوع زلزله بستگی دارد. کلان‌شهر تبریز به دلیل نزدیکی به یکی از خطرناک‌ترین گسل‌های ایران در معرض خطر بالای زلزله قرار دارد. این گسل در گذشته موجب زمین‌لرزه‌های ویرانگری شده و در صورت فعالیت مجدد، می‌تواند تخریب گسترده‌ای در شهر ایجاد کند. بنابراین، رعایت اصول و ضوابط در برنامه‌ریزی شهری و مکان‌یابی محل‌های امن برای امداد رسانی پس از زلزله ضروری است تا از خسارات جانی و آسیب به افراد جلوگیری شود. هدف از این پژوهش نشان دادن چگونگی استفاده از ابزارهای نرم‌افزار ArcGis10.8 و تکنیک BWM برای شناسایی نقاط مستعد جهت ساخت پناهگاه و اسکان موقت جمعیت در هنگام وقوع زلزله احتمالی است. این پژوهش دارای دو ویژگی است: ویژگی نخست استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای شناسایی محل‌های امن می‌باشد. ویژگی دوم آن استفاده از تکنیک بهترین - بدترین (BWM) و ارائه یک مدل ریاضی به منظور استخراج وزن معیارها و در نهایت انتخاب مناسب‌ترین و

ایمن‌ترین مکان‌ها در هنگام زلزله برای شهر تبریز است. این نوآوری برای نخستین بار از ترکیب همزمان GIS و BWM در زمینه مکان‌یابی مناطق امن بعد از وقوع زلزله بهره می‌گیرد. با توجه به موضوع پژوهش، مقالات و تحقیقات حوزه مکان‌یابی مناطق امن بعد از زلزله، بررسی شدند که به قرار زیر است: در پژوهشی انجام شده توسط داداش زاده و همکاران (۱۳۹۶)، عوامل مؤثر بر مکان‌یابی اسکان اضطراری (مطالعه موردی: شهر ارومیه) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، ابتدا نقاط با بافت فرسوده و سایر عوامل مؤثر بر انتخاب مکان مناسب برای اسکان اضطراری استفاده گردید. برای تحلیل داده‌ها و همپوشانی نقشه‌ها از نرم‌افزار GIS استفاده گردید. جامعه آماری این پژوهش را ۴۵ نفر از مدیران اجرایی شهرداری در حوزه‌های مدیریت بحران و شهرسازی تشکیل دادند. از متخصصان درخواست شد تا با استفاده از روش TOPSIS و طراحی پرسشنامه، به معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی امتیاز دهند و اولویت‌بندی آن‌ها را تعیین کنند [۴]. مکان‌یابی در شرایط بحرانی با چالش‌های ناشی از عدم قطعیت همراه است و روش‌های سنتی معمولاً پاسخگوی مناسبی برای این وضعیت‌ها ارائه نمی‌دهند. در همین راستا، صفری و ملکی (۱۳۹۹) بکارگیری راهکارهایی مبتنی بر منطق فازی و نظریه مجموعه‌های فازی را به عنوان رویکردی مناسب جهت مدل‌سازی این عدم قطعیت پیشنهاد کرده‌اند. این مقاله به تحلیل نقاط ضعف یکی از روش‌های خاص در تعیین تابع عضویت قطعی پارامترها و ناتوانی آن در توصیف متغیرهای زبانی مرتبط با شک و تردید پرداخته است. برای رفع این نقایص، از نظریه فازی شهودی استفاده شده و مدل پیشنهادی در منطقه ۲ شهر تهران مورد اجرا قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که این روش در شرایط محدودیت داده‌های مرتبط و وجود متغیرهای نامطمئن، عملکردی بهتر نسبت به شیوه‌های متداول از خود نشان می‌دهد [۵]. برای ایجاد شهری ایمن، لازم است از فضاهای چندمنظوره بهره‌برداری شود: فضاهایی که در شرایط عادی به صورت کاربری روزمره فعالیت دارند و در شرایط بحران به عنوان پناهگاه و مراکز مدیریت بحران عمل می‌کنند. در تحقیق انجام شده توسط برهانی و همکاران (۱۴۰۰) تحلیل فضایی و مکان‌یابی اینگونه کاربری‌ها در شهر سراوان مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه با استفاده از روش‌های توصیفی - تحلیلی، تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم

اطلاعات جغرافیایی انجام شد. ابتدا معیارها و شاخص‌های مرتبط مشخص شده و از روش‌های فازی وزن‌دهی بهره گرفته شد. سپس از مدل (SAW)⁴ برای ترکیب لایه‌های GIS استفاده گردید. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی شهر سراوان به عنوان نمونه‌ای برای ایجاد فضاهای چند منظوره تهیه شد. نتایج تحقیق نشان داد که مناطق شمال شرقی شهر سراوان بهترین موقعیت را برای ایجاد این کاربری را داراست [۶]. نقابی و همکاران (۱۴۰۱) با بهره‌گیری از روش تحقیق توصیفی - تحلیلی، پس از شناسایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی اسکان موقت که از پیشینه پژوهش استخراج شده‌اند، اقدام به وزن‌دهی این معیارها و شاخص‌های مطرح شده کردند. این فرآیند با همکاری کارشناسان متخصص و به کمک تکنیک مقایسه زوجی و نرم‌افزار Expertchoice انجام شده است. سپس با استفاده از مدل سلسله مراتبی (AHP)⁵ و نرم‌افزار ArcGis10.8 لایه‌های تولیدی هر معیار بر اساس وزن تعیین‌شده برای آن‌ها ترکیب شدند. نتیجه این فرآیند، منجر به تهیه نقشه پهنه‌بندی منطقه هفت شهرداری مشهد به منظور اسکان موقت آسیب‌دیدگان شد. نتایج نشان داد که معیارهای مربوط به دسترسی و ویژگی‌های مکانی در مقایسه با سایر معیارها و استانداردهای مکان‌یابی مناطق، از درجه اهمیت بالاتری برخوردار هستند [۷]. در پژوهشی ابراهیمی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی جانمایی پناهگاه‌های شهری در ایلام بر اساس سیاست‌های پدافند غیرعامل پرداختند. هدف اصلی این تحقیق، انتخاب موقعیت مناسب برای پناهگاه‌ها به منظور حفاظت از جان شهروندان و کاهش آسیب‌های انسانی است. برای این منظور، چهار معیار کلی شامل جمعیتی، عملکردی، کالبدی و طبیعی - محیطی انتخاب و با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه (ANP)⁶ اهمیت این معیارها تعیین شد. سپس این داده‌ها در سیستم GIS

تحلیل و مناطق مستعد برای ساخت پناهگاه‌ها شناسایی شدند. نتایج بیانگر این بودند که معیارهای «جمعیتی» و «عملکردی» بیشترین وزن را دارند و شاخص‌های «نزدیکی به مناطق پرتراکم جمعیتی» و «فاصله مناسب از اهداف دشمن» نیز از اهمیت بالایی برخوردارند [۸]. پهلوانی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به بررسی مکان‌یابی مراکز اسکان موقت برای حادثه‌دیدگان در تهران با تمرکز بر منطقه ۲۲ پرداختند. هدف این تحقیق شناسایی نقاط مناسب با بهره‌گیری از داده‌های سازمان پیشگیری و مدیریت بحران و اطلاعات سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۷ بود. برای تعیین معیارهای مؤثر در این زمینه، از ترکیب روش‌های رگرسیون و الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که روش ترکیبی پیشنهادی از کارایی بالایی در حل مسائل رگرسیون مکانی برخوردار است و هسته‌های مکعبی سه‌گانه عملکرد بهتری در مقایسه با هسته‌های گوسی دارند. در نهایت، مناطق چیتگر و مجموعه ورزشی آدینه به عنوان مکان‌های مطلوب برای اسکان موقت شناسایی شدند [۹]. سیلیک^۷ (۲۰۱۷) پژوهشی تحت عنوان «یک مدل رابطه علت و معلولی برای مکان‌یابی پناهگاه‌های موقت در مدیریت عملیات بحران» ارائه داد. در این مطالعه از یک تکنیک تصمیم‌گیری پیش فعالانه بهره گرفته شد. این تکنیک با ترکیب تلاش‌های تصمیم‌گیران و روش سنجش آزمایشگاهی دیمتل بر اساس مجموعه‌های فازی فرجه نوع ۲ (IT2FS)^۸ جهت تعیین مکان موقت در مدیریت عملیات بحران (DOM)^۹ به کار گرفته شد. نتایج حاکی از آن است که این روش مزایای عملی و تئوری قابل توجهی برای مدیران بحران به همراه دارد و به آن‌ها کمک می‌کند تا رابطه علت و معلولی مرتبط با مکان‌یابی پناهگاه‌های موقت را بهتر درک کنند [۱۰]. در

⁴ Simple Additive Weighting

⁵ Hierarchical analysis model

⁶ Analytical Network Process

⁷ E.Celik. (2017)

