Environmental
Hazards
Management
University of Tehran Press
Home Page: https://jhsci.ut.ac.ir
Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Predicting model for the amount of destruction of buildings and casualties due to their collapse during an earthquake under different scenarios (Case study: Kermanshah metropolis)

Milad Azizi[1] | Seyed Mohammad Taghi Fatemi Ghomi[2*] | Fariborz Jolai[3]

1. Department of Industrial Management, Central Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: Miladazizi66@yahoo.com
2. Correspondin Author, Department of Industrial Engineering, Amirkabir University of Technology, 424 Hafez Avenue, Tehran, Iran. Email: fatemi@aut.ac.ir
3. School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: fjolai@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 21 June 2023
Revised 06 August 2023
Accepted 06 September 2023
Published 11 September 2023

Keywords:
Vulnerability,
Relief, Hazards,
Earthquake,
Relief Centers.

ABSTRACT

Earthquake can lead to a crisis as one of the most known natural disasters in the world. Providing relief in time after an earthquake is very important in reducing casualties, for this reason, it is necessary to foresee the construction of relief centers in accident-prone areas. This article presents a mathematical model for predicting the amount of destruction of buildings and losses due to their collapse against earthquakes, and GAMS software is used to solve the model. In this research, using the information of the buildings and the population of the area, under different scenarios in the day and night mode, the amount of destruction of the buildings and the people trapped under the debris has been calculated, then using the information obtained according to the most trapped people Alive under the rubble in each region, the closest place to the accident centers is considered for the deployment of rescue teams before the accident. Therefore, to prove the validity of the model introduced in the calculation part, the data of the regions of KERMANSHAH city have been exploited. The results of the model showed the highest number of casualties in areas 3, 2, 4, 6, 5, and 1 respectively at the rate of 15.90%, 14.39%, 12.23%, 9.58%, and 9.56%. And 9% will occur .If one rescue center is built, casualties will be reduced by 6%, and with the construction of two, three, four, five, and six rescue centers, casualties will be reduced by 11%, 15%, 20%, 23%, and 25%, respectively. The results of the research showed that with the increase in the number of aid centers, the number of casualties decreases. Also, the model showed that day and night conditions are not effective in choosing potential locations for the establishment of aid centers.

Cite this article: Azizi, M.; Fatemi Ghomi, M. T. & Jolai, F. (2023). Predicting model for the amount of destruction of buildings and casualties due to their collapse during an earthquake under different scenarios (Case study: Kermanshah metropolis). *Environmental Hazards Management*, 10 (2), 91-105. DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.362706.787

© Milad Azizi, Seyed Mohammad Taghi Fatemi Ghomi, Fariborz Jolai.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.362706.787

Introduction

All hazards can be generated from natural and unnatural sources caused by technology and human activities, where earthquake is one of the natural ones [2]. In terms of natural disasters, as Iran is one of the 10 accidental countries in the world [1], Therefore, it is very important to locate the relief centers before the accident in order to reduce the casualties caused by the earthquake. Providing relief after an earthquake is very important in reducing casualties, and this possibility is possible with facilities including power, equipment, and proper infrastructure. In order to achieve these goals, it is necessary to take preventive measures from now on and these programs should be based on the knowledge of vulnerable points. According to the need raised, we decided to investigate the

vulnerability of buildings and calculate the human casualties caused by earthquakes in order to be able to investigate the construction of relief centers before the accident in different areas with a better view and more accurate information. Pay attention to the severity of their damages and prevent crises in earthquake affected areas.

Materials and Methods

Due to the fact that the deployment of rescue teams to provide relief in each region requires preliminary measures that take time and delay the delivery of relief, therefore the importance of saving the lives of trapped people, the necessity of locating and establishing relief centers before the incident It shows the crisis. In previous researches, locating was based on the amount of destruction of buildings, not the number of people involved and trapped in the buildings, which in this research, according to the people trapped in the destroyed buildings, the nearest place for relief centers was determined. The information required for the presented mathematical model includes the population of each region, the number, type of structure and the density of buildings in each region. The presented model is solved with the help of GAMS software. Also, taking into account the fact that the number of people living in each area is different according to the time, this research has considered different scenarios for day and night. Due to the fact that people are more alert during the day and react better and timely to earthquakes than at night, the number of injured people will be different.

Results and Discussion

People trapped in destroyed buildings are classified into two categories as follows. The first category contains people who leave the building immediately after the accident without getting help, who can be completely healthy or may have injuries. In contrast, the second one contains trapped people in the rubble that need help from relief forces, which can also be divided into two groups.

The first group contains trapped people in the rubble who die immediately, whereas the second one is trapped people in the rubble who will be killed if no help is provided, so-called secondary casualties. Kermanshah metropolis is the study area divided into 6 areas, based on which the implementation of the model and its output information are conducted on them.

Note that the required information is gathered based on the type of materials, the residential density, the earthquake intensity, and the population density, help the relief teams in prioritizing the areas. In this matter, the priority is given to areas via more alive people trapped in rubble. Traditionally, to save most people in the shortest time, the relief operations are begun in areas with more population. Meanwhile, many people may get out from the rubble in the early hours without the help of relief forces so that there are few trapped. In the following, without having information about the people trapped in the rubble, the relief teams provide relief operations in area with maximum power regarding both the density and type of buildings. Unfortunately, this mistake would result in a delay in the relief operations in other areas associated with more trapped people; hence, the number of killed people will be increased as well.

Conclusion

The results of the presented model showed the highest number of casualties in areas 3, 2, 4, 6, 5, and 1 respectively at the rate of 15.90%, 14.39%, 12.23%, 9.58%, and 9.56% and 9% will occur if a relief center is established, the casualties will be reduced by 6% and with the construction of two, three, four, five and six relief centers respectively 11%, 15%, 20%, 23% and 25% will decrease. The results of the research showed that with the increase in the number of aid centers, the number of casualties decreases. According to the output of the presented model, there are more people trapped under the debris at night than during the day. Considering the darkness and limited visibility, the construction and establishment of relief centers will be delayed a lot, so it is very important to predict the location of the relief teams before the accident, so that they can be settled in their place immediately Start the relief operation after the earthquake.

The results of the present study show the superiority of the presented model and indicate the reduction of rescue time and casualties in different situations. In this research, the number of rescue teams under different scenarios has been considered according to the amount of damage to the buildings and trapped people, without taking into account the limitations of the cost and the number of

rescue teams, The future is considered in the model which can be used in researches. The method presented in this research helps the crisis managers to take advantage of these results before the crisis by planning for the optimal use of the available time, to increase the operational capacity of the support and relief system in the shortest possible time and also allocate resources should be given to people in need.

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: https://jhsci.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

ارائهٔ مدل برای پیش‌بینی شدت تخریب ساختمان‌ها و تلفات ناشی از ریزش آنها حین وقوع زلزله تحت سناریوهای مختلف (مطالعهٔ موردی: کلانشهر کرمانشاه)

میلاد عزیزی[۱] | سیدمحمدتقی فاطمی قمی[۲*] | فریبرز جولای[۳]

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: Miladazizi66@yahoo.com

۲. نویسندهٔ مسئول، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. رایانامه: fatemi@aut.ac.ir

۳. استاد دانشکدهٔ مهندسی صنایع، پردیس دانشکدهٔ فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: fjolai@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
یادداشت پژوهشی کاربردی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

کلیدواژه:
آسیب‌پذیری،
امدادرسانی،
زلزله،
مخاطرات،
مراکز امدادی.

چکیده

زلزله از شناخته‌شده‌ترین بلایای طبیعی جهان است که می‌تواند سبب بروز بحران شود. امدادرسانی به‌موقع بعد از زلزله در کاهش تلفات بسیار مهم است؛ به همین منظور پیش‌بینی احداث مراکز امدادی در مناطق حادثه‌خیز ضرورت دارد. در این مقاله مدلی ریاضی برای پیش‌بینی شدت تخریب ساختمان‌ها و تلفات ناشی از ریزش آنها در برابر زلزله ارائهٔ و برای حل مدل از نرم‌افزار *GAMS* استفاده شده است. در پژوهش حاضر با استفاده از اطلاعات ساختمان‌ها و جمعیت منطقه، تحت سناریوهای مختلف در حالت شب و روز شدت تخریب ساختمان‌ها و افراد گرفتارشده در زیر آوار محاسبه شده و سپس با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده با توجه به بیشترین افراد گرفتارشدهٔ زندهٔ زیر آوار در هر منطقه، نزدیک‌ترین محل به مراکز حادثه‌دیده برای استقرار گروه‌های امدادی پیش از وقوع حادثه در نظر گرفته شده است. برای اثبات اعتبار مدل معرفی‌شده در بخش محاسباتی از داده‌های مناطق شهر کرمانشاه بهره‌برداری شده است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل نشان داد که بیشترین تعداد تلفات در مناطق ۳، ۲، ۴، ۶، ۵ و ۱ به‌ترتیب به میزان ۱۵/۹۰، ۱۴/۳۹، ۱۲/۲۳، ۹/۵۸، ۹/۵۶ و ۹ درصد رخ خواهد داد. با احداث یک مرکز امدادی تلفات ۶ درصد و با احداث دو، سه، چهار، پنج و شش مرکز امدادی تلفات به‌ترتیب ۱۱، ۱۵، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش تعداد مراکز امدادی تلفات کاهش می‌یابد. همچنین مدل نشان داد که شرایط شب و روز در انتخاب محل‌های بالقوه برای تأسیس مراکز امدادی بی‌تأثیر است.

استناد: عزیزی، میلاد؛ فاطمی قمی، سیدمحمدتقی و جولای فریبرز (۱۴۰۲). ارائهٔ مدل برای پیش‌بینی شدت تخریب ساختمان‌ها و تلفات ناشی از ریزش آنها حین وقوع زلزله تحت سناریوهای مختلف (مطالعهٔ موردی: کلانشهر کرمانشاه). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰ (۲)، ۹۱-۱۰۵. DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.362706.787

© میلاد عزیزی، سیدمحمدتقی فاطمی قمی، فریبرز جولای.
DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.362706.787

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

همهٔ مخاطرات از دو منشأ متفاوت ایجاد شده‌اند: ۱. مخاطرات طبیعی؛ ۲. مخاطرات ناشی از فناوری و فعالیت‌های بشر. زلزله از انواع مخاطرات طبیعی است [۱۵]. ایران با توجه به قرار گرفتن در کمربند زلزله‌خیز هیمالیا از حادثه‌خیزترین کشورهای جهان است. از ۶۸۷ شهر ایران فقط ۲۰ شهر در محدودهٔ کم‌خطر قرار دارند و بیش از ۷۰ درصد ایران در محور زلزله‌خیز پرخطر قرار گرفته است [۲۶]. امدادرسانی بعد از زلزله در کاهش تلفات بسیار مهم است؛ این کار فقط در صورت وجود تسهیلات شامل نیرو، تجهیزات و زیربنای مناسب امکان‌پذیر است. برای دستیابی به این اهداف، ضرورت دارد از هم‌اکنون اقدامات پیشگیرانه انجام گیرد. این برنامه‌ها باید مبتنی بر شناخت نقاط آسیب‌پذیر باشد. امروزه آسیب‌پذیری شهرها و به‌خصوص بافت‌های قدیمی و فرسوده در برابر زلزله، مسئله‌ای جهانی برای متخصصان رشته‌های گوناگون است. بافت‌های مسکونی و شهری واقع در این بخش، بنا به خصلت تاریخی خود ممکن است در برابر بی‌تعادلی‌های ناشی از زلزله دچار نابسامانی‌های فیزیکی حاد شوند که به بحران حیات شهری خواهد انجامید. در این پژوهش برپایهٔ مدل‌سازی ریاضی در پی پاسخ علمی به پرسش‌های زیر هستیم: ۱. شدت تخریب ساختمان‌ها در هر منطقه چقدر است؟ ۲. در هر منطقه چند نفر زیر آوار گرفتارشده‌اند؟ ۳. آیا تعداد تلفات در روز و شب متفاوت است؟ ۴. در صورت امدادرسانی شمار تلفات چقدر تغییر می‌کند؟

با توجه به ضرورت مطرح‌شده و پرسش‌های موجود، به بررسی شدت آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و محاسبهٔ تلفات انسانی ناشی از بروز زلزله پرداخته شد تا بتوان با دیدی بهتر و اطلاعاتی دقیق‌تر، احداث مراکز امدادی در مناطق مختلف با توجه به شدت خسارات آنها بررسی و از بروز بحران در مناطق زلزله‌زده جلوگیری شود. در ادامه پیشینهٔ تحقیق ارائه شده است.

محققان زیادی در پژوهش‌های خود به مکان‌یابی مراکز امدادی با استفاده از روش فازی ای. اچ. پی. [۳۳]، تبیین اجزای اسکان موقت و عوامل مؤثر بر آن [۲۷]، مکان‌یابی مراکز بیمارستانی با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی [۴]، برنامه‌ریزی لجستیک بشردوستانه یک زنجیره تأمین خدمت مربوط به بیمارستان‌های سیار در شرایط بحران با اولویت‌بندی مناطق [۲۱]، مکان‌یابی مراکز توزیع کالاهای امدادی با محدودیت بودجه [۳۸]، ارائهٔ مدل ریاضی به‌منظور طراحی شبکهٔ سلسله مراتبی تسهیلات اضطراری موقت در شرایط بحران [۲۹]، بهبود سیستم حمل‌ونقل تدارکات بلایا [۳۹] و [۳۵]، تعیین مکان و تعداد مراکز درمانی موقت با در نظر گرفتن ظرفیت مراکز درمانی و طبقه‌بندی مصدومان [۴۱] پرداخته‌اند. در پژوهشی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی و الگوریتم ازدحام ذرات و شبیه‌سازی زلزله‌ی فرضی راهکارهایی برای مدیریت بهینهٔ گروه‌های امدادی ارائه [۵] و در پژوهش دیگری با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم به توسعهٔ مدل پویای مدیریت بحران زلزله [۸] پرداخته شده است.

در پژوهش‌های زیادی به ارائهٔ مدل ریاضی به‌منظور تعیین مراکز امدادی با هدف کاهش زمان تخلیه و تعداد مصدومان پس از وقوع زلزله [۱۲،۴۰] و بهینه‌سازی زمان سیستم امدادرسانی در شرایط مخاطره با کمک تقسیم وظایف گروه‌های امدادی [۱۸]، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با کمک روش فازی‌ای اچ پی [۲۲] و ارزیابی لرزش و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها با کمک نرم‌افزار موبایل [۱۳] پرداخته شده است. پژوهش‌های دیگری نیز با ترکیب مدل‌های منطق فازی و سلسله‌مراتبی با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زلزله [۲۴، ۱۱]، ارزیابی آسیب ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای [۳۷،۲۰، ۷] و تحلیل شبکه‌ای فازی به‌منظور شناسایی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها [۱۷] پرداخته‌اند. برخی پژوهشگران با بررسی جنس ساختمان‌ها [۲۳، ۲]، تحلیل شبکه‌ای و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی [۱۰]، استفاده از مدل دیماتل فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی [۱۹]، تحلیل سلسله‌مراتبی و روش چندمعیارهٔ ترکیب خطی وزن‌دار [۳۰، ۲۵]، استفاده از دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل تاپسیس [۳۲]، بررسی شکل پلان ساختمان بر افزایش مقاومت آن در برابر زلزله [۳]، استفاده از روش‌های آنتروپی شانون و تاپسیس [۶] و مدل‌سازی معادلات ساختاری لیزرل [۱۴] به بررسی شدت آسیب‌پذیری ساختمان‌ها پرداخته‌اند. در تحقیقات دیگری آسیب‌شناسی ساختمان‌ها [۳۴] و آسیب‌شناسی توزیع فضایی کاربری‌های درمانی [۱] تبیین شده است.

