

تشکیل زنجیره امدادرسانی در بحران با رویکرد مکان یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیلات مطالعه‌ی موردی مناطق جنوب مرکزی تهران

سید حسین سیدی: دانشجوی دکتری مدیریت تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
سید محمد علی خاتمی فیروزآبادی*: دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران؛
Email: a.khatami@atu.ac.ir

مقصود امیری: استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
سید محمد تقی تقوی فرد: دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۶

چکیده

امدادرسانی به آسیب دیدگان یکی از مهمترین مراحل مدیریت بحران است که باید پیش از رخداد حادثه برای آن برنامه ریزی کرد. امدادرسانی به موقع و بهره‌ور خسارات جانی و مالی را به شدت کاهش خواهد داد. با توجه به این ضرورت در این مقاله مدل ریاضی عدد صحیح مختلط دو هدفه مکان یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیلات جهت تشکیل زنجیره امدادرسانی در زمان بحران زلزله ارائه شده که تسهیلات شامل بیمارستان، مرکز امداد، انبار و پناهگاه هستند. غربالگری مجروحین بر اساس سیستم تریاژ، ارائه خدمات درمانی سرپایی به مجروحین سبز در نقاط انتقال، انتقال مجروحین زرد به مراکز امداد، انتقال دوگانه هوایی و زمینی مجروحین قرمز به بیمارستان، توجه به نوع کالای مورد نیاز در هر نقطه و در نهایت اضافه کردن محدودیت بودجه جهت راه اندازی تأسیسات، مفروضات مقاله در توسعه مدل مکان یابی نقاط انتقال و تسهیل است. جهت بررسی کارکرد مدل در شرایط واقعی، مطالعه موردی در مناطق جنوب مرکزی تهران صورت گرفت. مدل یک بار با تعداد تسهیلات مشخص و بار دیگر با در نظر گرفتن محدودیت بودجه حل شد که در حالت دوم نتایج بهتر و کاربردی تری به دست آمد. با افزایش بودجه تعداد نقاط انتقال افزایش پیدا می کند که نشان دهنده اهمیت این تسهیلات در کاهش زمان امدادرسانی است. از این رو تأسیس نقاط انتقال یک راهبرد مؤثر در بهره‌وری فرآیند امدادرسانی است. توجه به پراکنش بیمارستان ها در سطح شهر برای احداث بیمارستان های تازه، ایجاد زیرساخت های امداد هوایی در بیمارستان ها، شناسایی ساختمان های مقاوم جهت تغییر کاربری در بحران به عنوان تسهیلات پشتیبان و آموزش فرآیند امدادرسانی به شهروندان از راهکارهای مهم در کارکرد صحیح زنجیره امدادرسانی است.

کلمات کلیدی: نقطه انتقال، مکان یابی، تخصیص، بحران

Establishing an emergency relief chain in a crisis with the approach of multiple transfer points and facilities location case study: south-central regions of Tehran

Seyed Hosein Seyed¹, Seyed Mohammad Ali Khatami FirouzAbadi², Maghsoud Amiri³, Seyed Mohammad Taghi Taghavi Fard⁴

Abstract

Relief of injuries is one of the most important stages of crisis management that should be planned for it before the incident. Timely and productivity relief will significantly reduce the financial and human losses. Considering this necessity, in this paper, proposed a mixed-integer mathematical model of multiple transfer points and facilities location for the formation of a relief chain during the earthquake crisis, which facilities includes hospitals, rescue centers, warehouses and shelters. Screening the injuries according to the triage system and providing outpatient health care at the transfer points, transfer the yellow injuries to the relief centers, dual transfer of the red injuries to the hospital, paying attention to the type of goods needed at any point, and finally, adding budget constraint to set up facilities are the paper's assumptions that developed the transfer points and facilities location model. To evaluate the model in real term a case study was conducted in south-central regions of Tehran. Model was once solved with specified number of facilities, and again with consideration of budget constraint, in the second condition, better and more practical results were obtained. As the budget increases, the number of transfer points increases that indicating the importance of them in reducing the relief time. Therefore, the establishment of transfer points is an effective strategy in the efficiency of the relief process during a crisis. Attention to the distribution of hospitals in the city for the construction of new hospitals, the establishment of air rescue infrastructure in hospitals, identification of resistant buildings to change their use in crisis as a backup facility, and training the process of relief to citizens, are important solutions in the proper functioning of the relief chain.

Keywords: Transfer Point, Location, Allocation, Disaster

1. Ph.D. Student in Operation Research Management, Faculty of Management University of Allameh Tabataba'i Tehran, Iran
2. Associate Prof., Faculty of Management University of Allameh Tabataba'i Tehran, Iran, Email: a.khatami@atu.ac.ir
3. Prof. Faculty of Management University of Allameh Tabataba'i Tehran, Iran
4. Associate Prof., Faculty of Management University of Allameh Tabataba'i Tehran, Iran

مقدمه

کاهش آسیب‌های مالی و جانی در حوادث غیرمترقبه و بلایای طبیعی همواره دغدغه‌ای جدی در زندگی بشر است. با گسترش بلایای طبیعی و افزایش خسارات آن، مدیریت بحران و امدادرسانی به موضوعی جدی در مجامع علمی تبدیل شده است. [۱] با توجه به ماهیت غیرمترقبه حوادث، برنامه‌ریزی از قبل و آمادگی جهت اقدامات از پیش تعیین شده برای به حداقل رساندن آسیب‌های احتمالی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. [۲] زلزله یکی از این حوادث طبیعی است که تاکنون در ایران خسارات بسیار زیادی را برجای گذاشته؛ به طوری که در بخش‌های مختلف کشور زلزله‌های ویرانگر رخ داده [۳] و به دلیل آسیب‌پذیری بالای ساختمان‌ها و فقدان برنامه‌ریزی‌های لازم باعث بروز تلفات جانی زیادی شده است. [۴] با توجه به قرار گرفتن شهر تهران بر گسل‌های فعال، بافت‌های فرسوده شهری و تراکم جمعیت بسیار زیاد، در صورت وقوع زلزله‌ای با شدت بالا، وقوع تلفات مالی و جانی گسترده قابل پیش‌بینی است. [۵] از این‌رو در شهر تهران امدادرسانی پس از بحران به‌ویژه در مناطق شهری با بافت فرسوده از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

تشکیل زنجیره لجستیکی امدادرسانی پس از بحران زلزله از مسائل مهم در مدیریت بحران است که به دو بخش اصلی عملیات تخلیه و انتقال مجروحین به مراکز امدادی و تأمین تجهیزات و کالای مصرفی مورد نیاز برای آسیب‌دیدگان زلزله تقسیم می‌شود. [۶] به عبارت دیگر پس از خروج مجروحین از بخش‌های آسیب دیده، ارسال مجروحین به بیمارستان، تأمین کالای اساسی مورد نیاز آسیب‌دیدگان از جمله تجهیزات پزشکی، داروهای اساسی، آب، غذا و پتو، اسکان و رسیدگی به افرادی که بی‌خانمان شده‌اند، نیاز به طراحی یک زنجیره لجستیکی امداد دارد؛ به طوری که برای این موارد برنامه‌ریزی صورت گیرد و نحوه تأمین نیازمندی‌های هر بخش از قبل مشخص باشد. [۷]

ایجاد تسهیلات محور در امدادرسانی یکی از روش‌های انتقال مجروحین است که در ادبیات به مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال شناخته می‌شود. ایده اصلی نقطه انتقال، ارسال مجروحین از نقاط آسیب‌دیده به نقطه انتقال به صورت عادی و با آمبولانس، سپس ارسال با بالگرد به بیمارستان با سرعت بالاتر است.