⁸ Interval type-2 fuzzy sets

⁹ Disaster Operations Management

پژوهشی که توسط قاسمی و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۹) ارائه شد، از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مختلط برای مدیریت بحران زلزله بهره گرفته شد. تصمیمات اصلی مدل پیشنهادی، مکان‌یابی مراکز مراقبت و اسکان موقت، تخصیص مناطق آسیب‌دیده به مراکز و بیمارستان‌های موجود و همچنین تخصیص مراکز توزیع به مراکز اسکان موقت می‌باشد. این مدل با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه اصلاح شده (MMOPSO)^{۱۱} الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)^{۱۲} و روش محدودیت پس‌ساز (MMOPSO) حل شده است. نتایج نشان‌دهنده برتری MMOPSO نسبت به سایر رویکردها و ارائه یک راه حل ترجیحی، از مجموعه راه حل‌های غیر غالب تولید شده توسط آن است [۱۱]. چاکرابارتی و همکاران^{۱۳} (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای جهت تحلیل عوامل مؤثر بر آمادگی تخلیه، از روش رگرسیون و نرم‌افزار SPSS بهره گرفتند. در این روش، فضاهای باز، امکانات آموزشی و مذهبی که پس از سال ۱۹۹۳ ساخته شده‌اند، به عنوان پناهگاه‌های موقت تخلیه انتخاب شده‌اند. تحلیل ناحیه سرویس برای این پناهگاه‌ها با استفاده از ابزار تحلیل‌گر شبکه در نرم‌افزار GIS برای هم‌پوشانی و تشخیص کمبود پوشش مکانی در داخل بخش صورت می‌گیرد. نتایج این بررسی نشان داد که نمره آگاهی از زلزله مربوط به سالمندان و معلولین، رضایت‌بخش نیست. تحلیل عوامل مؤثر بر آمادگی تخلیه و ویژگی‌های اسکان موقت می‌تواند به بهبود آمادگی تخلیه اضطراری و تسهیل تصمیم‌گیری‌ها در منطقه مورد مطالعه کمک کند [۱۲]. مردانی‌نژاد و همکاران^{۱۴} (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای در منطقه ۹ شهر مشهد، به بررسی بافت‌های فرسوده و معابر کم عرض پرداخته و بر اهمیت جانمایی مراکز اسکان موقت و تخصیص مصدومان به مکان‌های امن تأکید کرده‌اند. این مطالعه شامل دو مرحله اصلی تعیین مکان‌های نامزد برای

اسکان موقت و تخصیص بهینه بلوک‌های جمعیتی، که در آن وزن معیارها با استفاده از روش مقایسه زوجی و نظرات کارشناسان مدیریت بحران شهری محاسبه شده است. در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار GAMS24.1.2 و ۷ الگوریتم نوآورانه (FA, ABC, ACO, JCA, PSO, SA, LAFA) نتایج حاصل از میانگین زمان پردازش و هزینه ۷ الگوریتم در ۱۰ مسئله تصادفی با ۱۰۰۰ تکرار نشان داد که الگوریتم‌های (ACO)^{۱۵} (ABC)^{۱۶} و (LAFA)^{۱۷} عملکرد بهتری دارند. در نهایت، الگوریتم LAFA به دلیل زمان اجرا و هزینه کمتر، بهترین نتیجه را نسبت به دو الگوریتم دیگر ارائه داد [۱۳]. یانجیا و همکاران^{۱۸} (۲۰۲۲) پژوهشی با هدف مکان‌یابی و تخصیص بهینه پناهگاه‌های اضطراری زلزله برای بهبود تاب‌آوری جوامع حیاتی ارائه دادند. این مقاله یک مدل بهینه‌سازی چند معیاره توسعه می‌دهد که به مقایسه این دو سناریو برنامه‌ریزی فعلی^{۱۹} و پناهگاه‌های نامزد جدید^{۲۰} پرداخته و با ادغام ارزیابی و بهینه‌سازی، واقع‌گرایی بیشتری را ارائه می‌کند. این متن به بررسی مشکلات مکان و تخصیص راه‌حل‌ها در دو سناریو می‌پردازد و نتایج آن را با یک مطالعه موردی در شهر علمی هواپرو در چین مقایسه می‌کند. یافته‌ها نشان داد که راه‌حل سناریوی SLA نسبت به سناریوی CLA برتر است. مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی مکان و تخصیص پناهگاه‌های اضطراری زلزله مفید بوده و نتایج آن می‌تواند به ایجاد تعادل بین منافع دولت و ساکنان در پروژه‌های بازسازی و توسعه پناهگاه‌ها کمک کند [۱۴]. در مطالعه‌ای که توسط لیو و همکاران^{۲۱} (۲۰۲۳) انجام گرفت، یک روش بهینه برای طراحی فضای تخلیه اضطراری در جوامع پرجمعیت با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی چند عاملی و بهینه‌سازی چند هدفه ارائه شد. این مدل براساس ویژگی‌های روانی-رفتاری و رضایت زمانی ساکنان پیشنهاد شده است. مطالعه

¹⁵ Ant colony optimization algorithms

¹⁶ Artificial bee colony algorithm

¹⁷ Firefly algorithm

¹⁸ Ma.Yunjia, et al.(2022)

¹⁹ Current planning

²⁰ New candidate shelter planning

²¹ L,Chaofeng, et al.(2023)

¹⁰ P.Ghasemi, et al.(2019)

¹¹ Improved multi-objective particle swarm Optimization

¹² Genetic algorithm of non-dominant sortin

¹³ A.Chakrabarty,et.al. (2020)

¹⁴ F.Mardanineja, et al.(2021)

موردی انجام شده در دو روستای سالم غرب و سالم جدید در شهر روگائو چین برای تحلیل تأثیر عواملی مانند آوار، هراس روانی و رفتارهای مشارکتی به کار گرفته شده و سازماندهی تخلیه و فضای پناهگاه بهینه‌سازی گردیده است. در نتیجه این مطالعه، محدوده مسئولیت پناهگاه‌های اضطراری مشخص و اعتبار علمی آن از طریق شبیه‌سازی تأیید شده است [۱۵]. را و همکاران^{۲۲} (۲۰۲۳) چارچوبی را برای انتخاب مکان‌های پناهگاه تخلیه اضطراری جهت برنامه‌ریزی اثرات چند بلایا (سیل و رانش زمین) در مناطق کوهستانی ایجاد کردند. این چارچوب از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول شامل توسعه نقشه‌های حساسیت خطرات فردی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و موتور Google Earth می‌باشد. بخش دوم از طریق مکان‌یابی تخصیص پناهگاه با پیاده‌سازی دو مدل مسئله مکان P-median و مسئله مکان پوشش حداکثر در GIS اجرا می‌شود. در یک مطالعه موردی در روستای کوهستانی در منطقه غربی گات هند مدارس به عنوان پناهگاه و خانوارها به عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که پناهگاه‌ها قادر به ارائه خدمات به همه خانوارها در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه نیستند و واحدهای اداری محلی در مناطق کوهستانی باید طرح‌های مؤثری را به طور همزمان با ارزیابی خطرات توسعه دهند [۱۶]. برای آمادگی در برابر زلزله‌های بزرگ احتمالی در آینده و کاهش تلفات ناشی از آن، لازم است برنامه‌های تخلیه مؤثری طراحی شود. بیشتر تحقیقات پیشین عمدتاً بر کاهش فاصله یا هزینه تمرکز داشته‌اند و عوامل خطر را نادیده گرفته‌اند. از این رو تانگ و همکاران^{۲۳} (۲۰۲۴) یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه را با هدف کاهش ریسک در طول فرآیند تخلیه پیشنهاد دادند که مدل کاهش ریسک (RRM)^{۲۴} نامیده می‌شود. این تحقیق به بررسی منطقه اگو در توکیو می‌پردازد که دارای تراکم بالای سازه‌های چوبی است و خطر ریزش ساختمان و گسترش آتش پس از زلزله را افزایش می‌دهد. مطالعه بر اساس جریان تخلیه دو فازی و توجه به تخلیه ثانویه انجام شده است. نتایج نشان داد که روش RRM

نسبت به مدل سنتی (DMM)^{۲۵} برتری دارد، زیرا علاوه بر حداقل‌سازی فاصله کل، می‌تواند خطر را در فرآیند تخلیه کاهش دهد و کارایی را بدون افزایش قابل توجه فاصله کل بهبود بخشد [۱۷]. بخشیان و همکاران^{۲۶} (۲۰۲۴) برای جلوگیری از کاهش حمل و نقل و مسدود شدن مسیرها در زمان وقوع بلایای طبیعی، یک چارچوب بهینه‌سازی چند هدفه با هدف توسعه کارایی شبکه‌های حمل و نقل ارائه دادند. مدل پیشنهادی برای بهبود کارایی شبکه‌های حمل و نقل از تئوری مجموعه‌های فازی بهره می‌برد تا پارامترهایی مانند ظرفیت را تعیین کرده و بر بازسازی پیوندهای آسیب‌دیده و کاهش زمان تخلیه و هزینه‌ها تمرکز دارد. اثربخشی این مدل از طریق یک مطالعه موردی در شهر کورک ایرلند با ۱۰۰ گره و ۱۴۱ پیوند تأیید شده است. نتایج نشان داد که بلایا می‌توانند به شدت سیستم‌های حمل و نقل را مختل کرده و گزینه‌های حمل و نقل را محدود کنند [۱۸].

