



Optimal Routing for Emergency Evacuation (Case Study: Region One of Tabriz Municipality)

Abolfazl Ghanbari^{1✉} , Roghayeh Ebadi² , Sadra Karimzadeh³

1. Corresponding Author, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir
2. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: rogayyehbadi54@gmail.com
3. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: sadra.karimzadeh@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 12 January 2025

Revised: 09 April 2025

Accepted: 12 April 2025

Published online: 29 December
2025

Keywords:

Optimal Routing,
Emergency Evacuation,
Earthquake,
Analytic Hierarchy Process,
Genetic Algorithm, Tabriz.

ABSTRACT

One of the most critical issues encountered during and after an earthquake is optimal routing for emergency evacuation, which is among the initial steps in crisis management and must be executed as swiftly as possible; otherwise, it could lead to an increased mortality rate. Accordingly, the main objective of this paper is to establish optimal routing for emergency evacuation during a destructive earthquake. To achieve this, the influential factors in the vulnerability of the study area were initially identified. In the next stage, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to assign weights to these factors, and a vulnerability map was then prepared. Following this, the accessibility of District 1 to safe locations, such as medical centers, parks, green spaces, and barren lands, was assessed using QGIS software. Overall, the results indicated that District 1 of Tabriz, due to its location on the active Tabriz fault, is at high risk during earthquakes. The findings also showed that the northwest parts of District 1 are more vulnerable to earthquakes compared to other sections of the district. Subsequently, using the genetic algorithm, an optimal route to a safe location was identified, taking into account factors such as the shortest path and criteria like road width and population density. For this purpose, the starting and ending points representing areas with the highest and lowest vulnerability, respectively were identified. Based on these points, the optimal route, which largely follows Tavanir Highway, was determined.

Cite this article: Ghanbari, A., Ebadi, R., & Karimzadeh, S. (2026). Optimal Routing for Emergency Evacuation (Case Study: Region One of Tabriz Municipality). *Journal of Geography and Planning*, 29(94), 351-368. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.65424.3352>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.65424.3352>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

The expansion of social life, especially the increase in urbanization and the continuous development of cities, has significantly intensified the scale of natural disasters. Therefore, examining strategies to cope with these crises has always been one of the main concerns for city managers and citizens. Emergency evacuation of the population during crises, such as earthquakes, plays a crucial role in reducing human casualties and accelerating relief efforts. Hence, the swift relocation of people away from high-risk areas is considered a key action in crisis management. Given the importance of rapid evacuation in high-risk zones, having an optimized and efficient routing plan is of utmost importance. Accordingly, the objective of this study is to provide a model for optimal emergency evacuation routing during destructive earthquakes using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Genetic Algorithm to determine the best, easiest, and safest evacuation route for the population in District 1 of Tabriz. This goal is achievable through Geographic Information System (GIS) technology and its associated techniques and analyses.

In recent years, the number of casualties caused by human-made disasters and natural calamities such as floods, earthquakes, storms, and droughts has increased significantly. Among these, earthquakes, as one of the most significant natural disasters on Earth, have always resulted in irreparable loss of life and property within a short period. One of the most critical issues during an earthquake is the transportation of injured and affected individuals to safe locations and medical centers. Following an earthquake, the urban transportation system acts as a shelter and a pathway for emergency transport, firefighting, and similar operations.

Materials and Methods

The main processes in this research are as follows: collecting the required data, preparing a vulnerability map of the study area, assessing the study area's accessibility to safe locations, and finally, performing optimal routing using a genetic algorithm. Planning and data collection are the initial steps in any project. In this study, to identify the necessary criteria for determining the optimal emergency evacuation route, the land-use layer of Tabriz city, obtained from the Tabriz Municipality, was used. Additionally, population data were acquired from the Tabriz Municipality's online portal. Subsequently, the study area's accessibility to safe zones was evaluated using the QGIS software environment. Finally, the analyzed criteria were converted to TIFF format and introduced to the genetic algorithm for optimal routing.

Results

Planning for a safe and rapid emergency evacuation is one of the most critical strategies in emergency situations. Due to the uncertainty of human behavior, the complexity of this issue multiplies. For a long time, in the absence of comprehensive studies, buildings and crowded locations were evacuated simultaneously during incidents. The drawbacks of this evacuation method became apparent when several casualties occurred, not due to the incident itself, but because of crowd congestion during the evacuation. To address this issue, a multi-stage evacuation process was proposed, aiming mainly to reduce congestion and manage the evacuation more efficiently.

Another essential aspect is optimal routing for emergency evacuation and quick access to safe and low-risk areas such as parks, green spaces, barren lands, and access to healthcare facilities. In line with this, the present study examined the vulnerability of District 1 of Tabriz to earthquakes and conducted optimal routing for swift access to safe zones. The results indicated that District 1 of Tabriz, located on the active Tabriz fault, is at high risk during an earthquake. The findings showed that the northwest parts of District 1 are more vulnerable to earthquakes compared to other sections of the district. Factors contributing to this vulnerability include the high age of buildings, steep slopes, proximity to the fault, and high building density.

The results from the genetic algorithm demonstrated that the selected route struck a good balance between the shortest path and the use of main thoroughfares. Additionally, the algorithm avoided high-density areas in the city center, which could improve travel time. The use of highways along parts of the route indicates that the algorithm also considered travel speed. Previous studies on vulnerability assessment and optimal routing have used fewer parameters and simpler algorithms. In this study, an effort was made to consider all influential parameters, utilizing the genetic algorithm for its high efficiency in optimization tasks.

Conclusion

Overall, the results indicate that District 1 of Tabriz, given its location on the active Tabriz fault, faces a high risk during earthquakes. Findings showed that the northwest parts of this district are more vulnerable to earthquakes than other areas. Factors contributing to this vulnerability include the advanced age of buildings, steep slopes, proximity to the fault, and high building density. Below are several recommendations aimed at planning and preventing potential risks and damages:

Location of Medical and Emergency Centers: Use optimal routing techniques to determine the best locations for constructing hospitals and fire stations, ensuring proximity to main roads and quick access to high-risk areas. Additionally, the design of emergency access routes to these centers should minimize traffic congestion during crises.

Widening of Roads: Expand main roads and create dedicated emergency routes for evacuation vehicles and crowd dispersal, using optimal routing analysis. Advanced routing algorithms should be used to simulate and plan emergency evacuations, identifying and addressing bottlenecks and high-traffic points during crises.

Use of Routing Algorithms: Implement optimal routing algorithms such as the Genetic Algorithm, A-Star, and neural network-based algorithms to identify the quickest, least congested, and safest routes during earthquakes. These algorithms should be adjusted according to real-time data, including road damage or crowd concentration, to recommend the best route at any given moment.

Keywords: Optimal Routing, Emergency Evacuation, Earthquake, Analytic Hierarchy Process, Genetic Algorithm, Tabriz.





مسیریابی بهینه برای تخلیه اضطراری (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تبریز)

ابوالفضل قنبری^۱، رقیه عبادی^۲، صدرا کریمزاده^۳

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

رایانامه: abcdef@_ghanbari@tabrizu.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: rogayyehbadi54@gmail.com

۳. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: sadra.karimzadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸ کلیدواژه‌ها: مسیریابی بهینه، تخلیه اضطراری، زلزله، مدل تحلیل فرآیند سلسله مراتبی، الگوریتم ژنتیک، تبریز.	یکی از مهم‌ترین مسائلی که به هنگام زلزله و بعد از زلزله با آن مواجه هستیم، بحث مسیریابی جهت تخلیه اضطراری می‌باشد که از نخستین مراحل مدیریت بحران می‌باشد که باید در کمترین زمان ممکن انجام شود، در غیر این صورت باعث افزایش نرخ مرگ‌ومیر خواهد شد. بر همین اساس هدف اصلی مقاله حاضر، مسیریابی بهینه برای تخلیه اضطراری به هنگام زلزله مخرب است. برای این منظور ابتدا شاخص‌های تأثیرگذار در آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. در مرحله بعد، با بهره‌گیری از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شاخص‌ها وزن‌دهی شده و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری تهیه شد. سپس با استفاده از محیط نرم‌افزار QGIS میزان دسترسی منطقه یک به مراکز درمانی، پارک و فضای سبز و مناطق بایر به عنوان مکان‌های امن مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج بیانگر این بود که منطقه یک تبریز با توجه به قرارگیری بر روی گسل فعال تبریز در معرض خطر شدید در مواقع وقوع زلزله قرار دارد. نتایج نشان داد که بخش‌های شمال غربی منطقه یک نسبت به سایر بخش‌های این منطقه از آسیب‌پذیری بیشتری در برابر زلزله برخوردار می‌باشند. در ادامه مسیر بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به نقطه امن با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین مسیر و شاخص‌هایی نظیر عرض معابر، تراکم جمعیتی و ... شناسایی شد. برای این منظور نقطه ابتدا و انتها که به ترتیب دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری و کمترین میزان آسیب‌پذیری بودند شناسایی و سپس بر اساس این دو نقطه مسیر بهینه که بخش اعظم آن از بزرگراه توانیر گذر می‌کرد، شناسایی شد.