مسئله‌ای که در شهر تهران وجود دارد، تخمین تعداد مجروحین بالا در بحران‌های شدید و ظرفیت محدود بیمارستان‌هاست. این مسئله پیش‌بینی مراکزی جهت پذیرش مجروحین در صورت پر شدن ظرفیت بیمارستان‌ها، غربالگری مجروحین پیش از اعزام به بیمارستان، تنها انتقال مجروحین بدحال به بیمارستان، ارسال مجروحین عادی به مراکز امداد و پیش‌بینی انبار جهت ارائه تجهیزات مورد نیاز برای بخش‌های خدمت‌دهنده در زنجیره امدادرسانی را ضروری می‌کند. همچنین در کنار خدمت‌رسانی به مجروحین تعداد زیادی از ساکنین بی‌خانمان می‌شوند که اسکان این افراد در پناهگاه‌های پیش‌بینی شده از اهمیت زیادی برخوردار است. از فرضیات دیگری که باید مورد بررسی قرار گیرد محدودیت

بودجه در راه‌اندازی تسهیلات است که مدیران را در تصمیم‌گیری کمک خواهد کرد.

با توجه به ضرورت‌های ارائه شده، این مقاله با محوریت مکان‌یابی نقطه انتقال به دنبال ارائه یک زنجیره امدادرسانی است؛ به گونه‌ای که در آن جریان مجروحین، تجهیزات مورد نیاز و اسکان افراد بی‌خانمان به صورت یک زنجیره طراحی شود. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیلات شامل بیمارستان، مراکز امدادی، انبار اضطراری و پناهگاه ارائه می‌شود که هدف آن به حداقل رساندن زمان خدمت‌رسانی به آسیب‌دیدگان است.

با توجه به شرایط نگران‌کننده مناطق جنوب مرکزی تهران شامل مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ در بحران احتمالی، به دلیل تراکم جمعیت بالا، فرسودگی ساختمان‌ها و همچنین برای بررسی کارایی مدل ارائه شده، مطالعه موردی در این مناطق ارائه می‌شود.

پیشینه پژوهش

برمن، ساساکی و وسولوفسکی (۲۰۰۵) برای اولین بار از عبارت مکان‌یابی نقطه انتقال جهت امدادرسانی به مجروحین استفاده کردند، در این مقاله مکان‌یابی نقطه انتقال و تسهیل با یک نقطه انتقال و یک تسهیل مورد بررسی قرار گرفت و با رویکرد کمینه مجموع و کمینه بیشینه حل شد. [۸] در مقاله بعدی نویسندگان (۲۰۰۷) مسئله مکان‌یابی نقاط انتقال در سطح شبکه و حل تحلیلی این مسئله مورد بررسی قرار می‌گیرد. [۹] در مقاله دیگر این نویسندگان (۲۰۰۸) مدل مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیلات و الگوریتمی بهینه برای حل این مسئله ارائه شده است. [۱۰] ساساکی، فوروتا و سوزوکی (۲۰۰۸) مدل مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیل را به صورت یک مسئله p-median فرموله‌بندی می‌کنند و روشی مبتنی بر شمارش را جهت حل آن ارائه می‌دهند. [۱۱] حسینی‌جو و بشیری (۲۰۰۹) مدل احتمالی مکان‌یابی نقطه انتقال را به همراه حل تحلیلی مدل از طریق محاسبه ارزش انتظاری با فرض وجود یک منطقه تقاضا مورد بررسی قرار می‌دهند. [۱۲] در مقاله بعدی نویسندگان (۲۰۱۱) مدل مقاله قبل با فرض چند منطقه تقاضای احتمالی توسعه داده می‌شود و برای حل آن از روش‌های عددی استفاده می‌شود. [۱۳] محمودیان، کیوانی و داوودپور (۲۰۱۰) دو الگوریتم جهت حل مسائل مکان‌یابی نقطه انتقال ارائه می‌دهند که در الگوریتم اول ابتدا نقاط تقاضا خوشه‌بندی می‌شوند و خوشه نقاط تقاضا به نقطه انتقال تخصیص پیدا می‌کند. در الگوریتم دوم ابتدا نقطه انتقال مشخص می‌شود، سپس نحوه تخصیص آن به نقاط تقاضا مشخص می‌شود. [۱۴] کلانتری، یوسفلی، غضنفری و شهانقی (۲۰۱۳) مدل فازی غیرخطی بدون محدودیت مکان‌یابی نقطه انتقال و روش حل تحلیلی آن را مورد بررسی قرار می‌دهند و در نهایت یک کنترلر فازی جهت تصمیم‌گیری برای مدل طراحی می‌شود. [۱۵] کلانتری، بدیعی و غضنفری (۲۰۱۴) مدل مقاله قبل را با در نظر گرفتن اوزان فازی برای نقاط تقاضا توسعه می‌دهند. [۱۶] محمدی، یعقوبی و دریکوند (۲۰۱۵) مدل