۲- مواد و روش

۲-۱- روند اجرای پژوهش

ابتدا با استفاده از مقالات علمی و مصاحبه با کارشناسان معیارهای پژوهش شناسایی و استخراج شدند. لایه (نقشه) مربوط به معیارها نیز با همکاری سازمان‌های مرتبط در حوزه برنامه‌ریزی و توسعه شهری تهیه گردید. در مرحله بعد کارشناسان پرسشنامه تکنیک BWM امتیازدهی کردند و داده‌های حاصل از این پرسشنامه برای ایجاد یک مدل ریاضی در نرم‌افزار بهینه‌سازی LINGO14.0 پیاده‌سازی شده و وزن معیارها محاسبه شد. وزن‌های به دست آمده به عنوان ورودی نرم‌افزار ArcMAP10.8 در مرحله وزن‌دهی و هم‌پوشانی با استفاده از منطق فازی و تولید نقشه نهایی بکار گرفته شدند. در نتیجه، مکان‌های بهینه برای احداث پناهگاه‌های تخلیه زلزله در شهر تبریز به منظور اسکان جمعیت آسیب‌دیده از زلزله شناسایی شدند.

²⁴ Risk reduction model

²⁵ Distance minimization mode

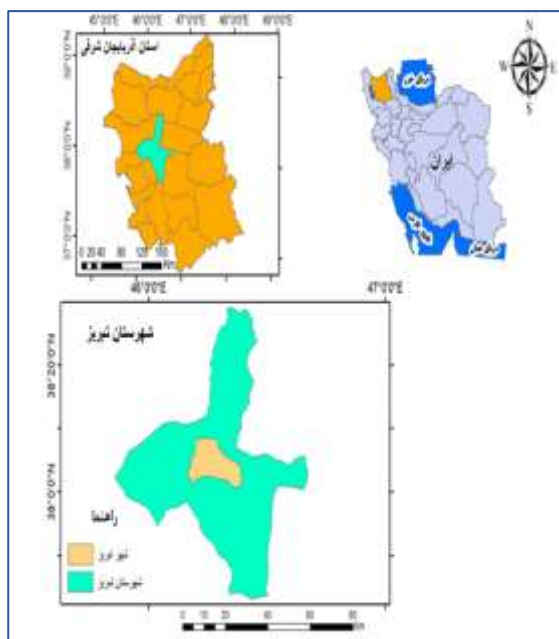
²⁶ E. Bakhshian, et al.(2024)

²² S.Bera, et al.(2023)

²³ K. Tang, et al.(2024)

۲-۲- معرفی معیارهای پژوهش

برای دستیابی به اهداف پژوهش، پس از بررسی بیش از ۶۰ مقاله داخلی و خارجی، پایان‌نامه‌ها و کتب مرتبط با موضوع، ابتدا معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل‌های امن هنگام وقوع زلزله بر اساس مبانی نظری، مصاحبه با کارشناسان و شرایط منطقه شناسایی و گردآوری شدند. در نهایت ۱۰ معیار انتخاب شد. معیارها عبارتند از: ۱- فاصله از گسل ۲- فاصله از رودخانه و مسیل ۳- فاصله از مراکز سوخت ۴- فاصله از فضاهای سبز و باز شهری ۵- فاصله از مراکز درمانی ۶- فاصله از مراکز آتش‌نشانی ۷- فاصله از مراکز انتظامی ۸- تراکم جمعیت ۹- شیب زمین ۱۰- زمین شناسی (جنس خاک).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه شهر تبریز

۲-۳- منطقه مورد مطالعه

تبریز شهری بزرگ در شمال غرب ایران، مرکز استان آذربایجان شرقی و هسته مرکزی کلان‌شهر تبریز است. این شهر بزرگ‌ترین قطب اقتصادی منطقه آذربایجان ایران و مرکز اداری، ارتباطی، بازرگانی، سیاسی، صنعتی، فرهنگی و نظامی این منطقه شناخته می‌شود. شهر تبریز ۲۴۴۰۵۱ کیلومتر مربع (حریم شهر: ۱۰۱۴۰۴۵ کیلومتر مربع) وسعت دارد و بر همین اساس، سومین شهر بزرگ ایران به لحاظ مساحت پس از تهران و مشهد محسوب می‌شود. جمعیت آن نیز در سال ۱۳۹۵ خورشیدی بالغ بر ۱۰۵۸۴۰۸۵۵ نفر (حریم شهر: ۱۰۷۲۷۰۴۷۶ نفر) بوده و در سال ۲۰۲۲ میلادی به ۱۰۶۴۳۰۹۶۰ نفر رسیده است؛ که بر این اساس، پنجمین شهر پرجمعیت ایران و ۳۴۴ امین شهر پرجمعیت جهان به شمار می‌رود [۱۹]. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهر تبریز را در سطح کشور و استان را به نمایش می‌گذارد. این نقشه با استفاده از نرم‌افزار ArcGis10.8 تهیه شده است.

۲-۴- تکنیک بهترین - بدترین (BWM)^{۲۷}

در سال ۲۰۱۵ روش بهترین - بدترین توسط جعفررضایی به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره جدید با کم‌ترین مقایسه دو به دو بین نتایج ارائه شد. در این تکنیک ابتدا بهترین معیار به عنوان مهم‌ترین و بدترین به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیارها توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. سپس یک مدل ریاضی مینیمم ماکسیمم برای تعیین وزن‌های بهینه معیارها با در نظر گرفتن مقایسه‌های جفتی طراحی می‌شود [۲۰].

۲-۵- مراحل تکنیک بهترین - بدترین (BWM)

مرحله اول: تعیین معیارهای تصمیم‌گیری

معیارهای تصمیم‌گیری به صورت $(C_1, \dots, C_n)$ تعریف می‌شوند.

مرحله دوم: تعیین بهترین و بدترین معیار

²⁷ best-worst method

بهترین معیار (مهم‌ترین) و بدترین معیار به عنوان کم اهمیت‌ترین معیار انتخاب می‌شود.

مرحله سوم: مقایسه زوجی بین بهترین معیار با سایر

معیارها

در این مرحله ارجحیت بهترین معیار نسبت به بقیه معیارها بر اساس طیف ۱ تا ۹ تعیین می‌شود.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

در اینجا a_{bj} اهمیت بهترین معیار را نسبت به معیار j نشان می‌دهد. واضح است که $a_{bb} = 1$ است.

مرحله چهارم: مقایسه زوجی بین سایر معیارها نسبت به بدترین معیار

در این مرحله نیز ارجحیت همه معیارها را بر روی بدترین معیار با استفاده از طیف ۱ تا ۹ مشخص می‌شود. در نتیجه

بر $A_B = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})$ به بدترین حالت ممکن است که در آن a_{jw} اولویت معیار j را نسبت به بدترین معیار w نشان می‌دهد.

مرحله پنجم: تعیین وزن بهینه معیارها از طریق مدل برنامه ریزی خطی و محاسبه نرخ ناسازگاری

وزن بهینه معیارها برای معیارهای $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ وزنی است که در آن، برای هر کدام جفت

$$a_{jw} = \frac{w_j}{w_w}, a_{Bj} = \frac{w_B}{w_j}$$

شرایط برای همه j ها باید راه حلی پیدا کنیم که در آن

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right|$$

حداکثر اختلاف مطلق غیرمنفی برای وزن‌ها، مسئله به صورت رابطه (۱) حاصل می‌شود:

$$\min \max \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_j w_j = 11$$

$$w_j \geq 0 \text{ for all } j$$

مسئله (۱) را می‌توان به مسئله (۲) انتقال داد و مدل بهینه سازی غیرخطی تکنیک بهترین - بدترین را تشکیل شده و در نرم‌افزارهای بهینه‌سازی لینگو و گمز پیاده‌سازی می‌شود:

$$\min \xi$$

s.t

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \quad (2)$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi$$

for all j

s.t.

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0 \text{ for all } j$$

نرخ ناسازگاری^{۲۸}

در روش بهترین - بدترین فرمولی برای محاسبه نرخ ناسازگاری با هدف بررسی اعتبار مقایسات زوجی توسط

رضایی در نظر گرفته شده است. ابتدا میزان سازگاری معیارها توسط فرمول (۳) تعیین می‌شود:

$$(3) \quad \xi^* = \frac{\text{شاخص سازگاری}}{\text{نرخ سازگاری}}$$

با استفاده از ξ^* به دست آمده از رابطه ۳، نرخ سازگاری محاسبه می‌شود. واضح است که مقدار ξ^* بزرگتر نشان دهنده نرخ سازگاری بالاتری می‌باشد، در نتیجه می‌توان حداکثر مقدار آن را بدست آورد. با استفاده از شاخص‌های سازگاری موجود در جدول ۱ و فرمول ارائه شده می‌توان نرخ سازگاری را در بازه (۰,۱) محاسبه کرد. این مقدار هرچه به ۰ نزدیک‌تر باشد مقایسات دارای ثبات و سازگاری بیشتری و هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد، مقایسات از ثبات و سازگاری کمتری برخوردارند. روابط مذکور یک مدل غیرخطی بود که جعفر رضایی آن را در سال ۲۰۱۶ به یک مدل خطی تبدیل کرد. یکی از مزیت‌های این مدل خطی محاسبه نرخ ناسازگاری بدون استفاده از شاخص سازگاری است. در واقع مقدار ξ^* همان تابع هدف است. همچنین وزن‌های مدل از دقت بیشتری برخوردارند. در نتیجه مدل خطی این تکنیک به صورت رابطه (۴) معرفی می‌شود [۲۱]:

$$(4) \quad \begin{aligned} &\min \xi^L \\ &s.t. \\ &|w_b - a_{bj} w_j| \leq \xi^L \\ &|w_j - a_{jw} w_w| \leq \xi^L \\ &\text{for all } j \\ &\sum_j w_j = 1 \\ &w_j \geq 0 \text{ for all } j \end{aligned}$$

