

Research Paper

Locating Selection and Resource Allocation After a Possible Earthquake in Amol City

Hamed Zamani¹ , *Fereshteh Parvaresh¹ 

1. Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

**Citation** Zamani H, Parvaresh F. [Locating Selection and Resource Allocation after a Possible Earthquake in Amol City, Iran(Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*. 2023; 13(2):164-183. <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.2.711.1> <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.2.711.1>

ABSTRACT

Background and objective Transferring injured people to medical centers is one of the important challenges of providing relief in natural and man-made disasters. Often, due to the damage caused by the disaster, it is not possible to transfer the injured to safe medical centers in the short term. Establishing field hospitals in suitable places is one of the common solutions in these situations. This study aims address the problem of location selection for field hospitals using mathematical modeling and asses how to allocate resources, including medical staff and needed medications by the temporary hospitals.

Method This study presents an integer programming model for the location selection problem. To evaluate the proposed model, the real data from Amol City was collected and used as inputs. The optimal solution was determined using GAMS 25.1 optimization software.

Results The calculation results illustrated the best place for the establishment of field hospitals, which is located in Banafsheh Park. It has also been determined that each deployed field hospital should have 60 beds. In addition, the optimal number of medical personnel and relief vehicles for relief operations was determined. The sensitivity analysis has also shown that if any of the hospitals located in Amol is damaged and inactive due to an accident, Hefdeh Shahrivar Square is a suitable place to build a field hospital.

Conclusion The results of this study can help authorities in Amol city to make the best decisions regarding where to establish field hospitals and how to use the limited available resources during disasters. The main innovation of the presented model also is the location of field hospitals along with considering the active hospitals around the affected areas so that the injured can be transferred to the active hospitals in addition to the constructed field hospitals. In this model, a constraint has been applied to complete the service time, so that the rescue vehicles have a limited time to transport the injured to the rescue centers.

Keywords Disaster risk management, Medical facilities location selection, Resource allocation, Integer programming.

Article Info:

Received: 26 May 2023

Accepted: 22 Jun 2023

Available Online: 01 Jul 2023

*** Corresponding Author:**

Fereshteh Parvaresh, PhD.

Address: Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan.

Tel: +98 (31) 33911488

E-mail: parvaresh@iut.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Due to the large number of injured people after disasters, most hospitals and medical centers do not have enough capacity to provide services to them. In addition, in disasters such as floods and earthquakes, most hospitals and medical centers located in the affected regions are often destroyed and become impossible to use. Therefore, the establishment of mobile medical units, which are known as field hospitals, can partially solve the lack of capacity and the inability to provide local medical services. However, it should be noted that field hospitals are useful if they become available and on-site within the first days after the disaster to prevent high casualties and carry out rescue operations faster with better quality. Another important point is the location of field hospitals. The time of transferring the injured from the affected areas to these facilities increases, If they are built at a far distance from the affected areas, which can increase the casualties. Therefore, this study aims to determine the appropriate location of field hospitals. The main questions in this paper are as follows:

- How many field hospitals are needed in Amol city and where should they be established?
- How to use the available resources to provide medical services to more people?
- How much is the effect of the budget on the quality of services provided to the injured people?

Methods

This paper provides a mathematical modeling of the problem of selecting location for field hospitals and allocation of resources after the earthquake. In this regard, we used the real data of Amol City located in Mazandaran province, Iran, to evaluate the proposed model. After collecting the required data, the proposed model was implemented in GAMS 25.1 optimization software and with the GUROBI solver.

Results

Field hospitals include different types, three of which are: tent, container, and a mix of both. The main differences between these hospitals are the cost of their construction and their capacity (number of beds). This article assumed the first, second, and third types of field hospitals had 30, 60, and 90 beds, respectively. The optimal place for

constructing a field hospital was Banafsheh Park, and this field hospital should be of the second type (container).

Conclusion

Nowadays, the world is facing an increase in the number and variety of disasters due to climate, biological, and technological changes. Among the challenges that arise after a disaster, the selection of a optimal location for field hospitals and proper allocation of medical resources are of great importance. For this purpose, an integer programming model was proposed in this study with various constraints, including constraints in the budget for the construction, the capacity of hospitals to admit victims, the number of ambulances, the number of medical staff, and the amount of available medications. The results of this study can help medical centers to make the best decisions regarding how to use their limited available resources after a disaster.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were observed in this study. All participants were informed about the study objectives and methods.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors

Authors' contributions

All authors equally contributed to preparing this article.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

This Page Intentionally Left Blank



مقاله پژوهشی

مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی و تخصیص منابع پس از زلزله احتمالی در شهر آمل

حامد زمانی^۱، فرشته پرورش^۱

۱. دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.



Citation Zamani H, Parvaresh F. [Locating Selection and Resource Allocation After a Possible Earthquake in Amol City (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*. 2023; 13(2):164-183. <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.2.711.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.2.711.1>



زمینه و هدف: انتقال آسیب‌دیدگان به مراکز درمانی یکی از چالش‌های مهم امدادرسانی در سوانح طبیعی و حوادث انسان‌ساخت است. اغلب به دلیل خسارات ناشی از سانحه، انتقال آسیب‌دیدگان به مراکز درمانی ایمن در کوتاه‌مدت ممکن نیست. احداث بیمارستان‌های صحرایی در مکان‌های مناسب یکی از راه‌حل‌های رایج در این مواقع است. هدف کلی این پژوهش، استفاده بهینه از منابع است تا عملیات امدادرسانی در زمان مناسب و با کیفیت بهتری انجام شود.

روش: این پژوهش به مدل‌سازی ریاضی مسئله مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی و نحوه تخصیص منابع پزشکی از جمله پرسنل پزشکی و داروهای مورد نیاز به این بیمارستان‌های موقت پرداخته و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای آن ارائه کرده است. برای ارزیابی مدل پیشنهادی نیز داده‌های واقعی شهر آمل جمع‌آوری و از آن‌ها به عنوان داده‌های ورودی مدل استفاده شده است. روش حل مدل پیشنهادی نیز یک روش دقیق محسوب می‌شود که جواب بهینه را با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز نسخه ۲۵/۱ به دست می‌آورد.

یافته‌ها: نتایج محاسباتی، پارک بنفشه را به عنوان بهترین مکان برای استقرار بیمارستان‌های صحرایی نشان داد. همچنین مشخص شد هر بیمارستان صحرایی مستقر شده، باید ۶۰ تخت داشته باشد. علاوه بر این، تعداد بهینه پرسنل پزشکی و وسایل نقلیه امدادی برای عملیات امدادرسانی تعیین شد. تحلیل حساسیت‌ها نیز نشان داده است اگر هریک از بیمارستان‌های واقع در شهر آمل، به سبب سانحه دچار آسیب و غیرفعال شود، میدان ۱۷ شهریور مکان مناسبی برای احداث بیمارستان صحرایی است.

نتیجه‌گیری: این تحقیق می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا بهترین تصمیمات را در رابطه با نحوه استفاده از منابع محدودی که در دسترس هستند، اتخاذ کنند. نوآوری اصلی این پژوهش مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی همراه با در نظر گرفتن بیمارستان‌های فعال در اطراف نواحی آسیب‌دیده است تا آسیب‌دیدگان بتوانند علاوه بر بیمارستان‌های صحرایی احداث شده، به بیمارستان‌های فعال نیز منتقل شوند. در این مدل، محدودیتی برای اتمام زمان خدمت‌رسانی اعمال شده، به طوری که وسایل نقلیه امدادی در مدت زمان محدودی فرصت دارند تا مصدومان را به مراکز امدادی منتقل کنند.

کلیدواژه‌ها: مدیریت ریسک بحران، مکان‌یابی مراکز درمانی، تخصیص منابع، برنامه‌ریزی عدد صحیح

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۰۵ خرداد ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۰۱ تیر ۱۴۰۲

تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۲

* نویسنده مسئول:

دکتر فرشته پرورش

نشانی: اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها.

تلفن: ۳۳۹۱۱۴۸۸ (۳۱) ۹۸+

پست الکترونیکی: parvaresh@iut.ac.ir



مقدمه

در قرن بیست و یکم، جهان شاهد بحران‌های طبیعی متعددی بوده است. طوفان عظیم کاترینا، سونامی آسیای جنوب شرقی و زلزله هائیتی از جمله مهم‌ترین آن‌هاست که آسیب‌ها و تلفات جانی و مالی فراوانی را به همراه داشته‌اند. در سال‌های اخیر نیز پاندمی کووید - ۱۹ تاکنون به مرگ بیش از ۶/۵ میلیون نفر منجر شده است که آمار قابل توجهی است (پایگاه داده بین‌المللی سوانح، ۲۰۲۳). همه این سوانح این حقیقت را به جهانیان گوشزد می‌کنند که پیش‌بینی‌ها و چاره‌اندیشی‌ها و راه‌های مقابله و سازش با این سوانح به‌منظور کاهش تلفات جانی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. تخصیص بهینه منابع و مکان‌یابی درست مراکز درمانی، از موضوعاتی هستند که مدیران و تصمیم‌گیرندگان می‌توانند روی آن تمرکز کرده و عملکرد خود را در رابطه با خدمت‌رسانی به آسیب‌دیدگان بهبود بخشند.