فازی شانس محدود مکان‌یابی نقطه انتقال با فرض دو خدمت اساسی مبنی بر ارائه خدمات پزشکی به مجروحین و تأمین کالای اساسی را ارائه می‌کنند. [۱۷] محمدی و یعقوبی (۲۰۱۷) مدل احتمالی مکان‌یابی نقطه انتقال را با فرض احتمال شکست تسهیلات و پیش‌بینی سرویس پشتیبان بررسی می‌کنند. [۱۸] مراکل و یامن (۲۰۱۶) مدل مکان‌یابی نقطه انتقال پایدار را با در نظر گرفتن دو حد بالا و پایین احتمالی برای تقاضا توسعه می‌دهند که مدل از طریق ارزش انتظاری به یک مدل خطی عدد صحیح تبدیل می‌شود و با رویکرد تجزیه و تحلیل گوشه حل می‌شود. [۱۹] اردمیر، بتا، روگرسون، بلت و فلانیگان (۲۰۱۰) یک مدل پوششی جهت خدمات اورژانسی زمینی و هوایی ارائه کرده‌اند. در این مدل خدمت‌رسانی هوایی در صورت امکان فرود اضطراری و در غیر این صورت خدمت‌رسانی زمینی مد نظر قرار گرفته است. این مقاله برای امدادرسانی تصادفات جاده‌ای مدلسازی شده و در مدل ارائه شده اگر نزدیک‌ترین آمبولانس مشغول باشد، نزدیک‌ترین آمبولانس بعد از آن فراخوانده می‌شود. مدل تقسیم کار در این مقاله پوششی است. [۲۰] بزرگی امیری، توکلی، میرزاپور و ربانی (۲۰۱۷) مکان‌یابی ایستگاه هلیکوپتر و محل فرود هلیکوپتر را برای خدمت‌رسانی به مجروحین در شرایط عدم قطعیت ارائه می‌دهند. در این مقاله یک مدل عدد صحیح غیرخطی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا ارائه می‌شود. در این مقاله سه سناریو جهت انتقال مجروحین در نظر گرفته شده که عبارتند از انتقال مستقیم مجروح به بیمارستان با آمبولانس، انتقال مجروح به ایستگاه هلیکوپتر و سپس انتقال به بیمارستان با هلیکوپتر، انتقال مجروح با آمبولانس به محل فرود هلیکوپتر و آمدن هلیکوپتر از ایستگاه به محل فرود؛ سپس انتقال بیمار با هلیکوپتر به بیمارستان. [۲۱] شهریار، بزرگی امیری، توکلی و یوسفی (۲۰۱۷) رویکرد دو هدفه برای خدمت‌رسانی هوایی، زمینی و مکان‌یابی محل فرود هلیکوپتر در سیستم خدمت‌رسانی را ارائه می‌کنند. این مقاله در ادامه مقاله قبلی و تکمیل‌کننده آن است. [۲۲] بزرگی امیری، صبوچی، توکلی و مرادحاصلی (۱۳۹۵) مدل مکان‌یابی - تخصیص برای تخلیه افراد و توزیع کمک‌های امدادی در فاز پاسخ به بحران را ارائه داده‌اند. در مطالعات پیشین فقط به انتقال مجروحین توجه شده؛ اما در این مقاله در کنار انتقال مجروحین، انتقال افراد سالم به پناهگاه نیز مورد توجه قرار گرفته است. [۲۳] بدیعی، شهنقی و کلانتری (۱۳۹۵) برای حل مدل چند هدفه مکان‌یابی نقطه انتقال یک الگوریتم ژنتیک ارائه می‌کنند. در این مقاله اهداف مورد نظر کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل و تأسیس نقاط انتقال، کمینه‌سازی مجموع زمان‌های جابجایی و بیشینه‌سازی مقدار پوشش هستند و مطالعه موردی جهت سیستم توزیع آرد در شهرستان اندیمشک استان خوزستان ارائه شده است. [۲۴] مک دوگال و اترو (۲۰۱۷) مکان‌یابی بهینه نقطه انتقال در سیستم توزیع دومرحله‌ای را ارائه کرده‌اند. در این مقاله مکان‌یابی نقطه انتقال جهت ارسال کالا از طریق سیستم هوایی بدون سرنشین ارائه شده است. [۲۵] در نهایت یوسفلی، کلانتری و غضنفری

(۲۰۱۸) برای حل مدل مکان‌یابی انتقال یک رویکرد احتمالی بر مبنای قاعده ارائه می‌کنند. [۲۶]

روش تحقیق و تشریح مسئله

در این مقاله مدل مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیلات شامل بیمارستان، مراکز امدادی، انبارهای اضطراری و پناهگاه جهت اسکان افراد بی‌خانمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله بر خدمت‌رسانی به مجروحین و افراد سالم بی‌خانمان تمرکز شده است.

مجروحین توسط آمبولانس یا شهروندان از منطقه تقاضا به نقطه انتقال ارسال می‌شوند. در واقع در این مقاله برای جلوگیری از ازدحام در بیمارستان‌ها به دلیل حجم زیاد مجروحین نسبت به ظرفیت بیمارستان‌ها، پذیرش مجروحین در بیمارستان جز از طریق نقطه انتقال ممکن نیست. مجروحین در نقطه انتقال به سه رنگ قرمز برای مجروح بدحال و نیازمند به خدمات درمانی ویژه، مجروح زرد با وضعیت معمولی و مجروح سبز که نیازمند کمک‌های اولیه و درمان سرپایی هستند، تقسیم‌بندی می‌شوند. خدمات درمانی سرپایی در نقطه انتقال برای مجروحین سبز انجام می‌شود، مجروحین زرد به مراکز امدادی توسط آمبولانس اعزام می‌شوند و در نهایت مجروحین قرمز با هلیکوپتر و در صورت عدم ظرفیت با آمبولانس به بیمارستان انتقال داده می‌شوند. مجروحین زردی که به مراکز امدادی اعزام شده‌اند، ممکن است طی فرآیند درمان حالشان وخیم شود؛ از این‌رو لازم است آمادگی ارسال این مجروحین به بیمارستان وجود داشته باشد. افراد سالم که بی‌خانمان شده‌اند، خصوصاً زنها و بچه‌ها از منطقه حادثه به پناهگاه‌ها انتقال داده شده و در آن اسکان می‌یابند. در پناهگاه به خاطر فشارهای روانی ناشی از آسیب و یا دیگر موارد ممکن است افراد دچار بدحالی شوند که این افراد به مراکز امدادی انتقال پیدا می‌کنند.

تسهیلات خدمت‌دهنده به مجروحین و نقاط تقاضا به تجهیزات و لوازم مصرفی مختلفی نیازمندند که نوع و مقدار آن در هر مرکز متفاوت است؛ از این‌رو برای هر نقطه باید بسته ویژه آن را ارسال کرد. در این مقاله ۱۴ کالای ضروری در نظر گرفته شده که عبارتند از پتو، کمک‌های اولیه، داروهای عمومی، داروهای ویژه بیمارستان، تجهیزات درمانی عمومی، تجهیزات ویژه بیمارستان، غذا، آب، تجهیزات امدادرسانی، کیسه خواب، چادر، لوازم بهداشت کودک و زنان، شیرخشک و لوازم گرمایشی. زنجیره امدادرسانی مفروض در تصویر ۱ ارائه شده است.