استناد: قنبری، ابوالفضل؛ عبادی، رقیه و کریمزاده، صدرا (۱۴۰۴). مسیریابی بهینه برای تخلیه اضطراری (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تبریز). *جغرافیا و*

برنامه‌ریزی، ۲۹ (۹۴)، ۳۶۸-۳۵۱.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.65424.3352>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

گسترش زندگی اجتماعی، به ویژه افزایش شهرنشینی و توسعه مداوم شهرها، به شدت ابعاد حوادث طبیعی را تشدید کرده است. به همین دلیل، بررسی راهکارهای مقابله با این بحران‌ها همواره یکی از نگرانی‌های اصلی مدیران شهری و شهروندان بوده است. زلزله می‌تواند در زمان کوتاهی خسارات و تلفات گسترده‌ای به بار آورد. آنچه این پدیده را به یک فاجعه تبدیل می‌کند، نبود اقدامات پیشگیرانه و عدم آمادگی برای واکنش مناسب است. در طی قرن گذشته، بیش از هزار زلزله مخرب در ۷۰ کشور رخ داده که منجر به مرگ ۱/۵۳ میلیون نفر و ایجاد خسارات مادی فراوان شده است. ۸۰ درصد از این تلفات مربوط به ۶ کشور است که ایران یکی از آن‌هاست. قرار گرفتن ایران بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ-همیالیا، زلزله را به یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در کشور تبدیل کرده است، به طوری که ۱۷/۶ درصد از زلزله‌های مخرب جهان به ایران مربوط می‌شود (اسکویی، ۱۳۹۶). فاجعه‌های ژئوفیزیکی منجر به تلفات جانی فراوان، جابه‌جایی ساکنان و تخریب زیرساخت‌ها در سراسر جهان شده‌اند (چوبان^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). زلزله به عنوان یکی از فاجعه‌بارترین انواع مخاطرات طبیعی محسوب می‌گردد که با خرابی ساختمان‌ها و زیر ساخت‌های شهری، خسارت‌های گسترده‌ای را به اموال و دارایی‌ها به ویژه در نواحی شهری وارد کرده و تلفات انسانی بسیاری را موجب می‌گردد. بنابراین نیاز به برنامه ریزی و مدیریت بحران یک نیاز اساسی می‌باشد (صمدی و همکاران، ۱۴۰۲). تخلیه یک واکنش بسیار حیاتی در برابر فاجعه‌های طبیعی و انسان‌ساخته است. هر گونه عدم واکنش سریع به تخلیه کوتاه‌مدت می‌تواند بر اثربخشی عملیات تأثیر منفی بگذارد و در نتیجه به طور بالقوه به افزایش تلفات کمک می‌کند (شاهپروری^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). تخلیه اضطراری جمعیت در بحران‌هایی نظیر زلزله نقش مهمی در کاهش تلفات انسانی و تسریع امدادسانی ایفا می‌کند. از این‌رو، جابجایی سریع جمعیت به خارج از مناطق در معرض خطر از جمله اقدامات کلیدی در مدیریت بحران محسوب می‌شود (عبدلحالی^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). تخلیه شهری شامل حرکت تعداد زیادی از تخلیه جویان از مناطق تحت تأثیر به مناطق ایمن می‌شود، که در آن شبکه‌های حمل‌ونقل نقش کلیدی ایفا می‌کنند. توسعه زیرساخت‌های شهری که تمام نیازهای یک تخلیه به مقیاس شهر را می‌پذیرد، زمان‌بر، هزینه‌بر و تقریباً غیرعملی است. بنابراین، یک برنامه تخلیه مناسب ضروری است (دولبنس^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). یک برنامه تخلیه صحیح محدودیت‌های شبکه‌های حمل‌ونقل و پناهگاه‌ها (زیمرمن^۵ و همکاران، ۲۰۰۷) و نیازهای خاص برخی از تخلیه جویان (مانند افراد سالمند، و افراد دارای معلولیت یا شرایط پزشکی خاص را در نظر می‌گیرد (عبدالحلیم^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). برنامه‌ریزی تخلیه مؤثر باید از زیرساخت‌ها و منابع محدود به بهترین شکل استفاده را برآورده سازد تا فرآیند تخلیه را تسهیل کرده و از تراکم جلوگیری نماید (دولبنس و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، اهمیت حیاتی یک تخلیه مؤثر در نجات جان انسان‌ها قرار دارد (ابی‌اویه^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، با توجه به اهمیت سرعت در تخلیه مناطق در معرض خطر، داشتن یک طرح مسیریابی بهینه و کارآمد از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در همین راستا، هدف از این مطالعه، ارائه مدلی برای مسیریابی بهینه تخلیه اضطراری در مواقع زلزله مخرب با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و الگوریتم ژنتیک به جهت تعیین بهترین، آسان‌ترین و ایمن‌ترین مسیر تخلیه اضطراری جمعیت در منطقه یک شهر تبریز می‌باشد. که این امر به وسیله فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌ها و تحلیل‌های آن امکان‌پذیر می‌باشد. در سال‌های گذشته شمار تلفات ناشی از حوادث ساخته دست بشر و همچنین بلایای طبیعی از قبیل سیل، زلزله، طوفان، خشکسالی... افزایش چشمگیری یافته است (رضایی ملک و توکلی مقدم، ۲۰۱۴). در این بین زلزله به عنوان یکی از مهم‌ترین حوادث طبیعی زمین، همواره در مدت زمان کوتاهی، خسارات غیرقابل جبران جانی و مالی را به همراه داشته است. یکی از

1. Çoban
2. Shahparvari
3. Abdelghany
4. Dulebenets
5. Zimmerman
6. Abdulhalim
7. Abioye

مهم‌ترین مسایل به هنگام وقوع زلزله، انتقال مصدومان و افراد حادثه دیده زلزله به اماکن امن و مراکز درمانی است. پس از وقوع زلزله، سیستم حمل‌ونقل شهری به عنوان مأمّن و راهی برای حمل‌ونقل امدادی، اطفای حریق و مانند آن عمل می‌کند (قاسمی و سالکی ملکی، ۱۳۹۳).

ضرورت تغییر بینش برای برنامه‌ریزی استراتژیک در مدیریت ریسک و بحران ناشی از بلایای طبیعی و لزوم استفاده از فن‌آوری‌های نوین سیستم‌های اطلاعاتی مدیریت (MIS)، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از راه دور (RS)، سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)، سیستم‌های تصمیم‌یار (DSS) در برنامه‌ریزی و مدیریت استراتژیک ریسک و بحران بلایای طبیعی یک الزام غیرقابل انکار بر چشم‌انداز آمایش سرزمین کشور است. به کارگیری فن‌آوری‌های نوین در برنامه‌ریزی نوین به دلایل چندجانبه‌ای موجبات باور مدیران را فراهم آورده که رویکرد برنامه‌ریزی سنتی قادر به پاسخگویی و حل مشکلات متعدد دنیای پیچیده و متغیر امروز نیست (شیخ حسنی، ۱۳۸۶). با پیشرفت‌های صورت‌گرفته در فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و دسترسی به داده‌های دقیق از شبکه معابر و خیابان‌ها، امروزه تجزیه و تحلیل مسایل مرتبط با حمل‌ونقل و جابجایی افراد در طول شبکه معابر در محیط GIS اهمیت ویژه‌ای یافته است.

شهر تبریز یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین شهرهای ایران، در جایگاه پهنه با خطر بسیار بالای زلزله قرار دارد. مجاورت با گسل تبریز و وجود سرمایه‌های عظیم صنعتی، فرهنگی و تاریخی، شهر تبریز را به عنوان خطرناک‌ترین شهرها از نظر خطر زمین‌لرزه معرفی می‌کند. وجود بافت‌های فرسوده زیاد همراه با معابر تنگ و باریک با عرض کم و لزوم یک مسیریابی بهینه برای تخلیه آسیب‌دیدگان زلزله را در این شهر اثبات می‌کند. بنابراین هدف اصلی این مطالعه، مسیریابی بهینه تخلیه اضطراری به هنگام زلزله مخرب است. تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در این زمینه کاربردهای فراوان داشته و در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه نیز از این تکنیک‌ها و الگوریتم ژنتیک در زمینه مسیریابی بهینه استفاده شده است.

پیشینه و مبانی نظری

بیش از ۵۴ درصد از جمعیت جهان در کلان‌شهرها زندگی می‌کنند که کمتر از ۳ درصد از کل سطح کره زمین را شامل می‌شود. این تراکم بالای جمعیت، دارایی‌ها، تأسیسات زیربنایی و منابع تولیدی و خدماتی در کلان‌شهرها موجب افزایش آسیب‌پذیری تعداد زیادی از شهروندان در برابر سوانح شده است. با افزایش پیوسته جمعیت شهری، منابع زمین مورد استفاده در ساخت‌وسازهای شهری محدود می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود طراحی و ساخت جوامع شهری ویژگی‌های با تراکم بالا را ارایه دهد؛ به عبارت دیگر، تراکم جمعیت و نسبت مساحت زمین به ساختمان‌ها بالا است. در صورت وقوع حوادث ناگهانی مانند زلزله و حریق، فرآیند تخلیه با تراکم بالا نه تنها به ایجاد فشار شدید در داخل ساختمان‌ها منجر می‌شود، بلکه به ایجاد ازدحام در جاده‌ها و همچنین ازدحام افراد در جوامع با تراکم بالا نیز منجر می‌شود. در سال‌های اخیر، فروریختگی کلی ساختارهای ساختمانی پس از زلزله به طور مؤثر کنترل شده است، اما حادثه فرعی ناشی از ویرانی اجزاء غیر سازه‌ای و سقوط آوارها همچنان یک مسئله جدی است که تخلیه خارجی ساختمان‌ها را خطرناک‌تر می‌کند (لو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). غیرقابل پیش‌بینی بودن زمان وقوع و ناگهانی بودن رخداد زلزله، آن را از دیگر سوانح طبیعی متمایز می‌کند (منصوری مصطفی‌زاده، ۱۳۹۴). پیشگیری وقایع و رعایت تمهیدات پیشگیری، آماده سازی و مصون کردن عوامل انسانی و انسان ساخت در مقابل هر نوع بحرانی، نشان دهنده ی تدبیر است (کرمی و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین آمادگی برای مقابله با این بحران با شناسایی نقاط آسیب پذیر و رفع آنها در کاهش خسارات ناشی از زلزله موثر است (اصغری سراسکانرود و پیروزی، ۱۴۰۲). یکی از مهم‌ترین مسایل بعد از وقوع زلزله، انتقال مصدومان و افراد حادثه‌دیده زلزله به اماکن امن و ایمن و مراکز درمانی است. تخلیه اضطراری افراد نجات‌یافته از بلایای طبیعی در مناطق تحت تأثیر مخاطره، یکی از راهبردهای کلیدی و فعالیت‌های اساسی در مدیریت بحران ناشی از حوادث