به علت تعداد زیاد مجروحین و آسیب‌دیدگان پس از سوانح، در اغلب بیمارستان‌ها و مراکز درمانی ظرفیت کافی برای خدمت‌دهی به آن‌ها وجود ندارد. علاوه بر این، در رابطه با سوانحی مثل سیل و زلزله، اکثر بیمارستان‌ها و مراکز درمانی که در نزدیکی مناطق آسیب‌دیده هستند، تخریب‌شده و استفاده از آن‌ها غیرممکن می‌شود. بنابراین استقرار تسهیلات بهداشتی و درمانی متحرک که تحت عنوان بیمارستان‌های صحرایی شناخته می‌شوند، می‌تواند تا حدودی مشکل کمبود ظرفیت و عدم توانایی خدمات پزشکی محلی را برطرف کند، اما باید به این نکته توجه داشت که بیمارستان‌های صحرایی در صورتی مفید خواهند بود که در همان روزهای اولیه پس از وقوع سانحه در محل استقرار یابند تا بتوانند از تلفات زیاد جلوگیری کنند و عملیات امدادرسانی سریع‌تر و با کیفیت‌تری انجام شود (اختری‌اقدم و نوری‌زاده، ۱۳۸۵). نکته مهم دیگری که در احداث بیمارستان‌های صحرایی باید توجه داشت، در رابطه با محل استقرار بیمارستان‌های صحرایی است. درواقع، اگر این تسهیلات درمانی در فاصله خیلی دوری نسبت به نواحی آسیب‌دیده احداث شوند، مدت‌زمان انتقال مجروحان از نواحی آسیب‌دیده به این تسهیلات زیاد می‌شود که همین عامل به افزایش تلفات جانی منجر می‌شود. بنابراین یکی از موضوعاتی که این پژوهش به آن می‌پردازد، تعیین محل مناسب بیمارستان‌های صحرایی است.

موضوع دیگری که پس از سوانح طبیعی بسیار مهم و حیاتی است، استفاده صحیح از منابع محدود است. یکی از اولین اقدامات حیاتی بعد از سوانح، امدادرسانی به مصدومان و انتقال آن‌ها به مراکز درمانی با وسایل نقلیه امدادی نظیر آمبولانس است. بنابراین نحوه تخصیص وسایل نقلیه امدادی به نواحی آسیب‌دیده بسیار مهم است. منبع دیگری که باید به آن توجه داشت، بودجه لازم برای احداث بیمارستان‌های صحرایی است. درواقع، استقرار هر بیمارستان صحرایی هزینه‌هایی را برای سازمان‌ها به بار می‌آورد.

بنابراین سازمان‌ها باید از بودجه محدودی که در دست دارند، به بهترین شکل ممکن استفاده کنند. از دیگر منابع پزشکی مهم می‌توان به داروهای پزشکی، تخت و پرسنل پزشکی (پزشکان و پرستاران) اشاره کرد که این منابع باید به هر بیمارستان صحرایی که استقرار می‌یابد، به شیوه مناسب تخصیص یابد. این پژوهش، تمام این منابع را دربر می‌گیرد و بر روی چگونگی استفاده از آن‌ها تمرکز می‌کند.

سؤالات اصلی این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

- به چه تعداد بیمارستان صحرایی در شهر آمل نیاز است و این بیمارستان‌های صحرایی در چه مکان‌هایی باید احداث شوند؟
- سایر سؤالات این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:
- از منابع موجود چگونه استفاده شود تا به افراد بیشتری بتوان خدمت‌رسانی کرد؟

- تأثیر مقدار بودجه بر کیفیت خدمت‌رسانی به مصدومان چگونه خواهد بود؟

بخش پیشینه پژوهش، به مرور ادبیات مسائل مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی و تخصیص منابع پزشکی اختصاص دارد. در بخش روش تحقیق، درمورد روش انجام پژوهش بحث می‌شود. در بخش شرح مسئله، مسئله موردبحث در این پژوهش همراه با مفروضات آن، به‌صورت دقیق شرح داده و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای آن ارائه می‌شود. در بخش مطالعه موردی، مدل پیشنهادی به کمک داده‌های مربوط به شهر آمل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و جواب بهینه مسئله و بینش‌های مدیریتی در بخش یافته‌ها ارائه می‌شود. در آخر، نتایج کلی پژوهش و پیشنهادات برای مطالعات آینده در بخش نتیجه‌گیری آورده شده است.

پیشینه پژوهش

مطالعات نسبتاً زیادی در زمینه مکان‌یابی مراکز درمانی و تخصیص منابع در هنگام بحران‌ها انجام شده است. لئو و لیانگ (۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی خطی پویا و ۳ سطحی برای تخصیص منابع پزشکی که مبتنی بر مدل‌های انتشار اپیدمی است، ارائه کرده‌اند. هدف این تحقیق، به حداقل رساندن هزینه‌های حمل‌ونقل منابع پزشکی در ۳ سطح مختلف است. آن‌ها برای حل این مسئله، یک الگوریتم ابتکاری پیشنهاد داده‌اند. زهیری و همکاران (۲۰۱۴) به‌منظور افزایش کارایی شبکه زنجیره تأمین پیوند اعضا، یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی استوار برای مسئله مکان‌یابی تخصیص چنددوره‌ای ارائه دادند. هدف این مطالعه به حداقل رساندن مجموع هزینه‌هاست که شامل هزینه‌های استقرار مراکز درمانی، هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل و هزینه‌های مربوط به تقاضاهای برآورده‌نشده می‌باشد.



کویانس و ارول (۲۰۱۰)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه برای تخصیص بهینه منابع در هنگام همه‌گیری آنفولانزا ارائه کرده‌اند. منابع موردنظر آن‌ها شامل بودجه برای واکسیناسیون، تخت‌های بخش مراقبت‌های ویژه، دستگاه‌های تنفسی و تخت‌های بخش مراقبت‌های غیرویزه^۵ است. این مدل ریاضی دارای ۳ هدف، شامل به حداقل رساندن تعداد مرگ‌ومیر، تعداد موارد مبتلا و مجموع روزهای بیماری در طول اپیدمی آنفولانزا است. **آپورنک (۲۰۲۱)** به تخصیص نیروی انسانی در بخش اورژانس بیمارستان در طول همه‌گیری کرونا پرداخته است. او یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف به حداقل رساندن تعداد پرستاران موردنیاز در شیفت‌های مختلف ارائه کرد. **آنیاراسان و لژون (۲۰۱۹)**، به مکان‌یابی مراکز درمانی در هنگام شیوع اپیدمی و همچنین تخصیص منابع پزشکی، مانند پرسنل پزشکی، آمبولانس‌ها، داروی پزشکی و تخت‌ها پرداختند. آن‌ها یک رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح با هدف بیشینه‌سازی خدمت‌رسانی به بیماران، پیشنهاد داده و با داده‌های مربوط به شیوع وبا در کشور هائیتی در سال ۲۰۱۰ آن را ارزیابی کردند.

در پژوهش حاضر که توسعه‌ای از مقاله **آنیاراسان و لژون (۲۰۱۹)** است، علاوه بر محدودیت منابعی که آن‌ها در نظر گرفتند، محدودیتی برای زمان اتمام امداد رسانی در نظر گرفته شده است و وسایل نقلیه امدادی تا زمان مشخصی فرصت دارند تا به مصدومان خدمت‌رسانی کنند. همچنین توسعه دیگری که صورت گرفته است، مربوط به بیمارستان‌های فعال در اطراف نواحی آسیب‌دیده (بیمارستان‌هایی که در اثر سانحه تخریب نشده‌اند و ظرفیت پذیرش آسیب‌دیدگان را دارند) است که در مدل لحاظ شده است و آسیب‌دیدگان می‌توانند علاوه بر بیمارستان‌های صحرایی احداث‌شده، به بیمارستان‌های فعال در اطراف نواحی آسیب‌دیده نیز منتقل شوند. در **جدول شماره ۱** مطالعات انجام‌شده در زمینه مکان‌یابی مراکز درمانی و تخصیص منابع به صورت خلاصه آورده شده است.

روش

در این پژوهش به مدل‌سازی ریاضی مسئله مکان‌یابی مراکز درمانی موقت و تخصیص منابع بعد از زلزله پرداخته شده و برای ارزیابی مدل پیشنهادی، از داده‌های واقعی شهر آمل واقع در استان مازندران استفاده شد. روش حل مدل پیشنهادی نیز یک روش دقیق محسوب می‌شود که جواب بهینه را با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز به دست می‌آورد. در بخش بعدی به شرح دقیق مسئله و مدل ریاضی پیشنهادی پرداخته می‌شود.

کو و همکاران (۲۰۱۶) به تخصیص و طراحی ظرفیت مراکز فوریت‌های پزشکی^۲ در یک منطقه معین پرداختند. مرکز درمانی انتخاب‌شده در ازای ارائه خدمات پزشکی، مقدار مشخصی یارانه از دولت دریافت می‌کند. در این مطالعه، یک رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح برای به حداقل رساندن کل مبلغ یارانه‌های پرداخت‌شده توسط دولت ارائه شده است. **سان و همکاران (۲۰۱۴)** بر تخصیص بیماران و منابع بیمارستان‌ها در یک شبکه مراقبت‌های بهداشتی تمرکز می‌کنند. مدل‌های ریاضی ارائه‌شده در این مطالعه به منظور بهینه‌سازی تخصیص بیماران است که روی کمینه کردن مسافت پیموده‌شده بیماران تا بیمارستان‌ها تمرکز می‌کنند. در مطالعه **کسای و کلتون (۲۰۱۳)** بودجه ثابتی باید به تسهیلات بهداشتی تخصیص پیدا کند. آن‌ها یک رویکرد شبیه‌سازی بهینه‌سازی برای این مسئله ارائه دادند.

رامیرز و همکاران (۲۰۲۱) مکان‌یابی مراکز خدماتی درمانی و تخصیص نیروی انسانی به آن مراکز را با هدف به حداقل رساندن زمان خدمت‌رسانی به افراد، در منطقه آسیب‌دیده مورد بررسی قرار دادند. همچنین یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله با مقیاس بزرگ پیشنهاد کرده‌اند. **آپته و همکاران (۲۰۱۵)** با یک مدل برنامه‌ریزی خطی به مکان‌یابی نقاط جمع‌آوری مصدومان^۳ با هدف بیشینه‌سازی توان عملیاتی در مواجهه با مصدومان می‌پردازند. در تحقیق آن‌ها سعی می‌شود میزان استفاده از پرسنل، واحدهای ضد عفونی و آمبولانس‌ها تعیین شود و مقدار کمبودها مشخص شود. **لی، اسمالی و همکاران (۲۰۰۹)** به تعیین تعداد مراکز توزیع موردنیاز می‌پردازند. مدل‌های ارائه‌شده در این تحقیق، تراکم جمعیت، حداکثر مسافتی که افراد باید طی کنند، انواع تسهیلات خصوصی و عمومی موجود و پرسنل در دسترس برای مراکز توزیع را در نظر گرفته شده و از رویکرد شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ استفاده شده است.

زاریک و براندو (۲۰۰۲) مدلی را برای تخصیص منابع برای کنترل همه‌گیری مدل‌سازی کرده و از الگوریتم‌های ابتکاری برای حل مسئله استفاده کرده‌اند. ضمناً آن‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نشان داده‌اند تخصیص منابع در طول افق زمانی مسئله، به جای تخصیص منابع در ابتدای افق زمانی، می‌تواند مزایای زیادی را به همراه داشته باشد. **اویانگ و همکاران (۲۰۲۰)**، از مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل ریاضی برای تخصیص تخت در بخش مراقبت‌های ویژه بیمارستان در دوره‌هایی که تقاضای بیماران زیاد است، استفاده کرده و یک مدل ریاضی پیچیده که در آن شرایط سلامتی بیماران باتوجه به زنجیره مارکوف^۴ در طول زمان تغییر می‌کند، ارائه دادند. در این تحقیق با هدف به حداقل رساندن متوسط میزان مرگ‌ومیر در بلندمدت، سیاست‌های بهینه تحت شرایط خاص ارائه شده است.

2. Emergency medical center

3. Casualty Collection Points

4. Markov Chain

5. Non-Intensive Care Unit



جدول ۱. مرور پیشینه موضوع مکان‌یابی مراکز درمانی و تخصیص منابع

مقاله	نوع مسئله		ویژگی‌های مسئله		منابع در نظر گرفته شده				محدودیت		
	تخصیص	مکان‌یابی	اهداف	رویکرد	بودجه	نیروی انسانی	وسیله نقلیه	تخت	دارو	ظرفیت	زمان اتمام خدمت‌رسانی
لثو و لیانگ (۲۰۱۳)	✓		کمیته کردن هزینه‌های حمل‌ونقل	مدل برنامه‌ریزی پویا					✓	✓	
زهیری و همکاران (۲۰۱۴)	✓	✓	کمیته کردن هزینه‌های حمل‌ونقل و استقرار و تقاضاهای برآورده‌نشده	مدل برنامه‌ریزی احتمالی استوار			✓			✓	✓
کو و همکاران (۲۰۱۶)	✓	✓	کمیته کردن کل یارانه‌های پرداخت‌شده توسط دولت	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح	✓	✓		✓		✓	
سان و همکاران (۲۰۱۴)	✓		کمیته کردن مجموع مسافت پیموده‌شده توسط بیماران	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح				✓		✓	
کسای و کلنون (۲۰۱۳)	✓		پیشینه کردن شرایط سلامتی بیماران	مدل شبیه‌سازی بهینه‌سازی	✓					✓	
کویانس و ارول (۲۰۱۰)	✓		کمیته کردن تعداد مرگ‌ومیر و تعداد موارد مبتلا و مجموع روزهای بیماری	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح				✓			
رامیرز و همکاران (۲۰۲۱)	✓	✓	کمیته کردن زمان خدمت‌رسانی به افراد آسیب‌دیده	مدل بهینه‌سازی ریاضی، الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب				✓		✓	✓
آیته و همکاران (۲۰۱۵)	✓		پیشینه کردن توان عملیاتی در مواجهه با مصدومان	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح		✓	✓	✓	✓	✓	✓
لی و همکاران (۲۰۰۹)	✓		کمیته کردن تعداد تسهیلات مورد نیاز	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح، رویکرد شبیه‌سازی		✓		✓		✓	
زاریک و براندو (۲۰۰۲)	✓		پیشینه کردن حالت سلامتی بیماران، کمیته کردن شیوع بیماری	مدل برنامه‌ریزی پویا	✓					✓	
اویانگ و همکاران (۲۰۲۰)	✓		کمیته کردن تعداد مرگ‌ومیر در بلندمدت	نظریه صف				✓		✓	
آپورنک (۲۰۲۱)	✓		کمیته کردن تعداد پرستاران موردنیاز	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح		✓					
آنیاراسان و لژون (۲۰۱۹)	✓	✓	پیشینه کردن خدمت‌رسانی به بیماران	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
این مقاله	✓	✓	پیشینه کردن خدمت‌رسانی به آسیب‌دیدگان	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



شرح مسئله

کمبود بیمارستان و پرسنل پزشکی در نواحی آسیب‌دیده، در اغلب سوانح طبیعی و انسان‌ساخت همچون زلزله، سیل و جنگ احساس می‌شود. همچنین تخلیه آسیب‌دیدگان و رساندن آن‌ها به بیمارستان زمان‌بر خواهد بود. درحالی‌که برخی از افراد آسیب‌دیده، نیازمند دریافت خدمات درمانی در اولین ساعات سانحه هستند. بنابراین احداث بیمارستان‌های صحرایی در محل‌های مناسب در هنگام بحران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مسئله‌ای که در این تحقیق، به بررسی و مدل‌سازی آن پرداخته شده است، یک مسئله مکان‌یابی تخصیص پس از وقوع بحران است. در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب برای احداث بیمارستان‌های صحرایی از بین مکان‌های منتخب ارائه شده است. همچنین در این مدل، مسئله تخصیص بهینه آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های فعال دارای ظرفیت پذیرش آسیب‌دیدگان در اطراف نواحی آسیب‌دیده نیز مطرح می‌شود. همچنین تعداد محدودی پرسنل پزشکی (پرستاران و پزشکان) در دسترس هستند که باید به بیمارستان‌های صحرایی تخصیص یابند. به‌طور کلی این تحقیق، بر روی استفاده بهینه از منابع موجود و محدودی، مثل بودجه، تخت‌های بیمارستان‌ها، داروهای پزشکی، پرسنل پزشکی و آمبولانس‌ها تمرکز می‌کند تا به بهبود در عملکرد و تصمیم‌گیری سازمان‌ها منجر شود.

مفروضات اصلی در نظر گرفته‌شده برای مدل ریاضی توسعه داده‌شده در این مقاله به‌صورت زیر هستند:

- منطقه آسیب‌دیده به نواحی کوچک‌تری تقسیم می‌شود و تعداد آسیب‌دیدگان هر ناحیه که باید به بیمارستان منتقل شوند، با جمعیت و شدت تخریب آن ناحیه برآورد می‌شود. شدت تخریب هر ناحیه آسیب‌دیده به دلیل ماهیت غیرقطعی آن، به‌صورت یک عدد فازی در مدل در نظر گرفته شده است.

- ۲ نوع بیمارستان در مدل لحاظ شده است: نوع اول بیمارستان‌های فعال در اطراف نواحی آسیب‌دیده هستند که ظرفیت و توانایی پذیرش آسیب‌دیدگان را دارند. نوع دوم بیمارستان‌های صحرایی هستند که می‌بایست با در نظر گرفتن بودجه محدودی که در دسترس است، در مکان‌های منتخب احداث شوند.

سایر مفروضات مسئله به‌صورت زیر هستند:

- درصدی از تخت‌های بیمارستان‌های صحرایی برای بیماران خدمات اورژانس و یا آسیب‌دیدگان انتقالی به بیمارستان با وسیله‌ای به غیر از آمبولانس (فرضاً با وسیله شخصی) اختصاص داده می‌شود.

- ظرفیت آمبولانس‌ها برای انتقال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌ها با هم متفاوت است.

- افق برنامه‌ریزی برای انتقال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌ها با آمبولانس، محدود فرض شده است (این زمان برای بحران‌هایی همانند زلزله معمولاً ۷۲ ساعت در نظر گرفته می‌شود).

- هر آمبولانس در طول افق برنامه‌ریزی حداکثر به یک ناحیه آسیب‌دیده می‌تواند تخصیص داده شود.

- انتقال آسیب‌دیدگان یک ناحیه با آمبولانس، فقط به بیمارستان‌هایی مجاز است که فاصله زمانی بین آن‌ها بیشتر از فاصله مجاز زمانی نباشد.

تصویر شماره ۱ نمای گرافیکی از مسئله موردنظر را نشان می‌دهد.



تصویر ۱. نمای گرافیکی از مسئله موردنظر



مجموعه‌ها

۱: مجموعه نواحی آسیب‌دیده؛

l_1 : مجموعه بیمارستان‌های دارای ظرفیت پذیرش آسیب‌دیدگان در اطراف نواحی آسیب‌دیده؛

l_2 : مجموعه مکان‌های منتخب برای احداث بیمارستان صحرایی؛

j : مجموعه نواحی آسیب‌دیده‌ای که در فاصله زمانی مجاز نسبت به بیمارستان j قرار دارند؛

l_1 : مجموعه بیمارستان‌هایی که در فاصله زمانی مجاز نسبت به ناحیه آسیب‌دیده i قرار دارند؛

R : مجموعه انواع پرسنل پزشکی (پزشک و پرستار)؛

K : مجموعه آمبولانس‌ها؛

L : مجموعه انواع بیمارستان‌های صحرایی (چادری، کانکسی، ترکیبی)؛

پارامترها

P_1 : جمعیت ناحیه آسیب‌دیده i ؛

$\tilde{\theta}_i$: شدت تخریب ناحیه i ؛

t_{ij} : مدت زمان سفر آمبولانس از ناحیه آسیب‌دیده i تا بیمارستان j (بر حسب ساعت)؛

v_{ij} : مدت زمان اضافی که آمبولانس برای رفت و برگشت از ناحیه آسیب‌دیده i به بیمارستان j به دلایل مختلف از جمله زمان سرویس، سوخت‌گیری و ترافیک بایستی صرف کند (بر حسب ساعت)؛

T : مدت زمان افق برنامه‌ریزی (بر حسب ساعت)؛

B : مقدار بودجه در دسترس برای احداث بیمارستان صحرایی؛

cb_i : تعداد تخت‌های بیمارستان صحرایی نوع i ؛

h_i : هزینه احداث بیمارستان صحرایی نوع i ؛

e_i : ظرفیت داروی پزشکی صحرایی نوع i ؛

c_i : ظرفیت پذیرش بیمارستان j برای آسیب‌دیدگان $i \in I_1$ ؛

ca_k : ظرفیت آمبولانس k برای حمل آسیب‌دیدگان؛

q : تعداد آمبولانس‌های موجود؛

m_r : تعداد پرسنل پزشکی در دسترس نوع r ؛

u_r : تعداد آسیب‌دیدگانی که پرسنل پزشکی نوع r در هر روز می‌توانند خدمت‌رسانی کنند؛

$n-\min_r$: حداقل تعداد پرسنل پزشکی نوع r که برای بیمارستان صحرایی نوع i مورد نیاز است؛

$n-\max_r$: حداکثر تعداد پرسنل پزشکی نوع r که برای بیمارستان صحرایی نوع i مورد نیاز است؛

β : درصدی از تخت‌های بیمارستان‌های صحرایی که به سایر خدمات اورژانسی (همانند آپاندیسیت) و یا آسیب‌دیدگان انتقالی به بیمارستان با وسیله‌ای به غیر از آمبولانس (فرضاً با وسیله شخصی) اختصاص داده می‌شود؛

متغیرها

s_{ijk} : تعداد افراد آسیب‌دیده که از ناحیه آسیب‌دیده i به وسیله آمبولانس k به بیمارستان واقع در گره j منتقل می‌شوند ($j \in J$)؛

x_{ij} : متغیر صفر و ۱: اگر بیمارستان صحرایی نوع i در گره j منتخب ز استقرار یابد، ۱ و در غیر این صورت صفر است. ($j \in J$)؛

y_{ijk} : متغیر صفر و ۱: اگر آمبولانس k به ناحیه آسیب‌دیده i تخصیص داده شود، ۱ و در غیر این صورت صفر است؛

w_{ijk} : تعداد سفرهای آمبولانس k که از ناحیه آسیب‌دیده i به بیمارستان واقع در گره j انجام می‌شود؛

z_{jr} : تعداد پرسنل پزشکی نوع r که به بیمارستان صحرایی واقع در گره j کاندید ز تخصیص می‌یابد ($j \in J$)؛

مدل ریاضی

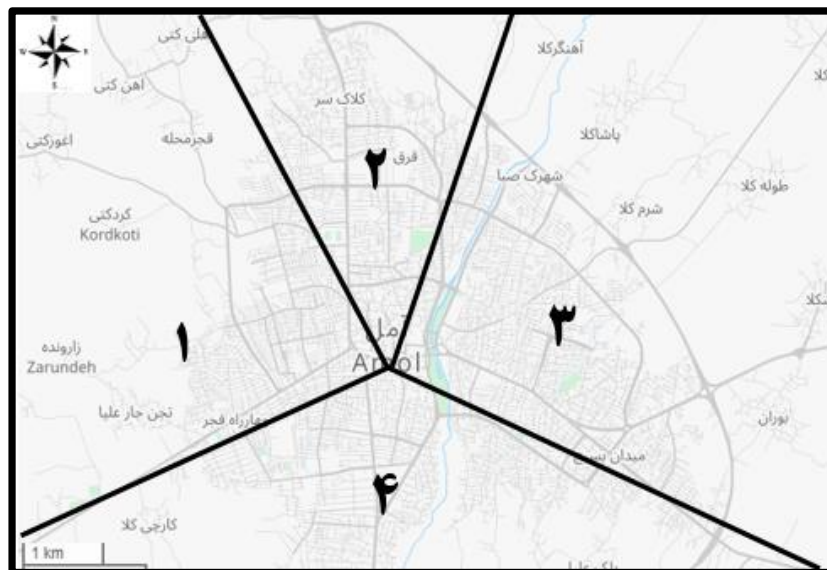
جدول شماره ۲ مدل ریاضی پیشنهادی را نشان می‌دهد که از نوع مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح است. فرمول شماره ۱، تابع هدف مدل و فرمول‌های شماره ۲ تا ۲۲ محدودیت‌های مدل را نشان می‌دهند. در ادامه به شرح تابع هدف و محدودیت‌های موردنظر پرداخته می‌شود.

تابع هدف ۱، به منظور بیشینه‌سازی مجموع مصدومان منتقل شده به بیمارستان‌ها است. محدودیت ۲ تضمین می‌کند که مجموع آسیب‌دیدگانی که از یک ناحیه آسیب‌دیده با آمبولانس‌ها به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند، نمی‌تواند بیشتر از تعداد آسیب‌دیدگان آن ناحیه باشد. محدودیت ۳ به این نکته اشاره دارد که مجموع آسیب‌دیدگان پذیرش شده در یک بیمارستان صحرایی، نباید از تعداد آسیب‌دیدگانی که پرسنل پزشکی در طول افق برنامه‌ریزی می‌توانند به آن‌ها خدمت‌رسانی کنند، بیشتر باشد. محدودیت ۴ تضمین می‌کند که مجموع آسیب‌دیدگانی که به یک بیمارستان فعال در اطراف ناحیه آسیب‌دیده منتقل می‌شوند، نباید از ظرفیتی که آن بیمارستان برای پذیرش آسیب‌دیدگان این بحران تعیین کرده است، بیشتر باشد.



جدول ۲. تابع هدف و محدودیت‌های مدل ریاضی پیشنهادی

تابع هدف		
$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{k \in K} s_{ijk}$		۱
محدودیت‌ها		
$\sum_{j \in J_i} \sum_{k \in K} s_{ijk} \leq \tilde{\theta}_i * p_i$	$\forall i \in I$	۲
$\sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K} s_{ijk} + \sum_{l \in L} (x_{jl} * cb_l * \beta) \leq \sum_{r \in R} (z_{jr} * u_r * \frac{T}{24})$	$\forall j \in J_2$	۳
$\sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K} s_{ijk} \leq c_j$	$\forall j \in J_1$	۴
$\sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K} s_{ijk} \leq \sum_{l \in L} (x_{jl} * cb_l * (1 - \beta))$	$\forall j \in J_2$	۵
$\sum_{j \in J_2} \sum_{l \in L} (h_l * x_{jl}) \leq B$		۶
$s_{ijk} \leq ca_k * w_{ijk}$	$\forall i \in I, j \in J_i, k \in K$	۷
$w_{ijk} \leq \frac{s_{ijk}}{ca_k} + 1$	$\forall i \in I, j \in J_i, k \in K$	۸
$\sum_{l \in L} x_{jl} \leq 1$	$\forall j \in J_2$	۹
$\sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K} s_{ijk} \leq \sum_{l \in L} (x_{jl} * e_l)$	$\forall j \in J_2$	۱۰
$\sum_{j \in J_i} (w_{ijk} * (\tau t_{ij} + \gamma_{ij})) \leq T * y_{ik}$	$\forall i \in I, k \in K$	۱۱
$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} y_{ik} \leq q$		۱۲
$\sum_{i \in I} y_{ik} \leq 1$	$\forall i \in I$	۱۳
$z_{jr} \leq \sum_{l \in L} (x_{jl} * n_{\max_{lr}})$	$\forall j \in J_2, r \in R$	۱۴
$z_{jr} \geq \sum_{l \in L} (x_{jl} * n_{\min_{lr}})$	$\forall j \in J_2, r \in R$	۱۵
$\sum_{j \in J_2} z_{jr} \leq m_r$	$\forall r \in R$	۱۶
$y_{ik} \leq \sum_{j \in J_i} s_{ijk}$	$\forall i \in I, k \in K$	۱۷
$s_{ijk} \geq 0, \text{integer}$	$\forall i \in I, j \in J_i, k \in K$	۱۸
$w_{ijk} \geq 0, \text{integer}$	$\forall i \in I, j \in J_i, k \in K$	۱۹
$z_{jr} \geq 0, \text{integer}$	$\forall j \in J_2, r \in R$	۲۰
$x_{jl} \in \{0, 1\}$	$\forall j \in J_2, l \in L$	۲۱
$y_{ik} \in \{0, 1\}$	$\forall i \in I, k \in K$	۲۲



تصویر ۵. تقسیم‌بندی شهر آمل به ۴ ناحیه (اطلس شهری استانی ایران، ۱۴۰۲)

مطالعه موردی: شهر آمل

زلزله یکی از سوانح طبیعی است که همواره تهدیدی برای انسان بوده و به تلفات انسانی و خسارات مالی منجر می‌شود. کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده است. براساس پایگاه داده بین‌المللی سوانح^۶، از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد، کشور ایران با ۵۵ مورد زلزله مواجه بوده است که مجموعاً به مصدوم شدن بیش از ۴۶۰۰۰ نفر و فوت بیش از ۲۸۰۰۰ نفر منجر شده است. بیشتر این آمار مربوط به زلزله بم بوده که به بزرگی ۶/۶ ریشتر در سال ۱۳۸۲ در شهر بم استان کرمان رخ داد و به مصدوم شدن بیش از ۲۲۰۰۰ نفر و فوت بیش از ۲۶۰۰۰ نفر منجر شد (پایگاه داده بین‌المللی سوانح، ۲۰۲۳).

یکی از استان‌هایی که در شمال ایران قرار دارد، استان مازندران است که در مجاورت رشته‌کوه زاگرس قرار دارد و به دلیل قرار گرفتن روی گسل شمال البرز، از نواحی زلزله‌خیز کشور به شمار می‌رود. شهر آمل بعد از ساری پرجمعیت‌ترین شهر استان مازندران به حساب می‌آید که حدود ۲۷۰۰۰۰ نفر جمعیت دارد و در معرض خطر زلزله است. همچنین، شهر آمل بزرگ‌ترین قطب صنعتی استان مازندران بوده و به دلیل موقعیت استراتژیک و جغرافیایی به خاطر وجود جنگل‌های انبوه، وصل بودن به جاده تهران-شمال، همجواری با استان تهران و چند راه ارتباطی تهران با شهرستان‌های دیگر استان مازندران و همچنین توریست‌پذیر بودن، یکی از شهرهای مهم استان مازندران محسوب می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی صحیح و مناسب، جهت پیشگیری یا کاهش آثار خطر احتمالی و تشکیل ستاد مدیریت بحران در این شهر و آمادگی لازم جهت امدادرسانی صحیح و کارآمد بسیار

محدودیت ۵ بیان می‌کند که مجموع تعداد آسیب‌دیدگانی که با آمبولانس به یک بیمارستان صحرایی منتقل می‌شوند، از تعداد تخت‌هایی که برای این منظور در نظر گرفته شده است، بیشتر نباشد. محدودیت ۶ مقدار بودجه در دسترس برای احداث بیمارستان‌های صحرایی را در نظر می‌گیرد.

محدودیت ۷ تضمین می‌کند که آمبولانس در هر سفر، حداکثر به اندازه ظرفیت خود می‌تواند آسیب‌دیدگان را حمل کند. محدودیت ۸ یک حد بالا برای تعیین تعداد سفرهای آمبولانس‌ها در نظر می‌گیرد. محدودیت ۹ تضمین می‌کند که در هر گره منتخب، حداکثر ۱ نوع بیمارستان صحرایی می‌تواند استقرار یابد. محدودیت ۱۰ به این نکته اشاره دارد که آسیب‌دیدگان به شرطی می‌توانند به بیمارستان صحرایی منتقل شوند که داروی کافی برای درمان آن‌ها در دسترس باشد. محدودیت ۱۱ بیان می‌کند که آمبولانس‌ها حداکثر تا افق برنامه‌ریزی، فرصت خدمت‌رسانی به آسیب‌دیدگان را دارند. محدودیت ۱۲ اطمینان حاصل می‌کند که تعداد آمبولانس‌های تخصیص‌یافته به نواحی آسیب‌دیده از تعداد آمبولانس‌های موجود بیشتر نباشد. محدودیت ۱۳ تضمین می‌کند که هر آمبولانس به بیش از یک ناحیه آسیب‌دیده تخصیص داده نشود. محدودیت‌های ۱۴ و ۱۵ مشخص می‌کنند که حدود بالا و پایین برای تعیین تعداد پرسنل در دسترس بیشتر نشود. محدودیت ۱۷ تضمین می‌کند که اگر آمبولانس k هیچ‌یک از آسیب‌دیدگان ناحیه A را به بیمارستان‌ها منتقل نکند، آمبولانس k نمی‌تواند به ناحیه i تخصیص پیدا کند. محدودیت‌های ۱۸ تا ۲۲ نیز دامنه متغیرها را نشان می‌دهند.

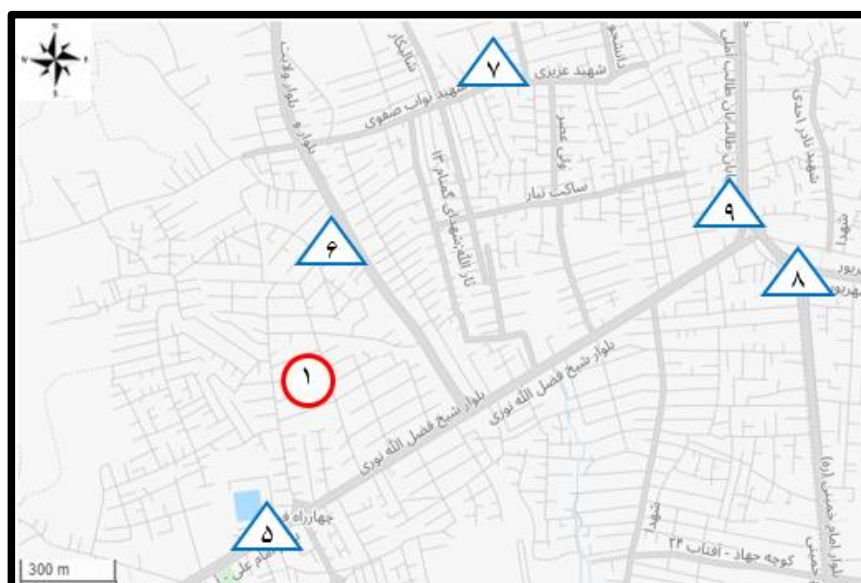
6. The international disasters database (EM-DAT)

جدول ۳. مکان‌های منتخب در شهر آمل

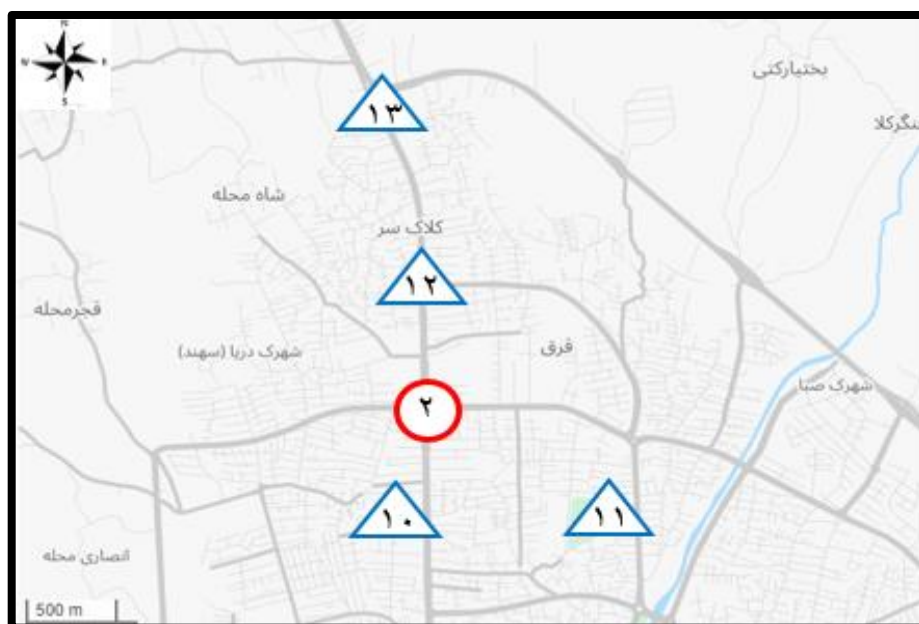
شماره گره در نقشه	نام محل منتخب
۵	پارک بانوان شاهد
۶	ابن سینا
۷	پارک بنفشه
۸	میدان هفده شهریور
۹	سه راه نور
۱۰	استادیوم
۱۱	ارشاد
۱۲	ابتدای بلوار میرزا هاشم آملی
۱۳	ابتدای کمربندی آمل
۱۴	سهراب کهنه خط
۱۵	ابتدای بلوار شهید منفرد
۱۶	پارک طلایی
۱۷	میدان قائم
۱۸	ابتدای کمربندی هراز
۱۹	وچه بانک خون

تعیین نواحی آسیب‌دیده و مکان‌های منتخب برای احداث بیمارستان‌های صحرایی در شهر آمل، از مهم‌ترین اطلاعاتی بود که برای ارزیابی مدل ریاضی پیشنهادی، لازم بود تهیه شوند. در مطالعه ملا داوودی و همکاران (۱۳۹۴) ۱۵ محل منتخب برای احداث بیمارستان‌های صحرایی در شهر آمل مشخص شده‌اند

حیاتی و مهم است. از این‌رو، در این پژوهش شهر آمل به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده و مدل ارائه‌شده روی این شهر اعمال شد. **تصویرهای شماره ۲، ۳ و ۴** به ترتیب، موقعیت استان مازندران در ایران، موقعیت شهر آمل در استان مازندران و محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



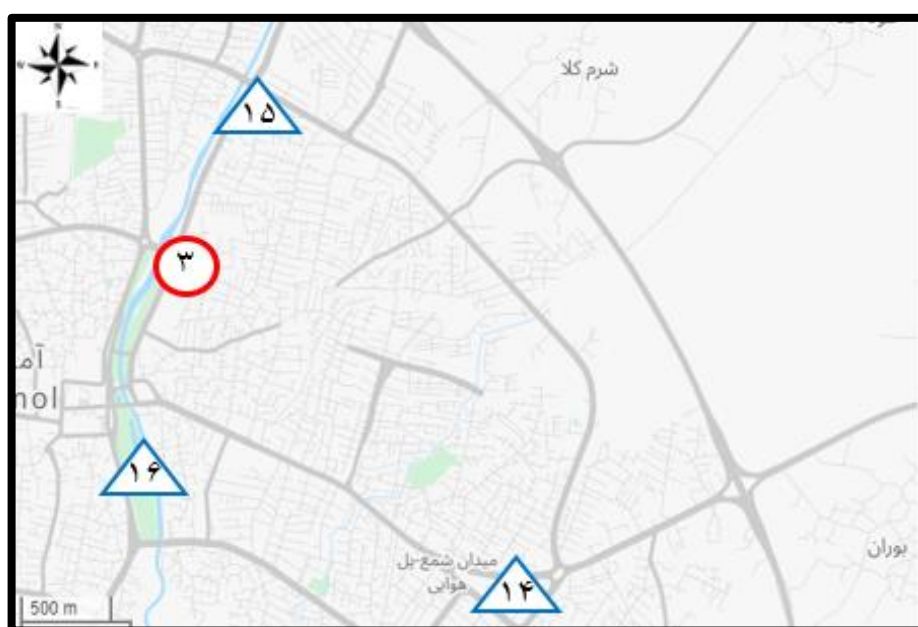
تصویر ۶. گره تقاضا و محل‌های منتخب در ناحیه ۱ (اطلس شهری استانی ایران، ۱۴۰۲)



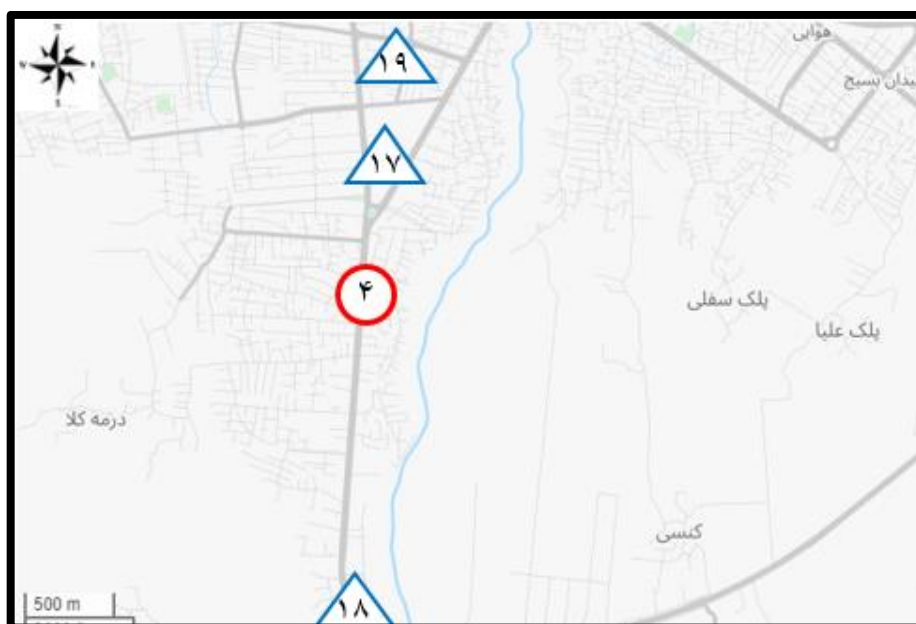
تصویر ۷. گره تقاضا و محل‌های منتخب در ناحیه ۲ (اطلس شهری استانی ایران، ۱۴۰۲)

گره‌های ۱ تا ۴) و مکان‌های منتخب (گره‌های ۵ تا ۱۹) را در نقشه برای نواحی ۱ تا ۴ به ترتیب نشان می‌دهند. تصویر شماره ۱۰ نیز محل بیمارستان‌های واقع در شهر آمل (گره‌های ۲۰ تا ۲۴) را در نقشه نشان می‌دهد. در جدول شماره ۴ اسامی این ۵ بیمارستان و شماره گره آن‌ها در نقشه آمده است. فاصله زمانی مجاز برای انتقال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌ها ۵/۵ ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین شدت تخریب هر ناحیه ($\tilde{\theta}_i$) به صورت یک عدد فازی مثلثی ($\theta_1^{(i)}, \theta_2^{(i)}, \theta_3^{(i)}$) در نظر گرفته شد و با استفاده از فرمول شماره (۲۳) قطعی شده‌اند (راس،

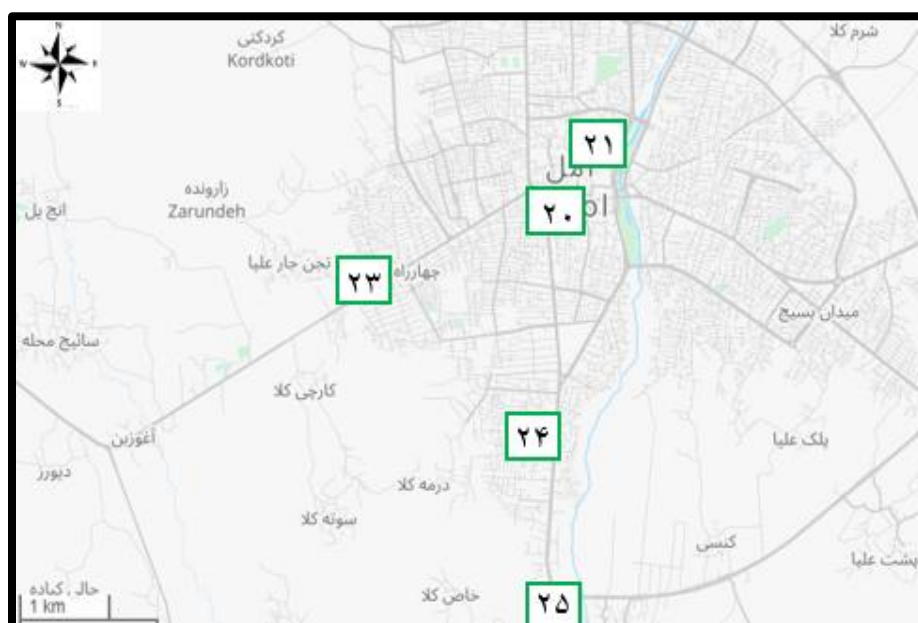
که در پژوهش حاضر همان ۱۵ محل به عنوان مکان‌های مدنظر انتخاب شدند (محل دقیق این مکان‌ها در جدول شماره ۳ شرح داده شده است). همچنین آن‌ها شهر آمل را مطابق تصویر شماره ۵ به ۴ ناحیه تقسیم‌بندی می‌کنند که در پژوهش حاضر نیز همان ۴ ناحیه به عنوان نواحی آسیب‌دیده در نظر گرفته شدند. برای تعیین فاصله زمانی بین نواحی آسیب‌دیده تا مراکز درمانی، در هر ناحیه، گرهی به عنوان گره تقاضا به صورت فرضی در نظر گرفته شد و فاصله زمانی بین گره‌ها با کمک نرم‌افزار گوگل‌مپ به دست آمد. تصویرهای شماره ۶، ۷، ۸ و ۹، گره‌های تقاضا



تصویر ۸. گره تقاضا و محل‌های منتخب در ناحیه ۳ (اطلس شهری استانی ایران، ۱۴۰۲)



تصویر ۹. گره تقاضا و محل‌های منتخب در ناحیه ۴ (اطلس شهری استانی ایران، ۱۴۰۲)



تصویر ۱۰. بیمارستان‌های واقع در شهر آمل (اطلس شهری استانی ایران، ۱۴۰۲)

جدول ۴. اسامی بیمارستان‌های واقع در شهر آمل

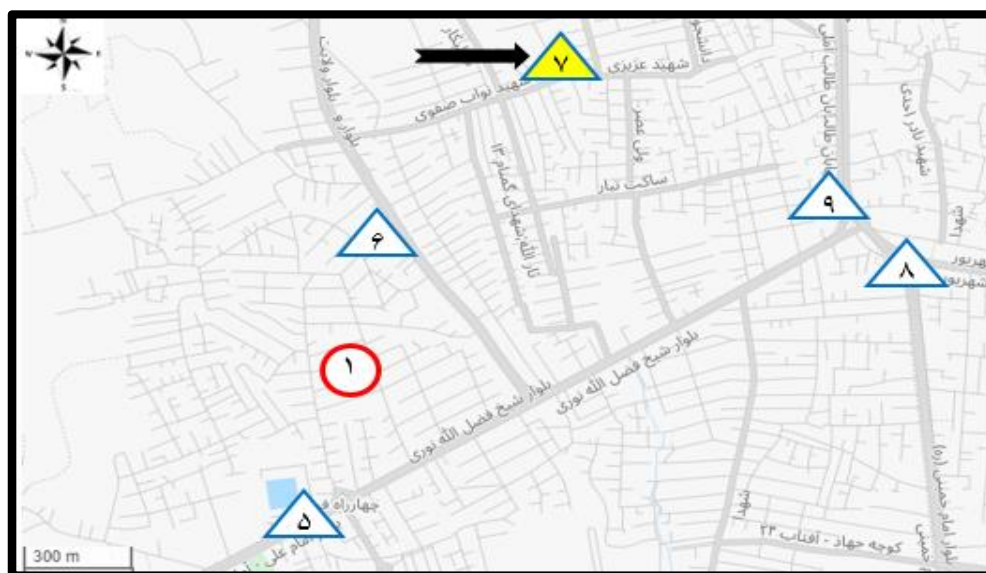
شماره گره در نقشه	نام بیمارستان
۲۰	۱۷ شهریور
۲۱	امام رضا
۲۲	امام علی
۲۳	شمال
۲۴	امام خمینی

جدول ۵. مقادیر داده‌های ورودی

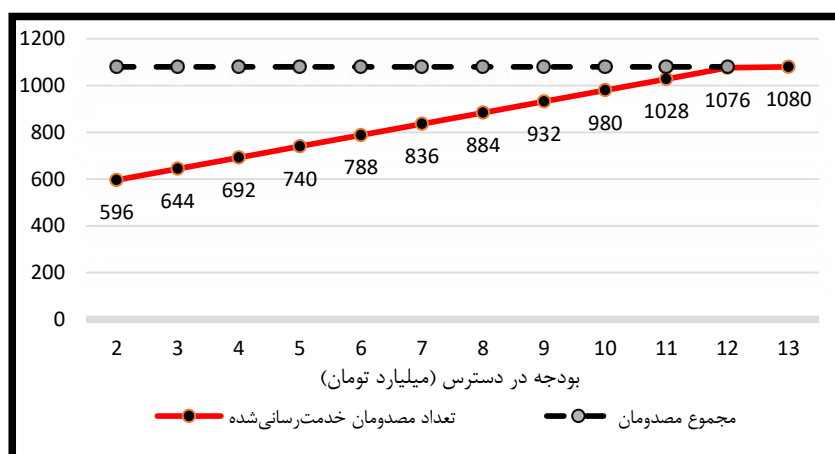
پارامتر	مقادیر	واحد	پارامتر	مقادیر	واحد
$\sum_i p_i$	۲۷۰۰۰۰	نفر	u_r	$\{۲, ۴\}$	نفر
T	۷۲	ساعت	$(\theta_1^{(i)}, \theta_r^{(i)}, \theta_r^{(v)})$	$\{۰.۰۰۱, ۰.۰۰۲, ۰.۰۰۳\}$	-
cb_l	$\{۳۰, ۶۰, ۹۰\}$	تخت	γ_{ij}	$\gamma_{ij} = ۰.۲t_{ij}$	ساعت
ca_k	۱	تخت	B	۲	میلیارد تومان
c_j	۱۰۰	تخت	h_l	$\{۰.۵, ۱, ۱.۵\}$	میلیارد تومان
m_r	$(۵۰, ۱۰۰)$	تخت	e_l	$\{۳۰, ۶۰, ۹۰\}$	جعبه
n_min_{lr}	$\{(۱, ۳), (۲, ۶), (۳, ۹)\}$	نفر	n_max_{lr}	$\{(۳, ۶), (۶, ۹), (۹, ۱۲)\}$	نفر
β	۰.۲				

جدول ۶. خروجی مدل ریاضی پیشنهادی

خروجی مدل
مجموع مصدومان خدمت‌رسانی شده = ۵۴۰ نفر
مکان‌های منتخب برای احداث بیمارستان‌های صحرایی = {۷}
مجموع تعداد بیمارستان‌های صحرایی مستقر شده با ظرفیت ۳۰ تخت = ۰
مجموع تعداد بیمارستان‌های صحرایی مستقر شده با ظرفیت ۶۰ تخت = ۱
مجموع تعداد بیمارستان‌های صحرایی مستقر شده با ظرفیت ۹۰ تخت = ۰
مجموع تعداد پرستاران تخصیص یافته به بیمارستان‌های صحرایی = ۶
مجموع تعداد پزشکان تخصیص یافته به بیمارستان‌های صحرایی = ۲
مجموع تعداد آمبولانس‌های تخصیص یافته به نواحی آسیب‌دیده = ۱۲



تصویر ۱۱. محل‌های منتخب برای احداث بیمارستان‌های صحرایی (اطلس شهری استانی ایران، ۱۴۰۲)



تصویر ۱۲. تأثیر افزایش بودجه بر روی تعداد خدمت‌رسانی به مصدومان

(۲۰۰۹).

$$23. \theta_i = \frac{\theta_1^{(i)} + 2\theta_2^{(i)} + \theta_3^{(i)}}{4}$$

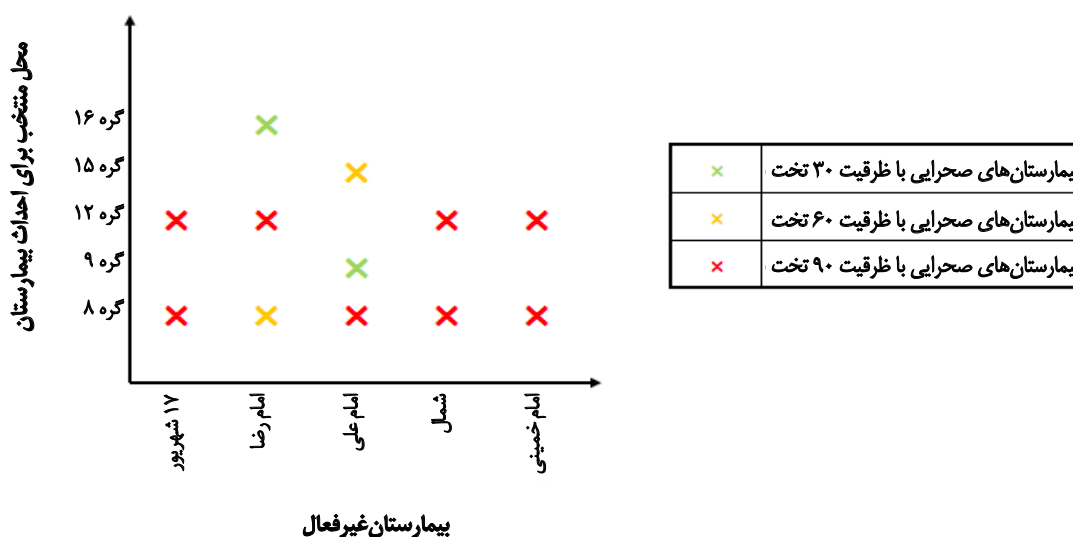
مقادیر سایر داده‌های موردنیاز به صورت فرضی ولی منطقی در نظر گرفته شده‌اند که در جدول شماره ۵ قابل مشاهده است.

یافته‌ها

این بیمارستان‌ها در هزینه احداث آن‌ها و همچنین ظرفیتشان (تعداد تخت) برای پذیرش آسیب‌دیدگان است. در این پژوهش، فرض شده است بیمارستان صحرایی نوع اول، دوم و سوم به ترتیب دارای ۳۰ تخت، ۶۰ تخت و ۹۰ تخت است. مکان بهینه‌ای که برای احداث بیمارستان صحرایی مشخص شد، گره ۷ یعنی همان پارک بنفشه است (تصویر شماره ۱۱). همچنین بیمارستان صحرایی که در گره ۷ استقرار می‌یابد، باید از نوع دوم باشد.

درواقع با ایجاد یک بیمارستان صحرایی تمام مصدومان (۵۴۰ نفر) را می‌توان در مدت ۷۲ ساعت به بیمارستان منتقل کرد. اکنون سؤالی را می‌توان مطرح کرد که «اگر شدت تخریب زلزله به گونه‌ای باشد که تعداد مصدومان دو برابر شود (۱۰۸۰ نفر)، به چه بودجه‌ای برای استقرار بیمارستان‌های صحرایی نیاز است تا تمام مصدومان را در مدت ۷۲ ساعت بتوان به مراکز درمانی منتقل کرد؟». برای پاسخ به این سؤال، تحلیل حساسیتی روی مقدار بودجه در دسترس و تعداد مصدومان خدمت‌رسانی شده انجام شد. درواقع، مقدار بودجه در دسترس به تدریج

پس از جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، مدل پیشنهادی در نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز نسخه ۲۵/۱ و با حل‌کننده GUROBI در یک رایانه با مشخصات RAM 6 GB و Intel i5-2.50 GHz قابل مشاهده اجرا شد. خروجی نرم‌افزار گمز در جدول شماره ۶ قابل مشاهده است. بیمارستان‌های صحرایی شامل انواع مختلفی هستند که ۳ نمونه از آن‌ها عبارت‌اند از: بیمارستان‌های صحرایی چادری، کانکسی و ترکیبی (آتش‌پنجه و همکاران، ۱۳۹۵). تفاوت عمده



تصویر ۱۳. تأثیر غیرفعال شدن بیمارستان‌ها بر روی محل استقرار بیمارستان‌های صحرایی



نتیجه‌گیری

امروزه جهان به دلیل تغییرات اقلیمی، زیستی و فناوری با افزایش تعداد و تنوع سوانح مواجه است. در میان چالش‌هایی که بعد از وقوع یک سانحه به وجود می‌آید، مسئله مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی و تخصیص منابع پزشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین‌منظور در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط پیشنهاد شده است که محدودیت‌های مختلفی مانند محدودیت در بودجه احداث بیمارستان‌های صحرایی، ظرفیت بیمارستان‌ها برای پذیرش آسیب‌دیدگان سانحه، تعداد آمبولانس‌ها، تعداد پرسنل پزشکی و مقدار داروهای پزشکی در دسترس، در این مدل در نظر گرفته شده است. در این پژوهش، مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی با توجه به بیمارستان‌های فعال در اطراف نواحی آسیب‌دیده انجام شده است. بنابراین آسیب‌دیدگان علاوه بر بیمارستان‌های صحرایی احداث‌شده، به بیمارستان‌های فعال نیز می‌توانند منتقل شوند. همچنین محدودیتی برای اتمام زمان خدمت‌رسانی اعمال شده. به‌طوری‌که وسایل نقلیه امدادی در مدت‌زمان محدودی، فرصت انتقال مصدومان را به مراکز امدادی در اختیار دارند.

در این راستا مسئله مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در زمان بحران‌هایی، مانند زلزله که بسیاری از مسیرها مسدود می‌شود، می‌تواند بسیار مهم باشد. بنابراین یکی از مهم‌ترین پیشنهادات برای توسعه مدل پیشنهادی، ارائه یک مدل مکان‌یابی - تخصیص - مسیریابی است. همچنین مدل پیشنهادی می‌تواند در شهرهای بزرگ‌تر و پرجمعیت‌تری مانند تهران و یا اصفهان ارزیابی شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این پژوهش، اصول اخلاقی رعایت شده و شرکت‌کنندگان از تمام مراحل پژوهش آگاهی کامل داشتند.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

مشارکت‌نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در تهیه این مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

اضافه شد تا خدمت‌رسانی به همه مصدومان تکمیل شود. **تصویر شماره ۱۲** نتایج تحلیل حساسیت را نشان می‌دهد. با توجه به **تصویر شماره ۱۲** می‌توان متوجه شد که با بودجه ۱۳ میلیارد می‌توان به تمام مصدومان خدمت‌رسانی کرد. در این مثال فرض شد که هر ۵ بیمارستان واقع در شهر آمل فعال هستند و پس از زلزله، تخریب نشده و می‌توان از ظرفیت آن‌ها برای بستری مصدومان استفاده کرد.

اکنون سؤال دیگری را می‌توان در اینجا مطرح کرد که «اگر یکی از این ۵ بیمارستان واقع در شهر آمل به دلیل شدت تخریب زلزله، غیرقابل استفاده شوند، چه تغییری در تعداد و نوع بیمارستان‌های صحرایی مستقر شده ایجاد خواهد شد؟». برای پاسخ به این سؤال، مدل پیشنهادی ۵ بار اجرا شد که در هر اجرا یکی از ۵ بیمارستان، غیرفعال و ظرفیت آن صفر در نظر گرفته شد. **تصویر شماره ۱۳** نتایج این تحلیل حساسیت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند اگر یکی از بیمارستان‌های ۱۷ شهریور، شمال و یا امام خمینی غیرفعال شود، ۲ بیمارستان صحرایی نوع سوم (۹۰ تخت) لازم است در گره‌های ۸ (میدان هفده شهریور) و ۱۲ (ابتدای بلوار میرزا هاشم آملی) استقرار یابند. اگر بیمارستان امام رضا غیرفعال شود، ۳ بیمارستان صحرایی از نوع اول (۳۰ تخت)، دوم (۶۰ تخت) و سوم (۹۰ تخت) لازم است استقرار یابند که به ترتیب در گره‌های ۱۶ (پارک طلایی)، ۸ (میدان هفده شهریور) و ۱۲ (ابتدای بلوار میرزا هاشم آملی) جای می‌گیرند. اگر بیمارستان امام علی غیرفعال شود، ۳ بیمارستان صحرایی از نوع اول (۳۰ تخت)، دوم (۶۰ تخت) و سوم (۹۰ تخت) لازم است استقرار یابند که به ترتیب در گره‌های ۹ (سره‌راه نور)، ۱۵ (ابتدای بلوار شهید منفرد) و ۸ (میدان هفده شهریور) جای می‌گیرند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که گره ۸ محل مناسبی برای احداث بیمارستان صحرایی است، زیرا در تمام ۵ حالت این گره انتخاب شده است.

بحث

در این پژوهش، شهر آمل که یکی از شهرهای پرجمعیت شهر مازندران محسوب می‌شود، به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده و مدل ریاضی پیشنهادی توسط داده‌های مربوط به این شهر ارزیابی شده است. ضمناً فرض شده است که تمام بیمارستان‌های واقع در شهر آمل بعد از سانحه طبیعی (زلزله) فعال بوده و تخریب نمی‌شوند. نتایج محاسباتی در این حالت نشان داد که بهترین مکان برای احداث بیمارستان صحرایی، در محوطه پارک بنفشه می‌باشد. ضمناً تحلیل حساسیتی بر روی مقدار بودجه در دسترس و تعداد مصدومان امداد رسانی شده انجام شد. نتایج نشان داد بودجه، تأثیر بسزایی در کیفیت خدمت‌رسانی به مصدومان خواهد داشت.

در ادامه، فرض شد شدت تخریب زلزله به‌گونه‌ای است که یکی از بیمارستان‌های شهر آمل تخریب شده و غیر فعال می‌شود. در این حالت نیز مشخص شد که یکی از مکان‌های مناسب برای احداث بیمارستان صحرایی، میدان هفده شهریور می‌باشد.

References

- Akhtari, F., & Noorizadeh, R. (2006). [Field hospitals and their role in natural disasters (Persian)]. Paper presented at: 3rd International Congress on Health, Medication and Crisis Management in Disaster, Tehran, Iran, 22 November 2006. [\[Link\]](#)
- Atash Panjeh, H., Dast Dadeh, F., & Porbin, Z. (2016). [Investigation of field hospitals from the point of view of passive defense (Persian)]. Paper presented at: National Conference on Passive Defense and Sustainable Development, Tehran, Iran, 15 October 2016. [\[Link\]](#)
- Gitashenasi. (2023). [Atlas of Tehran (Persian)]. Retrieved from: [\[Link\]](#)
- Liu, M., & Liang, J. (2013). Dynamic optimization model for allocating medical resources in epidemic controlling. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(1), 73-88. [\[DOI:10.3926/jiem.663\]](#)
- Moladavoodi, H., Paydar, M. M., & Safai, A. (2016). [Locating field hospitals with the approach of hierarchical analysis process (Persian)]. Paper presented at: The International Conference in New Research of Industry and Mechanical Engineering, Tehran, Iran, 16 February 2016. [\[Link\]](#)
- Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Pishvaei, M. S. (2014). A robust possibilistic programming approach to multi-period location-allocation of organ transplant centers under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 139-148. [\[DOI:10.1016/j.cie.2014.05.008\]](#)
- Ko, Y. D., Song, B. D., & Hwang, H. (2016). Location, capacity and capability design of emergency medical centers with multiple emergency diseases. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 10-20. [\[DOI:10.1016/j.cie.2016.08.011\]](#)
- Sun, L., DePuy, G. W., & Evans, G. W. (2014). Multi-objective optimization models for patient allocation during a pandemic influenza outbreak. *Computers & Operations Research*, 51, 350-359. [\[DOI:10.1016/j.cor.2013.12.001\]](#)
- Kasaie, P., & Kelton, W. D. (2013). Simulation optimization for allocation of epidemic-control resources. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 3(2), 78-93. [\[DOI:10.1080/19488300.2013.790717\]](#)
- Dellaert, N., Cayiroglu, E., & Jeunet, J. (2016). Assessing and controlling the impact of hospital capacity planning on the waiting time. *International Journal of Production Research*, 54(8), 2203-2214. [\[DOI:10.1080/00207543.2015.1051668\]](#)
- Ramirez-Nafarrate, A., Araz, O. M., & Fowler, J. W. (2021). Decision assessment algorithms for location and capacity optimization under resource shortages. *Decision Sciences*, 52(1), 142-181. [\[DOI:10.1111/deci.12418\]](#)
- Apte, A., Heidtke, C., & Salmerón, J. (2015). Casualty collection points optimization: A study for the district of Columbia. *Interfaces*, 45(2), 149-165. [\[DOI:10.1287/inte.2014.0757\]](#)
- Lee, E. K., Smalley, H. K., Zhang, Y., Pietz, F., & Benecke, B. (2009). Facility location and multi-modality mass dispensing strategies and emergency response for biodefence and infectious disease outbreaks. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 12(2-4), 311-351. [\[DOI:10.1504/IJRAM.2009.025925\]](#)
- Zaric, G. S., & Brandeau, M. L. (2002). Dynamic resource allocation for epidemic control in multiple populations. *Mathematical Medicine and Biology: A Journal of the IMA*, 19(4), 235-255. [\[DOI:10.1093/imammb/19.4.235\]](#)
- Ouyang, H., Argon, N. T., & Ziya, S. (2020). Allocation of intensive care unit beds in periods of high demand. *Operations Research*, 68(2), 591-608. [\[DOI:10.1287/opre.2019.1876\]](#)
- Koyuncu, M., & Erol, R. (2010). Optimal resource allocation model to mitigate the impact of pandemic influenza: A case study for Turkey. *Journal of Medical Systems*, 34(1), 61-70. [\[DOI:10.1007/s10916-008-9216-y\]](#) [\[PMID\]](#)
- Apornak, A. (2021). Human resources allocation in the hospital emergency department during COVID-19 pandemic. *International Journal of Healthcare Management*, 14(1), 264-270. [\[DOI:10.1080/20479700.2020.1861173\]](#)
- Anparasan, A., & Lejeune, M. (2019). Resource deployment and donation allocation for epidemic outbreaks. *Annals of Operations Research*, 283, 9-32. [\[DOI:10.1007/s10479-016-2392-0\]](#)
- Ross, T. J. (2009). *Fuzzy logic with engineering applications*. New Jersey: John Wiley & Sons. [\[Link\]](#)
- Worldometer. (2023). COVID-19 Coronavirus Pandemic. Retrieved from: [\[Link\]](#)
- ED-DAT. (2023). EM-DAT public. Retrieved from: [\[Link\]](#)

This Page Intentionally Left Blank