قابل توجه اینکه فرض اساسی مدل، امدادرسانی به مجروحین در ساعات اولیه بحران یعنی در زمان حیاتی امدادرسانی است؛ زیرا امدادرسانی به موقع در این زمان تعداد تلفات جانی را بسیار کاهش می‌دهد. از این‌رو ظرفیت انتقال با توجه به وسایل نقلیه محدود در زمان معین محدود است و نمی‌توان فرض کرد که در نهایت به همه مجروحین خدمت داده خواهد شد؛ بلکه خدمت در زمان مؤثر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

$$Y_j = \sum_l YA_{jl} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$R_j = \sum_k (RH_{jk} + RA_{jk}) \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$\beta_{YR} * \sum_j YA_{jl} = \sum_k YR_{lk} \quad \forall l \in L \quad (7)$$

$$\beta_{HY} * \sum_i H_{in} = \sum_l HY_{nl} \quad \forall n \in N \quad (8)$$

$$\beta_G * \sum_i x_{ij} = G_j \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\beta_R * \sum_i x_{ij} = R_j \quad \forall j \in J \quad (10)$$

$$\beta_Y * \sum_i x_{ij} = Y_j \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$\beta_G + \beta_R + \beta_Y = 1 \quad (12)$$

$$\sum_j RH_{jk} + \sum_j RA_{jk} + \sum_l YR_{lk} \leq \quad (13)$$

$$CAP - H_k * W_k \quad \forall k \in K$$

$$Y_j + R_j \leq (CAP.AMB_j + CAP.HEL I_j) * Z_j \quad \forall j \in J \quad (14)$$

$$\sum_k RH_{jk} \leq CAP.HEL I_j * Z_j \quad \forall j \in J \quad (15)$$

$$G_j \leq CAP.OT_j * Z_j \quad \forall j \in J \quad (16)$$

$$\sum_j YA_{jl} + \sum_n HY_{nl} \leq CAP.MRC_l * U_l \quad (17)$$

$$\forall l \in L$$

$$\sum_k YR_{lk} \leq CAP.ARC_l * U_l \quad \forall l \in L \quad (18)$$

$$\sum_i H_{in} \leq CAP.MSh_n * X_n \quad \forall n \in N \quad (19)$$

$$\sum_i HY_{nl} \leq CAP.ASh_n * X_n \quad \forall n \in N \quad (20)$$

$$\sum_m p - tp_{mj} \geq \frac{G_j}{N_{tp}} \quad \forall j \in J \quad (21)$$

$$\sum_m p - RC_{ml} \geq \frac{\sum_j YA_{jl}}{N_{RC}} \quad \forall l \in L \quad (22)$$

$$\sum_m p - H_{mk} \geq \frac{\sum_j RH_{jk} + \sum_j RA_{jk} + \sum_l YR_{lk}}{N_H} \quad \forall k \in K \quad (23)$$

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

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

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

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

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

HY_{nl} : تعداد افراد سالم بدحال شده در پناهگاه n ارسالی به مرکز امداد l

$p - tp_{mj}$: تعداد وسیله نقلیه حاوی بسته مخصوص نقطه انتقال ارسالی از انبار m به نقطه انتقال j ; به همین ترتیب برای بیمارستان، مرکز امدادی، پناهگاه و منطقه تقاضا $p - H_{mk}$ ، $p - DA_{mi}$ ، $p - Sh_{mn}$ ، $p - RC_{ml}$

W_k : برابر یک است، اگر گره k به عنوان یک بیمارستان انتخاب شود؛ در غیراینصورت برابر صفر.

Z_j : برابر یک است، اگر گره j به عنوان یک نقطه انتقال انتخاب شود؛ در غیراینصورت برابر صفر.

U_l : برابر یک است، اگر گره l به عنوان یک مرکز امداد انتخاب شود؛ در غیراینصورت برابر صفر.

X_n : برابر یک است، اگر گره n به عنوان یک پناهگاه انتخاب شود؛ در غیراینصورت برابر صفر.

V_m : برابر یک است، اگر گره m به عنوان یک انبار انتخاب شود؛ در غیراینصورت برابر صفر.

مدل برنامه ریزی ریاضی

$$MINZ1 = \sum_i \sum_j t_{ij} * A_{ij} + \sum_j \sum_k t_{jk} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & (RH_{jk} * \alpha + RA_{jk}) + \sum_j \sum_l t_{jl} * YA_{jl} + \\ & \sum_l \sum_k t_{lk} * YR_{lk} + \sum_n \sum_l t_{nl} * HY_{nl} + \\ & \sum_m \sum_j t_{mj} * P - tp_{mj} + \sum_m \sum_l t_{ml} * P - RC_{ml} + \\ & \sum_m \sum_k t_{mk} * P - H_{mk} + \sum_m \sum_i t_{mi} * P - DA_{mi} \end{aligned}$$

$$MINZ2 = \sum_i \sum_n t_{in} * H_{in} + \sum_m \sum_n t_{mn} * P - Sh_{mn} \quad (2)$$

S.t

$$\sum_j A_{ij} = DA_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_n H_{in} = DH_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_m p - Sh_{mn} \geq \sum_i H_{in} / N_{Sh} \quad \forall n \in N \quad (24)$$

$$\sum_m p - DA_{mi} \geq POP_i * \theta / N_{DA} \quad \forall i \in I \quad (25)$$

$$\sum_i (p - DA_{mi} * N_{DA} * NB - DA_b) + \quad (26)$$

$$\sum_j (p - tp_{mj} * N_{tp} * NB - tp_b)$$

$$+ \sum_l (p - RC_{ml} * N_{RC} * NB - RC_b) +$$

$$\sum_k (p - H_{mk} * N_H * NB - H_b)$$

$$+ \sum_n (p - Sh_{mn} * N_{Sh} * NB - Sh_b) \leq$$

$$CapB - War_{bm} * V_m \quad \forall (b, m) \in (B, m)$$

$$\sum_k W_k = P_1 \quad (27)$$

$$\sum_j Z_j = P_2 \quad (28)$$

$$\sum_l U_l = P_3 \quad (29)$$

$$\sum_m V_m = P_4 \quad (30)$$

$$\sum_n X_n = P_5 \quad (31)$$

$$A_{ij}, H_{in}, RH_{jk}, RA_{jk}, YA_{jl}, YR_{lk}, \quad (32)$$

$$HY_{nl}, p - tp_{mj}, p - H_{mk} \quad \forall i \in I$$

$$p - RC_{ml}, p - Sh_{mn}, p - DA_{mi} \geq 0 \text{ and integer}$$

$$\forall j \in J$$

$$\forall k \in K \quad (33)$$

$$\forall l \in L$$

$$\forall m \in M$$

$$\forall n \in N$$

$$Z_j, W_k, U_l, X_n, V_m \in \{0, 1\}$$

رابطه ۴ بیانگر آن است که کل افراد سالم بی‌خانمان نقاط تقاضا باید به پناهگاه‌های مختلف فرستاده شوند.

رابطه ۵ بیانگر آن است که کل مجروحین زرد انتقال داده شده به یک نقطه انتقال به مرکز امداد فرستاده می‌شوند.

رابطه ۶ بیانگر آن است که کل مجروحین قرمز انتقال داده شده به یک نقطه انتقال با هلیکوپتر و یا آمبولانس به بیمارستان فرستاده می‌شوند.

رابطه ۷ بیانگر آن است که کل مجروحین بدحال شده در یک مرکز امداد به بیمارستان فرستاده می‌شوند.

رابطه ۸ بیانگر آن است که کل افراد بدحال شده در یک پناهگاه به مرکز امداد فرستاده می‌شوند.

رابطه‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب محاسبه‌کننده تعداد مجروحین سبز، قرمز و زرد در یک نقطه انتقال است.