غیرمترقبه محسوب می‌شود (کووا^۱ و جانسون، ۲۰۰۳). تخلیه اضطراری در واقع یکی از نخستین مراحل مدیریت بحران است که باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن انجام شود؛ زیرا سرعت در جابجایی آسیب‌دیدگان می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش مرگ‌ومیر ناشی از وقوع حادثه داشته باشد (یی^۲ و اوزدمار، ۲۰۰۷). هر گونه عدم واکنش سریع به تخلیه کوتاه‌مدت می‌تواند بر اثربخشی عملیات تأثیر منفی بگذارد و در نتیجه به طور بالقوه به افزایش تلفات کمک می‌کند (شاهپوری و همکاران، ۲۰۱۹). تخلیه اضطراری جمعیت در بحران‌هایی مانند زلزله، برای کاهش تلفات انسانی و افزایش سرعت امداد رسانی اهمیت فراوانی دارد. بنابراین، جابجایی سریع جمعیت به سمت خارج از مناطق در معرض خطر، یکی از اقدامات اساسی در مدیریت بحران محسوب می‌شود (عبدلحقی و همکاران، ۲۰۲۱). چالش اصلی در مدیریت تخلیه اضطراری، هدایت افراد به سمت مسیرهای بهینه برای رسیدن به مناطق امن است. از این‌رو، با توجه به ضرورت تسریع در تخلیه مناطق در خطر، وجود یک طرح مسیریابی بهینه و کارآمد از ارزش بالایی برخوردار است. در واقع، زمان مورد نیاز برای انجام عملیات تخلیه افراد، یکی از عوامل کلیدی و مؤثر بر نتایج یک طرح تخلیه اضطراری به شمار می‌آید (طالعی و همکاران، ۱۳۹۰). عملیات سنتی مدیریت بحران دیگر پاسخگوی نیازهای امروز نیست و ضروری است سیستم‌های مدیریت جدیدی را جایگزین آن نمود که از مهم‌ترین آن‌ها GIS می‌باشد (ولیزاده کامران، ۱۳۸۵). با توجه به توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ترکیب داده‌های زمین‌مرجع و امکان انجام تحلیل‌های پیچیده مرتبط با داده‌های مکانی و غیرمکانی، GIS به عنوان بهترین ابزار در شناسایی مناطقی که بیشترین احتمال بروز بحران در آن‌ها وجود دارد، شناخته می‌شود. این سیستم به عنوان ابزاری ارزشمند در جهت کاهش آشفتگی و بی‌نظمی در مدیریت به طور کلی و مدیریت بحران به طور خاص، عمل می‌کند.

مطالعات گوناگونی به بررسی و ارزیابی آسیب‌پذیری و مسیریابی بهینه پرداخته‌اند. برای مثال علی اصل خیابانی و همکاران (۱۳۹۷)، در مطالعه خود به مسیریابی امداد رسانی بعد از وقوع زلزله در بخشی از منطقه یک تهران پرداخته‌اند. آنها با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، به اولویت‌بندی مسیرهای امداد رسانی به مناطق آسیب‌دیده پس از زلزله پرداختند. در این پژوهش، چندین مسیر از پایگاه‌های امدادی به مناطق بحران‌زده انتخاب و بر اساس معیارهایی مانند نوع اسکلت ساختمان، تعداد طبقات، ترافیک، عرض و طول مسیر، و کاربری‌های پیرامونی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که نوع اسکلت ساختمان با وزن ۰/۳۲۵، مهم‌ترین عامل مؤثر در انتخاب مسیر بهینه بوده است. این تحقیق اهمیت توجه به ویژگی‌های کالبدی و ترافیکی مسیرها را در امداد رسانی سریع و مؤثر پس از زلزله نشان داد. شریفی و همکاران (۱۴۰۱)، در مطالعه خود به بررسی الگوی تخلیه اضطراری و مکانیابی اسکان موقت با رویکرد پدافند غیرعامل در مناطق یک و سه شهر اصفهان پرداخته‌اند. در این پژوهش، با توجه به احتمال وقوع حملات تروریستی یا نظامی و ضرورت آمادگی در برابر بحران‌ها، الگویی جهت تخلیه اضطراری و مکان‌یابی مناسب برای اسکان موقت تدوین گردید. پژوهشگران با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و VIKOR، و تحلیل شبکه، به اولویت‌بندی معیارهای مؤثر پرداختند. نتایج نشان داد که معیار شیب زمین از بیشترین اهمیت برخوردار بوده، در حالی که دسترسی به مراکز خدماتی کم‌اهمیت‌ترین معیار محسوب شد. در نهایت، اراضی واقع در شمال شرق اصفهان به عنوان مناسب‌ترین محدوده برای اسکان موقت شناسایی شدند و مسیرهای بهینه جهت تخلیه اضطراری به این مناطق پیشنهاد گردید. در مطالعه‌ای دیگر کریم زاده و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای به ارزیابی خطر زمین‌لرزه با بکارگیری فن‌های GIS، آسیب‌پذیری ساختمان و ارزیابی تلفات انسانی برای سناریوی زلزله در شهر تبریز پرداختند. ابتدا با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، پارامترهای زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و ژئوفیزیکی منطقه ترکیب شده و یک زلزله با شدت ۷ ریشتر در گسل شمال تبریز شبیه‌سازی شد. نتایج این شبیه‌سازی شدت لرزش زمین را در مناطق مختلف تبریز نشان داد. سپس، آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، تلفات انسانی و منابع پایه برای بازماندگان در منطقه دوم شهر با استفاده از توابع آسیب و تحلیل‌های روابطی تخمین زده شد. نتایج نشان داد که ۶۹/۵٪ از ساختمان‌های موجود به طور کامل تخریب شده و میزان تلفات انسانی حدود ۳۳٪ پس از یک

1. Cova

2. Yi

سناریو در شب است. این مدل با استفاده از داده‌های زلزله واقعی (زلزله اول از زمین‌لرزه‌های دوقلو اهر در ۱۱ آگوست ۲۰۱۲) اعتبارسنجی شد و نتایج آن در ارزیابی آسیب‌ها و شدت لرزه‌ای مقایسه شد. لیو و همکاران (۲۰۲۲)، در این مطالعه به برنامه‌ریزی هوشمند مسیرهای تخلیه در مواقع اضطراری مانند بلایای طبیعی، بحران‌های منابع انسانی و بلایای اپیدمیک، از جمله پاندمی COVID-19 پرداخته‌اند. هدف این تحقیق، طراحی سریع مسیرهای تخلیه برای انتقال قربانیان به مناطق امن بود. ابتدا مسأله به صورت یک مسأله جریان حداکثر مدل‌سازی شد و الگوریتم جستجوی دودویی مبتنی بر این الگوریتم برای برنامه‌ریزی مسیر تخلیه پیشنهاد گردید. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که الگوریتم پیشنهادی با دقت بالا و پیچیدگی پایین قادر است بهترین مسیرهای تخلیه را شبیه‌سازی کند. این مدل بهینه‌سازی غیرخطی بوده و زمان تخلیه هر مسیر به طور غیرخطی به تعداد قربانیان وابسته است. سووانو^۱ و همکاران (۲۰۲۳)، در مطالعه‌ای به بررسی مناطق مستعد سیلاب در شهرداری ناخون سی تامارات، تایلند، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. آن‌ها با ترکیب لایه‌های مختلف داده، از جمله شیب، ارتفاع، فاصله از جاده‌ها، بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، کاربری زمین، نوع خاک، فاصله از رودخانه‌ها، تراکم جریانی و تراکم جاده‌ای، به تحلیل خطرپذیری سیل در منطقه پرداختند. نتایج نشان داد که ۵۶/۷۴٪ از منطقه در معرض خطر بالای سیلاب قرار دارد. همچنین، بررسی شبکه جاده‌ای تحت شرایط سیل نشان داد که سفر به طور متوسط به ۲۱/۴ دقیقه افزایش می‌یابد که چهار برابر شرایط عادی است. وانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۳)، در مطالعه‌ای بهینه‌سازی تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری با استفاده از مدل IEO بررسی کردند. هدف این مدل کاهش زمان تخلیه، جلوگیری از تراکم ترافیکی، بهینه‌سازی استفاده از شبکه و توزیع متعادل بار خروجی است. آن‌ها از الگوریتم K-means و DBSCAN برای گروه‌بندی افراد و از الگوریتم بهبودیافته کلونی مورچه‌ها جهت مسیریابی استفاده کردند. نتایج نشان داد که این مدل در مقایسه با روش‌های سنتی، عملکرد بهتری در تخلیه‌های جمعی دارد. بررسی ادبیات نشان داد که بیشتر مطالعات قبلی بر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، الگوریتم K-means؛ نتورک آنالیز متمرکز بوده و کمتر از الگوریتم‌هایی همچون ژنتیک در مسیریابی بهره برده‌اند.

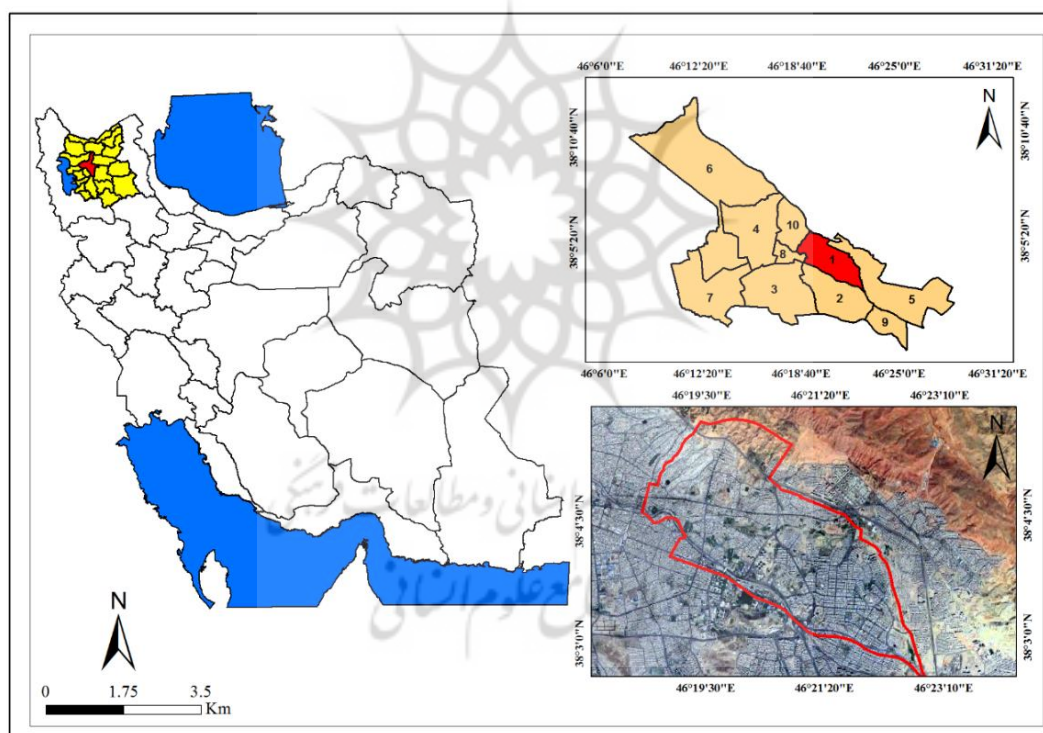
کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌هایی به بزرگی ۵/۵ ریشتری دارد. همچنین ایران یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله و تعداد افراد کشته شده بر اثر این سانحه دارد (قنبری و زلفی، ۱۳۹۳). علاوه بر این، ایران با تجربه ۱۸ زلزله با بزرگی ۷ یا بیشتر در قرن گذشته و حدود ۱۸۰ هزار مرگ و میر در پنج دهه اخیر، به عنوان چهارمین کشور پرخطر جهان ارزیابی شده است (احمدی و همکاران، ۲۰۲۲). ایران به عنوان یکی از کشورهای مستعد زلزله، به دلیل واقع شدن شهرهای پرجمعیت بر روی گسل‌ها، در معرض خطر بالای زلزله قرار دارد. به طور میانگین، هر هفت سال یک زلزله شدید در این کشور رخ می‌دهد که معمولاً با خسارات جانی و مالی همراه است (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۳). در این میان، تبریز به عنوان یکی از شهرهای بزرگ و مهم ایران در ناحیه‌ای با خطر بسیار بالا قرار دارد. نزدیکی به گسل تبریز، جمعیت بالغ بر ۱،۸۵۰،۰۰۰ نفر و وجود سرمایه‌های عظیم صنعتی، فرهنگی و تاریخی، این شهر را به عنوان یکی از خطرناک‌ترین شهرها از نظر زلزله معرفی می‌کند. به همین دلیل، گسل تبریز به عنوان خطرناک‌ترین گسل کشور شناخته می‌شود (سالکی ملکی و قاسمی، ۱۳۹۴).