با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی توسعه‌یافته عملکرد احتمالی شبکهٔ راه‌های درون‌شهری پس از وقوع زلزله با کمک الگوریتم بیزی بررسی شده است [۲۸]. همچنین با استفاده از تحلیل آماری رگرسیون لجستیک و همبستگی، بهترین و

مناسب‌ترین شاخص‌های بافتی از تصاویر ماهواره‌ای انتخاب و وضعیت تخریب ساختمان‌ها [۹] بررسی شده است. در پژوهش دیگری به بررسی خسارات ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS [۳۱] پرداخته شده است.

با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین اقدامات قبل از مدیریت بحران، به دلیل اهمیت نجات جان افراد در معرض خطر، انتخاب بهینهٔ مراکز امدادی برای پوشش حداکثری مناطق آسیب‌دیده در کمترین زمان است، در پژوهش حاضر با توجه به سناریوهای مختلف شدت آسیب ساختمان‌ها بررسی و با توجه به جنس هر ساختمان و شدت تخریب آن، تعداد افراد گرفتارشده در هر منطقه به‌صورت تقریبی مشخص شد. با توجه به اینکه استقرار گروه‌های امدادی در هر منطقه نیازمند اقدامات اولیه‌ای است که زمان‌بر است و امدادرسانی را با تأخیر مواجه می‌کند، اهمیت نجات جان افراد گرفتار، ضرورت مکان‌یابی و استقرار مراکز امدادی قبل از وقوع بحران را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش به مدیران بحران کمک می‌کند تا نزدیک‌ترین محل را با توجه به بیشترین افراد گرفتارشده در ساختمان‌ها قبل از وقوع حادثه مشخص کنند و پیش‌نیازهای اولیه را برای استقرار و برپایی این مراکز قبل از حادثه انجام دهند تا در صورت وقوع، بلافاصله نیروها در محل مستقر شوند و عملیات امدادرسانی را انجام دهند. اقدامات اولیهٔ ضروری برای استقرار گروه‌های امدادی، مواردی چون تعبیهٔ تانکرهای آب شرب و شست‌وشو، سامانهٔ دفع فاضلاب و سرویس‌های بهداشتی صحرایی، تسطیح محل نصب چادرها و ... است. هر کدام از موارد ذکرشده دارای اهمیت است و پس از وقوع حادثه، اخلال در سامانه‌های حمل‌ونقل و مسیرهای منتهی به این مکان‌ها، بدون تردید عملیات امدادرسانی را به تأخیر می‌اندازد.

با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه، پژوهش حاضر از چند بعد دارای نوآوری است. در پژوهش‌های پیشین تعداد تلفات آنی در صورت وقوع زلزله بررسی شده و در هیچ یک از آنها در خصوص تعداد تلفات ثانویه، مطالعه نشده است. در این پژوهش افزون‌بر محاسبهٔ تعداد تلفات آنی، تلفات ثانویه با سناریوهای مختلف بررسی شده است.

نوآوری دیگر این پژوهش، استفاده از مدلی ریاضی است که می‌تواند داده‌های هر منطقه شامل تعداد نفرات، تعداد ساختمان‌ها، تعداد طبقات هر ساختمان، جنس هر ساختمان و را ... که از مرکز آمار ایران قابل استخراج است دریافت و با توجه به سناریوهای مختلف، تعداد گروه‌های امدادی لازم را با کمک نرم‌افزار GAMS مشخص کند. شایان ذکر است که در هیچ یک از پژوهش‌های انجام‌گرفته، تعداد تلفات زلزله در روز یا شب به‌صورت تفکیک‌شده بررسی نشده است که پژوهش حاضر از این نظر نیز دارای نوآوری است و به تفکیک برای هر منطقه در حالت روز یا شب در صورت امدادرسانی یا نبود امدادرسانی تعداد تلفات اولیه و ثانویه مشخص شده است. در ادامه ابتدا به معرفی پارامترها و فرمول‌بندی پرداخته و سپس نتایج محاسباتی و تحلیل‌های به‌دست‌آمده بیان خواهد شد. در نهایت جمع‌بندی نتایج و تحلیل‌های کسب‌شده ارائه خواهد شد.

۲. روش تحقیق

بسیاری از افراد در طول روز در ساختمان‌های اداری به سر می‌برند. این ساختمان‌ها با توجه به عمر کمتر و مقاومت نسبی در مقایسه با ساختمان‌های مسکونی در برابر زلزله پایدارترند. همچنین در طول روز افراد هوشیارترند و در صورت وقوع زلزله، واکنش بهتری نشان می‌دهند و پس از زلزله از ساختمان خارج می‌شوند؛ ولی اگر زلزله در شب رخ دهد، خروج از ساختمان طولانی‌تر بوده و به‌دلیل خواب بودن بسیاری از افراد، پناه گرفتن آنها در حین زلزله کمتر خواهد بود و در نتیجه تلفات افزایش خواهد یافت. در این پژوهش نتایج براساس زمان وقوع زلزله (شب یا روز) و بسته به نوع عملیات امدادرسانی که در محل انجام بگیرد یا نگیرد به‌دست آمده‌اند؛ بنابراین تعداد کشته‌ها به‌صورت دامنه‌ای از اعداد بیان شده‌اند. به‌طور کلی چهار نوع سناریوی زلزله بررسی شد. نسبت تلفات به عوامل مختلفی بستگی دارد که تخمین آنها به اطلاعاتی همچون تعداد ساکنان گرفتارشده و نسبت تلفات به تعداد کل ساکنان در ساختمان‌های تخریب‌شده وابسته است. این متغیرها اغلب تحت تأثیر مشخصات منطقه هستند. در ساختمان‌ها، تعداد تلفات با توجه به نوع مصالح تغییر می‌کند؛ بنابراین توجه به پیشینهٔ زلزله‌ها و نوع سازهٔ ساختمان‌های آن منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش برای تخمین تلفات از روش ارائه‌شده توسط کابرن و همکاران [۳۶] استفاده شد. ازآنجا که روش کابرن و همکاران از اصول پایه و اساسی است و با توجه به زلزله‌های مخرب سراسر جهان به‌دست آمده است، اطمینان‌بخش و کاربردی است. موفقیت عملیات امدادرسانی بستگی کامل به زمان پس از وقوع زلزله

دارد. نسبت نجات، ۷۲ ساعت پس از زلزله، تقریباً برابر صفر است. یعنی اگر مردم تا ۷۲ ساعت پس از وقوع زلزله نجات داده نشوند، نزدیک به همهٔ آنها تلف خواهند شد. بنابراین عملیات نجات، عامل اصلی در تعیین نسبت تلفات افرادی است که بلافاصله پس از ویرانی ساختمان‌ها نمرده‌اند [۱۶].

نمادها، پارامترها و متغیرهای مسئله به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

I: مجموعهٔ مناطق شهر

J: مجموعهٔ نوع سازه‌های ساختمانی

P_i: جمعیت منطقهٔ i ام

TB_i: تعداد کل سازه‌های منطقهٔ i ام

RM_4d_j: نرخ تلفات آنی برای ساکنان در سازهٔ j ام

$(1 - \mathrm{M_4d})$: افرادی که بلافاصله نمی‌میرند

RM_{3j}: نرخ گرفتاری ساکنان در سازهٔ نوع j ام

RS_i: نرخ مساحت منطقهٔ i ام به مساحت کل شهر

TT_i: تعداد ساختمان تخریب‌شده در منطقهٔ i ام

RM_5d_j: نرخ تلفات ثانویه برای ساکنان در سازهٔ j ام

RTM_{ij}: شدت تخریب سازه‌های نوع j ام در منطقهٔ i ام

μ_i: میانگین تعداد ساکنان در هر ساختمان برای منطقهٔ i ام

K : وضعیت محیطی (k=1 به معنای روز و k=2 به معنای شب)

MM_{3i}: نسبت کل افراد گرفتار در منطقهٔ i ام نسبت به جمعیت در آن منطقه

$\mathrm{KS_{kli}}$: تلفات انسانی برای شرایط امدادی l ام و وضعیت محیطی K ام برای منطقهٔ i ام

$\mathrm{M_4d}$: نسبت تلفات، بلافاصله پس از ویرانی ساختمان‌ها، به تعداد افراد گرفتار در ساختمان تخریب‌شده

L: شرایط امدادرسانی (l=1 به‌معنای نبود امدادرسانی و l=2 به‌معنای امدادرسانی کامل)

M_{2k}: درصد افرادی که در زمان وقوع زلزله در وضعیت k ام در ساختمان هستند

MM_{3i}: نسبت کل افراد گرفتار در منطقهٔ i ام نسبت به جمعیت در آن منطقه

$\mathrm{M_5\ a_l}$: نسبت تلفات ثانویه پس از ویرانی (مجروحانی که پیش از نجات می‌میرند)، به افراد زندهٔ گرفتار در ساختمان تخریب‌شده برای امدادرسانی l ام ($\mathrm{M_5a_l}$: درصد مدل کابرن در وضعیت محیطی l ام). این مقدار برای $l = 1$ برابر است با $\mathrm{M_5a_1}$ = ۹۵ ٪ و برای $l = 2$ برابر با $\mathrm{M_5a_2}$ تعریف شده است.

RTM_{ij}: شدت تخریب سازه‌های نوع j ام در منطقهٔ i ام

RT_j: نرخ تخریب سازهٔ j ام (درصد تخریب بر اساس توابع آسیب‌پذیری)

MM_5d_i: متوسط تلفات ثانویه مورد انتظار برای ساکنان منطقهٔ i ام

MM_4d_i: متوسط تلفات آنی مورد انتظار برای ساکنان منطقهٔ i ام

برای محاسبهٔ تلفات از مدل زیر استفاده می‌شود:

$$\mathrm{KS_{kli}} = [TT_i * \mu_i * M_{2k} * MM_{3i} * \left[\mathrm{MM_4\ d_i} + (1 - \mathrm{MM_4\ d_i}) * \mathrm{M_5\ a_l}\right]]\ ; \forall k \in K, l \in L, i \in I \qquad (۱)$$

۳. داده‌ها و بحث

در این پژوهش مناطق شش‌گانهٔ شهر کرمانشاه که دومین شهر بزرگ و پرجمعیت منطقهٔ غرب و شمال غرب کشور است در نظر گرفته شد. اطلاعات جمعیتی این مناطق در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱. نسبت جمعیت شهر

منطقه	یک	دو	سه	چهار	پنج	شش
جمعیت (نفر)	۸۱۰۲۲	۱۲۳۳۹۱	۱۶۵۵۲۹	۱۲۷۶۸۲	۱۶۵۳۳۴	۱۸۸۴۴۷

توزیع ساختمان‌ها براساس نوع سازه در مناطق شهر کرمانشاه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. توزیع ساختمان‌ها براساس نوع سازه

نوع سازه	منطقهٔ ۱	منطقهٔ ۲	منطقهٔ ۳	منطقهٔ ٤	منطقهٔ ٥	منطقهٔ ٦
فلزی	۹۶۷۵	۶۴۷۱	۴۲۹۶	۱۴۵۷۸	۱۰۰۸۹	۱۵۴۰۳
بتن مسلح	۱۳۸۹	۲۲۷۹	۸۸۶	۴۰۵۹	۳۲۴۵	۳۵۲۳
آجر و آهن یا سنگ و آهن	۱۱۸۳۸	۱۶۴۷۴	۲۷۲۷۸	۱۳۱۵۴	۳۱۱۵۷	۲۹۵۴۹
آجر و چوب یا سنگ و چوب	۲۵۷	۳۶۸۲	۵۹۰۵	۳۶۶۷	۶۰	۷۰۳
بلوک سیمانی (با هر نوع سقف)	۲۱	۲۰۸	۱۵	۲۰	۵۹	۳۱۰
تمام آجر یا سنگ و آجر	۳۵۹	۱۷۱	۷۶	۱۰۷	۲۸۳	۲۵۰
تمام چوب	۲	۱۸	۶۹	۷	۱	۶۶
خشت و چوب	۲۲	۲۴۷	۸۷۵	۵۴۱	۵۵	۳۰
خشت و گل	۵	۱۹	۱۱۷	۴۶	۶	۷
سایر	۹	۱۵۱	۷۳	۲۵	۱۶	۲۳
جمع	۲۳۵۷۷	۲۹۷۲۰	۴۲۹۶	۳۶۲۰۴	۴۴۹۷۱	۴۹۸۶۴

۳. ۱ تخمین شمار آسیب‌دیدگان در ناحیهٔ تحت بررسی

با استفاده از روش ارائه‌شده، تخمین تلفات انجام می‌گیرد. محاسبهٔ پارامترهای روش ارائه‌شده در ادامه بیان شده است.

۳. ۱. ۱ محاسبهٔ تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده (TT)

با توجه به توابع خسارت ارائه‌شده و تعداد ساختمان‌های موجود برمبنای نوع سازه تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده در اثر وقوع زلزله با توجه به فرمول ۲ محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است. این فرمول بیانگر تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده است و این مقدار با توجه به نوع و جنس سازهٔ ساختمان‌های کرمانشاه به‌دست می‌آید.

$$TT_i = \sum_{j=1}^{m=10} RTM_{ij} \quad ; \forall i \in I, j \in J \qquad (۲)$$

جدول ۳. تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده (TT)

	تعداد ساختمان‌ها											
	منطقهٔ ۱		منطقهٔ ۲		منطقهٔ ۳		منطقهٔ ۴		منطقهٔ ۵		منطقهٔ ۶	
	موجود	تخریب‌شده	موجود	تخریب‌شده	موجود	تخریب‌شده	موجود	تخریب‌شده	موجود	تخریب‌شده	موجود	تخریب‌شده
مجموع	۲۳۵۷۷	۱۸۷۷۰/۱۹	۲۹۷۲۰	۲۵۴۷۸/۲۷	۳۹۵۹۰	۳۴۸۱۳/۰۴	۳۶۲۰۴	۲۹۵۲۳/۲۲	۴۴۹۷۱	۳۷۷۰۱/۰۱	۴۹۸۶۴	۴۰۹۲۷/۰۷
درصد تخریب	۷۹/۶۱		۸۵/۷۲		۸۷/۹۳		۸۱/۵۴		۸۳/۸۳		۸۲/۱	

۳. ۱. ۲ نسبت افراد گرفتار به افراد ساکن (MM_{3i})

به‌علت وجود سازه‌های گوناگون در ناحیه، مقدار میانگین MM_{3i} برای کل ناحیه محاسبه می‌شود. نحوهٔ محاسبه در جدول ۴ نشان داده شده است. برای محاسبهٔ این مقادیر از فرمول ۳ استفاده شده است که بیانگر نسبت کل ساکنان گرفتار منطقهٔ i ام به جمعیت آن منطقه است که از حاصل‌ضرب تعداد ساکنان برای سازه‌های نوع j ام در منطقهٔ i ام در نرخ گرفتاری ساکنان برای آن سازه‌ها نسبت به تعداد کل ساکنان در آن منطقه محاسبه می‌شود.

$$MM_{3i} = \frac{\sum_{j=1}^{m=10} PS_{ij} * RM_{3j}}{\sum_{j=1}^{m=10} PS_{ij}} ; \forall i \in I, j \in J \qquad (۳)$$

جدول ٤. نسبت افراد گرفتار به افراد ساکن ($\mathbf{MM_{3i}}$)

	تعداد ساکنان و افراد گرفتار در هر ساختمان											
	منطقهٔ ۱		منطقهٔ ۲		منطقهٔ ۳		منطقهٔ ۴		منطقهٔ ۵		منطقهٔ ۶	
	ساکن	گرفتار	ساکن	گرفتار	ساکن	گرفتار	ساکن	گرفتار	ساکن	گرفتار	ساکن	گرفتار
مجموع	۸۱۰۲۲	۹۴۲۴/۵۹۴	۱۲۳۳۹۱	۲۱۲۳۴/۳۷	۱۶۵۵۲۹	۳۰۶۴۲/۲۷	۱۲۷۶۸۲	۱۹۶۵۰/۳۴	۱۶۵۳۳۴	۱۹۳۹۹/۷۹	۱۸۸۴۴۷	۲۲۶۱۴/۷۴
درصد میانگین MM_{3i}	۱۱/۶۳		۱۷/۲۰		۱۸/۵۱		۱۵/۴۰		۱۱/۷۳		٪۱۲	

۳. ۱. ۳ تلفات آنی ساکنان (M_4d_{ij})

M_4d_{ij} عبارت است از درصد افرادی که به‌واسطه تخریب سقف و دیوار در ساختمان‌های تخریب‌شده بلافاصله گرفتار شده و به دلایل مختلفی نظیر خفگی، شوک، ترس و ... تلف می‌شوند. محاسبات با توجه به فرمول ۴ در جدول ۵ ارائه شده است. در این فرمول متوسط تلفات آنی مورد انتظار برای ساکنان منطقهٔ i ام از نسبت حاصل‌ضرب تعداد ساکنان برای سازه‌های نوع jام در منطقهٔ i ام و نرخ گرفتاری ساکنان در سازهٔ نوع j ام و نرخ تلفات آنی برای ساکنان در سازهٔ j ام بر حاصل‌ضرب تعداد ساکنان برای سازه‌های نوع jام در منطقهٔ i ام و نرخ گرفتاری ساکنان در سازهٔ نوع j ام محاسبه می‌شود.

$$MM_4d_i = \frac{\sum_{j=1}^{m=10} PS_{ij} * RM_{3j} * RM_4d_j}{\sum_{j=1}^{m=10} PS_{ij} * RM_{3j}} ; \forall i \in I, j \in J \qquad (۴)$$

جدول ۵. تلفات آنی ساکنان (M_4d_{ij})

	تعداد افراد گرفتار و تلفات آنی در هر ساختمان											
	منطقهٔ ۱		منطقهٔ ۲		منطقهٔ ۳		منطقهٔ ۴		منطقهٔ ۵		منطقهٔ ۶	
	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات
مجموع	۹۴۲۴/۵۹۸	۴۲۳۱/۹۶۲	۲۱۲۲۴/۳۷	۱۱۰۸۱/۷۹	۳۰۶۴۲/۲۷	۱۶۵۷۷/۰۸	۱۹۶۵۰/۳۴	۹۶۰۴/۴۷۶	۱۹۳۹۹/۷۹	۹۰۲۸/۴۱	۲۲۶۱۴/۷۴	۱۰۴۴۰/۶۷
MM_4d_i	۴۴/٪۹۰		۵۲/٪۲۱		۵۴/٪۰۹		۴۸/٪۸۷		۴۶/٪۵۳		۴۶/٪۱۶	

۳. ۱. ۴ تلفات ثانویه ساکنان (M_5d_{ij})

نسبت تلفات پس از ویرانی به افراد گرفتار (M_5d_{ij})، با توجه به مطالب ذکرشده، به نوع و نحوهٔ امدادرسانی بستگی دارد. در اینجا دو حالت برای محاسبهٔ مقدار M_5d_{ij} در نظر گرفته می‌شود. در حالت اول فرض می‌شود که هیچ‌گونه امدادرسانی انجام نگرفته است (M_5a_1) و در حالت دوم فرض می‌شود که امدادرسانی به‌طور کامل انجام گرفته است (M_5a_2).

محاسبات با فرض توزیع یکنواخت جمعیت انجام گرفته است. در حالت اول مقدار M_5a_1 برابر ۹۵ درصد است و در حالت دوم مقدار M_5a_2 با توجه به فرمول ۵ محاسبه شده و در جدول ۶ نشان داده شده است. این فرمول از نسبت متوسط تلفات ثانویه مورد انتظار برای ساکنان منطقهٔ iام بر حاصل‌ضرب تعداد ساکنان برای سازه‌های نوع jام در منطقهٔ i ام و نرخ گرفتاری ساکنان در سازهٔ نوع j ام و متمم نرخ تلفات آنی برای ساکنان در سازهٔ j ام محاسبه می‌شوند.

$$M_5a_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n=6}\sum_{j=1}^{m=10} M_5d_{ij}}{\sum_{i=1}^{n=6}\sum_{j=1}^{m=10} PS_{ij} * RM_{3j} * \left(1 - RM_4d_j\right)} ; \forall i \in I, j \in J \qquad (۵)$$

جدول ٦. تلفات ثانویهٔ ساکنان (M_5d_{ij})

	تعداد افراد گرفتار زنده و تلفات پس از ویرانی در هر ساختمان											
	منطقهٔ ۱		منطقهٔ ۲		منطقهٔ ۳		منطقهٔ ۴		منطقهٔ ۵		منطقهٔ ۶	
	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات	گرفتار	تلفات
مجموع	۵۱۹۲/۶۳۲	۲۰۵۷/۹۵۱	۱۰۱۴۲/۵۸	۴۳۴۷/۰۲۲	۱۴۰۶۵/۱۸	۶۱۸۴/۳۸	۱۰۰۴۵/۸۷	۴۰۹۱/۸۳۵	۱۰۳۷۱/۳۸	۴۳۵۶/۶۱۴	۱۲۱۷۴/۰۷	۴۹۸۶/۴۵۲
مقدار میانگین MM_5d_i	۳۹/٪.۶۳		۴۲/٪.۹		٪.۴۴		۴۰/٪.۷۳		٪.۴۲		٪.۴۱	

براساس جدول‌ها و مدل ارائه‌شده و نیز طبق مقادیر به‌دست‌آمده برای پارامترها، شمار تلفات برای دو حالت روز و شب در شرایط احداث مراکز امدادی (امدادرسانی) و احداث نکردن مراکز امدادی (نبود امدادرسانی) در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. محاسبهٔ تلفات مناطق شش‌گانهٔ شهر کرمانشاه

i	k	l	TT	Tμ	(٪) M_{2k}	GP_{ij} (٪)	M_4d_{ij}	(٪) M_5a_l	KS_{KL}	تلفات (٪)
۱	۱	۱	۱۸۷۷۰/۱۹۰	۳/۴۳۶	۴۷	۱۱/۶۳	۴۴/۹۰	۹۵	۳۴۲۸/۲۰۴	۴/۲۳
		۲	۱۸۷۷۰/۱۹۰	۳/۴۳۶	۴۷	۱۱/۶۳	۴۴/۹۰	۳۹/۶۳	۲۳۵۲/۶۶۷	۲/۹۰
	۲	۱	۱۸۷۷۰/۱۹۰	۳/۴۳۶	۱۰۰	۱۱/۶۳	۴۴/۹۰	۹۵	۷۲۹۴/۰۵۱	۹
		۲	۱۸۷۷۰/۱۹۰	۳/۴۳۶	۱۰۰	۱۱/۶۳	۴۴/۹۰	۳۹/٪.۶۳	۵۰۰۵/۶۷۴	۶/۱۷
۲	۱	۱	۲۵۴۷۸/۲۷۰	۴/۱۵۲	۴۷	۱۷/۲۰	۵۲/۲۱	۹۵	۸۳۴۷/۳۷۹	۶/۷۶
		۲	۲۵۴۷۸/۲۷۰	۴/۱۵۲	۴۷	۱۷/۲۰	۵۲/۲۱	۴۲/۹	۶۲۱۸/۱۲۱	۵/۰۳
	۲	۱	۲۵۴۷۸/۲۷۰	۴/۱۵۲	۱۰۰	۱۷/۲۰	۵۲/۲۱	۹۵	۱۷۷۶۰/۳۸	۱۴/۳۹
		۲	۲۵۴۷۸/۲۷۰	۴/۱۵۲	۱۰۰	۱۷/۲۰	۵۲/۲۱	۴۲/۹	۱۳۲۳۰/۰۴	۱۰/۷۲
۳	۱	۱	۳۴۸۱۳/۰۴۰	۴/۱۸۱	۴۷	۱۸/۵۱	۵۴/۰۹	۹۵	۱۲۳۷۲/۰۳	۷/۴۷
		۲	۳۴۸۱۳/۰۴۰	۴/۱۸۱	۴۷	۱۸/۵۱	۵۴/۰۹	۴۴	۹۴۰۷/۱۷۲	۵/۶۸
	۲	۱	۳۴۸۱۳/۰۴۰	۴/۱۸۱	۱۰۰	۱۸/۵۱	۵۴/۰۹	۹۵	۲۶۳۲۳/۴۷	۱۵/۹۰
		۲	۳۴۸۱۳/۰۴۰	۴/۱۸۱	۱۰۰	۱۸/۵۱	۵۴/۰۹	۴۴	۲۰۰۱۵/۲۶	۱۲/۱۱
۴	۱	۱	۲۹۵۲۳/۲۲۰	۳/۵۲۷	۴۷	۱۵/۴۰	۴۸/۸۷	۹۵	۷۳۳۹/۳۶۶	۵/۷۸
		۲	۲۹۵۲۳/۲۲۰	۳/۵۲۷	۴۷	۱۵/۴۰	۴۸/۸۷	۴۰/۷۳	۵۲۵۲/۸۰۱	۴/۱۱
	۲	۱	۲۹۵۲۳/۲۲۰	۳/۵۲۷	۱۰۰	۱۵/۴۰	۴۸/۸۷	۹۵	۱۵۶۲۵/۸۲	۱۲/۲۳
		۲	۲۹۵۲۳/۲۲۰	۳/۵۲۷	۱۰۰	۱۵/۴۰	۴۸/۸۷	۴۰/۷۳	۱۱۱۷۶/۱۷	۸/۷۵
۵	۱	۱	۳۷۷۰۱/۱۰	۳/۶۷۶	۴۷	۱۱/۷۳	۴۶/۵۳	۹۵	۷۲۲۷/۰۷۱	۴/۳۷
		۲	۳۷۷۰۱/۱۰	۳/۶۷۶	۴۷	۱۱/۷۳	۴۶/۵۳	۴۲	۵۲۷۱/۰۱۴	۳/۱۸
	۲	۱	۳۷۷۰۱/۱۰	۳/۶۷۶	۱۰۰	۱۱/۷۳	۴۶/۵۳	۹۵	۱۵۸۲۱/۸۶	۹/۵۶
		۲	۳۷۷۰۱/۱۰	۳/۶۷۶	۱۰۰	۱۱/۷۳	۴۶/۵۳	۴۲	۱۱۲۱۴/۹۲	۶/۷۸
۶	۱	۱	۴۰۹۲۷/۷۰	۳/۷۷۹	۴۷	۱۲	۴۶/۱۶	۹۵	۸۴۸۸/۱۹۲	۴/۵۰
		۲	۴۰۹۲۷/۷۰	۳/۷۷۹	۴۷	۱۲	۴۶/۱۶	۴۱	۵۹۵۲/۰۹۷	۳/۱۵
	۲	۱	۴۰۹۲۷/۷۰	۳/۷۷۹	۱۰۰	۱۲	۴۶/۱۶	۹۵	۱۸۰۵۹/۹۸	۹/۵۸
		۲	۴۰۹۲۷/۷۰	۳/۷۷۹	۱۰۰	۱۲	۴۶/۱۶	۴۱	۱۲۶۶۴/۰۴	۶/۷۲

با توجه به مدل ارائه‌شده و جدول ۷، تعداد تلفات منطقهٔ ۳ در بدترین حالت ممکن که زلزله در شب اتفاق بیفتد و هیچ مرکز امدادی در آن منطقه احداث نشده باشد بیش از بقیهٔ مناطق خواهد بود و مناطق ۲، ۴، ۶، ۵ و ۱ از نظر تعداد تلفات به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. اگر در منطقهٔ پژوهش تنها بتوان یک مرکز امدادی احداث کرد، با توجه به شدت آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، تعداد افراد گرفتار و ... که همگی در مدل مدنظر قرار گرفته‌اند، اولویت احداث این مرکز منطقهٔ سه است؛ اگر بتوان دو مرکز احداث کرد، منطقهٔ ۲ در اولویت دوم قرار دارد و مناطق ۴، ۶، ۵ و ۱ به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند. راهبردهای احداث مراکز امدادی در جدول ۸ و حد کاهش تلفات با توجه به احداث مراکز امدادی در حالت روز و شب در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۸. راهبردهای احداث مراکز امدادی با توجه به تعداد مراکز امدادی امکان‌پذیر برای احداث

راهبرد	تعداد مراکز امدادرسانی امکان‌پذیر برای احداث	مناطق انتخاب‌شده برای تأسیس مراکز	تعداد تلفات در روز	میزان کاهش تلفات نسبت به شرایط پایه در روز	تعداد تلفات در شب	حد کاهش تلفات نسبت به شرایط پایه در شب
۱	۰	–	۴۷۴۱۷/۷۸۰	–	۱۰۰۸۸۸/۸۹۴	–
۲	۱	۳	۴۴۳۳۵/۷۳۲	۳۰۸۲/۰۴۸	۹۴۳۳۱/۳۴۵	۶۵۵۷/۵۴۹
۳	۲	۳ و ۲	۴۱۸۴۵/۷۴۷	۵۵۷۲/۰۳۳	۸۹۰۳۳/۵۰۳	۱۱۸۵۵/۳۹۱
۴	۳	۲و۳و۴	۳۹۶۷۹/۰۰۴	۷۷۳۸/۷۷۶	۸۴۴۲۳/۴۱۳	۱۶۴۶۵/۴۸۱
۵	۴	۲و۳و۴و۶	۳۷۵۱۲/۳۲۶	۹۹۰۵/۴۵۴	۷۹۸۱۳/۴۶۰	۲۱۰۷۵/۴۳۴
۶	۵	۲و۳و۴و۵و۶	۳۵۴۷۰/۹۰۷	۱۱۹۴۶/۸۷۳	۷۵۴۷۰/۰۱۴	۲۵۴۱۸/۸۸
۷	۶	۱و۲و۳و۴و۵و۶	۳۴۴۴۰/۷۴۵	۱۲۹۷۷/۰۴	۷۳۲۷۸/۱۸۱	۲۷۶۱۰/۷۱۳

جدول ۹. کاهش تلفات حالت پایه و مرحلهٔ پیش از هر مرحله با توجه به pH متفاوت برای وضعیت روز و شب

P_H	شب	روز	اختلاف با شرایط امدادی ماقبل روز	اختلاف با شرایط حداقل امداد روز	اختلاف با شرایط امدادی ماقبل شب	اختلاف با شرایط حداقل امداد شب
۰	۱۰۰۸۸۸/۸۹۴	۴۷۴۱۷/۷۸۰	۰	۰	۰	۰
۱	۹۴۳۳۱/۳۴۵	۴۴۳۳۵/۷۳۲	۳۰۸۲/۰۴۸	۳۰۸۲/۰۴۸	۶۵۵۷/۵۴۹	۶۵۵۷/۵۴۹
۲	۸۹۰۳۳/۵۰۳	۴۱۸۴۵/۷۴۷	۲۴۸۹/۹۸۵	۵۵۷۲/۰۳۳	۵۲۹۷/۸۴۲	۱۱۸۵۵/۳۹۱
۳	۸۴۴۲۳/۴۱۳	۳۹۶۷۹/۰۰۴	۲۱۶۶/۷۴۳	۷۷۳۸/۷۷۶	۴۶۱۰/۰۹	۱۶۴۶۵/۴۸۱
۴	۷۹۸۱۳/۴۶۰	۳۷۵۱۲/۳۲۶	۲۱۶۶/۶۷۸	۹۹۰۵/۴۵۴	۴۶۰۹/۹۵۳	۲۱۰۷۵/۴۳۴
۵	۷۵۴۷۰/۰۱۴	۳۵۴۷۰/۹۰۷	۲۰۴۱/۴۱۹	۱۱۹۴۶/۸۷۳	۴۳۴۳/۴۴۶	۲۵۴۱۸/۸۸
۶	۷۳۲۷۸/۱۸۱	۳۴۴۴۰/۷۴۵	۱۰۳۰/۱۶۲	۱۲۹۷۷/۰۴	۲۱۹۱/۸۳۳	۲۷۶۱۰/۷۱۳

نتایج خروجی مدل عبارت‌اند از اینکه با افزایش تعداد مراکز امدادرسانی، تلفات کاهش می‌یابد و همچنین تلفات در شب در همهٔ موارد به‌مراتب بیشتر از روز است. مدل نشان داد که شرایط شب و روز در انتخاب محل‌های بالقوه برای تأسیس مراکز امدادی بی‌تأثیر است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مدل ارائه‌شده نشان داد که بیشترین تعداد تلفات در مناطق ۳، ۲، ۴، ۶، ۵ و ۱ و به‌ترتیب با ۱۵/۹۰، ۱۴/۳۹، ۱۲/۲۳، ۹/۵۸، ۹/۵۶ و ۹ درصد رخ خواهد داد. تلفات با احداث یک مرکز امدادی، ۶ درصد و با احداث دو، سه، چهار، پنج و شش مرکز امدادی به‌ترتیب ۱۱، ۱۵، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. براساس نتایج با توجه به افزایش تعداد مراکز امدادی تلفات کاهش خواهد یافت. با توجه به خروجی مدل ارائه‌شده افراد گرفتارشده در زیر آوار در حالت شب بیشتر از روز است. با در نظر گرفتن تاریکی هوا و محدودیت دید، عملیات احداث و استقرار مراکز امدادی با تأخیر زیادی مواجه خواهد شد؛ از این‌رو

پیش‌بینی محل اسکان گروه‌های امدادی پیش از حادثه اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند تا بلافاصله بعد از زلزله در محل خود مستقر شوند و عملیات امدادرسانی را شروع کنند.

نتایج پژوهش حاضر نشان از برتری مدل ارائه‌شده دارد و بیانگر کاهش زمان امدادرسانی و تلفات در حالات مختلف است. در این پژوهش تعداد گروه‌های امدادی تحت سناریوهای مختلف با توجه به شدت آسیب وارد به ساختمان‌ها و افراد گرفتارشده بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های هزینه و تعداد گروه‌های امدادی در نظر گرفته شده است که می‌توان این محدودیت‌ها را در پژوهش‌های آینده در مدل در نظر گرفت. روش ارائه‌شده در این پژوهش به مدیران بحران کمک می‌کند تا قبل از وقوع بحران با برنامه‌ریزی برای استفادهٔ بهینه از زمان در دسترس، توان عملیاتی سیستم پشتیبان و امدادرسانی را در کمترین زمان ممکن افزایش دهند و نیز به تخصیص صحیح منابع به افراد نیازمند بپردازند.

تقدیر و تشکر: این مقاله مستخرج از رسالهٔ دکتری است و با حمایت گروه مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی و دانشکدهٔ صنایع دانشگاه امیرکبیر انجام گرفته است. از این‌رو تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌داریم.

منابع

[۱] آفریدی، صنم؛ احمدی، فرشته؛ سلطانی، علی؛ و محمدی، محمود (۱۴۰۰). آسیب‌شناسی تاب‌آوری فضایی شهری با تأکید بر توزیع بیمارستان‌ها. *دو فصلنامهٔ علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، ۱۰، ویژه‌نامهٔ دوم پدافند غیرعامل، ۷۵-۹۱.

[۲] احمدی، فریال؛ و اسکندری‌نژاد، علیرضا (۱۴۰۰). ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی کلانشهر ساری در مخاطرهٔ طبیعی زلزله. *آمایش محیط*، ۱۴(۵۲)، ۱-۱۸.

[۳] اردکانی، امیررضا؛ گلابچی، محمود؛ حسینی، سیدمحمود؛ و علاقمندان، متین (۱۳۹۶). بررسی تأثیر فرم ساختمان‌های بلند بر پایداری سازه‌ای آنها با هدف کاهش مخاطرات زلزله (نمونهٔ موردی: تأثیر پارامتر شکل پلان). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۴(۱)، ۲۷-۴۲.

[۴] باقری، میلاد؛ رستمی، رحیمه؛ ارگانی، میثم؛ و باقری، کیوان (۱۳۹۹). تحلیلی بر پراکنش مراکز بیمارستانی با رویکرد پدافند غیرعامل با هدف مدیریت مخاطرات با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی (مطالعهٔ موردی: شهر تبریز). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۷(۱)، ۷۷-۹۶.

[۵] بهرامی، ناهید؛ ارگانی، میثم؛ جلوخانی نیارکی، محمدرضا؛ و وفایی‌نژاد، علیرضا (۱۳۹۸). ارائهٔ راهکاری مکان‌مند به‌منظور بهبود مدیریت امداد و نجات پس از زلزله. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۶(۲)، ۱۱۷-۱۲۹.

[۶] پهلوانی، پرهام؛ و بادپا، میعاد (۱۳۹۹). رتبه‌بندی مناطق مسکونی شهری در برابر مخاطرات زمین‌لرزه با استفاده از روش‌های آنتروپی شانون و تاپسیس (مطالعهٔ موردی: شهر آمل). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۷(۳)، ۲۲۵-۲۳۹.

[۷] جانعلی‌پور، میلاد؛ عباس‌زاده طهرانی، نادیا؛ محمدخانلو، حکمت‌اله؛ خصالی، الهه؛ و عنایتی، حمید (۱۳۹۸). شناسایی سریع مناطق آسیب‌دیده پس از وقوع زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-۲ (مطالعهٔ موردی: زلزلهٔ سرپل ذهاب). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۶(۲)، ۱۳۱-۱۴۸.

[۸] حسین زاده، مهناز؛ احمدی، علی؛ و صمدی فروشانی، مرضیه (۱۴۰۰). توسعهٔ مدل پویای مدیریت بحران زلزله در تهران با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم(SD). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰(۲۷)، ۶۷-۹۰.

[۹] حسین‌زاده ده‌آبادی، علی‌اصغر؛ ارگانی، میثم؛ و درویشی بلورانی، علی (۱۳۹۸). بررسی و استخراج تخریب‌های ساختمانی ناشی از وقوع زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک زیاد. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۶(۳)، ۲۳۹-۲۵۷.

[۱۰] حیدری فر، محمد رئوف؛ و محمودی، عبدالله (۱۴۰۰). تحلیل آسیب‌پذیری کاربری اراضی شهری جوانرود در برابر زلزله با استفاده از تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۵۳(۱)، ۱۱۹-۱۳۷.

[۱۱] حیدری مظفر، مرتضی؛ و تاج‌بخشان، مرضیه (۱۴۰۰). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهرستان نهاوند در برابر زلزله. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱(۳۴)، ۵۶-۷۸.

[۱۲] خاکی، علی (۱۴۰۱). بررسی نقش ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های آموزشی در مدت زمان تخلیهٔ اضطراری هنگام حوادث. *مدیریت بحران*، (۲۱)، ۱۴۹-۱۶۱.

[۱۳] خواجوی، رضا؛ جوکار، عارفه؛ و صداقتی، عماد (۱۴۰۱). طراحی و پیاده‌سازی نمونهٔ اولیهٔ نرم‌افزار کاربردی تعاملی گوشی هوشمند جهت ارزیابی لرزش و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها. *مدیریت بحران، ویژه‌نامهٔ پدافند غیرعامل*، ۱-۲۰.

[۱۴] روحی، بیتا؛ میرزا ابراهیم طهرانی، مهناز؛ استعلاجی، علیرضا؛ و فرزاد بهتاش، محمدرضا (۱۴۰۰). تاب‌آوری ساختمان‌های مهم شهر همدان در برابر سیلاب با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری لیزرل. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۸(۳)، ۲۰۷-۲۲۸.

[۱۵] ساسان‌پور، فرزانه؛ و موسی‌وند، جعفر (۱۳۸۹). تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شهری با کاربرد منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۳(۱۶)، ۲۹-۵۰.

[۱۶] شماعی، علی؛ عظیمی، آزاده؛ و فرجی ملایی، امین (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری محلات شهر بابلسر به‌منظور کاهش خطرات زلزله. *تحقیقات* کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۱(۲۰)، ۱۰۷-۱۲۷.

[۱۷] صالحی‌پور میلانی، علیرضا؛ زمانی، مهدی؛ و صدوق، سیدحسن (۱۴۰۰). ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری شهر رزن در برابر زلزله. مدیریت مخاطرات محیطی، ۸(۳)، ۲۶۷-۲۸۲.

[۱۸] عبدالشاه، محمد؛ خطیبی، سید امیرمحمد؛ حسینی، سیامک؛ و بهشتی‌نیا، محمدعلی (۱۳۹۶). بهینه‌سازی زمان سیستم امدادرسانی در شرایط مخاطره با تقسیم وظایف بین مراکز و درنظرگیری ظرفیت حداکثری ناوگان (مطالعهٔ موردی: شهر قزوین). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۴(۲)، ۱۴۳-۱۵۶.

[۱۹] غضنفرپور، حسین؛ حسینی‌خواه، حسین؛ و کمالی باغراهی، اسماعیل (۱۴۰۱). تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری لرزه‌ای سکونتگاه‌های انسانی شهرستان باشت با استفاده از مدل دیماتل فازی و GIS. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۵)، ۲۲-۳۸.

[۲۲] فرجزاده اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ و امینی، جمال (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی منطقهٔ ۹ شهرداری تهران). *مطالعات* و پژوهش‌های شهری منطقه‌ای، ۳(۹)، ۱۹-۳۶.

[۲۱] فرح‌بخش، امین؛ و سموئی، پروانه (۱۴۰۰). برنامه‌ریزی لجستیک بشردوستانهٔ یک زنجیرهٔ تأمین خدمت مربوط به بیمارستان‌های سیار در شرایط بحران با اولویت‌بندی مناطق. *مدیریت بحران*، (۱۹)، ۴۷-۵۶.

[۲۲] کرمی، محمدرضا؛ و امیریان، سهراب (۱۳۹۷). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-AHP (مطالعهٔ موردی: شهر تبریز). *برنامه‌ریزی توسعهٔ کالبدی*، ۵(۱۰)، ۱۱۰-۱۲۴.

[۲۳] مبارکی، امید؛ اسمعیل‌پور، مرضیه؛ و امینی، شیرین (۱۴۰۰). ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهر آذرشهر در برابر زلزله. *شهر ایمن*، ۲(۷).

[۲۴] مجیدی نیک، مهیار؛ و بیگلری، سعدی (۱۴۰۱). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زلزله در استان بوشهر. *دو مدیریت بحران*، ویژه‌نامه پدافند، ۱-۱۴.

[۲۵] محمودی وانعلیا، نرجس؛ ارگانی، میثم؛ و جلوخانی نیارکی، محمدرضا (۱۴۰۰). تهیهٔ نقشهٔ چندخطرهٔ استان مازندران با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مکانی. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۸(۴)، ۳۹۵-۴۱۱.

[۲۶] مددی، عقیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ زارعمند، زهرا؛ و قلعه، احسان (۱۴۰۱). مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از مدل تاپسیس فازی (مطالعهٔ موردی: شهر کرمانشاه). *مدیریت بحران*، (۲۲)، ۶-۱۹.

[۲۷] مسگری هوشیار، سارا؛ حاجی ابراهیم زرگر، اکبر؛ و فلاحی؛ علیرضا (۱۳۹۸). الگوی اسکان موقت مبتنی بر روش نظریهٔ زمینه‌ای (مطالعهٔ موردی: شهر سرپل‌ذهاب پس از زلزلهٔ ۱۳۹۶). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۶(۳)، ۲۸۷-۳۰۰.

[۲۸] مغیثی، میثم؛ توکلی، حمیدرضا؛ و پیغاله، الناز (۱۴۰۱). برآورد احتمال انسداد مسیر در شبکهٔ حمل‌ونقل درون‌شهری پس از وقوع زلزله با استفاده از الگوریتم بیزی (مطالعهٔ موردی: شهر بابل). *مدیریت بحران*، (۲۱)، ۴۹-۶۶.

[۲۹] موسوی، سوگل؛ سجادی، سیدمجتبی؛ عالم تبریز، اکبر؛ و نجفی، سیداسماعیل (۱۴۰۰). ارائهٔ مدل ریاضی به‌منظور طراحی شبکهٔ سلسله‌مراتبی تسهیلات اضطراری موقت در شرایط بحران. *دو فصلنامهٔ علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، (۲۰)، ۸۵-۹۷.

[۳۰] موسوی، سیده معصومه؛ عابدینی، موسی؛ و اسمعلی عوری، اباذر (۱۳۹۴). ارزیابی خطر زمین‌لرزه در حوزهٔ شهری ایذه با استفاده از مدل‌های چندمعیارهٔ WLCو AHP در محیط GIS. *مدیریت بحران*، ۴(۱)، ۹۳-۱۰۱.

[۳۱] میردهقان اشکذری، سیداحمد؛ المدرسی، سیدعلی؛ رضایی، محمدرضا؛ نوجوان بشنغیان، محمدرضا؛ و خبازی، مصطفی (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری شهر یزد در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های ترکیبی. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۹(۳) ۲۰۵-۲۱۷.

[۳۲] نیری، هادی؛ خالق پناه، کمال؛ کرمی، محمدرضا؛ و احمدی، خه‌بات (۱۳۹۵). پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج ناشی از زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تاپسیس. *جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز*، ۲۰ (۵۷)، ۲۷۷-۲۹۴.

[۳۳] نیری، هادی؛ کرمی، محمدرضا؛ و سوری، محمود (۱۳۹۸). مکان‌یابی مراکز امداد و نجات در شهرستان نهاوند با استفاده از مدل فازی- ای اچ پی FAHP. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۶(۲)، ۹۷-۱۱۵.

[۳۴] هاشمی، صدیقه؛ و عزیزپور، فرهاد (۱۴۰۰). آسیب‌پذیری مسکن در نواحی روستایی (مورد مطالعه: شهرستان نی‌ریز). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸(۴)، ۱۴۱-۱۵۴.

[35] Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M., & Ruiz, A. (2012). Transportation in disaster response operations. *Socio Economic Planning Sciences*, 46(1), 23-32. https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.05.002.

[36] Coburn, A. W., Spence, R. J. S., & Pomonis, A. (1992). Factors determining human casualty levels in earthquakes: Mortality prediction in building collapse. *In Proceedings of the10 th World Conference on Earthquake Engineering. Madrid*, Spain. Rotterdam, 10, 5,989–5,994.

[37] Cotrufo, S., Sandu, C., Giulio Tonolo, F., & Boccardo, P. (2018). Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 991-1005. https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1527662.

[38] Haghi, M., Ghomi, S. M. T. F., & Jolai, F. (2017). Developing a robust multi-objective model for pre/post disaster times under uncertainty in demand and resource. *Journal of Cleaner Production*, 154, 188-202. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.102.

[39] Handayani, N. U., Arvianto, A., & Sesariana, Y. (2018). Design of transportation system of humanitarian aids logistic using variable neighborhood search (VNS) algorithm: Case study in Merapi eruption. *Paper presented at the AIP Conference Proceedings*. https://doi.org/10.1063/1.5042873.

[40] Memari, P., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navazi,. F, Jolai,F. (2020). Air and ground ambulance locationallocation- routing problem for designing a temporary emergency management system after a disaster. *Institution of Mechanidal Engineers*, 234(8), 812-828. https://doi.org/10.1177/0954411920925207.

[41] Oksuz, M. K., & Satoglu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101-426. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101426.