رابطه ۱۲ بیانگر آن است که مجموع نسبت‌های مجروحین با رنگ‌های مختلف باید مساوی ۱ شود.

روابط ۱۳ الی ۲۰ بیانگر آن هستند که مجموع مجروحین ارسالی به نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی و مجموع افراد سالم ارسالی به پناهگاه‌ها باید از ظرفیت نگهداری و یا ظرفیت انتقال آنها در صورت انتخاب شدن نقطه مورد نظر کمتر باشد.

روابط ۲۱ تا ۲۵ بیانگر آن هستند که تعداد کامیونت‌های ارسالی حاوی بسته مخصوص هر نقطه باید بیشتر و یا حداقل برابر نیاز آن نقطه باشد.

رابطه ۲۶ بیانگر آن است که مجموعه کالای m ارسالی از انبار m به نقاط مختلف باید از ظرفیت آن انبار در صورت انتخاب شدن کمتر باشد.

روابط ۲۷ تا ۳۱ تعداد بیمارستان، نقاط انتقال، مراکز امدادی، انبار و پناهگاه مورد نیاز را مشخص می‌کند.

روابط ۳۲ و ۳۳ مشخص‌کننده محدوده متغیرها هستند. در صورتی که محدودیت بودجه وجود داشته باشد و بخواهیم مقادیر بهینه تسهیلات را بر اساس محدودیت بودجه شناسایی کنیم، می‌توانیم محدودیت زیر را به مدل اضافه کنیم.

$$C_1 * P_1 + C_2 * P_2 + C_3 * P_3 + \quad (33)$$

$$C_4 * P_4 + C_5 * P_5 \leq Total_budget$$

در رابطه ۳۳، C مشخص‌کننده هزینه مورد نیاز جهت راه‌اندازی هر تسهیل و Total_budget بودجه کل در دسترس برای ایجاد تسهیلات امداد رسانی است. مقادیر P نیز از فهرست پارامترها خارج شده و به صورت متغیر درمی‌آیند.

جهت حل مدل با نسبت دادن اوزان به توابع هدف، مدل تک هدفه می‌شود. از آن جهت که ضرایب متغیرها همگی از یک جنس هستند، نیازی به نرمال سازی پارامترها نیست. برای ایجاد قابلیت مقایسه مجموع وزن‌های توابع هدف ۱ قرار می‌گیرد. در این صورت تابع هدف به صورت زیر درمی‌آید.

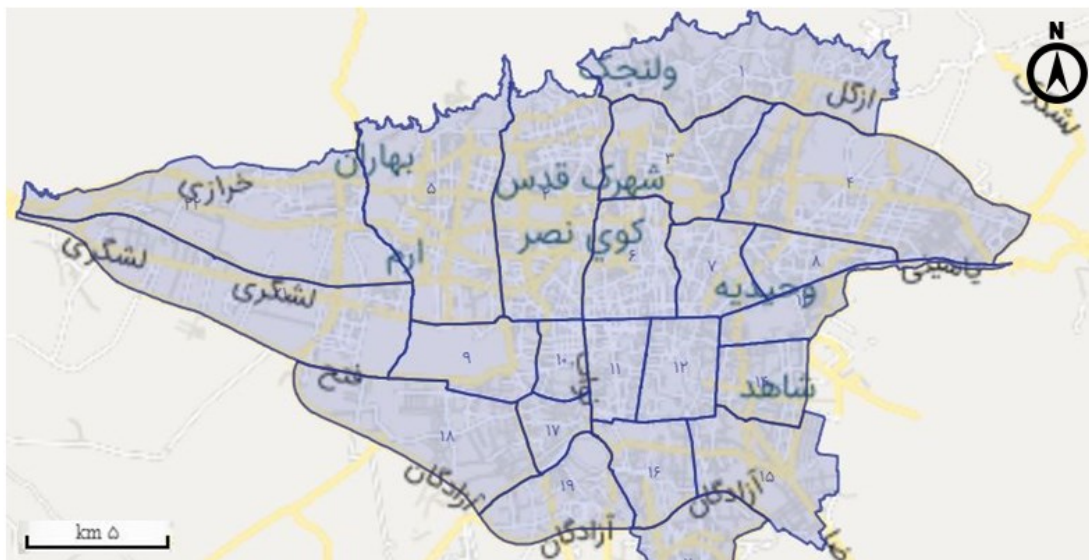
$$MinZ = weight1 * Z1 + weight2 * Z2 \quad (34)$$

$$weight1 + weight2 = 1 \quad (35)$$

رابطه ۱ بیانگر تابع هدف حداقل سازی زمان کل انتقال مجروحین به نقطه انتقال، بیمارستان و مراکز امداد، انتقال تجهیزات مورد نیاز از انبار به نقاط انتقال، بیمارستان، مراکز امداد و مناطق تقاضاست.

رابطه ۲ بیانگر تابع هدف حداقل سازی زمان کل انتقال افراد سالم به پناهگاه و انتقال تجهیزات مورد نیاز از انبار به پناهگاه‌هاست.

رابطه ۳ بیانگر آن است که کل مجروحین نقاط تقاضا باید به نقاط انتقال مختلف فرستاده شوند.



تصویر ۲: موقعیت مناطق انتخاب شده برای مطالعه موردی در شهر تهران

از آن جهت که خدمت‌رسانی به مجروحین در اولویت است، مقدار وزن تابع هدف ۱ نسبت به تابع هدف دوم بیشتر خواهد بود.

مطالعه موردی

جهت اجرای مدل بر اساس داده‌های مبتنی بر واقعیت مناطق جنوب مرکزی تهران شامل مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ جهت بررسی انتخاب شدند که محدوده این مناطق در تصویر ۲ ارائه شده است.

مناطق مورد مطالعه جزو مناطق قدیمی و فرسوده شهر تهران هستند که متوسط تراکم جمعیتی این مناطق حدود ۳ برابر متوسط شهر تهران است. شهرسازی قدیمی، وجود ساختمان‌های فرسوده و تراکم جمعیتی بالا در این مناطق ضرورت برنامه‌ریزی امدادرسانی را پیش از بحران مشخص می‌سازد. مناطق مذکور بر اساس تقسیم‌بندی محلات به ۷۶ منطقه تقاضا تقسیم‌بندی شده‌اند. نام، منطقه و جمعیت تعدادی از محلات در جدول ۱ ارائه شده است. جهت تخمین تعداد مجروحین از اطلاعات سازمان پیشگیری و مدیریت بحران استفاده شده است. [۲۷] پیش‌بینی می‌شود در زلزله ۶ ریشتری در این مناطق حدود ۲۲ هزار مجروح و ۱۷۰ هزار بی‌خانمان وجود داشته باشد. این تخمین تابعی از جمعیت، فرسودگی بافت شهری و شدت زلزله است.

جدول ۱: نقاط تقاضا و تعداد مجروحین

ردیف	محله (منطقه تقاضا)	منطقه	جمعیت محله
۱	سلسبیل شمالی	۱۰	۳۴۱۷۸
۲	شیخ هادی	۱۱	۱۹۳۷۸
۳	هرندی	۱۲	۲۶۳۷۱
۴	خرانه	۱۶	۴۲۶۳۵
...	...	...	...
۷۶	خانی‌آباد شمالی	۱۹	۲۶۷۴۴
	جمع		۱,۷۰۷,۸۳۷

در این مناطق ۵۱ بیمارستان وجود دارد که مجموع ظرفیت این بیمارستان‌ها ۱۰۸۳۹ نفر است و این ظرفیت در بحران‌های شدید قطعاً پاسخگوی نیاز مجروحین نخواهد بود. از سوی دیگر، به طور عادی تقریباً ظرفیت بیمارستان‌ها از بیماران بستری شده پر است؛ از این رو یکی از چالش‌های مهم امدادرسانی ظرفیت بیمارستان‌ها خواهد بود که در این مقاله با اضافه کردن مراکز امداد، غربالگری مجروحین و عدم پذیرش مستقیم مجروح در بیمارستان کوشیده شده تا این چالش رفع شود. همچنین بیمارستان‌ها باید آمادگی افزایش ظرفیت بستری را تا حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد از طریق افزایش تخت‌های بیمارستانی داشته باشند و جهت فرود هلیکوپتر پد هلیکوپتر پیش‌بینی شود. از معضلات دیگری که در بررسی مناطق نمایان شد، پراکنش نامتوازن بیمارستان‌ها در شهر تهران است؛ به طوری که بیمارستان‌ها در مناطق مرکزی و شمالی مجتمع شده‌اند. برای مثال در منطقه ۱۹ بیمارستانی وجود ندارد و در منطقه ۱۷ تنها ۲ بیمارستان وجود دارد؛ اما در مناطق ۱۱ و ۱۲ جمعاً ۳۷ بیمارستان وجود دارد.

برای پیش‌بینی مناطقی که می‌توانند به عنوان نقاط انتقال انتخاب شوند، مکان‌هایی که امکان ایجاد پد هلیکوپتر، ایستگاه آمبولانس و ایجاد فضایی جهت ارائه خدمات درمانی و غربالگری مجروحین وجود دارد، انتخاب شدند. همچنین شناسایی این مناطق برای ساکنین منطقه باید آسان باشد. در مجموع ۴۴ مکان برای تأسیس نقطه انتقال در نظر گرفته شد. البته قابل توجه است که مناطق پیش‌بینی شده کارکرد دوگانه خواهند داشت و در بحران تغییر کاربری خواهند داد؛ زیرا شرایط ساختار شهری و بودجه اجازه آزادسازی مناطقی به عنوان تسهیلات نقطه انتقال را نمی‌دهد. ظرفیت انتقال با آمبولانس در نقاط انتقال بین ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰، ظرفیت انتقال با هلیکوپتر بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ و ظرفیت درمان سرپایی ۱۳۵۰ تا ۱۵۰۰ نفر با توجه به فضای در دسترس برای هر نقطه در نظر گرفته شد.

جدول ۲: نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امداد پیش‌بینی شده

ردیف	مکان نقطه انتقال	ردیف	بیمارستان	ردیف	مرکز امداد
۱	بسیج ناحیه مقدار	۱	مدائن	۱	ورزشگاه شهدای آزادی
۲	پارک بهاران	۲	ضیائیان	۲	مجموعه مدارس بهشتی
۳	دانشگاه تهران	۳	سینا	۳	امام‌زاده حسن (ع)
...					
۴۴	بوستان ولایت	۵۱	ولیعصر (عج)	۱۳۱	دانشگاه فنی

حل مدل و محاسبات

مدل ارائه شده در ۲ حالت حل شده و نتایج ارائه می‌شود. حالت اول انتخاب تعداد مشخص تسهیلات است؛ به طوری که پاسخگوی نیازهای ایجاد شده در یک زلزله شش ریشتری باشد. در حالت دوم با فرض دوباره زلزله شش ریشتری، به جای مشخص کردن تعداد تسهیلات، بودجه کل در نظر گرفته می‌شود و بر اساس بودجه مورد نظر تسهیلات انتخاب می‌شوند. هزینه هر تسهیل، میزان بودجه مصرفی جهت تأسیس انبار یا آماده‌سازی دیگر تسهیلات جهت تغییر کاربری در زمان بحران و تجهیزات مورد نیاز آنهاست؛ از این‌رو هزینه انبار از دیگر هزینه‌ها بیشتر پیش‌بینی می‌شود.

حل مدل، حالت اول مسئله مکان‌یابی و تخصیص بهینه جریان فیزیکی با تعداد تسهیلات مشخص

پارامترها و مفروضات:

- زلزله ۶ ریشتر
- انتخاب ۱۰ نقطه انتقال، ۲۵ بیمارستان، ۲۰ پناهگاه، ۳۵ مرکز امداد و ۱۵ انبار
- نسبت مجروحین قرمز، زرد و سبز از کل مجروحین به ترتیب ۰٫۲، ۰٫۴۵، ۰٫۳۵
- نسبت مجروحینی که در مرکز امداد از زرد به قرمز تغییر وضعیت می‌دهند برابر با ۰٫۰۳
- نسبت مجروحینی که در پناهگاه بدحال می‌شوند برابر با ۰٫۰۱
- ضریب افزایش سرعت آلفا برابر با ۰٫۲، ضریب بی‌خانمانی تتا برابر با ۰٫۱
- وزن تابع هدف ۱ برابر با ۰٫۹ و وزن تابع هدف ۲ برابر با ۰٫۱

پاسخ بهینه

مدل به کمک نرم افزار لینگو اجرا شد و مقدار بهینه مسئله $10^8 * 0.4214588$ به دست آمد. نقاط انتقال، بیمارستان‌ها، مراکز امدادی، انبارها و پناهگاه‌های انتخاب شده در جدول ۴ ارائه شده است. عدد ارائه شده قبل از نام تسهیلات، شماره آن در مجموعه جواب است.