ضرورت بررسی و یافتن مسیرهای بهینه برای تخلیه اضطراری در هنگام زلزله در شهرهای بزرگ مانند تبریز، یکی از مهم‌ترین موضوعات در حوزه مدیریت بحران است. با توجه به افزایش جمعیت شهری و محدودیت منابع زمینی، شهرهای پرجمعیت با تراکم بالای ساختمان‌ها و افراد، در معرض آسیب‌های بیشتری در برابر سوانح طبیعی قرار دارند. با توجه به اهمیت زمان در کاهش تلفات ناشی از زلزله و نیاز به بهینه‌سازی مسیرهای تخلیه، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و الگوریتم‌های پیشرفته مانند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و الگوریتم ژنتیک می‌تواند به عنوان راهکاری کارآمد در مدیریت این بحران عمل کند. این ابزارها نه تنها امکان تحلیل دقیق مناطق در معرض خطر را فراهم می‌کنند، بلکه به ایجاد مسیرهای بهینه

برای جابجایی سریع و ایمن افراد کمک می‌کنند. در نهایت، چنین تحقیقاتی می‌تواند به کاهش آسیب‌ها و افزایش کارایی عملیات امداد و نجات در شهرهای پرجمعیت و زلزله‌خیز مانند تبریز منجر شود. این پژوهش با استفاده از تکنیک‌ها و تحلیل‌های GIS و کاربرد الگوریتم ژنتیک و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به دنبال پاسخگویی به این سؤال است که در منطقه یک شهرداری تبریز، مسیر بهینه برای تخلیه اضطراری در مواقع زلزله مخرب کدام‌اند؟ هدف از این تحقیق، مسیریابی بهینه برای تخلیه اضطراری در موقع زلزله مخرب در منطقه یک تبریز می‌باشد که در پیاده‌سازی این تحقیق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و الگوریتم ژنتیک مورد استفاده و بررسی قرار گرفته شده است. «هدف از مسیریابی بهینه این است که با کاهش زمان اعزام نیروهای امدادی به محل سانحه دیده از تعداد تلفات و مجروحان کاسته شود.

معرفی محدوده مورد مطالعه

شهر تبریز به ۱۰ منطقه شهرداری تقسیم شده است. این منطقه با ۲۱۸۶۴۷ جمعیت در سال ۱۳۹۵ (سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۵) در حدود ۵/۶ درصد از مساحت شهر تبریز را شامل می‌شود. بخش عمده‌ای از مساحت آن را اراضی نیمه هموار (شیب ۵ تا ۱۵ درصد) با ۱۳/۴۰ درصد از کل وسعت آن را در بر گرفته است. اراضی هموار و فاقد محدودیت حدود ۳۰ درصد از کل وسعت این منطقه را شامل می‌شوند (حمیدی و همکاران، ۱۴۰۱). شکل ۱ موقعیت منطقه یک تبریز را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت مسیریابی بهینه تخلیه اضطراری به هنگام زلزله مخرب از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. برای بررسی مطلوبیت مسیرها بر اساس پارامترهای تراکم جمعیت، شیب، بافت فرسوده، نوع ساختمان و تعداد طبقات در هر مسیر بررسی شده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم‌افزار اکسپرت چویز به وزن‌دهی به هر یک از معیارها و زیر معیارها پرداخته شده و در نهایت بر اساس ارزش پارامترها، وزن نهایی مسیرها مشخص شده و با توجه به این ارزش‌ها، اولویت‌بندی مسیرها صورت گرفته است.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور استخراج معیارهای لازم جهت بررسی مسیر بهینه برای تخلیه اضطراری، از لایه کاربری اراضی شهر تبریز استفاده شد که از شهرداری تبریز تهیه شده است. همچنین اطلاعات جمعیتی نیز، از درگاه اینترنتی شهرداری شهر تبریز تهیه شد. سپس معیارهای مورد بررسی با فرمت Tiff به منظور مسیر یابی بهینه، به الگوریتم ژنتیک معرفی شد.

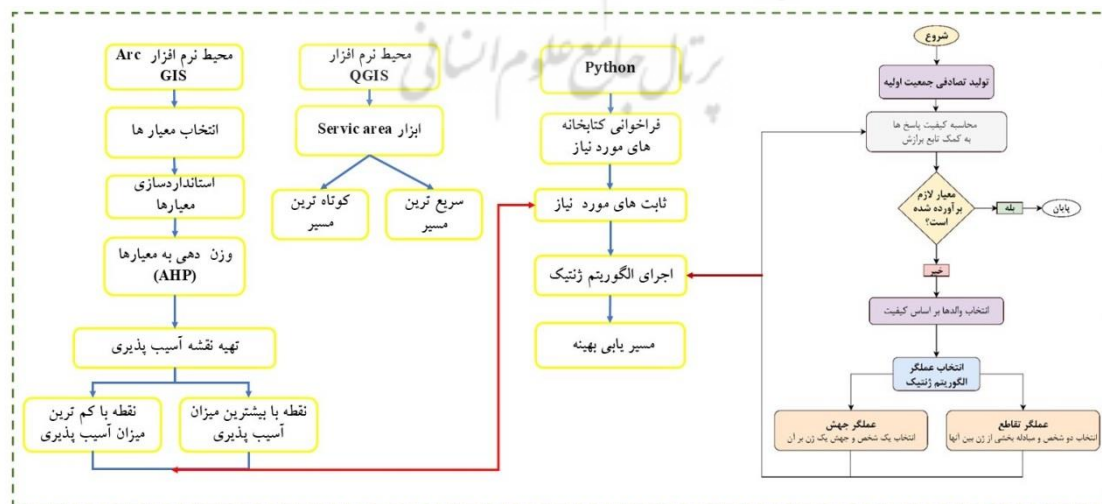
جدول ۱. معیارهای منطقه مورد مطالعه

ردیف	لایه	منبع و مأخذ داده
۱	فاصله از گسل	نقشه کل گسل استان
۲	کیفیت ابنیه	مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز
۳	کیفیت مصالح	مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز
۴	اندازه بلوک‌های ساختمانی	مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز
۵	تعداد طبقات	مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز
۶	سن ابنیه	مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز
۷	فاصله از مراکز درمانی، فضای باز، پارک‌ها	نقشه کاربری اراضی مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز تابع Distance
۸	فاصله از مراکز حساس و خطرنا	نقشه کاربری اراضی مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز تابع Distance
۹	شیب	نقشه DEM کل استان
۱۰	جمعیت	نقشه بلوک جمعیتی شهر تبریز
۱۱	عرض معابر و طول مسیر	نقشه کاربری اراضی مرکز فناوری اطلاعات شهرداری تبریز تابع Distance

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آسیب‌پذیری بافت شبکه معابر

هدف از انتخاب این محدوده قرار گرفتن بر روی گسل فعال تبریز می‌باشد. بنابراین، بررسی و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری و خطرپذیری شبکه شهری و معابر این محدوده از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. روش پژوهش ترکیبی از روش‌های پژوهش اسنادی، توصیفی و تحلیلی است. نتایج به دست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و Excel، به همراه مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice برای وزن‌دهی شاخص‌ها و تعیین میزان آسیب‌پذیری و کارایی راه‌ها و شریان‌های حیاتی حمل‌ونقل، استخراج شده است.



شکل ۲. روند انجام پژوهش

در نهایت، مسیر بهینه برای خروج اضطراری مشخص گردیده است. تمامی محاسبات مربوط به مدلسازی AHP در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفته است. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های کاربری اراضی، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی، عمر ابنیه، فاصله از گسل، نوع ابنیه، تعداد طبقات ساختمانی مدلسازی شد. سپس با استفاده از روش تقسیم‌بندی مجدد، هر لایه به چند طبقه تقسیم‌بندی گردید. در نهایت با توجه به امتیازات هر نقشه، نقشه‌ها با استفاده از دستور مجموع وزنی در نرم‌افزار ArcGIS باهم ادغام گردیدند. روند انجام پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

مسیریابی بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک از الگوریتم‌های جستجو و بهینه‌سازی هستند که از اصول انتخاب طبیعی و ژنتیک الهام گرفته شده‌اند. آن‌ها از روند تکامل طبیعی تقلید می‌کنند تا راه‌حل‌های بهینه برای مسایل پیچیده پیدا کنند. این الگوریتم تکاملی بر روی جمعیتی از راه‌حل‌های بالقوه عمل می‌کند که به صورت کروموزوم یا افراد نمایش داده می‌شوند. این کروموزوم‌ها تحت عملیات ژنتیکی مانند جهش (Mutation) و تقاطع (Crossover) قرار می‌گیرند که منجر به تکامل جمعیت در طول نسل‌های متوالی می‌شود. این الگوریتم یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی است که از مفاهیم زیست‌شناسی مانند وراثت، جهش، انتخاب تصادفی، انتخاب طبیعی و ترکیب الهام می‌گیرد. به طور معمول، راه‌حل‌ها به صورت دوتایی (صفر و یک) نمایش داده می‌شوند، اما روش‌های نمایش دیگری نیز وجود دارد. تکامل معمولاً با یک مجموعه تصادفی از موجودیت‌ها آغاز می‌شود و در نسل‌های بعدی اصلاح می‌شود. در هر نسل، موجودیت‌های مناسب‌تر انتخاب می‌شوند نه لزوماً بهترین‌ها (مطیعان و همکاران، ۱۳۹۱) در این مطالعه با استفاده از الگوریتم ژنتیک مسیریابی بهینه بین پرخطرترین و کم‌خطرترین نقطه منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. برای اجرای الگوریتم از برنامه پایتون استفاده شد.

روش اجرای الگوریتم ژنتیک

۱- در ابتدا کتابخانه‌های مورد نیاز فراخوانی شدند که شامل موارد زیر می‌باشند:

```
import rasterio # برای کار با داده‌های رستری
import numpy as np # برای محاسبات عددی
import random # برای تولید اعداد تصادفی
import folium # برای نقشه‌سازی
import osmnx as ox # برای کار با داده‌های OpenStreetMap
import networkx as nx # برای تحلیل شبکه
```

شکل ۳. کتابخانه‌های به کار برده شده در کد الگوریتم ژنتیک

۲- در مرحله بعدی ثابت‌های برنامه شامل مختصات مبدأ (ORIGIN) و مقصد (DESTINATION)، اندازه جمعیت در الگوریتم ژنتیک (POPULATION_SIZE)، تعداد نسل‌ها (NUM_GENERATIONS)، نرخ جهش (MUTATION_RATE) و نرخ ترکیب (CROSSOVER_RATE) تعریف شدند.

```
ORIGIN = (38.05018367, 46.36721120)
DESTINATION = (38.0718474, 46.3440139)
POPULATION_SIZE = 50
NUM_GENERATIONS = 100
MUTATION_RATE = 0.01
CROSSOVER_RATE = 0.8
```

شکل ۴. ثابت‌های به کار برده شده در کد الگوریتم ژنتیک

- ۳- داندود گراف جاده‌ای از OpenStreetMap برای منطقه مورد نظر.
- ۴- ایجاد یک مسیر تصادفی بین مبدأ و مقصد با استفاده از شبکه جاده‌ای.
- ۵- ایجاد جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک.
- ۶- برگرداندن مقدار داده رستری را در یک نقطه مشخص.
- ۷- محاسبه میزان برازندگی یک مسیر با توجه به داده‌های رستری مختلف.
- ۸- انتخاب دو والد برای تولیدمثل، با احتمال بیشتر برای مسیرهای با برازندگی بالاتر.
- ۹- عملیات ترکیب بین دو والد برای ایجاد دو فرزند جدید.
- ۱۰- اعمال تابع جهش در یک مسیر، با تغییر تصادفی یک نقطه در مسیر.
- ۱۱- تابع اطمینان از اینکه تمام قطعات مسیر از طریق شبکه جاده‌ای به هم متصل هستند.
- ۱۲- تابع تکامل جمعیت در طول یک نسل.
- ۱۳- تابعی که بهترین مسیر را روی نقشه نمایش می‌دهد و آن را به صورت یک فایل HTML ذخیره می‌کند.

یافته‌ها

کاربرد مدل تحلیل سلسله مراتبی در تحلیل اطلاعات

با توجه به ماهیت موضوع و لزوم بهره‌گیری از سیستم‌های جدید اطلاعاتی، همچنین پیچیدگی و تنوع بافت‌های شهری، شناسایی محدوده‌های آسیب‌پذیر در برابر زلزله و نقاط بالقوه برای مداخله (از جمله انتقال یا تثبیت کاربری، احداث سایت‌های امداد و نجات و تعیین مسیرهای بهینه امداد رسانی و غیره) ضروری است. در این راستا، چندین شاخص شامل عرض معابر، تراکم جمعیتی، کاربری زمین، عمر ابنیه، کیفیت ابنیه، تعداد طبقات، فاصله از مناطق حساس و خطر ساز، شیب و فاصله از گسل مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، هفت شاخص مذکور در دسته‌های مختلف با درجات اهمیت متفاوت به صورت دوه‌دو رتبه‌بندی می‌شوند. بر این اساس، مهم‌ترین شاخص از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله عدد ۹ و کم‌اهمیت‌ترین شاخص عدد ۱ را به خود اختصاص می‌دهد که رتبه‌بندی شاخص‌ها و زیرمعیارها از نرم‌افزار ExpertChoice استخراج شده است. در این فرآیند، شاخص‌های گسسته به شاخص‌های پیوسته تبدیل می‌شوند که این کار با تبدیل داده‌های وکتوری به رستری امکان‌پذیر است. در این مطالعه، به منظور تعیین حجم نمونه‌ها از روش دلفی استفاده شد. در همین راستا ۲۰ پرسش‌نامه توسط دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری رشته‌های سنجش از دور و برنامه‌ریزی شهری تکمیل شد.

جدول ۲. شاخص‌های طبقه‌بندی شده جهت تعیین آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه

شاخص	وزن	مفروضات وزن دهی
کیفیت ابنیه	۰/۱۳	هر چه کیفیت ابنیه بهتر = آسیب‌پذیری کمتر
عمر ابنیه	۰/۱۳۲	هر چه عمر ابنیه کمتر = مقاومت بیشتر و آسیب‌پذیری کمتر
تراکم جمعیتی	۰/۱۳۱	هر چه تراکم جمعیت کمتر = آسیب‌پذیری کمتر
کاربری زمین	۰/۱۰۳	هر چه میزان خطرها بودن کاربری کمتر = آسیب‌پذیری کمتر
فاصله از گسل	۰/۱۵	هر چه فاصله از گسل بیشتر = آسیب‌پذیری کمتر
شیب	۰/۱۱۱	هر چه شیب کمتر = آسیب‌پذیری کمتر
فاصله از مناطق حساس و خطرزا	۰/۰۹	هر چه فاصله از مناطق حساس بیشتر = آسیب‌پذیری کمتر
عرض معابر	۰/۱۵۳	هر چه عرض معابر بهتر = آسیب‌پذیری کمتر

بعد از اتمام وزن‌دهی به روش AHP، نقشه نهایی از مجموع لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی با استفاده از تحلیل Weighted Sum به دست آمد.

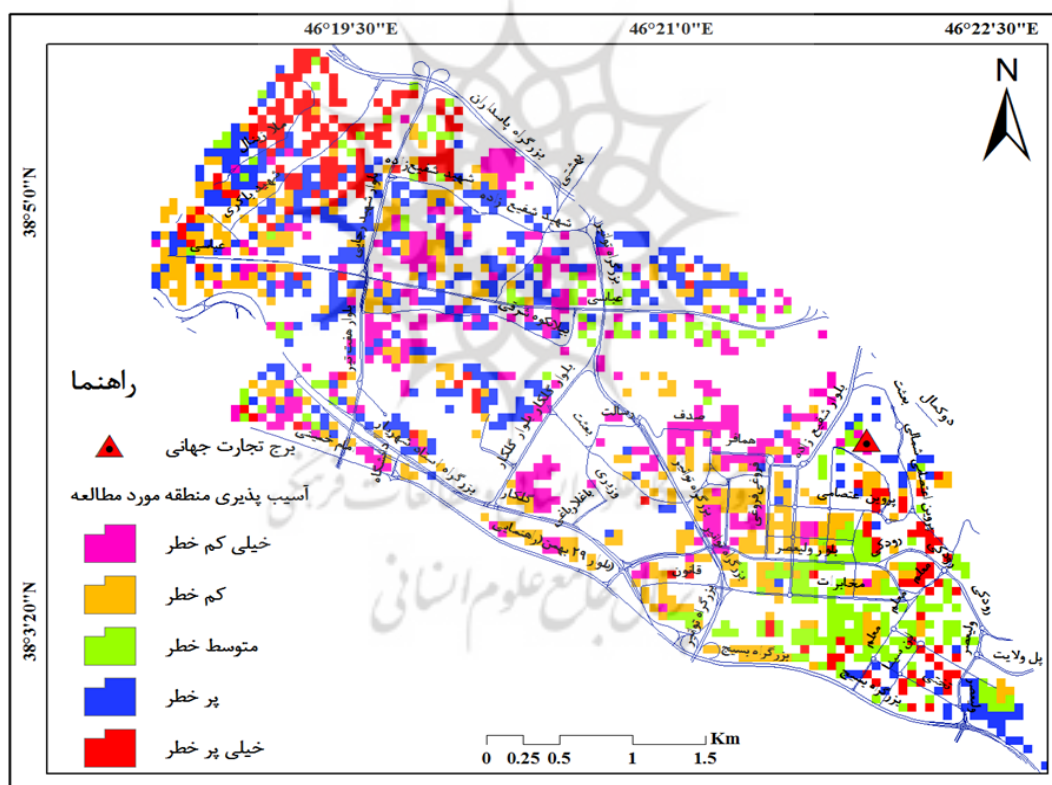
محاسبه نرخ ناسازگاری

در این مطالعه مقدار CI برابر ۰/۱ محاسبه شد. با توجه به مقدار IR برای تعداد شاخص ۸ که برابر ۱/۴۱ می‌باشد، مقدار CR محاسبه شد.

$$CR = \frac{CI}{IR} = \frac{0.1}{1.41} = 0.07$$

از آنجایی که نرخ ناسازگاری این ماتریس تصمیم از ۰/۱ کمتر است پس این مقایسه زوجی مورد قبول می‌باشد.

شکل (۵) نقشه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه که بر اساس معیارهای موجود به دست آمده است را نشان می‌دهد. ابتدا معیارها شناسایی شده و بر اساس اهمیتشان وزن‌دهی شدند و در نهایت از تحلیل همپوشانی وزنی استفاده شده و نقشه نهایی استخراج شده است. مطابق نقشه به دست آمده قسمت‌های شمال غربی بیشترین میزان آسیب‌پذیری و بخش‌های مرکزی و جنوبی، کمترین میزان آسیب‌پذیری را دارند.



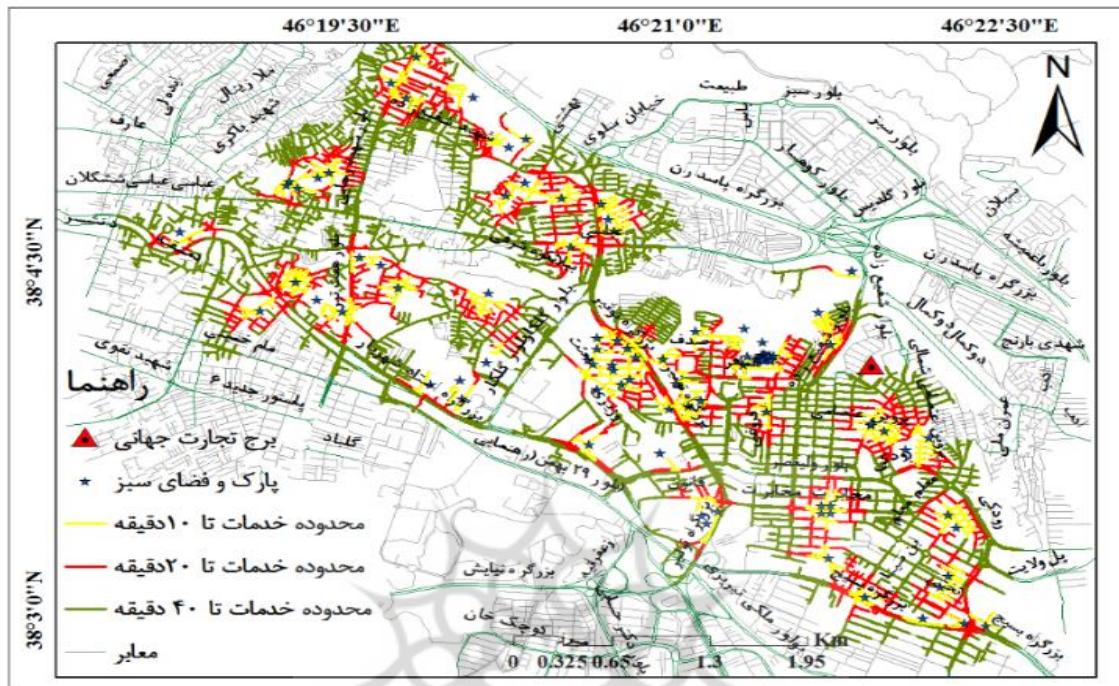
شکل ۵. آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در برابر زلزله

استفاده از نرم‌افزار QGIS به منظور بررسی زمان و مسیر دسترسی به مکان‌های امن

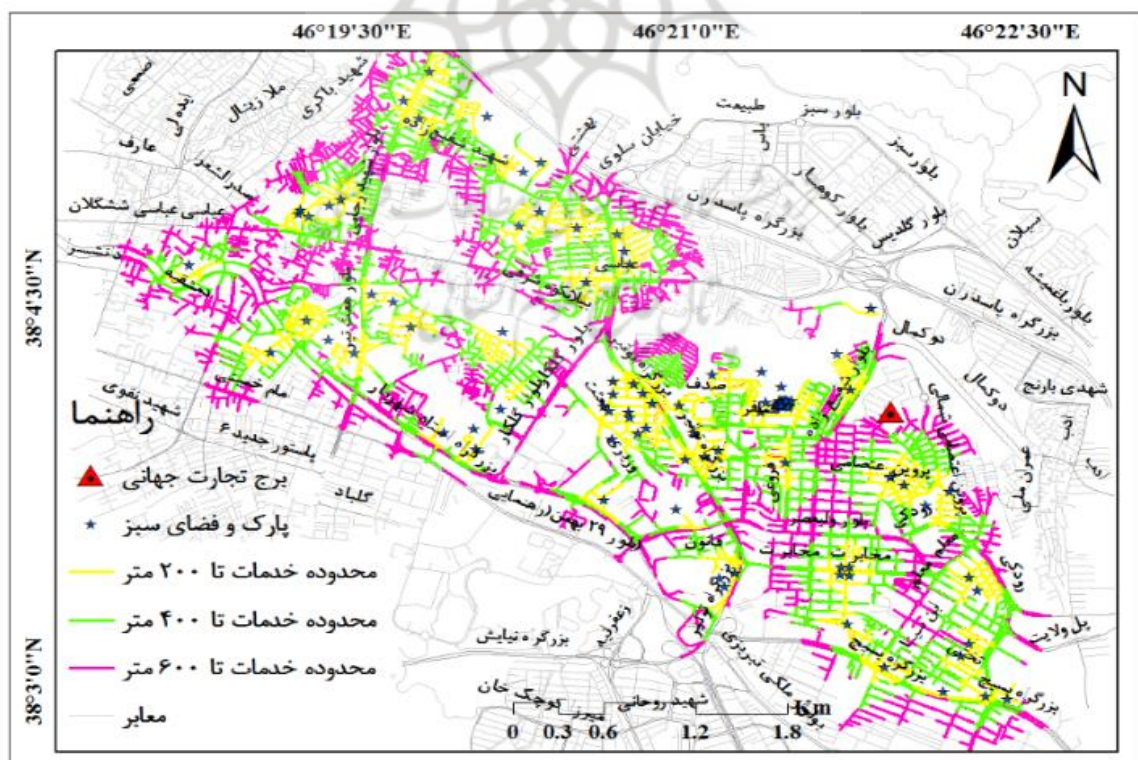
نرم‌افزار QGIS به واسطه افزونه‌هایی که دارد این امکان را فراهم کرده است که میزان دسترسی به مکان‌های مختلف در فواصل زمانی و مکانی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور نحوه دسترسی به مکان‌های امن همچون پارک و فضای سبز، زمین‌های بایر و مراکز درمانی و بهداشتی مورد بررسی قرار گرفت.

دسترسی سریع به مراکز درمانی، فضای سبز و بایر در مواقع وقوع زلزله از جمله عوامل مهم می‌باشد. بنابراین سریع‌ترین

زمان دسترسی به این مکان‌ها با توجه به امن بودن آنها در مواقع وقوع زلزله از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. به همین منظور میزان دسترسی به این مناطق بر اساس زمان و متر در محیط نرم‌افزار QGIS محاسبه شد. زمان‌ها در بازه ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دقیقه و فاصله در بازه‌های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ متر محاسبه شد.



شکل ۶. محدوده خدمات‌رسانی و مسیرهای دسترسی به پارک و فضای سبز بر حسب زمان



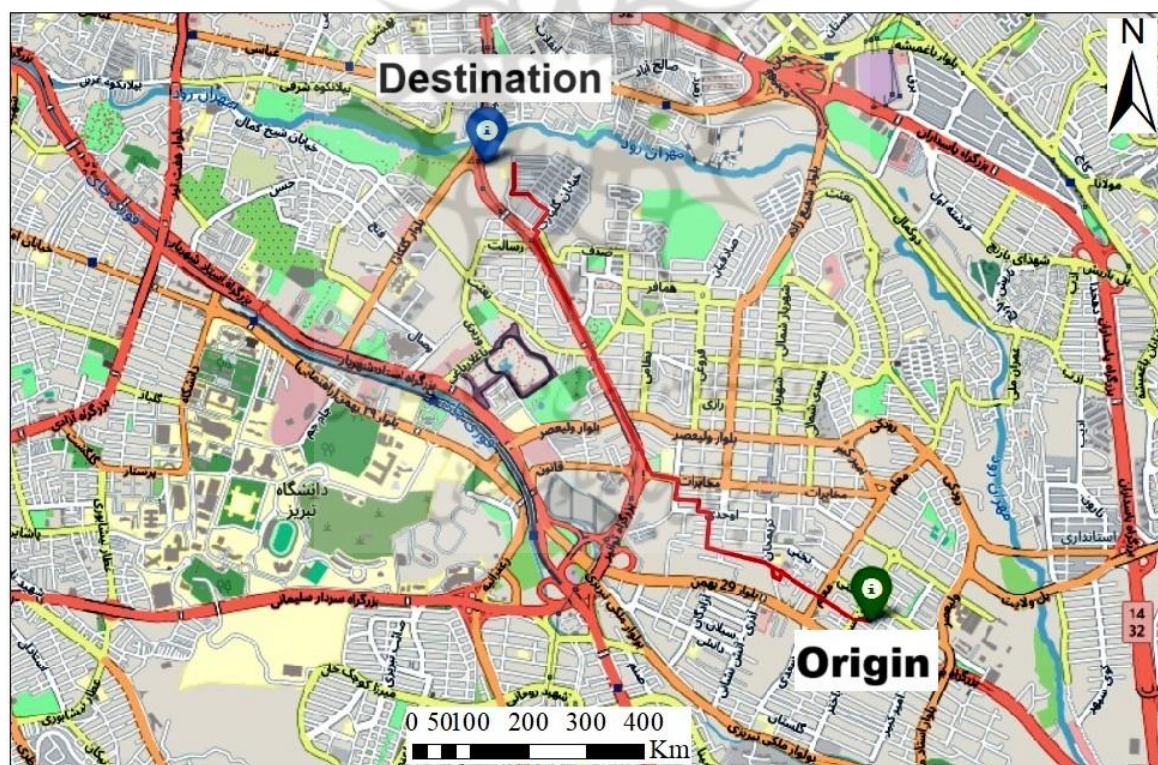
شکل ۷. محدوده خدمات‌رسانی و مسیرهای دسترسی به پارک و فضای سبز بر حسب فاصله

شکل (۶) بیان‌گر این می‌باشد که مناطق بسیار کمی در فاصله ۱۰ دقیقه‌ای پارک و فضای سبز قرار دارند. اما در محدوده ۴۰ دقیقه‌ای تقریباً ۹۰ درصد منطقه یک دسترسی به پارک و فضای سبز دارند. شکل (۷) بیانگر فاصله مناطق مسکونی تا پارک و فضای سبز در فاصله بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ متر می‌باشد. نتایج نشان دهنده این می‌باشد که بخش بسیار کمی در محدوده ۲۰۰ متری قرار دارند اما در فاصله ۶۰۰ متری بخش بسیار زیادی از منطقه مورد مطالعه پوشش داده شده است. علت در نظر گرفتن این محدودیت زمانی و فاصله‌ای، سریع‌ترین زمان دسترسی به مکان‌های امن می‌باشد زیرا بلایای طبیعی همچون زلزله نیاز به عکس‌العمل سریع و پیدا کردن مکان امن در کوتاه‌ترین زمان ممکن دارند. به همین صورت محدوده خدمات‌رسانی و مسیرهای دسترسی به مراکز درمانی و فضاهای باز و زمین بایر نیز ارزیابی شد.

مسیریابی بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در آزمون مسیریابی در یک شبکه واقعی، یک نقطه آسیب‌دیده به عنوان مبدا و یک ناحیه امن به عنوان مقصد در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسیر بهینه تعیین شد که بهترین ارتباط بین نقطه آسیب‌دیده و ناحیه امن را فراهم می‌کند. این مسیر به گونه‌ای انتخاب شده است که تراکم جمعیت در آن با توجه به عرض معابر کمتر باشد و همچنین طول آن نیز کوتاه‌تر باشد.

شکل (۸) نقشه نهایی حاصل از مسیریابی بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. در شکل (۹) تصاویری از مسیر پیشنهادی نمایش داده شده است.



شکل ۸. مسیر بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک



شکل ۹. تصاویری از مسیر

نقشه نهایی حاصل از مسیریابی بهینه شکل (۸) با استفاده از الگوریتم ژنتیک حاوی نکات زیر می‌باشد:

۱. نقاط مبدأ و مقصد:

نقطه مبدأ (سبز رنگ) در جنوب شرقی شهر، نزدیک به یک تقاطع بزرگ واقع شده است؛

نقطه مقصد (آبی رنگ) در شمال شرقی مرکز شهر، نزدیک به یک منطقه سبز (احتمالاً پارک) قرار دارد.

۲. مسیر بهینه:

مسیر با خط قرمز پررنگ نمایش داده شده است؛

مسیر از چندین خیابان اصلی و بزرگراه عبور می‌کند و حداقل ۵ تغییر مسیر عمده دارد؛

مسیر از چندین خیابان اصلی و فرعی عبور می‌کند و حداقل ۷ تغییر مسیر عمده دارد.

۳. ویژگی‌های مسیر:

مسیر عمدتاً از خیابان‌های اصلی و بزرگراه‌ها استفاده می‌کند که نشان‌دهنده استفاده الگوریتم از معابر با ظرفیت بالاست؛

مسیر از مرکز شهر اجتناب کرده و از حاشیه شرقی مرکز شهر عبور می‌کند که به دلیل در نظر گرفتن فاکتورهایی مانند تراکم

جمعیت یا ترافیک می‌باشد؛

مسیر از مناطق مختلف شهری با کاربری‌های متنوع عبور می‌کند.

۴. نکات قابل توجه:

مسیر انتخاب شده تعادل خوبی بین کوتاه‌ترین مسیر و استفاده از معابر اصلی برقرار کرده است؛

الگوریتم توانسته از مناطق پرتراکم مرکز شهر اجتناب کند که می‌تواند به بهبود زمان سفر کمک کند؛

استفاده از بزرگراه‌ها در بخش‌هایی از مسیر نشان می‌دهد که الگوریتم سرعت حرکت را نیز در نظر گرفته است.

۵. ارتباط با کد ارایه شده:

کد از چندین لایه داده رستری استفاده می‌کند (شیب، جمعیت، کاربری زمین، سن ساختمان، عرض معابر، ریسک، تعداد طبقات، کیفیت ساختمان و گسل) که همگی در انتخاب مسیر بهینه تأثیرگذار هستند.

الگوریتم ژنتیک با پارامترهای مشخص (اندازه جمعیت ۰/۴، تعداد نسل ۵۰، نرخ جهش ۰/۰۱ و نرخ ترکیب ۰/۸) برای یافتن مسیر بهینه استفاده شده است. تابع برازندگی (fitness) بر اساس مجموع مقادیر تمام لایه‌های داده در هر نقطه از مسیر محاسبه می‌شود. این تحلیل نشان می‌دهد که الگوریتم ما توانسته است با در نظر گرفتن ساختار کلی شهر و شبکه معابر اصلی، یک مسیر بهینه و عملی را بین دو نقطه مشخص پیدا کند. این رویکرد می‌تواند در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری، مدیریت ناوگان و سیستم‌های ناوبری هوشمند کاربرد داشته باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که منطقه یک تبریز، به دلیل قرارگیری بر روی گسل فعال تبریز، در معرض خطر شدید وقوع زلزله قرار دارد. تحلیل آسیب‌پذیری در این منطقه نشان داد که بخش‌های شمال غربی آن از آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر بخش‌ها برخوردار هستند. این نتایج حاکی از آن است که عواملی چون عمر بالای ساختمان‌ها، شیب زیاد، تراکم بالای ساختمانی و نزدیکی به گسل موجب افزایش آسیب‌پذیری در برابر زلزله در این بخش‌ها می‌شوند. به‌ویژه در مناطقی که ساختمان‌ها قدیمی بوده و به استانداردهای مدرن مقاوم‌سازی توجه نشده است، این خطرات بیشتر احساس می‌شود. در زمینه مسیریابی بهینه برای تخلیه اضطراری، الگوریتم ژنتیک به‌عنوان ابزار اصلی تحلیل در این تحقیق، نتایج مثبت و کارآمدی را ارائه داد. این الگوریتم توانست مسیری را انتخاب کند که تعادلی مناسب بین کوتاه‌ترین مسیر و استفاده از معابر اصلی برقرار کرده است. علاوه بر این، الگوریتم به‌طور مؤثری از مناطق پرتراکم و شلوغ مرکز شهر اجتناب کرد که می‌تواند به کاهش ازدحام و افزایش سرعت حرکت در زمان تخلیه کمک کند. استفاده از بزرگراه‌ها در برخی بخش‌های مسیر تخلیه، نشان‌دهنده در نظر گرفتن سرعت حرکت و تسهیل در تردد افراد است. این ویژگی‌ها به‌ویژه در شرایط اضطراری که زمان محدود و سرعت عمل حیاتی است، تأثیر بسزایی در کاهش زمان سفر و افزایش ایمنی خواهد داشت.

نتایج مقایسه‌ای نشان داد که الگوریتم ژنتیک توانسته است به‌طور مؤثری نسبت به مطالعات پیشین، که معمولاً با تعداد پارامترهای کمتری انجام شده‌اند، کارایی بیشتری ارایه دهد. این الگوریتم با در نظر گرفتن تمام پارامترهای تأثیرگذار بر فرآیند تخلیه، از جمله آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، ازدحام جمعیت و ترافیک موجود، به‌طور دقیق‌تری مسیرهای بهینه را شبیه‌سازی کرد.

نتایج این تحقیق با مطالعات پیشین در زمینه تخلیه اضطراری مقایسه شد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که توسط وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، انجام شد، استفاده از الگوریتم ژنتیک در شبیه‌سازی مسیرهای اضطراری، به کاهش زمان تخلیه و بهینه‌سازی مسیرهای خروجی منجر شد. یافته‌های تحقیق حاضر نیز این مسئله را تأیید می‌کند که الگوریتم‌های تکاملی، مانند الگوریتم ژنتیک، توانایی بالایی در بهینه‌سازی فرآیند تخلیه دارند. همچنین، چن و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که ترکیب داده‌های GIS با الگوریتم‌های هوشمند می‌تواند کارایی مسیرهای تخلیه را افزایش دهد. یافته‌های این تحقیق نیز با نتایج آنها

همخوانی دارد، زیرا از GIS برای تحلیل شبکه معابر و توزیع مناطق آسیب‌پذیر استفاده شد. علاوه بر این، شهابی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود بر روی مناطق زلزله‌خیز نشان دادند که ترکیب روش AHP با الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌تواند انتخاب مسیرهای تخلیه را بهبود بخشد. در مطالعه حاضر نیز از روش AHP برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری و اولویت‌بندی مناطق پرخطر استفاده شد، که نتایج مشابهی را ارائه داد.

از سوی دیگر، برخلاف مطالعه لیو و همکاران (۲۰۱۷)، که بر مسیرهای کوتاه‌تر تأکید داشت، این تحقیق نشان داد که در نظر گرفتن فاکتورهای اضافی مانند تراکم جمعیتی و دسترسی به بزرگراه‌ها می‌تواند در بهبود روند تخلیه مؤثر باشد. در مجموع، یافته‌های این تحقیق می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی‌های شهری و مدیریت بحران در مناطق زلزله‌خیز کمک کند. استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌ساز مانند الگوریتم ژنتیک، می‌تواند در شبیه‌سازی و انتخاب بهترین مسیرهای تخلیه اضطراری و همچنین بهبود زمان واکنش در مواقع بحرانی مفید باشد. همچنین، مقایسه نتایج این پژوهش با سایر تحقیقات نشان داد که استفاده از روش‌های ترکیبی مانند GIS و الگوریتم‌های هوشمند، می‌تواند دقت و کارایی فرآیند تخلیه را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد و پیروزی، الناز (۱۴۰۳). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان اردبیل در برابر خطر زلزله. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸(۹۰)، ۸۸-۱۱۲. doi: 10.22034/gp.2023.58617.3190
- حمیدی، امین؛ ستارزاده، داریوش؛ ولیزاده، نیما و بلیان اصل، لیدا (۱۴۰۲). تبیین شاخص‌ها و پهنه‌بندی ریخت‌شناسی شهری از منظر توسعه پایدار؛ مطالعه موردی: منطقه یک شهر تبریز. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۷(۸۵)، ۳۹-۵۵. doi: 10.22034/gp.2022.52249.3019
- رفیعی اسکویی، امین (۱۳۹۶). بررسی و تحلیل عوامل محیطی مؤثر در آماده‌سازی تخلیه جمعیت در مواقع اضطراری، *چهارمین کنفرانس بین‌المللی اقتصاد سبز، بابل‌سر، شرکت پژوهشی صنعتی طرود شمال*.
- رنجبر، حمیدرضا؛ آزموده اردلان، علیرضا؛ دهقانی، حمید؛ سراجیان، محمدرضا و علیدوستی، علی (۱۳۹۳). تسهیل فاز واکنش مدیریت بحران زلزله با استخراج خودکار ساختمان‌ها بر مبنای آنالیز بافت از تصاویر ماهواره‌ای. *مدیریت بحران*، ۱۳(۱)، ۵-۱۹.
- سالکی ملکی، محمدعلی و قاسمی، معصومه (۱۳۹۴). ارائه روشی بهینه برای مسیریابی انتقال مصدومان مبتنی بر زلزله احتمالی (نمونه موردی: شهر تبریز). *امداد و نجات*، ۷(۱)، ۲۱-۳۴.
- شریفی، سید محمدرضا؛ خادم الحسینی، احمد؛ جلالی فراهانی، غلامرضا؛ گندمکار، امیر و مدیری خلیل آباد، مهدی (۱۴۰۱). ارائه الگوی تخلیه اضطراری و مکانیابی اسکان موقت مناطق یک و سه اصفهان با رویکرد پدافند غیرعامل. *نشریه علمی پژوهشی مدیریت شهری*، ۲۱(۶۷)، ۷-۲۴.
- صمدی، اکبر؛ شهرداری اردجانی، رفعت؛ پورشیخیان، علیرضا؛ حسنی‌مهر، سیده صدیقه و اصغری، حسین (۱۴۰۳). ارزیابی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر بحران زلزله با استفاده از تکنیک همپوشانی وزنی و مدل RADIUS (مطالعه موردی: شهر اردبیل). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸(۹۰)، ۳۴۸-۳۲۳. doi: 10.22034/gp.2024.58990.3198
- طالعی، محمد؛ سعادت سرشت، محمد؛ منصوریان، علی و احمدیان، سمیه (۱۳۹۰). مسیریابی بهینه در محیط GIS برای تخلیه اضطراری آسیب‌دیدگان از حوادث ناگهانی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۳(۷۸)، ۸۳-۱۰۰.
- علی اصل خیابانی، الناز؛ صادقی نیارکی، ابوالقاسم و قدوسی، مصطفی (۱۳۹۶). مسیریابی امدادسانی بعد از وقوع زلزله (مطالعه موردی: بخشی از منطقه‌ی یک شهر تهران). *امداد و نجات*، ۹(۴) (پیاپی ۳۶)، ۱-۱۷.

- قنبری ابوالفضل، زلفی علی (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله با تأکید بر مدیریت بحران شهری در شهر کاشمر. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱ (۴)، ۵۹-۷۴.
- کرمی، فریبا؛ قنبری، ابوالفضل و حسن‌دوست فرحانی، داود (۱۳۹۹). مکانیابی سایت‌های حیاتی و حساس در شهرستان بجنورد با رویکرد پدافند غیرعامل. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴ (۷۳)، ۲۵۷-۲۷۵. doi: 10.22034/gp.2020.10862
- منصوری، بابک و مصطفی‌زاده، مونا السادات (۱۳۹۴). توسعه روش شی‌گرا جهت تشخیص ساختمان‌ها و برآورد میزان تخریب به روش شبکه عصبی مصنوعی توسط تصاویر VHR. *هفتمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*.
- ولیزاده کامران، خلیل و شرقی، سمیرا (۱۳۹۵). مدیریت ازدحام جمعیتی خیابان‌های منتهی به حرم مطهر امام رضا (ع) در شرایط بحرانی در محیط GIS، *پایان‌نامه کارشناسی/ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه‌ریزی و علم محیطی*.

References

- Ab Wahab, M. N., Nefti-Meziani, S., & Atyabi, A. (2015). A comprehensive review of swarm optimization algorithms. *PloS one*, 10(5), e0122827. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122827>.
- Abdelghany, A., Abdelghany, K., & Mahmassani, H. (2014). A hybrid approach for modeling crowd dynamics in large-scale pedestrian facilities. *Transportation Research: Part A*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.054>
- Abdulhalim, I., Mutch, C., González, V. A., & Amor, R. (2021). Improving post-earthquake evacuation preparedness for deaf and hard of hearing children: A conceptual framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 62, 102360. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102360>
- Abioye, O. F., Dulebenets, M. A., Ozguven, E. E., Moses, R., Boot, W. R., & Sando, T. (2020). Assessing perceived driving difficulties under emergency evacuation for vulnerable population groups. *Socio-Economic Planning Sciences*, 72, 100-878. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100878>
- Ahmadi, H., Samany, N. N., Ghanbari, A., & Argany, M. (2022). Designing a bi-level emergency medical centers' chain to increase the resilience of EMS's supply-chain using ACO-QAP: A case study of Tabriz. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 82, 103-259. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103259>
- Ali Asl khiabani., E, Sadeghi Niaraki., A, Ghodousi., M. (2018). Relief routing after an earthquake (case study: part of the district of Tehran city). *jorar*; 10 (4) :1-17. [In Persian]
- Asghari, S., & Pirooz, E. (2025). Vulnerability zoning of Ardabil city against earthquake risk. *Journal of Geography and Planning*, 28(90), 112-88. doi: 10.22034/gp.2023.58617.3190. [In Persian]
- Çoban, B., Scaparra, M. P., & O'Hanley, J. R. (2021). Use of OR in earthquake operations management: A review of the literature and roadmap for future research. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 65, 102-539. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102539>
- Cova, T. J., & Johnson, J. P. (2003). A Network Flow Model For Lane-based Evacuation Routing, *Transportation Research, Part A, Policy and Practice*, Vol. 37, No. 7, PP. 579-604. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(03\)00007-7](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(03)00007-7)
- d'Albe, E. F. (1982). An approach to earthquake risk management. *Engineering Structures*, 4(3), 147-152. [https://doi.org/10.1016/0141-0296\(82\)90002-5](https://doi.org/10.1016/0141-0296(82)90002-5) DOI: 10.5267/j.uscm.2014.1.002.
- Dulebenets, M. A., Pasha, J., Abioye, O. F., Kavooosi, M., Ozguven, E. E., Moses, R., Boot, W.R., & Sando, T. (2019). Exact and heuristic solution algorithms for efficient emergency evacuation in areas with vulnerable populations. *International journal of disaster risk reduction*, 39, 101-114. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101114>

- ghanbari A, Zolfi A.(2015). Assessment of Urban Vulnerability to Earthquake with Emphasis on Urban Crisis Management in the City of Kashmar. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*; 1 (4) :59-74. [In Persian]
- Hamidi, A. , Sattarzadeh, D. , Valizadeh, N. and Balilan Asl, L. (2023). Investigation of the components and zoning of urban morphology based on sustainable development; Case study: District one of Tabriz. *Journal of Geography and Planning*, 27(85), 39-55. doi: 10.22034/gp.2022.52249.3019 [In Persian]
- Karami, F. , Ghanbari, A. and hasandost Farhani, D. (2020). Locating vital and sensitive sites Bojnourd Township with a passive defense approach. *Journal of Geography and Planning*, 24(73), 257-275. doi: 10.22034/gp.2020.10862. [In Persian]
- Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslanzadeh, R., & Kamel, B. (2014). A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 263-280. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.06.026>
- Liu, L., Jin, H., Liu, Y., & Zhang, X. (2022). Intelligent Evacuation route planning algorithm based on maximum flow. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7865. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137865>
- Mansouri, B., & Mostafazadeh, M. A. (2015). Development of an object-oriented method for detecting buildings and estimating damage using artificial neural networks with VHR images. *The 7th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*. [In Persian]
- Rafiei Eskueei, A. (2017). Investigation and analysis of environmental factors influencing population evacuation preparedness during emergencies. *The 4th International Conference on Green Economy*, Babolsar, Tarood Shomal Industrial Research Company. [In Persian]
- Ranjbar, H. R. , Azmoude Ardalan, A. R. , Dehghani, H. , Serajeyan, M. R. and Alidousti, A. (2014). Providing Building Damage Map after Earthquake by Using Post-Event High-Resolution Satellite Imagery. *Emergency Management*, 3(1), 5-19. [In Persian]
- Rezaei-Malek, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Robust humanitarian relief logistics network planning. *Uncertain Supply Chain Management*, 2(2), 73-96.
- Saleki Maleki ,M A& Ghasemi, M. (2015) . Provide an optimum method for relief routing to transfer potential earthquake injured (case study: the city of Tabriz). *jorar*; 7 (1), 21-34. [In Persian]
- Samadi, A. , Shahmari Ardjani, R. , poursheykhian, A. , Hasanimehr, S. S. and asghari, H. (2025). Assessing the level of vulnerability of urban areas against earthquake crisis using weighted overlay technique and RADIUS model (case study: Ardabil city). *Journal of Geography and Planning*, 28(90), 348-323. doi: 10.22034/gp.2024.58990.3198. [In Persian]
- Shahparvari, S., Abbasi, B., Chhetri, P., & Abareshi, A. (2019). Fleet routing and scheduling in bushfire emergency evacuation: A regional case study of the Black Saturday bushfires in Australia. *Transportation research part D: transport and environment*, 67, 703-722. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.11.015>
- Sharifi, S. M. R., Khadem-Hosseini, A., Jalali Farahani, G., Gandomkar, A., & Modiri Khalilabad, M. (2022). Proposing an emergency evacuation model and temporary shelter site selection for Districts 1 and 3 of Isfahan with a passive defense approach. *Urban Management Scientific-Research Journal*, 21(67), 7–24. [In Persian]
- Suwanno, P., Yaibok, C., Pornbunyanon, T., Kanjanakul, C., Buathongkhue, C., Tsumita, N., & Fukuda, A. (2023). GIS-based identification and analysis of suitable evacuation areas and routes in flood-prone zones of Nakhon Si Thammarat municipality. *IATSS Research*, 47(3), 416-431. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2023.08.004>

- Taleai, M. , Saadatseresht, M. , Mansourian, M. and Ahmadiyan, S. (2012). A GIS Based Optimum Route Determination for Emergency Evacuation. *Physical Geography Research*, 43(78), 83-100. [In Persian]
- Valizadeh, K., & Khalil Sharqi, S. (2016). Managing crowd congestion on streets leading to the Holy Shrine of Imam Reza in critical situations using GIS. *Master's Thesis*, University of Tabriz, Faculty of Environmental Sciences and Planning. [In Persian]
- Wang, K., Yuan, W., & Yao, Y. (2023). Path optimization for mass emergency evacuation based on an integrated model. *Journal of Building Engineering*, 68, 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106112>
- Yi, W., & Özdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European journal of operational research*, 179(3), 1177-1193. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.077>
- Zimmerman, C., Brodesky, R., & Karp, J. (2007). Using highways for no-notice evacuations: routes to effective evacuation planning primer series. United States. *Federal Highway Administration*. Office of Operations. URL: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/20674>.