جدول ۱- شاخص سازگاری تکنیک BWM

شاخص سازگاری ξ^*	aBW
۰.۰۰	۱
۰.۴۴	۲
۱.۰۰	۳
۱.۶۳	۴
۲.۳۰	۵
۳.۰۰	۶
۳.۷۳	۷
۴.۴۷	۸
۵.۲۳	۹

۲-۶- تهیه نقشه‌های موضوعی شهری

ArcGis10.8 یک سیستم اطلاعات جغرافیایی برای کار با نقشه‌ها و داده‌های فضایی است که برای تجزیه و تحلیل، به اشتراک‌گذاری و کشف اطلاعات مکانی در پایگاه داده جغرافیایی به کار می‌رود. در حقیقت نقشه‌ها به عنوان ابزاری کارآمد برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری هستند که بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها، با استناد و اعتماد به آنها صورت می‌پذیرد [۲۲].

سیستم اطلاعات جغرافیایی در پایگاه داده فازی (Fuzzy Logic)

تئوری منطق فازی برای نخستین بار توسط لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی شد، که با عنوان نظریه مجموعه‌های فازی شناخته می‌شود. این نظریه به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان عمل می‌کند و مقادیر آن در بازه (۰,۱) تعریف می‌شود؛ به طوری که مقدار ۰ به معنای عدم عضویت کامل و مقدار ۱ نمایانگر عضویت کامل در مجموعه است. در نرم‌افزار ArcGis10.8 این مفهوم از طریق تعریف تابع عضویت بر روی نقشه‌ها به کار برده

عملگر گاما فازی^{۳۳}

عملگر گاما حاصل ضرب دو عملگر ضرب و جمع فازی به صورت رابطه (۹) ارائه می‌شود:

$$\mu_{combine} = (\prod_{i=1}^n \mu_i 1 - \gamma) \times (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \gamma) \quad (9)$$

پارامتر γ عددی بین ۰ و ۱ است که با انتخاب صحیح آن، انعطاف‌پذیری بین پارامترهای افزایشی و کاهش‌ی در عملگرهای ضرب و جمع فازی را در خروجی نقشه‌ها و تصمیم‌گیری کارشناسان بهبود می‌بخشد.

۳- نتایج پژوهش

۳-۱- تعیین وزن معیارها با استفاده از پرسشنامه و

ارائه مدل خطی تکنیک BWM

ابزار اصلی برای جمع‌آوری داده‌ها در تکنیک بهترین - بدترین، جدول شماره ۲ است که در قالب یک پرسشنامه استاندارد طراحی شده است. در این پرسشنامه، معیارهای برتر و ضعیف‌تر از دیدگاه خبرگان و کارشناسان به ترتیب بر اساس فاصله از تراکم جمعیت و شیب تعیین شده‌اند. همچنین میزان ارجحیت تراکم جمعیت نسبت به سایر معیارها و نیز ارجحیت سایر متغیرها نسبت به شیب با استفاده از طیف ۹ درجه‌ای تعیین شده است. پرسشنامه تکنیک بهترین - بدترین روشی برای گردآوری دیدگاه خبرگان پیرامون مقایسه زوجی عناصر با یکدیگر است. در این پرسشنامه برخلاف پرسشنامه‌های مورد استفاده در فرایند تحلیل سلسله مراتبی نیازی به مقایسه تمامی عناصر با یکدیگر وجود ندارد. در اینجا ابتدا بهترین عنصر انتخاب می‌شود و سایر عناصر با همان بهترین عنصر مورد مقایسه قرار می‌گیرند. سپس، بدترین عنصر انتخاب می‌شود و تمامی عناصر نسبت به آن ارزیابی و مقایسه می‌گردند.

می‌شود، مقادیر بالای عضویت در این سیستم نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر و مقادیر پایین‌تر، نشان‌دهنده مطلوبیت کمتر برای دستیابی به نتایج بهینه هستند [۲۳]. در ادامه، عملگرهای مفید برای ترکیب داده‌های مکانی و مقادیر عضویت آن‌ها به منظور تهیه نقشه نهایی به ترتیب معرفی خواهند شد [۲۴]:

عملگر اشتراک فازی^{۲۹}

این عملگر اشتراک عضویت نقشه‌ها را برای مقادیر $(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots)$ در نقشه‌های $(a, b, c, \dots)$ به صورت رابطه (۵) بیان می‌کند:

$$\mu_{combine} = \text{Min}(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots) \quad (5)$$

عملگر اجتماع فازی^{۳۰}

این عملگر به صورت رابطه (۶) و با در نظر گرفتن حداکثر مقدار عضویت در نقشه نهایی بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = \text{Max}(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots) \quad (6)$$

عملگر ضرب جبری فازی^{۳۱}

عملگر ضرب فازی نتیجه عمل تلفیق دو عملگر اشتراک و اجتماع فازی به صورت حاصل ضرب جبری رابطه (۷) بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (7)$$

عملگر جمع فازی^{۳۲}

این عملگر مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها را در نقشه نهایی بزرگ در نظر می‌گیرد به صورت رابطه (۸) بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = 1 - (\prod (1 - \mu_i)) \quad (8)$$

³² Fuzzy Sum

³³ Fuzzy Gamma

²⁹ Fuzzy And

³⁰ Fuzzy OR

³¹ Fuzzy Product

جدول ۲- پرسشنامه استاندارد روش BWM

نام معیار	فاصله از گسل	فاصله از رودخانه	فاصله از مراکز سوخت	فاصله از فضاهای سبز و باز شهری	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از مراکز آتش نشانی	فاصله از مراکز انتظامی	فاصله از تراکم جمعیت	شیب	زمین شناسی (جنس خاک)
کد	W ₀₁	W ₀₂	W ₀₃	W ₀₄	W ₀₅	W ₀₆	W ₀₇	W ₀₈	W ₀₉	W ₀₁₀
بهترین عنصر (فاصله از تراکم جمعیت)	۲	۵	۳	۴	۴	۴	۳	۱	۸	۳
بدترین عنصر (شیب)	۸	۶	۷	۶	۷	۷	۶	۸	۱	۸

۲-۳- پیاده سازی مدل خطی در نرم افزار LINGO14.0 و محاسبه نرخ ناسازگاری

$$\text{Min} \xi_l$$

s.t

$$|w_{08} - 2w_{01}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 5w_{02}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 3w_{03}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 4w_{04}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 4w_{05}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 4w_{06}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 3w_{07}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 8w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 3w_{010}| \leq \xi_l$$

(۱۰)

$$|w_{01} - 8w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{02} - 6w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{03} - 7w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{04} - 6w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{05} - 7w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{06} - 7w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{07} - 6w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{08} - 8w_{09}| \leq \xi_l$$

$$|w_{010} - 8w_{09}| \leq \xi_l$$

$$w_{01} + w_{02} + w_{03} + w_{04} + w_{05} + w_{06} + w_{07} + w_{08} + w_{09} + w_{010} = 1$$

$$j = 1, 2, \dots, 10$$

جدول ۳ شامل کد، نام و وزن نهایی معیارها است. وزن معیارها از طریق حل مدل خطی رابطه (۱۰) استخراج می شود.

رابطه ۱۰ یک مدل خطی است که با استفاده از داده های پرسشنامه موجود در جدول ۲ تشکیل می شود. این مدل در نرم افزارهای بهینه سازی لینگو یا گمز حل می شود.