در تصویر ۳ بخشی از جواب برای نمونه با محوریت نقطه انتقال پارک رازی ارائه شده است. مکان‌های شماره ۱ تا ۴ به ترتیب مناطق تقاضای بریانک، باغ خزانه، مقدم و بلورسازی هستند. مکان شماره ۵ ورزشگاه آتش‌نشانی است که همزمان پناهگاه و انبار اضطراری است. مکان شماره ۶ فرهنگسرای سلمان به عنوان

همانطور که اشاره شد، ظرفیت فعلی بیمارستان‌ها پاسخگوی مجروحین در بحران نخواهد بود. از این‌رو ۱۳۱ مرکز امدادی جهت ارائه خدمات درمانی پیش‌بینی شد. همانند نقطه انتقال این مراکز کارکردهای دیگری دارند که در بحران تغییر کاربری خواهند داد. این مراکز از مجموعه مساجد، مدارس، ورزشگاه‌ها، امام‌زاده‌ها و دانشگاه‌هایی که دارای ساختمان‌های با کیفیت و مقاومت بالا هستند، انتخاب شده‌اند. ظرفیت ثابت ۴۰۰ نفر جهت درمان و ۲۵ نفر جهت انتقال به بیمارستان برای هر مرکز در نظر گرفته شد. برای نمونه اطلاعات تعدادی از نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی پیش‌بینی شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جهت اسکان افراد بی‌خانمان نیز مجموعاً ۳۶ پناهگاه از ساختمان‌های مقاوم و فضاهای آزاد موجود با ظرفیتی بین ۳ تا ۱۰ هزار نفر برای هر پناهگاه در نظر گرفته شد. مجموع نقاط پیش‌بینی شده برای پناهگاه و نقطه انتقال برای تأسیس انبار در نظر گرفته شد که ۸۰ نقطه می‌شود. تأسیسات انبار می‌تواند در یک نقطه مشترک با دیگر تسهیلات تأسیس شود که این امر در کاهش زمان امدادسانی کمک می‌کند. همانطور که اشاره شد، این انبارها حاوی ۱۴ کالای ضروری در زمان بحران هستند که با تقاضاهای متفاوت به تسهیلات و مناطق آسیب‌دیده ارسال می‌شوند. برخی از انبارهای اضطراری و پناهگاه‌های پیش‌بینی شده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: انبارهای اضطراری و پناهگاه‌های پیش‌بینی شده

ردیف	انبار اضطراری	ردیف	پناهگاه
۱	اداره کل آتش‌نشانی	۱	فرهنگسرای کار
۲	بسیج ناحیه مقدار	۲	مهدیه تهران
۳	دانشگاه امام علی (ع)	۳	حسینییه حق شناس
...			
۸۰	بوستان ولایت	۳۶	بوستان ولایت

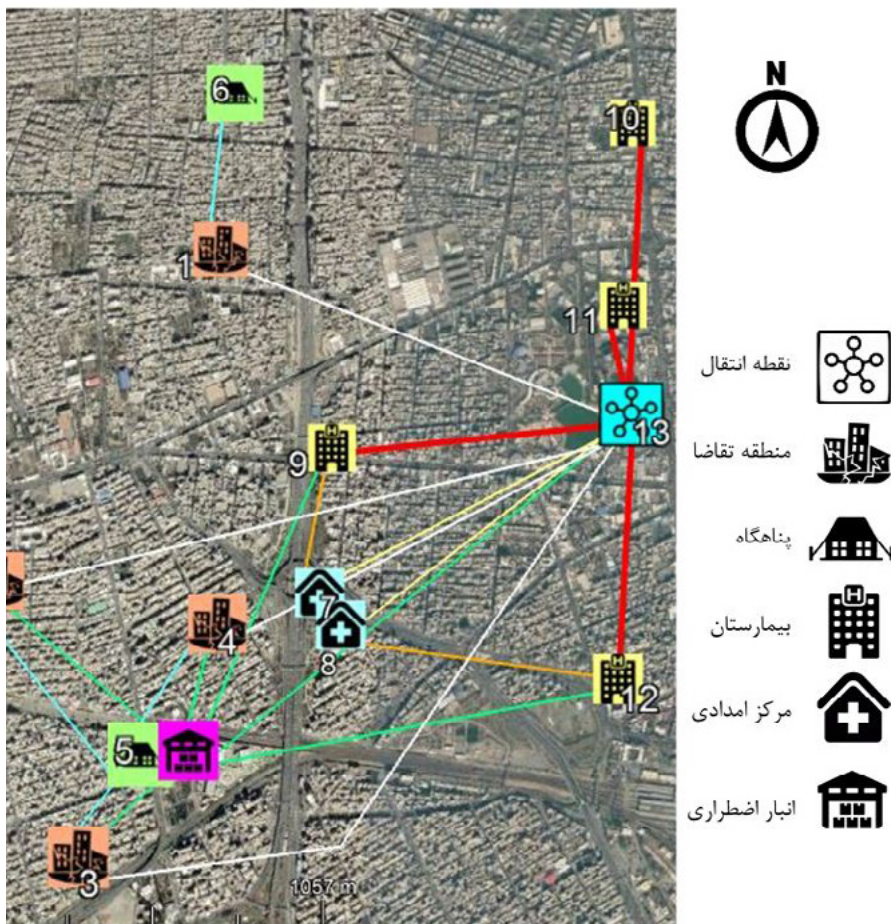
جهت محاسبه فواصل بین نقاط پیش‌بینی شده مسیر جاده‌ای و برای فاصله نقطه انتقال تا بیمارستان جهت انتقال با هلیکوپتر فاصله مستقیم بین دو نقطه به دست آمد. برای ساده‌سازی نسبت متوسط فاصله مستقیم به فاصله جاده‌ای محاسبه و در ضریب آلفا تأثیر داده شد. به عبارتی ضریب آلفا نشانگر افزایش سرعت وسیله نقلیه و کوتاه شدن مسیر به طور همزمان است.

پناهگاه است. مکانهای ۷ و ۸ به ترتیب مسجد قائم (عج) و مدرسه شهدای هویزه به عنوان مراکز امدادی هستند. مکانهای ۹ تا ۱۲ به ترتیب بیمارستانهای فهمیده، روزبه، فارابی و بهارلو و در

نهایت مکان شماره ۱۳ نقطه انتقال پارک رازی است. خطوط بین مکان ها نشان دهنده جریان مجروحین، افراد سالم و یا کالا است.

جدول ۴: جواب بهینه مدل تک هدفه در زلزله ۶ ریشتری

تسهیل	شماره و نام نقاط انتخاب شده
نقطه انتقال	۹ ورزشگاه جانبازان، ۱۲ ورزشگاه حیدرنبیا، ۱۴ جنوب میدان حر، ۱۶ پارک رازی، ۱۹ دانشگاه امیرکبیر، ۲۵ پارک بهمن، ۲۹ ورزشگاه وصال، ۳۲ ورزشگاه صوری، ۳۶ جنوب بوستان ولایت، ۴۰ ورزشگاه بهار
بیمارستان	۱ اقبال، ۲ لولاگر، ۳ شهریار، ۴ بابک، ۵ میمنت، ۶ آزادی، ۷ سورنا، ۸ باهر، ۱۳ روزبه، ۱۴ لقمان، ۱۵ فارابی، ۱۶ فهمیده، ۱۷ پارسا، ۱۸ بهارلو، ۲۱ امام خمینی، ۲۲ رازی، ۲۸ طرفه، ۲۹ معیری، ۳۰ شفا یحیائیان، ۴۵ مریم، ۴۶ ولیعصر، ۴۷ کاشانی، ۴۸ امیرالمومنین، ۵۰ ضیائیان، ۵۱ غیائی
مرکز امدادی	۹ مدرسه روستایی، ۱۱ مدرسه محمد، ۱۳ مدرسه ابوطالب، ۱۴ مدرسه ترجس، ۲۸ مدرسه رهنما، ۲۹ مدرسه بهرامی، ۳۷ مدرسه ۱۷ شهریور، ۳۸ مدرسه جهان، ۳۹ مدرسه چمران، ۴۲ مدرسه سروش، ۴۳ مدرسه کدخدایی، ۴۹ مدرسه حدید، ۵۴ مسجد قائم، ۵۵ مدرسه شهدای هویزه، ۵۷ مدرسه بدر، ۶۶ مدرسه اندرزگو، ۶۸ مدرسه رفاه، ۸۴ مدرسه لقمان، ۸۶ مدرسه منتظری، ۸۸ مدرسه کوثر، ۹۰ مدرسه صالحی، ۹۱ مدرسه همدانی، ۹۴ مدرسه اخلاص، ۹۵ مدرسه تختی، ۹۷ مدرسه شاه مرادی، ۱۰۱ اکانون زیتون، ۱۰۳ مدرسه الزهرا، ۱۰۴ مدرسه فاطمیه، ۱۰۷ مدرسه امام هادی، ۱۱۵ مدرسه باهنر، ۱۱۸ مدارس انقلاب، ۱۱۹ مدرسه سرورف، ۱۲۰ مدرسه زندی، ۱۲۹ مدرسه کوی آزادی، ۱۳۰ مدرسه میثاق
پناهگاه	۳ فرهنگسرای سلمان و ۴ حیدریان، ۵ فرهنگسرای قرآن، ۸ مسجد جمهوری، ۱۰ مدرسه محمودزاده، ۱۲ مجتمع معلم، ۱۳ فرهنگسرای رازی، ۱۴ مدرسه مؤتلفه، ۱۷ مسجد فومنی، ۲۲ ورزشگاه یاس سفید، ۲۳ مدیریت بحران بخارایی، ۲۴ دخانیات و ۲۵ رجایی، ۲۷ آتش نشانی و ۲۸ شهرداری م ۱۷، ۲۹ مسجد ابودر، ۳۱ کافی و ۳۲ ۷۲ تن، ۳۳ م دولت خواه و ۳۵ دانشگاه فنی
انبار	۴۸ فرهنگسرای سلمان، ۴۸ ورزشگاه حیدریان، ۴۹ فرهنگسرای قرآن، ۵۴ مدرسه محمودزاده، ۵۷ فرهنگسرای رازی، ۵۸ مدرسه مؤتلفه، ۶۱ مسجد فومنی، ۶۷ مدیریت بحران بخارایی، ۶۸ ورزشگاه دخانیات، ۶۹ ورزشگاه رجایی، ۷۱ ورزشگاه آتش نشانی، ۷۲ شهرداری منطقه ۱۷، ۷۵ ورزشگاه کافی، ۷۶ ورزشگاه ۷۲ تن، ۷۹ دانشگاه فنی



تصویر ۳: نحوه تخصیص نقطه انتقال حیدرنبیا به نقاط تقاضا، بیمارستان و مراکز امدادی

مقادیر و نحوه تخصیص بخشی از جواب که در تصویر ۳ ارائه شده، در جدول ۵ نشان داده شده است. این جدول از این جهت قابل توجه است که بخشی از جواب است. البته امکان دارد بیمارستان‌ها از نقاط انتقال دیگری نیز ورودی داشته باشند و همچنین افراد بدحال شده در پناهگاه‌ها به مراکز امدادی دیگری فرستاده می‌شدند که قابل نمایش در شکل نبود.

حل مدل، حالت دوم مسئله مکان یابی و تخصیص بهینه جریان فیزیکی با محدودیت بودجه

علاوه بر پارامترها و مفروضات قبلی:

- مشخص نبودن تعداد تسهیلات مد نظر برای امداد رسانی
- محدودیت بودجه در راه اندازی تسهیلات
- ضریب ۱۰، ۲، ۱، ۱ به ترتیب برای انبار، نقطه انتقال، پناهگاه، مرکز امداد و بیمارستان در محدودیت بودجه در نظر گرفتن بودجه ۲۲۵، ۲۸۰ و ۳۰۰ برای محدودیت بودجه با توجه به مقادیر مختلف برای محدودیت بودجه مدل اجرا شد که نتایج به دست آمده در جدول ۶ ارائه شده است. همانطور که مشخص است، با افزایش مقدار بودجه تابع هدف کاهش پیدا می‌کند و تعداد تسهیلات انتخاب شده تغییر می‌کند. تنها تعداد تسهیلات انبار در جواب‌ها یکسان است؛ اما مکان‌های انتخاب شده در جواب‌ها نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد که به دلیل حجیم شدن پاسخ از ارائه آن خودداری شده است.

به عبارتی با محدودیت بودجه ۲۲۵ تعداد ۱۱ نقطه انتقال، ۱۵ بیمارستان، ۳۱ مرکز امدادی، ۱۸ پناهگاه و ۱۱ انبار انتخاب

شده است. ردیف سوم تکرار پاسخ مدل در حالت قبل یعنی انتخاب تعداد مشخص تسهیلات است که روش معمول در ادبیات مکان یابی نقطه انتقال جهت حل مدل است. به عبارتی، برای تعداد مشخص تسهیلات در جواب حالت قبل باید ۲۸۰ واحد هزینه کرد؛ از این رو مسئله با مقدار ۲۸۰ دوباره حل شد؛ همانطور که مشخص است با صرف مقدار بودجه قبلی نتیجه بهتری گرفته شد.

بحث و نتایج

در طراحی زنجیره امداد رسانی در زمان بحران بر اساس پیش بینی‌ها تعداد مجروحین از ظرفیت بیمارستان‌ها بیشتر است. از سوی دیگر شرایطی را فرض کنید که همه مجروحین حداقل با یک همراه به بیمارستان‌های شهر تهران که عمدتاً در مناطق مرکزی ساخته شده‌اند هجوم بیاورند. این امر باعث خواهد شد فرآیند خدمت رسانی در بیمارستان‌ها به احتمال زیاد تعطیل شود. از این رو در این مقاله با توجه به این مسئله به غربالگری مجروحین توجه شد؛ به طوری که مجروحین سبز در نقاط انتقال خدمت دهی می‌شوند، مجروحین زرد به مراکز امداد از پیش تعیین شده می‌روند و تنها مجروحین قرمز به بیمارستان فرستاده می‌شوند؛ به طوری که بیمارستان‌ها تنها از طریق نقاط انتقال و مراکز امدادی ورودی خواهند داشت. البته این موضوع تا حدودی پراکنش نامتوازن بیمارستان‌ها را جبران می‌کند؛ اما برای حل این معضل نیاز به برنامه ریزی است.

جدول ۵: نحوه و تعداد تخصیص در جواب ارائه شده در تصویر ۳

از	به
شماره نقطه تقاضا (مجروح) ