Industrial Management Journal

Print ISSN: 2008-5885

Online ISSN: 2423-5369

Positioning and Optimized Allocation of Transfer Points, Hospitals and Emergency Services Centers to Organize a Crisis Relief Chain, Assuming Screening of Injuries

Seyyed Hossein Seyyedi
Ph.D. Candidate, Department of Operation Research Management, Faculty of Management, University of Allameh Tabataba'i, Tehran, Iran. E-mail: seyedhosein283@gmail.com

Seyyed Mohammad Ali Khatami FirouzAbadi
*Corresponding author, Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management, University of Allameh Tabataba'i, Tehran, Iran. E-mail: a.khatami@atu.ac.ir

Maghsoud Amiri
Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, University of Allameh Tabataba'i, Tehran, Iran. E-mail: amiri@ atu.ac.ir

Seyyed Mohammad Taghi Taghavi Fard
Associate Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, University of Allameh Tabataba'i, Tehran, Iran. E-mail: taghavifard@atu.ac.ir

Abstract

Objective: To help the injured during the crisis, the planning must begin before the crisis. The aim of this study is to provide a model for locating and optimally allocating transfer points, relief centers and hospitals during an earthquake to help the injured including screening, first aid services and transfer to the facility.

Methods: Quantitative modeling through the presentation of the mathematical model is used in this paper. For this purpose, the mixed integer, single and double-objective mathematical programming models are presented. The single-objective model seeks to minimize the injured transmission time, and the double-objective model minimizes the fines due to the failure in transferring the injured as well as minimizing the time. The models are applicable based on two approaches of locating and optimal allocation in a 6-Richter earthquake with fewer injuries and based on the selection of a limited number of facilities and optimal allocation approach in the 7-Richter earthquake with a large number of injuries and the use of total capacity of the facilities.

Results: Models were applied based on the information of south-central districts of Tehran including districts 10, 11, 12, 16, 17, and 19. Transfer points, relief centers and selected hospitals in each model, manner and degree of the allocation of the injured to these points were specified.

Conclusion: To provide proper relief in real conditions, adding relief centers to the problem due to the large number of injuries against hospitals capacities, the screening of the injured, the provision of outpatient treatment services at the transfer point and rejection of the injured in Hospitals are among the basic assumptions that should be considered in the models. Moreover, unbalanced distribution of hospitals in the city and the lack of basic infrastructure should be resolved before a possible crisis.

Keywords: Transfer point, Locating, Allocation, Crisis, Screening.

Citation: Seyyedi, S.H., Khatami FirouzAbadi, S.M.A., Amiri, M., Taghavi Fard, S.M.T. (2019). Positioning and Optimized Allocation of Transfer Points, Hospitals and Emergency Services Centers to Organize a Crisis Relief Chain, Assuming Screening of Injuries. *Industrial Management Journal*, 11(1), 1-20. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2019, Vol. 11, No.1, pp. 1-20

DOI: 10.22059/imj.2019.275020.1007556

Received: August 13, 2018; Accepted: December 06, 2018

© Faculty of Management, University of Tehran

فصلنامه مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

مکان‌یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی برای تشکیل زنجیره امدادرسانی در بحران، با فرض غربالگری مجروحان

سیدحسین سیدی
دانشجوی دکتری، گروه مدیریت تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. رایانامه: seyedhosein283@gmail.com

سیدمحمدعلی خاتمی فیروزآبادی
* نویسنده مسئول، استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. رایانامه: a.khatami@atu.ac.ir

مقصود امیری
استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. رایانامه: amiri@ atu.ac.ir

سیدمحمدتقی تقوی‌فرد
دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. رایانامه: taghavifard@atu.ac.ir

چکیده

هدف: برای امدادرسانی به مجروحان در زمان بحران باید قبل از بحران برنامه‌ریزی کرد. هدف این پژوهش، ارائه مدلی برای مکان‌یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، مراکز امدادی و بیمارستان در زمان زلزله برای خدمت‌رسانی به مجروحان شامل غربالگری، کمک‌های اولیه و انتقال به تسهیل است.

روش: روش مقاله مدل‌سازی کمی از طریق ارائه مدل ریاضی است. برای این منظور مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط تک‌هدفه و دوهدفه ارائه شده است. مدل تک‌هدفه به‌دنبال کمینه‌سازی زمان کل انتقال مجروحان و مدل دوهدفه علاوه بر کمینه‌سازی زمان، به‌دنبال کمینه‌سازی جریمه ناشی از عدم انتقال مجروحان است. مدل‌ها با دو رویکرد مکان‌یابی و تخصیص بهینه در زلزله شش ریشتری با تعداد مجروح کمتر و انتخاب تعدادی از تسهیلات و رویکرد تخصیص بهینه در زلزه هفت ریشتری با تعداد مجروح زیاد و استفاده از کل ظرفیت تسهیلات حل شده است.

یافته‌ها: مدل‌ها بر اساس اطلاعات مناطق جنوب مرکزی شهر تهران شامل مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۱۹، اجرا می‌شوند. نقاط انتقال، مراکز امدادی و بیمارستان‌های انتخاب‌شده در هر مدل و نحوه و میزان تخصیص مجروحان به این نقاط مشخص شده است.

نتیجه‌گیری: برای امدادرسانی مناسب در موقعیت واقعی، اضافه کردن مراکز امدادی به مسئله به‌دلیل تعداد زیاد مجروحان در مقایسه با ظرفیت بیمارستان‌ها، غربالگری مجروحان، ارائه خدمات درمان سرپایی در نقاط انتقال و نپذیرفتن مجروحان به‌صورت مستقیم در بیمارستان‌ها، از مفروضات اساسی است که باید در مدل در نظر گرفت. همچنین پراکنش نامتوازن بیمارستان‌ها در سطح شهر و نبود زیرساخت‌های اساسی، باید قبل از بحران احتمالی رفع شود.

کلیدواژه‌ها: نقطه انتقال، مکان‌یابی، تخصیص، بحران، غربالگری.

استناد: سیدی، سید حسین؛ خاتمی فیروزآبادی، سید محمدعلی؛ امیری، مقصود؛ تقوی فرد، سید محمد تقی (۱۳۹۸). مکان‌یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی برای تشکیل زنجیره امدادرسانی در بحران، با فرض غربالگری مجروحان. *مدیریت صنعتی*، ۱۱(۱)، ۱- ۲۰.

مدیریت صنعتی، ۱۳۹۸، دوره ۱۱، شماره ۱، صص. ۱- ۲۰
DOI: 10.22059/imj.2019.275020.1007556
دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

ایران جزء کشورهای زلزله‌خیز به حساب می‌آید که به‌طور کلی در مسیر زلزله‌خیز آلپ ـ هیمالیا قرار گرفته است. شهر تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر ایران دارای گسل‌های فعال متعددی است که متأسفانه بسیاری از مناطق شهری بر این گسل‌ها بنا شده‌اند، همچنین ساختمان‌های شهری به‌طور کلی از آسیب‌پذیری بالایی برخوردارند (حسنی و مختاری[1]، ۲۰۱۸).

از بحران‌های طبیعی نمی‌توان جلوگیری کرد؛ اما باید با برنامه‌ریزی شدت آسیب آنها را کاهش داد (قاسمی، علی‌دوستی، حسنوی و نوروزیان ریکنده، ۱۳۹۷). پس از رخداد زلزله، موضوع امدادرسانی در مدیریت بحران از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، از این رو باید برای فعالیت امدادرسانی از قبل برنامه‌ریزی کرد، به‌طوری که امدادرسانی به‌هنگام و اثربخش صورت پذیرد. چگونگی ارسال مجروحان از نقاط آسیب‌دیده به بیمارستان در زمان مناسب و عدم ازدحام در بیمارستان‌ها، به‌طوری که در فرایند درمان خللی ایجاد نشود، از مسائل مهم مدیریت بحران است (پائول و وانگ[2]، ۲۰۱۹).

یکی از راهکارهای نوین در انتقال مجروحان در سوانحی مانند تصادفات رانندگی و بحران‌هایی مانند زلزله، طراحی نقطه انتقال برای انتقال سریع آنها به بیمارستان است. مجروح از محل حادثه با سرعت عادی توسط آمبولانس به نقطه انتقال می‌رسد، سپس با سرعت بالاتر توسط هلی‌کوپتر به بیمارستان انتقال پیدا می‌کند (برمن، درزنر و وسولفسکی[3]، ۲۰۰۵). مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال زیرمجموعه مسئله مکان‌یابی هاب است، تسهیل هاب وظیفه تجمیع، مرتب کردن و ارسال کالا را بر عهده دارد (بهرامی، صفری، توکلی مقدم و مدرس یزدی، ۱۳۹۶). در مسئله هاب، به‌جای ارتباط مستقیم مبدأ و مقصد، جریان از مبادی با مقاصد مختلف در هاب دسته‌بندی و ارسال می‌شوند (مهرگان، جعفرنژاد و محمدی، ۱۳۹۷). در دو دهه گذشته شبکه هاب در زمینه‌های مختلفی مانند حمل‌ونقل، ترانزیت کالا، پست و مخابرات توسعه یافته است (شاهین، جبل عاملی و جبارزاده، ۱۳۹۵).

مسئله مهم دیگری که در شهر تهران از اهمیت برخوردار است، ظرفیت محدود مراکز درمانی در مقایسه با مجروحان احتمالی در بحران است، به‌طوری که اگر همه مجروحان به‌همراه همراهان خود وارد مراکز درمانی شوند، فرایند درمان به‌طور کامل دچار مشکل خواهد شد. از این رو باید مجروحان در فرایندی مجزا غربالگری شده و فقط مجروحان بدحال به بیمارستان وارد شوند.

پیشینه پژوهش

برمن و همکاران (۲۰۰۵) مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال و تسهیل را معرفی کردند. در این مقاله انتخاب یک نقطه انتقال و یک تسهیل در شبکه فرموله‌بندی شده و دو مدل با رویکرد حداقل مجموع (mini sum) و کمینه بیشینه (mini max) ارائه می‌شود. همچنین مجروحان می‌توانند به‌صورت مستقیم به بیمارستان مراجعه کنند.

برمن و همکاران (۲۰۰۷) مکان‌یابی نقطه انتقال را ارائه می‌دهند و حل تحلیلی مدل را بررسی می‌کنند. همچنین در مقاله برای آنکه نقطه انتقال سودمند باشد، مقدار مرزی پارامتر آلفا را به دست می‌آورند.

1. Hasani & Mokhtari
2. Paul & Wang
3. Berman, Drezner & Wesolowsky

برمن و همکاران (۲۰۰۸) این بار مسئله مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال را با فرض وجود یک تسهیل و مشخص بودن مکان تسهیل بررسی کرده و حل تحلیلی آن را ارائه می‌دهند. در سه مقاله ارائه‌شده از این نویسندگان نقاط تقاضا از اهمیت یکسانی برخوردارند، برای نقطه انتقال و تسهیل ظرفیتی در نظر گرفته نشده است و مسئله با پارامترهای فرضی حل می‌شود. همچنین انتخاب فقط یک تسهیل در شرایط بحران از کارایی لازم برخوردار نیست.

ساساکی، فوروتا و سوزوکی[1] (۲۰۰۸) حل دقیق مسئله کمینه بیشینه مکان‌یابی نقاط انتقال و تسهیل در شبکه را با فرض انتخاب p نقطه انتقال و q تسهیل ارائه می‌کنند. مدل‌های ارائه‌شده در این مقاله از مقالات برمن و همکاران فرموله‌بندی بهتری دارند، اما در مدل توسعه‌ای ایجاد نکرده‌اند.

حسینی جو و بشیری[2] (۲۰۰۹) مدل مکان‌یابی احتمالی نقاط انتقال را ارائه می‌دهند. تقاضا در یک فضای مربعی دارای تابع تصادفی یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. مدل از طریق روش ارزش انتظاری به مدل قطعی تبدیل شده، سپس حل تحلیلی ارائه می‌شود.

حسینی جو و بشیری (۲۰۱۱) با در نظر گرفتن چند نقطه تقاضا، مدل احتمالی خود را توسعه می‌دهند. در این مقاله، برخلاف مقالات قبل، نقاط تقاضا وزن داده می‌شوند. هرچند مدل ارائه‌شده در این مقاله محدب است، اما به روش تحلیلی قابل حل نیست، از این رو برای حل آن از روش‌های عددی استفاده می‌شود.

محمودیان، کیوانی، داودپور و اردستانی[3] (۲۰۱۰) برای حل مسئله نقطه انتقال، دو الگوریتم ابتکاری ارائه می‌دهند. الگوریتم نخست در ابتدا نقاط تقاضا را خوشه‌بندی می‌کند، سپس خوشه نقاط تقاضا را به نقطه انتقال متصل می‌کند، اما در الگوریتم دوم در ابتدا نقطه انتقال مشخص می‌شود، سپس نقاط تقاضا به آن تخصیص داده می‌شود.

کلانتری، یوسفلی، غضنفری و شهانقی[4] (۲۰۱۳) با این فرض که مدل تصادفی در زمان بحران به‌دلیل عدم شناخت پارامترهای تأثیرگذار بر مسئله کارایی لازم را ندارد، مدل فازی غیرخطی بدون محدودیت مکان‌یابی نقطه انتقال و حل تحلیلی مسئله را ارائه می‌دهند. البته در نظر نگرفتن هیچ‌گونه محدودیتی برای مدل می‌تواند دلیلی بر عدم کارایی مدل ارائه شده باشد.

کلانتری، بدیعی و غضنفری[5] (۲۰۱۴) الگوریتمی بر مبنای قاعده برای حل کاربردی مدل فازی مکان‌یابی نقطه انتقال ارائه کرده و حل ابتکاری خود را توسط کنترلر فازی با رویکرد ممدانی ارائه می‌دهند. مدل ارائه‌شده در این مقاله نیز همانند مقاله قبل فازی غیرخطی بدون محدودیت است و نوآوری اصلی آن در مقایسه با مقاله قبل در نظر گرفتن اوزان فازی و تکمیل راه حل ابتکاری بر اساس کنترلر فازی طراحی‌شده در مقاله قبل است.

محمدی، یعقوبی، دریکوند[6] (۲۰۱۵) مدل فازی شانس محدود مکان‌یابی نقطه انتقال را بررسی می‌کنند. در این مدل سعی می‌شود دو نیاز حیاتی امدادرسانی به مجروحان در زمان بحران در نظر گرفته شود که ارائه خدمات پزشکی و تأمین کالای امدادی برای بیمارستان است.

مراکل و یامن[7] (۲۰۱۶) برای مکان‌یابی نقطه انتقال تحت تقاضای غیرقطعی مدل پایداری را گسترش می‌دهند. در

1. Sasaki, Furuta & Suzuki
2. Hosseinijou & Bashiri
3. Mahmudian, Keivani, Davoudpour & Ardestani Jaafari
4. Kalantari, Yousefli, Ghazanfari & Shahanaghi
5. Kalantari, Badiee & Ghazanfari
6. Mohamadi, Yaghoubi & Derikvand
7. Merakl & Yaman

مقالات قبل فقط برای تقاضا یک حد بالا در نظر گرفته می‌شد، اما در این مقاله برای تقاضا یک حد پایین و یک حد بالا در نظر گرفته شده است که هر دو غیرقطعی هستند. در این پژوهش با رویکرد مدل‌سازی خطی عدد صحیح و با تابع هدف مینی ماکس تابع ریاضی فرموله می‌شود.

محمدی و یعقوبی[1] (۲۰۱۷) مدل مکان‌یابی را با احتمال شکست تسهیلات و در نظر گرفتن سرویس پشتیبان ارائه می‌دهند. در مدل ارائه‌شده انتقال مجروح به‌صورت مستقیم یا انتقال توسط نقطه انتقال مجاز است و بیمارستان در حالت عادی از انبار رهایی استفاده می‌کند، اما در صورت شکست در انبار رهایی یا مسیر مد نظر، بیمارستان از پشتیبان انبار رهایی بهره می‌گیرد.

مکدوگال و اترو[2] (۲۰۱۷) مدل مکان‌یابی نقطه انتقال برای ارسال کالا از انبار برای مشتری از طریق سیستم هوایی بدون سرنشین را بررسی می‌کنند. اهمیت یافتن نقاط انتقال در این روش توزیع، از آن جهت است که برد هوابردهای بدون سرنشین تا ۲۰ مایل است، از این رو کالا از انبارهای مرکزی به نقاط انتقال برده می‌شوند و از آنجا توسط هوابردها به مشتریان تحویل داده می‌شود.

یوسفلی، کلانتری و غضنفری[3] (۲۰۱۸)، مدل احتمالی مکان‌یابی نقطه انتقال و حل بر مبنای قاعده احتمالی را ارائه کرده‌اند. به‌عبارتی زمانی که محیط مسئله احتمالی است، باید جواب نیز به‌صورت احتمالی ارائه شود. از این رو استفاده از روش ارزش انتظاری یا برنامه‌ریزی شانس محدود و تبدیل مدل احتمالی به مدلی قطعی کاربردی نخواهد بود.

در زمان بحران به‌طور معمول تعداد مجروحان از ظرفیت بیمارستان‌ها بیشتر می‌شود که در مدل‌های مرورشده به آن توجه نشده است، از سوی دیگر بسیاری از مجروحان فقط به کمک‌های اولیه و درمان‌های سرپایی نیاز دارند که می‌توان این خدمات را در نقطه انتقال به آنها ارائه کرد تا از ازدحام در بیمارستان‌ها و مراکز امدادی جلوگیری شود. از این رو در این مقاله مکان‌یابی مراکز امدادی به‌عنوان تسهیلات جدید و ارائه خدمات درمانی اولیه به مجروحان در نقاط انتقال به مدل افزوده شده است. از مفروضات دیگر مدل، احتمال بدحال شدن مجروحان در مراکز امدادی است که برای این منظور ظرفیت ارسال از مراکز امدادی به بیمارستان‌ها دیده شده است.

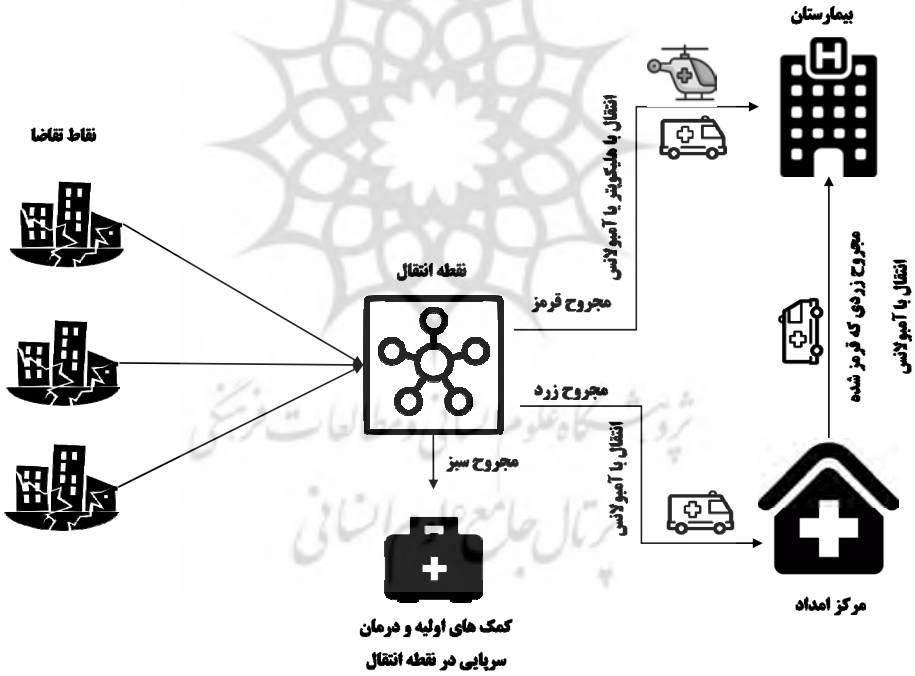
مجروحان پس از ارسال به نقطه انتقال به سه حالت قرمز، زرد و سبز دسته‌بندی می‌شوند. مجروحان قرمز توسط هلی‌کوپتر یا عدم ظرفیت توسط آمبولانس به بیمارستان ارسال می‌شوند. مجروحان زرد توسط آمبولانس به مراکز امدادی ارسال شده و مجروحان سبز در نقاط انتقال درمان سرپایی می‌شوند. به‌دلیل کمبود ظرفیت در انتقال هوایی در عمل، مدل با حمل‌ونقل دوگانه توسعه یافته که در مقالات قبلی به این محدودیت توجه نشده است.

از این رو در نظر گرفتن تسهیلات جدید به‌عنوان مراکز درمانی، ارائه خدمات درمانی اولیه در نقاط انتقال، غربالگری مجروحان، حمل‌ونقل دوگانه و ارسال مجروحان از مراکز امدادی به بیمارستان مواردی است که مدل مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیل[4] (برمن و همکاران، ۲۰۰۵ و ساساکی و همکاران، ۲۰۰۸) را توسعه داده است.

1. Mohamadi & Yaghoubi
2. Mcdougall & Otero
3. Yousefli, Kalantari & Ghazanfari
4. Transfer Points and Facilities location Problem

روش شناسی پژوهش

مدل مکان‌یابی نقاط انتقال و تخصیص بهینه به تسهیلات در این مقاله بررسی می‌شود. مجروحان توسط آمبولانس یا شهروندان به نقطه انتقال آورده می‌شوند. در نقطه انتقال مجروحان به سه رنگ قرمز، زرد و سبز دسته‌بندی می‌شوند. رنگ قرمز نشان‌دهنده جراحت خطرناک و نیاز به مراقبت‌های ویژه پزشکی است، زرد جراحت با سطوح پایین‌تر و سبز نیاز به کمک‌های اولیه و درمان‌های سرپایی است. به‌دلیل محدودیت ظرفیت بیمارستان‌ها و حجم زیاد مجروحان هنگام زلزله‌های شدید، فقط مجروحان رنگ قرمز توسط هلی‌کوپتر و در صورت نبود ظرفیت توسط آمبولانس به بیمارستان ارسال می‌شوند. از این رو برای پاسخ‌گویی به نیازهای درمانی، مراکز امدادی دیگری پیش‌بینی شده است که در هنگام بحران فعال می‌شوند، مجروحان با رنگ زرد توسط آمبولانس به مراکز امدادی ارسال می‌شوند. در صورتی که حال مجروحان در مراکز امدادی وخیم شود و به رنگ قرمز تغییر پیدا کند، توسط آمبولانس به بیمارستان ارسال می‌شوند. در نقطه انتقال به مجروحان رنگ سبز، کمک‌های اولیه و خدمات درمانی به‌صورت سرپایی ارائه می‌شود و از فرایند امدادرسانی خارج می‌شوند. زنجیره امدادرسانی مد نظر در شکل ۱، نشان داده شده است.



شکل ۱. زنجیره امدادرسانی در بحران

در این مقاله دو مدل ارائه می‌شود. یک مدل تک‌هدفه با هدف حداقل کردن زمان خدمت‌رسانی به مجروحان و دیگری مدل دوهدفه با هدف جدید حداقل کردن جریمه عدم ارائه خدمات در فرایند خدمت‌رسانی. مدل‌ها با در نظر گرفتن انتخاب تعداد محدودی نقطه انتقال، مراکز امداد و بیمارستان در زلزله‌های خفیف‌تر و با تعداد مجروحان کم و استفاده از تمامی نقاط انتقال، مراکز امدادی و بیمارستان‌ها در زلزله‌های شدید و با تعداد مجروحان بالا حل شده و نتایج مقایسه می‌شوند.

در مدل تک‌هدفه عدم ارائه خدمت به مجروحان در فرایند خدمت‌رسانی مجاز نیست، اما به این دلیل که زیرساخت‌های فعلی خدمت‌رسانی در زمان بحران در کشور ضعیف است، مدل دوهدفه با فرض کمبود در خدمت‌رسانی به مجروحان در مراحل مختلف فرایند امداد ایجاد شده است تا تصمیم‌گیران با فرض امکان رویداد بحران قبل از آماده‌سازی زیرساخت‌های مورد نیاز برای امدادرسانی کامل بتوانند سناریوهای مختلف مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات را بررسی کنند.

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل تک‌هدفه

اندیس‌ها

i: شاخص ناحیه تقاضا

j: شاخص نقاط انتقال

k: شاخص بیمارستان

l: شاخص مرکز امدادی

پارامترها

DT_i: مقدار تقاضای (مجروح) کل ناحیه تقاضای i

β_R: نسبت مجروحان قرمز از کل مجروحان، به همین ترتیب برای زرد و سبز β_Y ، β_G

β_{YR}: نسبت مجروحان زرد که در مرکز امداد به قرمز تبدیل می‌شوند.

t_{ij}: زمان سفر بین دو نقطه i و j ، به همین ترتیب t_{jk} ، t_{jl} ، t_{lk}

α: ضریب کاهش زمان سفر از نقطه انتقال به بیمارستان $0 < \alpha < 1$

CAP_k: ظرفیت بیمارستان k

$CAP.AMB_j$: ظرفیت آمبولانس نقطه انتقال j ، $CAP.HELI_j$ ظرفیت هلی‌کوپتر و $CAP.OT_j$ ظرفیت درمان سرپایی آن

$CAP.HRC_l$: ظرفیت درمانی مرکز امداد l و $CAP.ARC_l$ ظرفیت آمبولانس آن

P: تعداد نقاط انتقال برای انتخاب، به همین ترتیب برای تسهیل و مرکز امدادی Q ، S

متغیرها

x_{ij}: تعداد مجروحان ارسالی از نقطه تقاضای i به نقطه انتقال j

R_j: تعداد مجروح قرمز در نقطه انتقال j، به همین ترتیب برای زرد و سبز Y_j ، G_j

RH_{jk}: تعداد مجروحان قرمز ارسالی توسط هلی‌کوپتر از نقطه انتقال j به بیمارستان k

RA_{jk}: تعداد مجروحان قرمز ارسالی توسط آمبولانس از نقطه انتقال j به بیمارستان k

YA_{jl}: تعداد مجروحان زرد ارسالی توسط آمبولانس از نقطه انتقال j به مرکز امداد l

YR_{lk}: تعداد مجروحان قرمز ارسالی توسط آمبولانس از مرکز امداد l به بیمارستان k

W_k: برابر یک است اگر گره k به‌عنوان یک بیمارستان انتخاب شود، در غیر این صورت برابر صفر.

Z_j: برابر یک است اگر گره j به‌عنوان یک نقطه انتقال انتخاب شود، در غیر این صورت برابر صفر.

U_l: برابر یک است اگر گره l به‌عنوان یک مرکز امداد انتخاب شود، در غیر این صورت برابر صفر.

مدل برنامه‌ریزی ریاضی با یک تابع هدف

رابطه ۱)
$$MIN \sum_i \sum_j t_{ij} * x_{ij} + \sum_j \sum_k (t_{jk} * RH_{jk} * \alpha + t_{jk} * RA_{jk}) + \sum_j \sum_l t_{jl} * YA_{jl} + \sum_l \sum_k t_{lk} * YR_{lk}$$

S.t

رابطه ۲)
$$\sum_i x_{ij} = DT_i \qquad \forall i \in I$$

رابطه ۳)
$$Y_j = \sum_l YA_{jl} \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۴)
$$R_j = \sum_k (RH_{jk} + RA_{jk}) \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۵)
$$\beta_{YR} * \sum_j YA_{jl} = \sum_k YR_{lk} \qquad \forall l \in L$$

رابطه ۶)
$$\beta_G * \sum_i x_{ij} = G_j \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۷)
$$\beta_R * \sum_i x_{ij} = R_j \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۸)
$$\beta_Y * \sum_i x_{ij} = Y_j \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۹)
$$\beta_G + \beta_R + \beta_Y = 1$$

رابطه ۱۰)
$$\sum_j RH_{jk} + \sum_j RA_{jk} + \sum_l YR_{lk} \leq CAP_k * W_k \qquad \forall k \in K$$

رابطه ۱۱)
$$Y_j + R_j \leq (CAP.AMB_j + CAP.HELI_j) * Z_j \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۱۲)
$$\sum_k RH_{jk} \leq CAP.HELI_j * Z_j \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۱۳)
$$G_j \leq CAP.OT_j * Z_j \qquad \forall j \in J$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_j YA_{jl} \le CAP.HRC_l * U_l \qquad \forall\, l \in L$$ رابطه ۱۴)

$$\sum_k YR_{lk} \le CAP.ARC_l * U_l \qquad \forall\, l \in L$$ رابطه ۱۵)

$$\sum_j Z_j = P$$ رابطه ۱۶)

$$\sum_l U_l = S$$ رابطه ۱۷)

$$\sum_k W_k = Q$$ رابطه ۱۸)

$$x_{ij}, RH_{jk}, RA_{jk}, YA_{jl}, YR_{lk} \ge 0 \text{ and integer} \qquad \begin{matrix}\forall\, i \in I \\ \forall\, j \in J \\ \forall\, k \in K \\ \forall\, l \in L\end{matrix}$$ رابطه ۱۹)

$$Z_j, W_k, U_l \in \{0,1\} \qquad \forall\, j \in J$$ رابطه ۲۰)

رابطه ۱ بیانگر تابع هدف حداقل‌سازی زمان کل انتقال مجروحان به نقطه انتقال، بیمارستان و مراکز امداد است. رابطه ۲ نشان می‌دهد کل مجروحان نقاط تقاضا باید به نقاط انتقال مختلف ارسال شوند. رابطه ۳ بیانگر آن است که کل مجروحان زرد انتقال داده‌شده به یک نقطه انتقال به مرکز امداد ارسال می‌شوند. رابطه ۴ نشان می‌دهد کل مجروحان قرمز انتقال داده‌شده به یک نقطه انتقال با هلی‌کوپتر یا آمبولانس به بیمارستان ارسال می‌شوند. رابطه ۵ بیانگر آن است که کل مجروحان قرمز در یک مرکز امداد به بیمارستان ارسال می‌شوند. رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ به‌ترتیب محاسبه کننده تعداد مجروحان سبز، قرمز و زرد در یک نقطه انتقال است. رابطه ۹ بیان می‌کند مجموع نسبت‌های مجروحان با رنگ‌های مختلف باید مساوی ۱ شود. روابط ۱۲ الی ۱۵ نشان می‌دهند که مجموع مجروحان ارسالی به نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی باید از ظرفیت نگهداری یا ارسال آنها در صورت انتخاب شدن نقطه مد نظر کمتر باشد. روابط ۱۶، ۱۷ و ۱۸ تعداد نقاط انتقال و مراکز امدادی و بیمارستان مورد نیاز را مشخص می‌کنند. روابط ۱۹ و ۲۰ مشخص‌کننده محدوده متغیرها هستند.

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل دوهدفه

علاوه بر پارامترها و متغیرهای مسئله قبل، موارد زیر به مدل اضافه می‌شود.

پارامترها

CX : هزینه عدم ارسال مجروح از نقطه تقاضا به نقطه انتقال

CYR : هزینه عدم ارسال مجروح قرمز از مرکز امداد به بیمارستان

CY : هزینه عدم ارسال مجروح زرد از نقطه انتقال به بیمارستان

CR : هزینه عدم ارسال مجروح قرمز از نقطه انتقال به بیمارستان

متغیرها

KX_i: تعداد مجروح ارسال‌نشده به نقطه انتقال از نقطه تقاضا i

KYR_l: تعداد مجروح قرمز ارسال‌نشده به بیمارستان از مرکز امداد l

KY_j: تعداد مجروح زرد ارسال‌نشده به بیمارستان از نقطه انتقال j

KR_j: تعداد مجروح قرمز ارسال‌نشده به بیمارستان از نقطه انتقال j

برنامه‌ریزی ریاضی با دو تابع هدف

هرچند در مسئله امدادرسانی در زمان بحران باید همواره بدترین شرایط در نظر گرفته شود، اما همان‌طور که اشاره شد به‌دلیل کمبود امکانات و محدودیت بودجه در افزایش تسهیلات، ممکن است به بعضی از مجروحان در زمان مناسب خدمت‌رسانی نشود که مدیریت این امر ناگوار برای ایجاد کمترین هزینه جانی، از اهمیت برخوردار است، زیرا به‌طور یقین تأخیر در خدمت‌رسانی به مجروح قرمز با سبز نتیجه جانی متفاوتی خواهد داشت. از این رو مدل دوهدفه با هدف دوم مبنی بر حداقل‌سازی جریمه ناشی از کمبود ارائه شده است. کمبود نشان‌دهنده خدمت‌رسانی در زمان نامناسب است.

رابطه ۲۱)
$$\begin{aligned} minZ_1 &= \sum_i \sum_j t_{ij} * x_{ij} \\ &+ \sum_j \sum_k (t_{jk} * RH_{jk} * \alpha + t_{jk} * RA_{jk}) \\ &+ \sum_j \sum_l t_{jl} * YA_{jl} + \sum_l \sum_k t_{lk} * YR_{lk} \end{aligned}$$

رابطه ۲۲)
$$minZ_2 = \sum_i (CX * KX_i) + \sum_l (CYR * KYR_l) + \sum_j (CY * KY_j + CR * KR_j)$$

s.t

رابطه ۲۳)
$$\sum_i x_{ij} + KX_i = DT_i \qquad \forall i \in I$$

رابطه ۲۴)
$$Y_j = \sum_l YA_{jl} + KY_j \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۲۵)
$$R_j = \sum_k (RH_{jk} + RA_{jk}) + \sum_l RAL_{jl} + KR_j \qquad \forall j \in J$$

رابطه ۲۶)
$$\beta_{YR} * \sum_j YA_{jl} = \sum_k YR_{lk} + KYR_{lk} \qquad \forall l \in L$$

روابط ۲۷-۴۱) روابط ۶ الی ۲۰

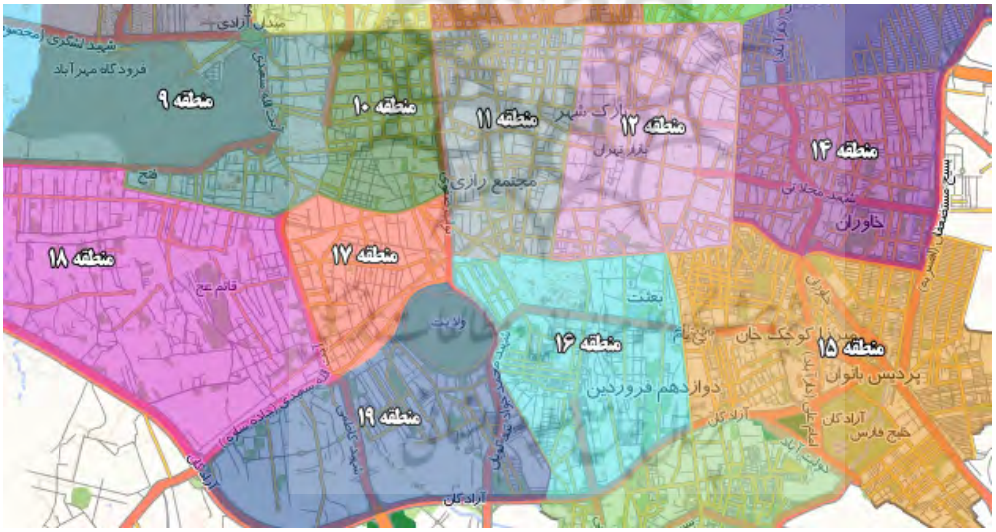
رابطه ۴۲)
$$KX_i, KYR_l, KY_j, KR_j \geq 0 \text{ and integer} \qquad \begin{matrix} \forall i \in I \\ \forall j \in J \\ \forall l \in L \end{matrix}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

رابطه ۲۱ بیانگر تابع هدف حداقل‌سازی زمان کل انتقال مجروحان به نقطه انتقال، بیمارستان و مراکز امداد است. رابطه ۲۲ تابع هدف حداقل‌سازی هزینه کمبود به‌دلیل عدم ارسال مجروحان در بخش‌های مختلف فرایند امدادرسانی را نشان می‌دهد. رابطه ۲۳ بیانگر آن است که کل مجروحان نقاط تقاضا یا به نقاط انتقال مختلف ارسال می‌شوند یا به‌صورت کمبود در نقطه انتقال باقی می‌مانند. رابطه ۲۴ نشان‌دهنده آن است که کل مجروحان زرد انتقال داده‌شده به یک نقطه انتقال، یا به مرکز امداد ارسال می‌شوند یا به‌صورت کمبود در نقطه انتقال باقی می‌مانند. رابطه ۲۵ بیانگر آن است که کل مجروحان قرمز انتقال داده‌شده به یک نقطه انتقال با هلی‌کوپتر یا آمبولانس به بیمارستان ارسال می‌شوند یا به‌صورت کمبود در نقطه انتقال باقی می‌مانند. رابطه ۲۶ نشان می‌دهد که کل مجروحان قرمز در یک مرکز امداد به بیمارستان ارسال می‌شوند یا به‌صورت کمبود در مرکز امداد باقی می‌مانند. رابطه ۴۲ مشخص‌کننده محدوده متغیرها است.

یافته‌های پژوهش

در این قسمت برای بررسی کارایی مدل در واقعیت، مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ شهر تهران که تشکیل‌دهنده بخش جنوب مرکزی تهران هستند، انتخاب شده‌اند. بخش جنوب مرکزی شهر تهران در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. موقعیت مناطق انتخاب‌شده برای مطالعه موردی

مطالعه موردی

مناطق انتخاب‌شده، یک منطقه به هم پیوسته از شهر تهران را تشکیل می‌دهند. این مناطق از تراکم جمعیتی بسیار بالا برخوردارند. متوسط تراکم جمعیت در شهر تهران حدود ۱۱۵۰۰ نفر در هر هکتار است، در حالی که متوسط تراکم جمعیت این ۶ منطقه حدود ۲۱۰۰۰ نفر در هر هکتار است. از سوی دیگر ساختار شهری در آنها قدیمی و فرسوده است. در واقع به علت فرسودگی ساختمان‌ها و وجود خیابان‌ها و کوچه‌های باریک فعالیت‌های امدادرسانی و انتقال مجروحان در این مناطق بسیار سخت‌تر از دیگر مناطق است.

میزان تقاضای هر یک از نقاط تقاضا از ضرب جمعیت ناحیه مد نظر در آسیب‌پذیری آن ناحیه حاصل می‌شود که میزان آسیب‌پذیری وابسته به فاکتورهایی نظیر شدت بحران، نوع بحران و بافت آن ناحیه است. در بحران زلزله، شدت بحران نیز به سه عامل شدت زلزله بر حسب ریشتر، عمق و مرکز رخداد زلزله وابسته است (کریمی، ۱۳۹۰).

در این مقاله مناطق بر اساس تقسیم‌بندی محلات به ۷۶ بخش تقسیم‌بندی شده‌اند. هر محله نماینده یک نقطه تقاضا است. تخمین مجروحان هر محله بر اساس یک زلزله شش ریشتری با مجروحان کمتر و هفت ریشتری با مجروحان بیشتر پیش‌بینی شده و برای پیش‌بینی تعداد مجروحان از اطلاعات سازمان مدیریت بحران استفاده شده است. تعدادی از محلات و نتایج تخمین مجروحان، در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. نقاط تقاضا و تعداد مجروحان

ردیف	محله (منطقه تقاضا)	منطقه	جمعیت محله	تخمین تعداد مجروحان در زلزله هفت ریشتری	تخمین تعداد مجروحان در زلزله شش ریشتری
۱	سلسبیل شمالی	۱۰	۳۴۱۷۸	۱۳۶۷	۲۷۳
۲	شیخ هادی	۱۱	۱۹۳۷۸	۹۶۸	۱۹۳
۳	هرندی	۱۲	۲۶۳۷۱	۲۲۴۱	۴۴۸
۴	خزانه	۱۶	۴۲۶۳۵	۳۴۱۰	۶۸۲
...	...	...	...	...	...
۷۶	خانی آباد شمالی	۱۹	۲۶۷۴۴	۱۸۷۲	۳۷۴
	جمع		۱/۷۰۷/۸۳۷	۱۰۸/۹۶۴	۲۱/۷۶۱

۴۴ مکان در این مناطق به‌عنوان نقاط انتقال در نظر گرفته شد. این مناطق باید قابلیت ایجاد محل‌هایی برای فرود هلی‌کوپتر، ارائه خدمات درمانی سرپایی و اورژانسی را داشته باشند، همچنین باید دارای دسترسی مناسب بوده و برای ساکنان شناخته شده باشد، به‌طوری که عموم مردم آدرس و نحوه دسترسی به آنها را بدانند. نام و مشخصات تعدادی از مناطق پیش‌بینی‌شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۲. نقاط انتقال و ظرفیت آنها

ردیف	مکان نقطه انتقال	منطقه	ظرفیت آمبولانس	ظرفیت هلی‌کوپتر	ظرفیت درمان سرپایی
۱	بسیج ناحیه مقداد	۱۰	۱۶۰۰	۳۰۰	۱۵۰۰
۲	پارک بهاران	۱۷	۱۳۰۰	۱۰۰	۱۴۰۰
۳	دانشگاه تهران	۱۱	۱۵۰۰	۳۰۰	۱۵۰۰
...	....	....	...	....	....
۴۴	بوستان ولایت	۱۹	۱۵۵۰	۲۰۰	۱۵۰۰
	جمع		۶۵۳۵۰	۸۷۵۰	۶۳۱۵۰

تعداد ۵۱ بیمارستان در ناحیه مشخص‌شده وجود دارد. یکی از مشکلات امدادرسانی، عدم پراکنش مناسب بیمارستان‌ها در سطح شهر تهران است، به‌طوری که در منطقه ۱۹ هیچ بیمارستانی وجود ندارد و در منطقه ۱۷ فقط ۲

بیمارستان موجود است. این در حالی است که ۳۷ بیمارستان در مناطق ۱۱ و ۱۲ که بخش‌های مرکزی تهران هستند وجود دارد، از این رو در زمان بحران هجوم مجروحان به مناطق مرکزی مشکلات عدیده‌ای ایجاد خواهد کرد. برای نمونه اطلاعات بعضی از بیمارستان‌های موجود در این مناطق در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳. بیمارستان‌های موجود در مناطق وظرفیت آنها

ردیف	نام بیمارستان	منطقه	ظرفیت
۱	مدائن	۱۱	۱۴۴
۲	ضیائیان	۱۷	۱۵۵
۳	سینا	۱۲	۶۲۵
...	...	...	...
۵۱	ولیعصر (عج)	۱۶	۳۶۵
	جمع		۱۰/۸۳۹

همان‌طور که مشخص است ظرفیت بیمارستان‌های این مناطق تقریباً ۰/۱ حجم مجروحان در زمان زلزله هفت ریشتری است، از این رو اهمیت غربالگری مجروحان بیش از پیش مشخص می‌شود. به‌طوری که اگر همه مجروحان به‌علاوه همراهان خود به بیمارستان‌ها سرازیر شوند، فرایند امدادرسانی به‌طور کامل قطع می‌شود. این امر ارائه آموزش‌های پیش از بحران برای همکاری شهروندان با امدادگران، عدم ازدحام در مراکز درمانی و عمومی‌سازی نقاط انتقال را معلوم می‌کند.

با توجه به ظرفیت محدود بیمارستان‌ها ۱۶۶ مرکز امداد برای خدمت‌رسانی در زمان زلزله پیش‌بینی شده است. این مراکز از مدارس و مجموعه‌های مدرسه‌ای که چند مدرسه در کنار یکدیگر قرار دارند، ورزشگاه‌ها، امامزاده‌ها و مساجدی که نوساز بوده و دارای فضا و امکانات برای تبدیل شدن به یک مرکز امداد موقت را دارا هستند، انتخاب شده‌اند. برای نمونه اطلاعات بعضی از مراکز امدادی پیش‌بینی‌شده در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ٤. مراکز امدادی پیش‌بینی‌شده و ظرفیت آنها

ردیف	نام مرکز امداد	منطقه	ظرفیت نگهداری	ظرفیت آمبولانس
۱	ورزشگاه شهدای آزادی	۱۰	۴۰۰	۲۵
۲	مجموعه مدارس بهشتی	۱۱	۴۰۰	۲۵
۳	امامزاده حسن (ع)	۱۷	۴۰۰	۲۵
...	...	...	...	...
۵۱	دانشگاه فنی	۱۹	۴۰۰	۲۵
	جمع		۶۶۴۰۰	۴۱۵۰

برای محاسبه فواصل بین نقاط مختلف از محاسبه مسیر جاده‌ای در نقشه استفاده شد و برای محاسبه فاصله از نقطه انتقال به بیمارستان فاصله مستقیم به دست آمد. برای ساده‌سازی، نسبت متوسط فاصله مستقیم به فاصله جاده‌ای

محاسبه شده و در ضریب آلفا تأثیر داده شد. به‌عبارتی ضریب آلفا نشان‌دهنده افزایش سرعت وسیله نقلیه و کوتاه شدن مسیر به طور همزمان است.

حل مدل

مدل‌های ارائه‌شده در دو حالت حل می‌شوند. حالت نخست در یک زلزله شش ریشتری با تعداد مجروحان کمتر و انتخاب ۱۰ نقطه انتقال، ۱۵ بیمارستان و ۲۵ مرکز امدادی، به‌عبارتی فقط نقاط انتقال، مراکز امداد و بیمارستان‌های منتخب فعال می‌شوند. در این حالت از ظرفیت واقعی بیمارستان‌ها استفاده می‌شود و نسبت بیماران قرمز به‌دلیل ظرفیت بیشتر بیمارستان‌ها افزایش داده می‌شود تا مجروحان بدحال تا جایی که ممکن است به بیمارستان انتقال پیدا کنند.

در حالت دوم یک زلزله هفت ریشتری و ایجاد یک بحران شدید متصور است که نیاز است از همه ظرفیت تسهیلات پیش‌بینی شده استفاده شود، حتی برای اینکه ظرفیت بیمارستان‌های موجود پاسخ‌گوی ۱۰ درصد مجروحان باشند، باید ۳۰ درصد افزایش یابند. البته محدودیت عدم امکان پذیرش مجروح توسط انتقال هوایی در همه بیمارستان‌ها وجود دارد. از این رو برای کاربردی شدن این فرض، به ایجاد پذیرش هوایی برای همه بیمارستان‌ها نیاز است. در نهایت با توجه به اینکه مدل دوم، دوهدفه است، باید جواب‌های مسئله توسط روش‌های حل مدل‌های چندهدفه مشخص شود. در این مقاله از روش فازی برای حل مدل‌های چندهدفه استفاده می‌شود. البته برای جلوگیری از طولانی شدن مقاله فقط جواب‌های بهینه پارتوی مدل دوم در حالت زلزله شش ریشتری ارائه شده است.

حل مدل تک‌هدفه، زلزله شش ریشتری، مسئله مکان‌یابی و تخصیص بهینه جریان مجروحان

پارامترها

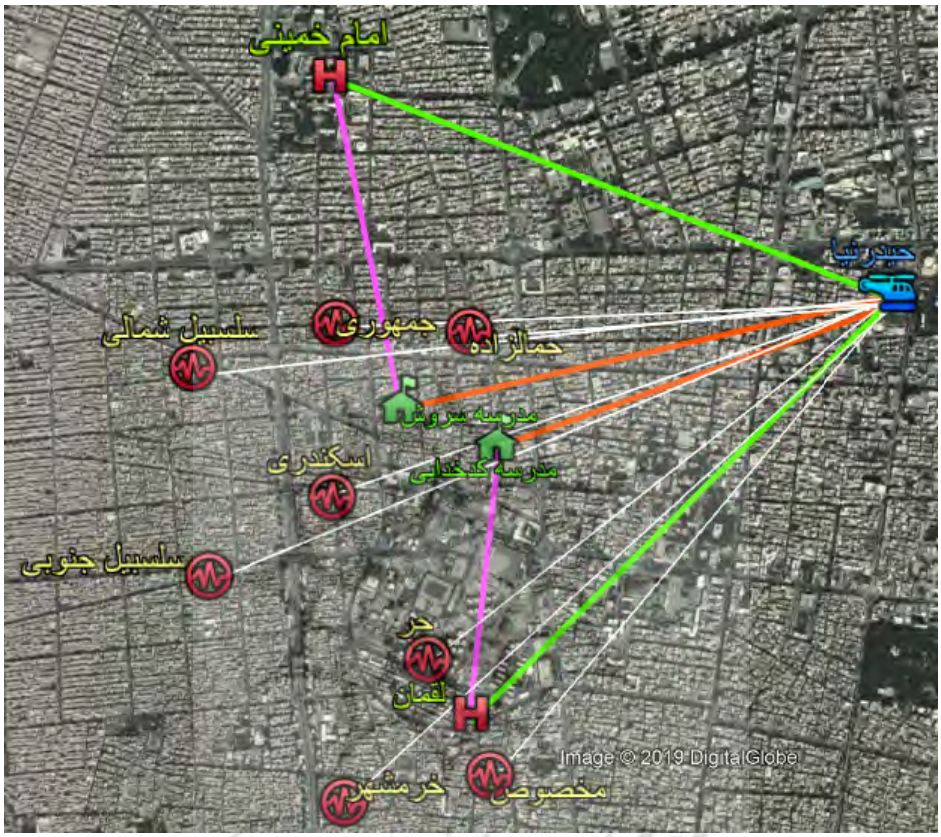
- انتخاب ۱۰ نقطه انتقال، ۱۵ بیمارستان و ۲۵ مرکز امدادی
- نسبت مجروحان قرمز، زرد و سبز از کل مجروحان به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴۵، ۰/۳۵
- نسبت مجروحانی که در مرکز امداد از زرد به قرمز تغییر وضعیت می‌دهند ۰/۰۳
- ضریب افزایش سرعت آلفا برابر با ۰/۲

مدل توسط نرم‌افزار لینگو حل شد که مقدار نهایی تابع هدف $۰/۲۸۲۰۲۶۷ \times ۱۰^{۸}$ به دست آمد. نقاط انتقال، بیمارستان‌ها و مراکز امدادی انتخاب شده و نحوه تخصیص آنها در جدول ۵ نشان داده شده است. به‌دلیل حجیم شدن جدول از ذکر اسامی نقاط تقاضا خودداری شده و فقط شماره این نقاط ارائه شده است. برای نمونه، ردیف دوم جدول به این معناست که نقاط تقاضا با شماره‌های ارائه‌شده به ورزشگاه حیدرنیا نقطه انتقال شماره ۱۲ تخصیص پیدا می‌کنند، ۶۲۲ مجروح سبز، ۸۰۰ مجروح زرد و ۳۵۵ مجروح قرمز مجموع ۱۷۷۷ مجروحی است که به نقطه انتقال وارد می شوند. ۱۵۵ مجروح قرمز توسط آمبولانس به بیمارستان لقمان و ۲۰۰ مجروح توسط هلی‌کوپتر به بیمارستان امام خمینی اعزام می‌شوند. مجروحان زرد نیز توسط آمبولانس به مراکز امدادی واقع در مدارس سروش و کدخدایی ارسال می‌شوند. مجروحان زردی که حالشان وخیم می‌شود از مدرسه سروش به بیمارستان امام خمینی و از مدرسه کدخدایی به بیمارستان لقمان اعزام خواهند شد.

جدول ۵. جواب بهینه مدل تک‌هدفه در زلزله شش ریشتری

ردیف	نقاط تقاضا	نقطه انتقال	بیمارستان	مرکز امدادی	بیمارستان
۱	۳، ۴، ۵، ۶، ۸ ۹، ۱۰، ۵۰	۹ ورزشگاه جانبازان (سبز۹۳۳، زرد ۱۲۰۰ و قرمز ۵۳۳)	۲ لولاگر (۱۲۰ آمبولانس)، ۳ شهریار (۱۹۵ آمبولانس)، ۵ میمنت (۱۶ آمبولانس) و ۲۱ امام خمینی (۵۲ آمبولانس و ۱۵۰ هلی‌کوپتر)	۱۶ ورزشگاه حیدریان (۴۰۰)	۲۱ امام خمینی (۱۲)
				۱۷ مدرسه ابوطالب (۴۰۰)	۵ میمنت (۱۲)
				۱۸ مدرسه نرجس (۴۰۰)	۲۱ امام خمینی (۲۴)
۲	۱، ۲، ۱۲، ۱۳، ۱۴ ۱۷، ۱۹، ۲۰	۱۲ ورزشگاه حیدرنیا (سبز ۶۲۲، زرد ۸۰۰ و قرمز ۳۵۵)	۱۴ لقمان (۱۵۵ آمبولانس) و ۲۱ امام خمینی (۲۰۰ هلی‌کوپتر)	۵۳ مدرسه سروش (۴۰۰)	
				۵۴ مدرسه کدخدایی (۴۰۰)	۱۴ لقمان (۱۲)
۳	۱۱، ۱۵، ۱۶، ۱۸ ۲۱، ۲۲، ۳۷	۱۴ جنوب منطقه نظامی میدان حر (سبز ۶۲۲، زرد ۸۰۰ و قرمز ۳۵۵)	۱۵ فارابی (۱۱۸ آمبولانس) و ۲۳ سینا (۳۷ آمبولانس و ۳۰۰ هلی‌کوپتر)	۳۷ مدرسه رهنما (۴۰۰)	۱۵ فارابی (۲۴)
				۳۸ مدرسه بهرامی (۴۰۰)	
۴	۲۰، ۲۵، ۳۹، ۴۹ ۵۰، ۵۹، ۶۴	۱۶ پارک رازی (سبز ۶۲۲، زرد ۸۰۰ و قرمز ۳۵۵)	۱۴ لقمان (۱۸۳ هلی‌کوپتر)، ۱۸ بهارلو (۱۴ آمبولانس) و ۱۵ فارابی (۱۴۱ آمبولانس، ۱۶ هلی‌کوپتر)	۶۷ مسجد قائم (۴۰۰)	۱۴ لقمان (۱۲)
				۶۸ مدرسه شهدای هویزه (۴۰۰)	۱۸ بهارلو (۱۲)
۵	۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹ ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳ ۳۴، ۳۵، ۳۶	۱۹ دانشگاه امیرکبیر (سبز ۸۸۷، زرد ۱۱۴۰و قرمز ۵۰۷)	۳۰ شفابخشان (۲۴۶ آمبولانس) ۲۶ اکبرآبادی (۱۰ آمبولانس و ۱۶۲ هلی‌کوپتر) و ۲۳ سینا (۸۷ هلی‌کوپتر)	۷۰ مدرسه بدر (۴۰۰)	۳۶ اکبرآبادی (۱۲)
				۸۲ مدوسه اندرزگو (۳۴۰)	۳۰ شفابخشان (۲۲)
				۸۴ مدرسه رفاه (۴۰۰)	
۶	۴۰، ۴۱، ۴، ۴۳ ۴۵، ۴۴	۲۵ پارک بهمن (سبز ۸۶۱، زرد ۱۱۰۷ و قرمز ۴۹۲)	۴۶ کاشانی (۱۷۶ آمبولانس) و ۳۶ اکبرآبادی (۳۰۰ هلی‌کوپتر)	۱۱۴ مدرسه صالحی (۳۰۷)	۳۶ اکبرآبادی (۹)
				۱۱۵ مدرسه همدانی (۴۰۰)	۴۶ کاشانی (۲۴)
				۱۱۸ مدرسه اخلاص (۴۰۰)	
۷	۲۱، ۲۳، ۲۴، ۳۸ ۳۹، ۴۰، ۴۶، ۴۸	۲۹ ورزشگاه وصال (سبز ۶۲۲، زرد ۸۰۰ و قرمز ۳۵۵)	۱۸ بهارلو (۵۵ آمبولانس) و ۲۳ سینا (۳۰۰ هلی‌کوپتر)	۴۹ مدرسه جهان (۴۰۰)	۱۸ بهارلو (۲۴)
				۵۰ مدرسه چمران (۴۰۰)	
۸	۵۰، ۵۱، ۶۲، ۶۳ ۵۴الی۶۰	۳۲ ورزشگاه صبوری (سبز ۹۰۷، زرد ۱۱۶۷ و قرمز ۵۱۸)	۵ میمنت (۷۹ آمبولانس)، ۶ آزادی (۱۲۰ آمبولانس)، ۱۴ لقمان (۸۷ آمبولانس)، ۵۰ ضیائیان (۱۳۱ آمبولانس) و ۲۱ امام خمینی (۱۰۰ هلی‌کوپتر)	۱۲۹ مدرسه الزهرا (۴۰۰)	۵۰ ضیائیان (۳۵)
				۱۳۵ شهرداری منطقه ۱۷ (۴۰۰)	
				۱۴۴ مدرسه یاهنر (۳۶۷)	
۹	۴۷، ۶۵، ۶۸ ۶۹، ۷۰، ۷۱	۳۶ جنوب بوستان ولایت (سبز ۹۱۵، زرد ۱۱۷۶ و قرمز ۵۲۳)	۱۸ بهارلو (۱۷۰ آمبولانس)، ۱۵ فارابی (۱۵۰ هلی‌کوپتر) و ۴۷ امیرالمؤمنین (۲۰۲ آمبولانس)	۱۲۱ مدرسه شاهمرادی (۴۰۰)	۱۸ بهارلو (۲۴)
				۱۶۳ مدرسه کوی آزادی (۴۰۰)	
				۱۶۵ مدرسه میثاق (۳۷۶)	۴۷ امیرالمومنین (۱۱)
۱۰	۶۱، ۶۴، ۶۶، ۶۷ ۷۲الی۷۶	۴۰ ورزشگاه بهار (سبز ۶۲۲، زرد ۸۰۰ و قرمز ۳۵۵)	۱۸ بهارلو (۱۷ آمبولانس)، ۵۱ غیاثی (۱۸۸ آمبولانس) و ۲۱ امام خمینی (۱۵۰ هلی‌کوپتر)	۱۵۰ ورزشگاه کافی (۴۰۰)	۱۸ بهارلو (۱۲)
				۱۵۱ مدرسه زندی (۴۰۰)	۵۱ غیاثی (۱۲)

در شکل ۳ نحوه تخصیص محلات جمالزاده، جمهوری، سلسبیل شمالی و جنوبی، اسکندری، حر، مخصوص و خرمشهر به نقطه انتقال ورزشگاه حیدرنیا و تخصیص آن به بیمارستان‌ها و مراکز امدادی روی نقشه شهر تهران مشخص شده است. همان‌طور که مشخص شده ممکن است نقاط تقاضا به بیمارستان نزدیک‌تر از نقطه انتقال باشند، اما لازم است از انتقال مجروحان به‌طور مستقیم جلوگیری شود.



شکل ۳. نحوه تخصیص نقطه انتقال حیدرنیا به نقاط تقاضا، بیمارستان و مراکز امدادی

حل مدل تک‌هدفه، زلزله هفت ریشتری و مسئله تخصیص بهینه جریان مجروحان

پارامترها و مفروضات

- استفاده از همه نقاط انتقال، مراکز امدادی و بیمارستان‌های پیش‌بینی‌شده (مسئله تخصیص)
- نسبت مجروحان قرمز، زرد و سبز از کل مجروحان به‌ترتیب ۰/۱، ۰/۵۵ و ۰/۳۵
- افزایش ۳۰ درصدی ظرفیت بیمارستان‌های موجود برای پاسخ‌گویی به ۱۰ درصد مجروحان
- نسبت مجروحانی که در مرکز امداد از زرد به قرمز تغییر وضعیت می‌دهند برابر با ۰/۰۵
- ضریب افزایش سرعت آلفا برابر با ۰/۲

در جدول ۶ مانند جدول ۵، دو نمونه از پاسخ‌های به‌دست‌آمده از حل مدل تخصیص ارائه شده که به‌دلیل طولانی شدن جدول از ارائه همه پاسخ خودداری شده است.

جدول ٦. بخشی از جواب بهینه مدل تک‌هدفه در زلزله هفت ریشتری

ردیف	نقاط تقاضا	نقطه انتقال	بیمارستان	مرکز امدادی	بیمارستان
۱	کارون جنوبی (۸۱۸)، زنجان جنوبی (۱۲۳۲) و هاشمی (۸۷۲)	اداره کل آتش‌نشانی	امام خمینی (۲۹۲ هلی‌کوپتر)	ورزشگاه جیحون (۴۰۰)	شهریار
				پاتق محله طوس (۴۰۰)	شهریار
				مدارس عزآبادی (۸)	میمنت
				مدارس فرزانگان (۴۰۰)	شهریار
				مدرسه فاضل (۴۰۰)	بابک
۲	هاشمی (۸۶۴) و جی (۱۸۲۸)	ورزشگاه مالک اشتر	میمنت (۹۶ آمبولانس)، آزادی (۲۳ آمبولانس)، امید (۱۸ هلی‌کوپتر) و مدائن (۷۸ هلی‌کوپتر)	مدارس عزآبادی (۷)	میمنت
				مدارس قدس (۴۰۰)	میمنت
				فرهنگسرای کار (۴۰۰)	آزادی
				مدرسه ابوطالب (۲۰۴)	بابک
				مدرسه مکتب الزهرا (۴۰۰)	میمنت
...	...	...	...	...	...

رویکرد تئوری فازی برای حل مدل‌های چندهدفه

برای به دست آوردن جواب‌های بهینه پارتو از رویکرد نظریه فازی استفاده می‌شود به‌گونه‌ای‌که:

رابطه ۴۳) $\max w_1\alpha_1 + w_2\alpha_2$

s.t

رابطه ۴۴) $z_1 \le z_1^- + (1-\alpha_1)(z_1^+ - z_1^-)$

رابطه ۴۵) $z_2 \le z_2^- + (1-\alpha_2)(z_2^+ - z_2^-)$

رابطه ۴۶) $w_1 + w_2 = 1$

رابطه ۴۷) $0 \le \alpha_1 \le 1$

رابطه ۴۸) $0 \le \alpha_2 \le 1$

رابطه ۴۹) $w_1 \ge 0$

رابطه ۵۰) $w_2 \ge 0$

روابط ۲۱ الی ۴۲

z^- : نشان‌دهنده بهترین جواب ممکن برای توابع هدف از نوع مینیمم و z^+ نشان‌دهنده بدترین جواب ممکن برای توابع هدف از نوع مینیمم است. رابطه ۴۳ بیانگر حداکثرسازی مطلوبیت‌های α بوده و روابط ۴۴ و ۴۵ سطح مطلوبیت برآورده شده است، رابطه ۴۶ نسبت تقسیم اوزان دو تابع هدف بوده که بر اساس روابط ۴۹ و ۵۰ نمی‌توانند مقادیری منفی باشند. روابط ۴۷ و ۴۸ نشان می‌دهد مطلوبیت تابع هدف مد نظر مقداری بین صفر و ۱ است که مقدار ۱ نشان‌دهنده مطلوبیت کامل برای تابع هدف و مقدار صفر عدم مطلوبیت برای تابع هدف را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

حل مدل دوهدفه، زلزله شش ریشتری، مسئله مکان‌یابی و تخصیص بهینه جریان مجروحان

پارامترهای مسئله مانند حالت مکان‌یابی و تخصیص مدل تک‌هدفه تنظیم شده‌اند. به اضافه اینکه پارامترهای جریمه پیش‌بینی شده‌اند. جواب‌های بهینه پارتو با تغییر اوزان توابع هدف در جدول ۷ ارائه شده و برای جلوگیری از حجیم شدن جدول از ارائه اسامی نقاط خودداری شده است. همان‌طور که مشخص است با تغییر وزن توابع هدف پاسخ‌ها در هر سه بخش انتخاب نقاط انتقال، بیمارستان‌ها و مراکز امداد و همچنین میزان و حجم تخصیص آنها تغییر پیدا می‌کند. از این رو تصمیم‌گیرنده برداشت دقیق‌تری از نتایج تصمیم خود در شرایط مختلف خواهد داشت.

جدول ۷. جواب‌های بیهنه پارتو در حالت‌های مختلف اوزان توابع هدف

	نقاط انتقال	بیمارستان	مرکز امداد
W۱= ۰/۱ W۲= ۰/۹	۲۵-۱۹-۱۶-۱۴-۱۲-۹ ۴۰-۳۲-۲۹-۲۸	۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۶-۴-۱ ۴۹-۴۸-۴۵-۴۴-۳۰-۲۳	۵۰-۴۹-۴۸-۳۷-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۹-۸ ۱۱۸-۱۱۵-۱۱۴-۸۴-۶۸-۶۷-۵۴-۵۳ ۱۵۱-۱۵۰-۱۳۵-۱۲۹-۱۲۲-۱۲۰-۱۱۹
W۱= ۰/۳ W۲= ۰/۷	۲۸-۲۵-۱۹-۱۶-۱۴-۹ ۴۰-۳۶-۳۲-۲۹	۱۸-۱۶-۱۵-۱۴-۵-۴-۳-۲ ۵۱-۵۰-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۳۰	۶۸-۶۷-۶۶-۵۰-۴۹-۳۸-۳۷-۲۳-۱۸-۱۶ ۱۲۱-۱۲۰-۱۱۶-۱۱۵-۱۱۰-۱۰۲-۸۴ ۱۶۵-۱۵۱-۱۵۰-۱۴۰-۱۳۵-۱۲۹-۱۲۷-۱۲۲
W۱= ۰/۵ W۲= ۰/۵	۲۵-۱۹-۱۶-۱۴-۱۲-۷ ۴۰-۳۶-۳۲-۲۹	-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۶-۵-۳-۲ ۱۸ ۵۱-۵۰-۴۷-۴۶-۳۶-۳۰	۶۷-۵۴-۵۳-۵۰-۴۸-۳۸-۳۷-۱۸-۱۷-۱۶ ۱۲۱-۱۱۸-۱۱۵-۱۱۴-۱۰۷-۷۲-۷۱-۶۸ ۱۶۵-۱۶۴-۱۵۱-۱۵۰-۱۴۴-۱۳۵-۱۲۷
W۱= ۰/۷ W۲= ۰/۳	۲۵-۱۹-۱۶-۱۴-۱۲-۹ ۴۰-۳۶-۳۲-۲۹	۱۸-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۵-۳-۲ ۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵	۵۷-۵۴-۵۳-۵۰-۴۹-۳۷-۳۶-۱۸-۱۷-۱۶ ۱۲۱-۱۱۸-۱۱۵-۱۱۴-۸۴-۷۰-۶۸-۶۷ ۱۶۵-۱۶۳-۱۵۱-۱۵۰-۱۴۴-۱۳۵-۱۲۹
W۱= ۰/۹ W۲= ۰/۱	۲۵-۱۶-۱۴-۱۳-۷-۶ ۴۱-۳۳-۳۲-۲۹	۱۷-۱۶-۱۴-۱۳-۹-۶-۵-۴-۲ ۵۱-۵۰-۴۶-۳۸-۱۸	۵۰-۴۲-۳۸-۳۷-۳۵-۳۱-۲۳-۲۲-۱۹-۱۸-۴ ۱۲۹-۱۲۵-۱۲۱-۱۱۸-۱۱۵-۹۸-۶۷-۶۱ ۱۶۱-۱۵۷-۱۴۵-۱۴۰-۱۳۵-۱۳۴

بحث

با توجه به تخمین‌های موجود از مجروحان در زمان زلزله‌های شدید، به‌طور یقین ظرفیت بیمارستان‌ها پاسخ‌گو نخواهد بود و باید برای امدادرسانی مجروحان چاره‌ای اندیشیده شود. این مقاله ایجاد تسهیلات نقاط انتقال و مراکز امدادی را پیشنهاد می‌دهد، به‌طوری که در نقاط انتقال امکان غربالگری مجروحان بر اساس سیستم تریاژ و ارائه خدمات‌درمانی سرپایی میسر باشد.

عدم پراکنش صحیح بیمارستان‌ها در سطح شهر تهران یکی دیگر از معضلاتی است که در مطالعه موردی مشخص شد و در مقالات قبل به آن توجهی نشده است، به‌طوری که در بعضی از مناطق بیمارستانی وجود ندارد و بیمارستان‌ها در مرکز شهر مجتمع شده‌اند. این تجمع امدادرسانی را با مشکلات عدیده‌ای مانند سرازیر شدن جمعیت به این مناطق پس از بحران مواجه خواهد کرد. همچنین برای مواجهه با این شرایط، عدم پذیرش مستقیم مجروح توسط بیمارستان و آموزش شهروندان برای حضور در نقاط انتقال از اهمیت بسیاری برخوردار است.

در مقالات قبل اغلب ظرفیت انتقال در نقاط انتقال نامحدود در نظر گرفته می‌شود، در حالی که انتقال با هلی‌کوپتر

با توجه به شرایط اقتصادی کشور دارای محدودیت‌های بسیار زیادی است، هم تعداد هلی‌کوپترهای امدادی بسیار محدود است و هم زیرساخت‌های آن مهیا نیست. به همین دلیل در این مقاله ظرفیت محدودی برای انتقال با هلی‌کوپتر در نظر گرفته شد و سایر انتقال‌ها توسط آمبولانس انجام شد.

مدل‌ها در دو حالت زلزله شش و هفت ریشتری حل شدند. آنچه مسلم است در کنار فرسودگی ساختمان‌ها و ساختار نامناسب شهری، به‌دلیل عدم آموزش شهروندان، تعداد مجروحان در زلزله‌های شهر تهران از مقدار متوسط جهانی بیشتر خواهد بود، به‌طوری که در زلزله خفیف سال ۱۳۹۶ در شهر تهران هنگام فرار یک کشته و چندین مجروح بر جای گذاشته شد. در حالت زلزله هفت ریشتری برای پاسخ‌گویی به ۱۰ درصد جمعیت مجروحان باید ظرفیت بیمارستان‌های موجود ۳۰ درصد افزایش یابد که نیاز به خرید تخت‌های بیمارستانی اکسترا و سایر تجهیزات را الزامی می‌کند. همچنین بعضی از بیمارستان‌ها تخصصی هستند که باید آمادگی تغییر وضعیت به درمان عمومی در بحران را داشته باشند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط با یک هدف و دو هدف برای مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی به‌منظور تشکیل زنجیره امدادرسانی در بحران ارائه شدند. مراکز امداد تسهیلاتی هستند که به‌دلیل شرایط واقعی با توجه به ادبیات موضوع به مسئله افزوده شده است. برای بررسی کارایی مدل، مطالعه موردی در مناطق جنوب مرکزی شهر تهران که شامل مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ می‌شود، انجام شد. از مفروضات اصلی مدل، غربالگری مجروحان در نقاط انتقال به‌دلیل حجم زیاد مجروحان به نسبت ظرفیت بیمارستان‌های موجود در مناطق و عدم پذیرش مستقیم مجروح قبل از ارسال به نقطه انتقال است. همچنین به‌دلیل محدودیت در انتقال هوایی، انتقال دوگانه هوایی و زمینی برای ارسال مجروحان در نظر گرفته شده است. پراکنش غیرمتوازن بیمارستان‌ها در سطح شهر نیز از مشکلات امدادرسانی در زمان بحران خواهد بود.

مدل‌های ارائه‌شده در دو حالت زلزله شش و زلزله هفت ریشتری با کمک نرم‌افزار Lingo12 حل شدند. در زلزله شش ریشتری مسئله مکان‌یابی و تخصیص بهینه ۱۰ نقطه انتقال، ۱۵ بیمارستان و ۲۵ مرکز امدادی مد نظر بوده است که نتایج آن در حالت تک‌هدفه و دوهدفه ارائه شد. در زلزله هفت ریشتری از همه ظرفیت موجود تسهیلات استفاده شد. به‌عبارتی مدل به مسئله تخصیص تبدیل شد، در این حالت یکی از مفروضات مهم افزایش ۳۰ درصدی ظرفیت بیمارستان‌ها برای پاسخ‌گویی به ۱۰ درصد مجروحان است. پیش‌بینی امکانات و تجهیزات اضطراری برای بیمارستان‌ها، انبار لوازم و داروهای ضروری مانند غذا، لوازم گرمایشی و کمک‌های اولیه برای استفاده در نقاط تقاضا، مراکز امداد و بیمارستان‌ها ضروری است. همچنین پیش‌بینی پد بالگرد در بیمارستان‌ها و نقاط انتقال از مسائل مهم امدادرسانی است.

نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده کارایی مدل در واقعیت است که می‌تواند راهنمای تصمیم‌گیرندگان در راستای برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران باشد، اما باید در کل شهر تهران به‌عنوان یک کل به هم پیوسته اجرا شود.

پیشنهادهای اجرایی بر اساس نتایج پژوهش

- شناسایی نقاط انتقال و معرفی آنها به مردم پیش از بحران در بهینه‌سازی امدادرسانی نقش مهمی دارد. همچنین

باید پیش‌بینی‌های لازم برای زیرساخت‌های فرود هلی‌کوپتر، انبار اقلام ضروری و فضای غربالگری در نقاط انتقال صورت گیرد.

- به‌دلیل حجم زیاد مجروحان شناسایی مراکز امدادی و آماده‌سازی مراکز شناسایی‌شده برای تغییر کاربری در بحران ضروری است.
- آماده‌سازی زیرساخت‌های لازم در بیمارستان‌ها برای فرود هلی‌کوپتر، عدم پذیرش مستقیم مجروحان و افزایش ظرفیت اضطراری در بحران ضروری است.

پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده

- در نظر گرفتن ضریب شکست برای تسهیلات
- در نظر گرفتن ضریب شکست برای مسیرهای پیش‌بینی‌شده
- در نظر گرفتن مکان‌یابی انبارهای رهایی برای تأمین اقلام مورد نیاز تسهیلات

منابع

بهرامی، فرزاد؛ صفری، حسین؛ توکلی مقدم، رضا؛ مدرس یزدی؛ محمد (۱۳۹۶). مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی هاب زمینی در محدوده نامتراکم و وسیع. *فصل‌نامه مدیریت صنعتی*، ۹ (۱)، صص ۵۹-۷۸.

شاهین، مهدی؛ جبل عاملی، محمد سعید؛ جبارزاده، آرمین (۱۳۹۵). مکان‌یابی هاب سلسله‌مراتبی چند روش حمل‌ونقلی و چند کالایی در فضای غیرقطعی. *مدیریت صنعتی*، ۸(۴)، ۶۲۵-۶۵۸.

قاسمی، روح اله؛ علی دوستی، علی؛ حسنوی، رضا؛ نوروزیان ریکنده، جابر (۱۳۹۷). شناسایی و اولویت‌بندی اقدامات زنجیره تأمین بشردوستانه برای تأمین مواد غذایی ضروری قبل از زمین لرزه. *مدیریت صنعتی*، ۱۰(۱)، ۱-۱۶.

کریمی، سلمان (۱۳۹۰). سامانه تخمین سریع خسارت و تلفات زلزله شهر تهران. *همایش ژئوماتیک ۹۰*، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور. قابل دسترسی در: https://www.civilica.com/Paper-GEO90-GEO90_013.html

مهرگان، محمدرضا؛ جعفرنژاد، احمد؛ محمدی، میلاد (۱۳۹۷). ارائه مدل چندهدفه برای حمل‌ونقل زمینی مواد خطرناک در شبکه هاب (مطالعه موردی: شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی). *مدیریت صنعتی*، ۱۰(۲)، ۲۰۱-۲۲۰.

References

Bahrami, F., Safari, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Modarres Yazdi, M. (2017). Road Hub Location-Routing Issue in a Sparse and Distant Area. *Industrial Management Journal*, 9(1), 59-78. (*in Persian*)

Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (2005). The facility and transfer points location problem. *International Transactions in Operational Research, 179*, 387-402.

Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (2007). The transfer point location problem. *European Journal of Operational Research, 179*, 978-989.

Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (2008). Themultiple location of transfer points. *Journal of the Operational Research Society, 59*, 805-811.

Ghasemi, R., Alidoosti, A., Hosnavi, R., & Norouzian Reikandeh, J. (2018). Identifying and Prioritizing Humanitarian Supply Chain Practices to Supply Food before an Earthquake. Industrial Management Journal, 10(1), 1-16. (*in Persian*)

Hasani, A.A., Mokhtari, H. (2018). Redesign strategies of a comprehensive robust relief network for disaster management. S*ocio-Economic Planning Sciences*, 64, 92-102.

Hosseinijou, S. A., & Bashiri, M. (2011). Stochastic models for transfer point location problem. *Int J Adv Manuf Technol, 58*, 211-225.

Hosseinijou, S., & Bashiri, M. (2009). New stochastic models for minimax transfer point location problem. *International Conference on Computers & Industrial Engineering*, (pp. 1231-1236). Troyes, France.

Kalantari , H., Badiee, A., & Ghazanfari, M. (2014). A New Heuristic Model for Fuzzy Transfer Point Location Problem. *Journal of Uncertain Systems, 8*, 31-43.

Kalantari, H., Yousefli, A., Ghazanfari, M., & Shahanaghi, K. (2013). Fuzzy transfer point location problem: a possibilistic unconstrained nonlinear programming approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 70*(5-8), 1043-1051.

Karimi, S. (2012). Tehran Earthquake Damage Estimation System. *Geomatics Conference, Tehran, National Cartographic Center*. (*in Persian*)

Mahmudian, M., Keivani, A., Davoudpour, H., & Ardestani Jaafari, A. (2010). Two Iterative Algorithms for Transfer Point Location Problem. *Journal of American Science, 6*(9), 827-830.

Mcdougall, J.A., Otero, L.D. (2017). Optimal Transfer Point Locations in Two-Stage Distribution Systems. *IEEE Access*, 6, 1974-1984.

Mehregan, M., Jafarnejad, A., Mohammadi, M. (2018). Proposing a Multi-objective Model for Ground Transportation of Hazardous Materials in the Hub Network (Case Study: National Iranian Oil Products Distribution Company). *Industrial Management Journal*, 10(2), 201-220. (*in Persian*)

Merakl, M., & Yaman, H. (2016). Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty. *Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty, 86*, 66-85.

Mohamadi, A., & Yaghoubi, S. (2017). A bi-objective stochastic model for emergency medical services network. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 23*, 204-217.

Mohamadi, A., Yaghoubi, S., & Derikvand, H. (2015). A credibility-based chance-constrained transfer point location model for the relief logistics design (Case Study: earthquake disaster on region 1 of Tehran city). *International Journal of Supply and Operations Management, 1*(4), 46-488.

Paul, J. A., Wang, X. (2019). Robust location-allocation network design for earthquake preparedness. *Transportation Research*, Part B, 119, 139–155.

Sasaki, M., Furuta, T., & Suzuki, A. (2008). Exact optimal solutions of the minisum facility and transfer. *International Transactions in Operational Research, 15*, 295-306.

Shahin, M., Jabalameli, M., Jabbarzadeh, A. (2017). Multi-modal and multi-product hierarchical hub location under uncertainty. *Industrial Management Journal*, 8(4), 625-658. (*in Persian*)

Yousefli, A., Kalantari, H., & Ghazanfari, M. (2018). Stochastic transfer point location problem: A probabilistic rule-based approach. *Uncertain Supply Chain Management, 6*, 65-74.