جدول ۳- نتایج پیاده سازی مدل خطی و محاسبه وزن معیارها

کد معیار	نام معیار	وزن نهایی معیارها
W ₀₁	فاصله از گسل	۰.۰۷۹
W ₀₂	فاصله از رودخانه	۰.۱۰۵
W ₀₃	فاصله از مراکز سوخت	۰.۱۰۵
W ₀₄	فاصله از فضاهای سبز و باز شهری	۰.۰۷۹
W ₀₅	فاصله از مراکز درمانی	۰.۰۷۹
W ₀₆	فاصله از مراکز آتش نشانی	۰.۰۷۹
W ₀₇	فاصله از مراکز انتظامی	۰.۱۰۵
W ₀₈	فاصله از تراکم جمعیت	۰.۲۳
W ₀₉	شیب	۰.۰۱۹
W ₀₁₀	زمین شناسی (جنس خاک)	۰.۱۰۵
Σ W	مجموع وزن ها	۱

دارای سطح مطلوبی از سازگاری هستند.

$$\xi_l = 0.079 < 0.1 = \text{نرخ ناسازگاری}$$

نرخ ناسازگاری به دست آمده از اجرای مدل خطی در نرم افزار لینگو یا گمز همان مقدار تابع هدف بوده که برابر ۰.۰۷۹ است که کمتر از ۰.۱ می باشد. بنابراین معیارها

۳-۳- روند اجرای پژوهش در نرم افزار ArcGis

تحلیل نقشه معیارها

در مرحله اول، اطلاعات مرتبط با هر معیار به صورت داده‌های خطی، نقطه‌ای و پلیگونی در نرم افزار ArcGIS10.8 وارد شده و پردازش‌های اولیه مانند ویرایش لایه‌ها و جداول توصیفی، تغییر سیستم تصویر و مختصات جغرافیایی و سایر اصلاحات لازم بر روی آن‌ها اعمال می‌شود. پس از آن، با استفاده از این نرم افزار اقداماتی از قبیل محاسبه فاصله اقلیدسی، طبقه‌بندی، فازی سازی و در نهایت هم پوشانی لایه‌ها برای تولید نقشه نهایی انجام می‌پذیرد. جدول ۴ اندازه‌های استاندارد برای فازی سازی

معیارها و نوع تابع فازی آن‌ها را نمایش می‌دهد. در نقشه‌های فاکتور فازی، ارزش کلاس‌ها و واحدهای مکانی با درجات عضویت فازی بین ۰ تا ۱ مشخص می‌شود. استانداردسازی این نقشه‌ها با منطق فازی در نرم افزار ArcGIS10.8 انجام می‌گیرد. در این فرآیند، تابع عضویت تعریف می‌شود که مقادیر بالای آن نشان‌دهنده تناسب بیشتر و مقادیر پایین‌تر نمایانگر تناسب کمتر برای دستیابی به نتایج مطلوب هستند. تابع فازی خطی افزایشی که در جدول ۴ برای برخی معیارها تعریف شده است، به این معناست که هر چه فاصله مطلوب از معیار موردنظر بیشتر باشد، بهتر است. در مقابل، تابع فازی خطی کاهشی به این معناست که هر چه فاصله از مطلوب کمتر باشد، بهتر است.

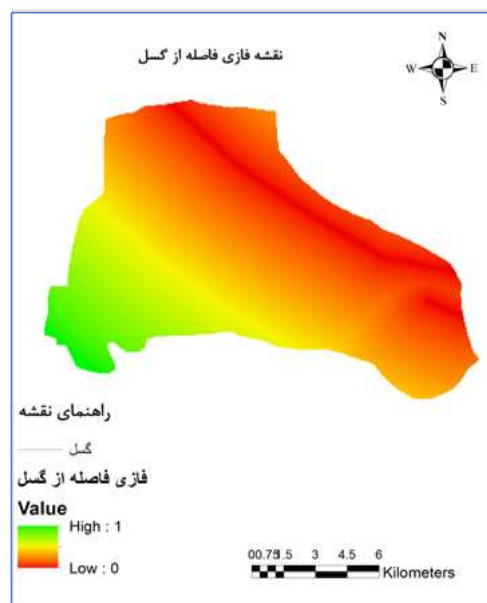
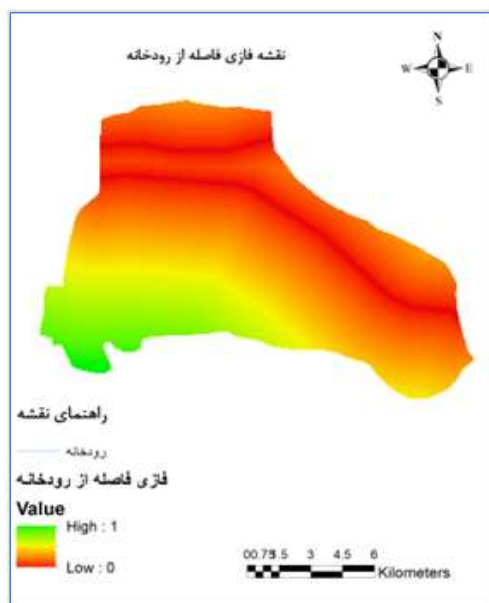
جدول ۴- اندازه استاندارد برای فازی سازی معیارها و نوع تابع فازی

معیار	اندازه استاندارد برای فازی سازی معیارها	نوع تابع فازی
فاصله از گسل	هر چه فاصله از گسل بیشتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی افزایشی
فاصله از رودخانه و مسیل	هر چه فاصله از رودخانه و مسیل بیشتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی افزایشی
فاصله از مراکز سوخت	هر چه فاصله از مراکز خطرناک بیشتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی افزایشی
فاصله از فضاهای سبز و باز شهری	هر چه فاصله از فضاهای سبز و باز شهری کمتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی کاهشی
فاصله از مراکز درمانی	هر چه فاصله از مراکز درمانی کمتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی کاهشی
فاصله از مراکز آتش نشانی	هر چه فاصله از مراکز آتش نشانی کمتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی کاهشی
فاصله از مراکز انتظامی	هر چه فاصله از مراکز انتظامی کمتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی کاهشی
فاصله از تراکم جمعیت	هر چه فاصله از تراکم جمعیت کمتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی کاهشی
درصد شیب زمین	هر چه درصد شیب زمین کمتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی کاهشی

بعد از تعریف نوع تابع هر برای یک از معیارها، نقشه‌های مربوطه با استفاده از دستور فازی سازی نرم افزار ArcGIS10.8 تهیه شدند. شکل‌های ۲ تا ۱۱ نقشه فازی هر معیار را در بازه‌ای از ۰ تا ۱ را نمایش می‌دهند. براساس

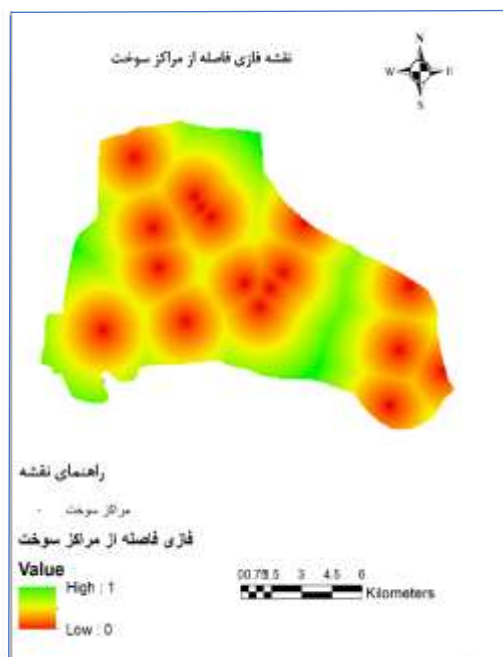
این نقشه‌ها، هر چه مقدار در نقشه‌ها به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، ارزش بیشتری داشته و با رنگ سبز نشان داده می‌شود. در مقابل، با نزدیک شدن مقدار به ۰ ارزش کاهش یافته و رنگ به قرمز تغییر می‌کند.

نقشه فازی معیارها



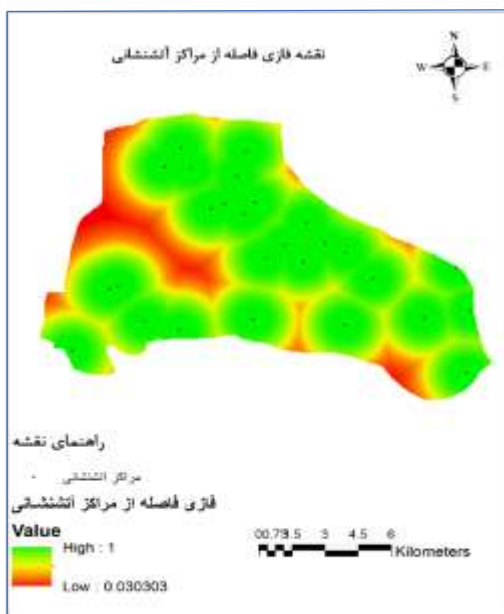
شکل ۳- نقشه فازی فاصله از رودخانه

شکل ۲- نقشه فازی فاصله از گسل

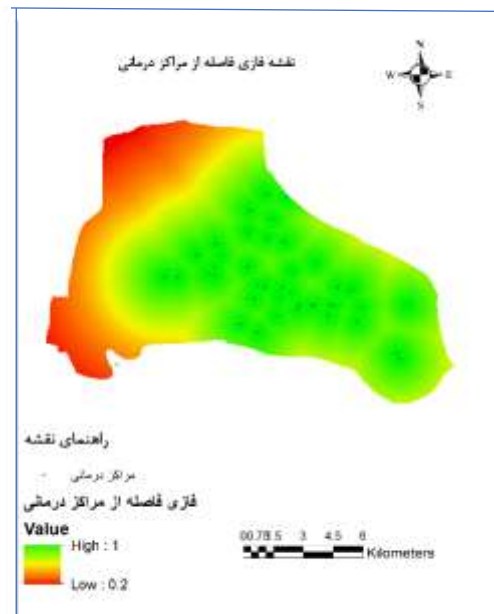


شکل ۵- نقشه فازی فاصله از فضاهای سبز و باز شهری

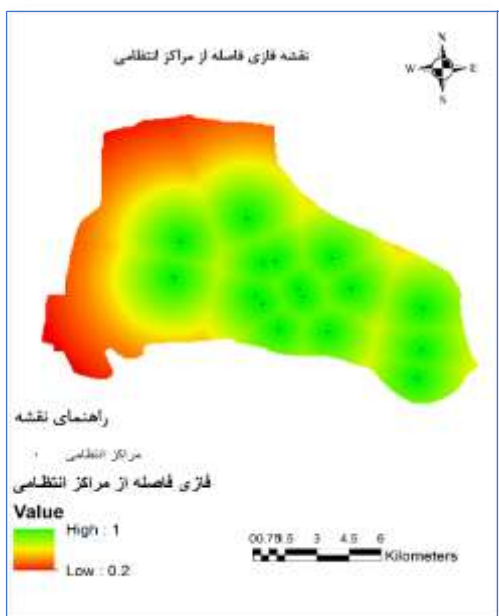
شکل ۴- نقشه فازی فاصله از مراکز سوخت



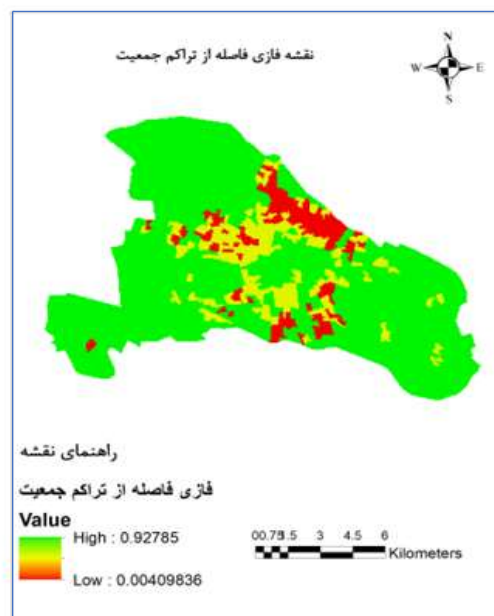
شکل ۷- نقشه فازی فاصله از مراکز آتشنشانی



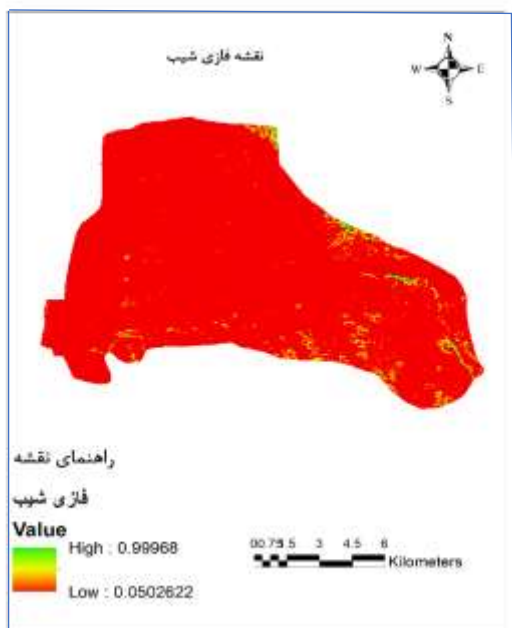
شکل ۶- نقشه فازی فاصله از مراکز درمانی



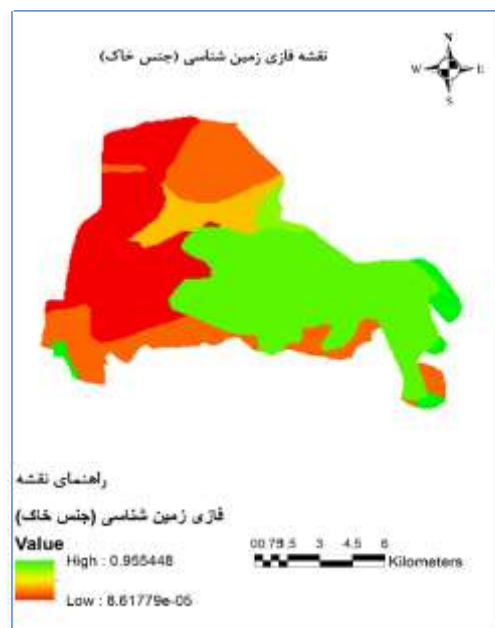
شکل ۹- نقشه فازی فاصله از مراکز انتظامی



شکل ۸- نقشه فازی فاصله از تراکم جمعیت



شکل ۱۱- نقشه فازی شیب



شکل ۱۰- نقشه فازی زمین شناسی (جنس خاک)

شناسایی کرد. در این عملگر مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها در خروجی آن بزرگ شده و تعداد پیکسل‌های بیشتری در کلاس خیلی خوب یعنی عدد ۱ قرار می‌دهد، در نتیجه این عملگر حساسیت کمتری در مکان‌یابی دارد. در شکل ۱۳ نقشه خروجی عملگر ضرب فازی (Product) نمایش داده می‌شود. این نقشه به بررسی تعاملات بین عوامل مختلف می‌پردازد. معمولاً برای شناسایی مناطقی که در آن‌ها چندین عامل خطر وجود دارد، از این نقشه استفاده می‌شود. در این نقشه، اگر یکی از عوامل خطر بالا باشد، احتمالاً ناحیه مورد نظر نیز به عنوان ناحیه‌ای ناامن شناخته می‌شود. به طور کلی این روش درجه عضویت‌های یک موقعیت در نقشه‌های مختلف را در هم ضرب کرده و باعث کاهش عضویت نهایی پیکسل‌ها می‌شود، در نتیجه تعداد پیکسل‌های کمتری در کلاس فازی خیلی خوب قرار می‌گیرند.

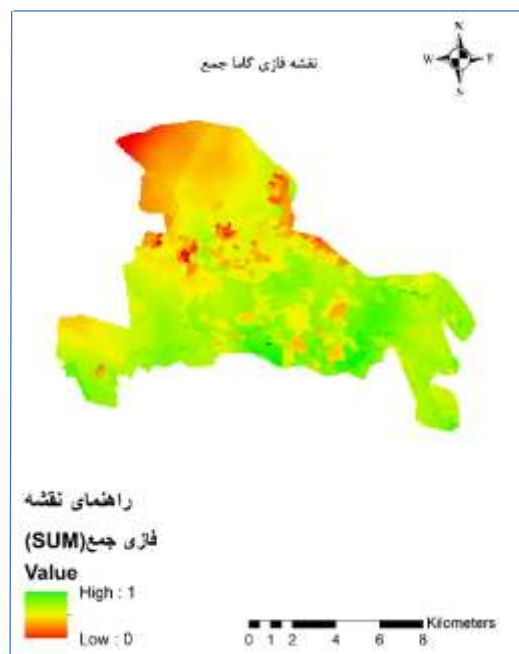
نتایج هم‌پوشانی وزنی رستری معیارها

با استفاده از افزونه‌های نرم‌افزار ArcGIS10.8 و بکارگیری مدل هم‌پوشانی وزنی رستری بر اساس وزن نهایی معیارها، نقشه‌ای جهت شناسایی مکان‌های امن در زمان وقوع زلزله به منظور احداث پناهگاه‌های تخلیه برای افراد آسیب‌دیده طراحی و تولید شد. با توجه به نیاز و هدف از شناسایی این مکان‌ها، از مدل هم‌پوشانی فازی بهره‌گیری شده است. در این مدل، لایه‌های وزن‌دار با استفاده از عملگرهای جمع (Sum)، ضرب (Product) و گاما (Gamma) با مقادیر (۰.۷، ۰.۸، ۰.۹) ترکیب شده‌اند. شکل ۱۲ نقشه خروجی عملگر جمع فازی (SUM) را نمایش می‌دهد. نقشه SUM به ترکیب داده‌ها و معیارهای مختلف برای تعیین نواحی امن کمک می‌کند. با جمع‌آوری این اطلاعات و وزن‌دهی به هر کدام، می‌توان مناطقی را که بیشترین امنیت را دارند



شکل ۱۳- نقشه فازی ضرب (PRODUCT)

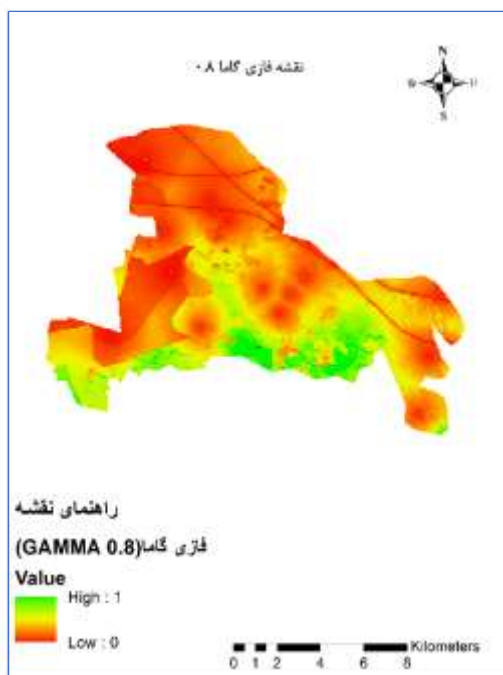
آسیب‌دیده یاری رساند. شکل ۱۶ مربوط به نقشه گامای ۰.۹ می‌باشد. این نقشه دارای کنتراست بالاتری است و نواحی روشن بیشتری نمایان می‌کند. این حالت ممکن است به شناسایی نواحی باز و بدون مانع کمک کند که برای ایجاد مکان‌های امن یا پناهگاه‌های موقت مناسب هستند. تنظیم این نقشه در شناسایی مکان‌هایی که به سرعت قابل دسترسی هستند و خطرات کمتری دارند، مفید است. به طور کلی، انتخاب مقدار گامای مناسب بستگی به نوع تحلیل و هدف مکان‌یابی دارد. استفاده از این مقادیر می‌تواند به تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری در زمینه انتخاب مکان‌های امن بعد از زلزله کمک کند. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عملگر گامای فازی ۰.۹ در مقایسه با سایر روش‌های موجود، عملکرد بهتری در شناسایی مکان‌های امن برای پناهگاه‌ها پس از زلزله در شهر تبریز دارد. از این رو، منطقی است که هر نوع برنامه‌ریزی محیطی بر اساس این نقشه صورت گیرد. مطابق با نقشه گامای ۰.۹ طبقه‌بندی نهایی مناطق برای پناهگاه‌های امن بعد از زلزله با ارزش بین ۰ و ۱ به ۵ رنگ‌بندی مختلف تقسیم‌بندی شده و در شکل ۱۷ نمایش داده شده است. مناطق با رنگ قرمز، پایین‌ترین ارزش یعنی ۰ را نمایش می‌دهند و نامناسب‌ترین مناطق برای احداث پناهگاه‌های امن پس از



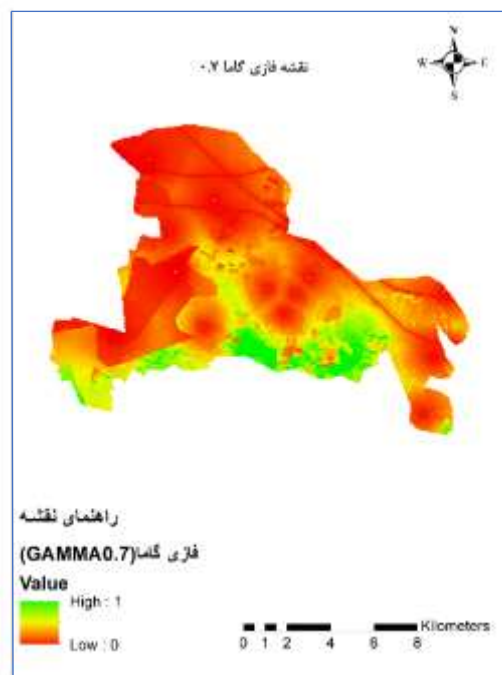
شکل ۱۲- نقشه فازی جمع (SUM)

عملگر گاما برای اصلاح حساسیت بالا و پایین دو عملگر ضرب و جمع فازی و ایجاد سازگاری بین گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی آن دو بکار گرفته می‌شود. گامای ۰ معادل ضرب و گامای ۱ معادل جمع فازی است. جهت افزایش دقت در تهیه نقشه نهایی و تحلیل بهتر و شناسایی مناطق مناسب در مکان‌یابی محل‌های امن از سه گامای (۰.۷، ۰.۸، ۰.۹) بهره گرفته شد. در این زمینه، هر یک از این مقادیر گاما می‌تواند نشانه‌های خاصی داشته باشد. در شکل ۱۴ با تنظیم گاما به ۰.۷ تصویر روشن‌تر و با کنتراست کمتری نمایش داده می‌شود. این حالت می‌تواند به شناسایی نواحی با جزئیات بیشتر در سایه‌ها کمک کند که ممکن است نشان‌دهنده وجود ساختارهای پایدارتر یا مناطقی باشد که کمتر تحت تأثیر آسیب‌های زلزله قرار گرفته‌اند. کاربرد این تنظیم در بررسی مناطق آسیب‌دیده، می‌تواند به شناسایی نواحی امن در نزدیکی ساختمان‌ها یا زیرساخت‌هایی که هنوز سالم مانده‌اند، کمک کند. مقدار گامای ۰.۸ کمی کنتراست بیشتری نسبت به ۰.۷ دارد و می‌تواند جزئیات بیشتری را در نواحی مختلف تصویر نمایان کند. این تنظیم می‌تواند به شناسایی نواحی با آسیب کمتر یا مکان‌هایی که مناسب برای اسکان موقت هستند، کمک کند. استفاده از گامای ۰.۸ می‌تواند به تحلیل دقیق‌تری از وضعیت زیرساخت‌ها و امکانات عمومی در مناطق

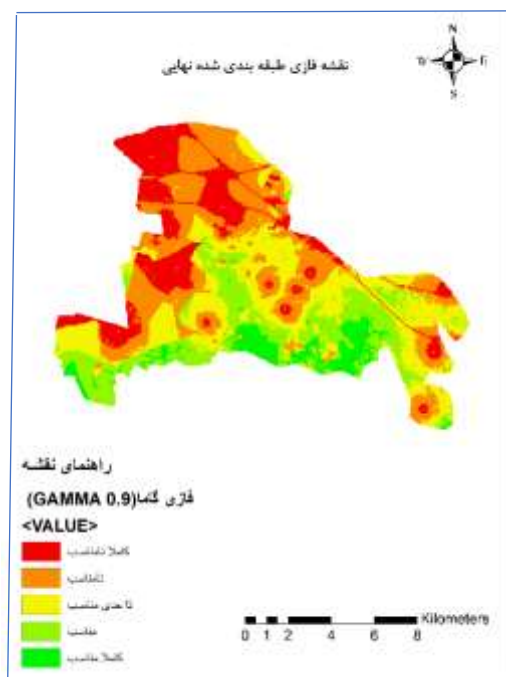
زلزله محسوب می‌شوند، در حالی که مناطق سبز با ارزش ۱ به عنوان مناسب‌ترین مکان‌ها تعیین شده‌اند.



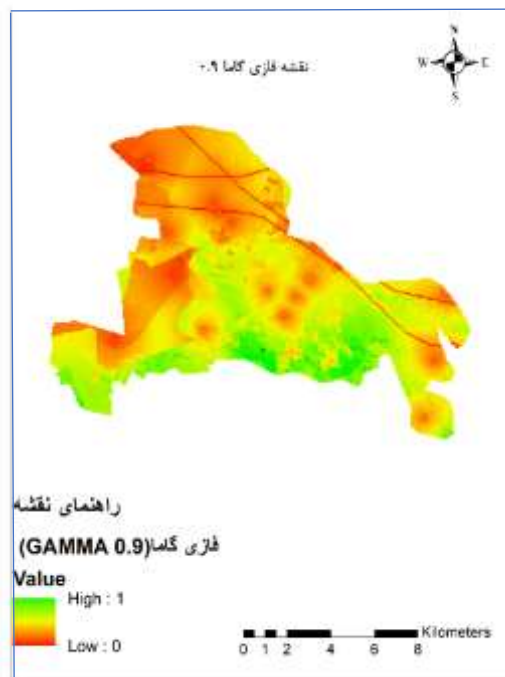
شکل ۱۵- نقشه فازای گاما (GAMMA 0.8)



شکل ۱۴- نقشه فازای گاما (GAMMA 0.7)



شکل ۱۷- نقشه فازای طبقه‌بندی نهایی گاما (GAMMA 0.9)



شکل ۱۶- نقشه فازای گاما (GAMMA 0.9)

۲- نتیجه‌گیری

این پژوهش در نهایت درصدد ارائه مدلی برای مکان‌یابی پناهگاه‌های امن بعد از زلزله است. این مدل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت تحلیل نقشه معیارها و تکنیک بهترین - بدترین (BWM) برای تعیین وزن معیارها طراحی شده و به عنوان مطالعه موردی شهر تبریز را بررسی می‌کند. مزیت اصلی این پژوهش نسبت به سایر روش‌های مکان‌یابی، بکارگیری GIS به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های جغرافیایی و ترکیب لایه‌های مختلف اطلاعاتی است. همچنین تکنیک BWM به دلیل ارائه ترتیب و رتبه‌بندی مشخص بین آیت‌ها، به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا تمایز واقعی‌تری در مقایسه‌ها داشته باشد. استفاده از تکنیک‌های بهترین - بدترین و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی پناهگاه‌های امن پس از زلزله، به بهبود تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی کمک می‌کند. این رویکردها شامل تحلیل چندمعیاره، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های جغرافیایی و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف است که به شناسایی نقاط قوت و ضعف گزینه‌ها کمک می‌کند. تکنیک BWM به بهینه‌سازی تخصیص منابع و افزایش ایمنی در برابر زلزله کمک می‌کند. همچنین GIS باعث بهبود ارتباطات و هماهنگی بین سازمان‌ها در مواقع بحرانی می‌شود. در نهایت، ترکیب این دو تکنیک به تیم‌های امدادی امکان می‌دهد تا سریع‌تر و مؤثرتر به بحران‌ها پاسخ دهند. در نهایت، این پژوهش مناطق را به پنج دسته فازی از کاملاً نامناسب تا کاملاً مناسب برای استقرار پناهگاه‌های امن طبقه‌بندی می‌کند. براساس نتایج، کلان شهر تبریز از نظر

خطر زلزله، وضعیت مطلوبی نداشته و بیشتر قسمت‌های پر تراکم شهری به خصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر در پهنه‌های پر خطر قرار دارند. با فاصله گرفتن از خط گسل تبریز به تدریج از میزان آسیب‌پذیری کاسته می‌شود. بخش عمده‌ای از منطقه شمالی شهر شامل محلات حاشیه‌نشین با بافت فرسوده است که این نواحی از نظر قرار گرفتن بر روی گسل، شیب زمین و تراکم جمعیت، شرایط بسیار نامناسبی دارند. بهتر است به جای ایجاد یک پناهگاه یا اردوگاه بزرگ با ظرفیت بالای جمعیت آوارگان، مجموعه‌ای از پناهگاه‌های تخلیه زلزله برای اسکان موقت افراد آسیب‌دیده طراحی شود که حداکثر ظرفیت هر یک از آن‌ها 25 هزار نفر باشد. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که مناطق جنوب و جنوب شرقی شهر تبریز هنگام وقوع زلزله، نسبت به سایر مناطق شهر از ایمنی بالایی برخوردار هستند. بنابراین، اکثر پناهگاه‌های تخلیه زلزله در این مناطق مکان‌یابی شده‌اند. علاوه بر این، مناطق شمالی شهر تبریز به دلیل وجود گسل، به هیچ عنوان منطقه‌ای امن به شمار نمی‌آیند. بنابراین شهرداری تبریز باید هرچه سریع‌تر اقدامات لازم را انجام داده و مانع ساخت و سازهای گسترده در این بخش از شهر شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که توسعه فیزیکی شهر به سمت گسل فعال و خطرناک در شمال تبریز پیش رفته است. از این رو، لازم است مطالعات جامع و دقیقی به منظور تعیین مسیر مناسب برای توسعه فیزیکی شهر صورت گیرد. از جمله این تصمیمات عبارتند از: تملیک اراضی حریم گسل توسط بخش دولتی و جلوگیری از ساخت و ساز در این مناطق، بررسی راه‌های امداد رسانی به آسیب‌دیدگان به هنگام وقوع زلزله و افزایش معیارهای مکان‌یابی محل‌های امن هنگام وقوع زلزله.

- [1] heidari, sarban Wakil. " A Survey on Social Cohesion Impacts on Earthquake Disaster Management From Local Community viewpoint, Case Study: North Ozumdel,Varzgan County". Disaster Prev. Manag. Know 5,no. 4 (2016) :286- 296.(In Persion). URL : <http://dpmk.ir/article-1-40-fa.html>.
- [2] Fatemeh Dehghan Farooji and Ali Baitullahi, "Urban vulnerability assessment model in natural disasters," Construction Engineering and Housing Sciences, 13 ,no. 2 (2019): 1-11.(In Persion). URL: https://behs.bhrc.ac.ir/article_118353.html.
- [3] Zhao, Laijun, Huiyong Li, Yan Sun, Rongbing Huang, Qingmi Hu, Jiajia Wang, and Fei Gao. "Planning emergency shelters for urban disaster resilience: An integrated location-allocation modeling approach." *Sustainability* 9, no. 11 (2017): 2098.
- [4] Dadashzadeh Ali, Taqvai Masoud and Asghar Zarrabi." Evaluation of factors affecting the location of emergency accommodation (case study: Urmia city). " *Researches of Human Geography*. vol 49, no 2(2016): 325-345.(In Persion). URL: <https://sid.ir/paper/501778/fa>.
- [5] Safari, Qassem, and Mohammad Reza Malek. "Site selection for temporary housing following earthquake under conditions of uncertainty using classical Fuzzy Logic and Intuitionistic Fuzzy Logic-Case study: District 2 of Tehran Municipality." *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 29, no. 115 (2020): 115-125.(In Persion). URL: doi: 10.22131/sepehr.2020.47884.
- [6]. Borhani, Kazem, Ashraf Azimzadeh Irany, and Amirhosein Elhami. "Spatial analysis of urban multi-functional land uses integrating MCDM and GIS methods Case study: emergency shelter in Saravan City." *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 29, no. 116 (2021): 103-118. (In Persion). URL: doi: 10.22131/sepehr.2021.242863.
- [7] Naqabi, Hamzeh and Amin Salehi, Farnaz and Ghorbinia, Zahra." Locating temporary shelters after an earthquake in urban settlements (Case study: Haft Shahr region of Mashhad). " 9th International Conference on Modern Researches in Civil Engineering, Architecture, Urban management and environment,Tehran. (2023).(In Persion).URL: <https://civilica.com/doc/1488188>.
- [8] M. Ebrahimi Boozani , A. Norouzi and H. Khaksar, "The locating potential areas of urban shelters based on passive defense principles -Case study: Ilam City," *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 32,no. 127 (2023): 133-150. (In Persion). URL: doi: 10.22131/sepehr.2023.1986893.2941.
- [9] Pahlavani, Parham, Ali Rabani, Behnaz Bigdeli, and Seyed Ahmad Eslaminezhad. "Locating temporary shelter sites after the earthquake using developed geographically weighted regression (District 22 of Tehran city)." *Town and Country Planning*. 15,no. 2(2023): 419- 434.(In Persion).URL:<https://doi.org/10.22059/jtcp.2022.345226.670331>.
- [10] Celik, Erkan. "A cause and effect relationship model for location of temporary shelters in disaster operations management." *International journal of disaster risk reduction* 22 (2017): 257-268. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.02.020>.
- [11] Ghasemi, Peiman, Kaveh Khalili-Damghani, Ashkan Hafezalkotob, and Sadigh Raissi. "Uncertain multi-objective multi-commodity multi-period multi-vehicle location-allocation model for earthquake evacuation planning." *Applied Mathematics and Computation* 350 (2019): 105-132. URL: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2018.12.061>.
- [12] Chakrabarty, A., M. M. Rahman, and M. Ubaura. "Assessment of emergency evacuation preparedness for seismic hazard in an urban area." In *17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan*. (2020): 13-18.URL: <https://www.academia>.
- [13] Mardaninejad, Farideh, and Mahin Nastaran. "Mathematical modeling of the problem of locating temporary accommodation centers and assigning victims after a possible earthquake to safe places and solving using meta-heuristic algorithms." *Frontiers in Health Informatics* 10, no. 1 (2021).URL:<https://doi.org/10.30699/fhi.v10i1.293>.

- [14] Ma, Yunjia, Baoyin Liu, Kaiwen Zhang, and Yumeng Yang. "Incorporating multi-criteria suitability evaluation into multi-objective location-allocation optimization comparison for earthquake emergency shelters." *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 13, no. 1 (2022): 2333-2355.URL: <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2118623>.
- [15] Liu, Chaofeng, Sijia Liu, Jiaxin Zhang, Ling Wang, Xiaodong Guo, Gang Li, and Wei Wang. "An optimal design method of emergency evacuation space in the high-density community after earthquake based on evacuation simulation." *Natural Hazards* 116, no. 3 (2023): 2889-2915.URL: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05789-8>.
- [16] Bera, Somnath, Kaushal Gnyawali, Kshitij Dahal, Raquel Melo, Miao Li-Juan, Balamurugan Guru, and G. V. Ramana. "Assessment of shelter location-allocation for multi-hazard emergency evacuation." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 84 (2023): 103435.URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103435>.
- [17] Tang, Kai, and Toshihiro Osaragi. "Multi-Objective Evacuation Planning Model Considering Post Earthquake Fire Spread: A Tokyo Case Study." *Sustainability* 16, no. 10 (2024): 3989.URL:<https://doi.org/10.3390/su16103989>.
- [18] Bakhshian, Elnaz, and Beatriz Martinez-Pastor. "A multi-objective optimization model to minimize the evacuation time during a disaster considering reconstruction activity and uncertainty: A case study of Cork City." *Transportation Engineering* 16 (2024): 100234.URL: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100234>.
- [19] Iran Statistics Center (2015), General Population and Housing Census. www.sarshomari95.ir .
- [20] Sadjadi, S., and Mahdi Karimi. "Best-worst multi-criteria decision-making method: A robust approach." *Decision Science Letters* 7, no. 4 (2018): 323-340.URL:<https://doi.org/10.5267/j.dsl.2018.3.003>.
- [21] Rezaei, Jafar. "Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model." *Omega* 64 (2016): 126-130.URL: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>.
- [22] Kumar, Manish, R. B. Singh, Anju Singh, Ram Pravesh, Syed Irtiza Majid, and Akash Tiwari. "Introduction of Geographic Information System." In *Geographic Information Systems in Urban Planning and Management*, 3-24. Singapore: Springer Nature Singapore, (2023). URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-7855-5_1.
- [23] Hussaini, Mohammad Salem, Asadullah Farahmand, Sangam Shrestha, Sanjiv Neupane, and Manuel Abrunhosa. "Site selection for managed aquifer recharge in the city of Kabul, Afghanistan, using a multi-criteria decision analysis and geographic information system." *Hydrogeology Journal* 30, no. 1 (2022): 59-78.URL: <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02408-x>.
- [24] Zhifka, M. U. K. A., Elda MARAJ, and K. U. K. A. Shkelqim. "Rainfall prediction using fuzzy logic." *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* 4 (2017): 2348-7968. URL: <https://www.ijiset.com/>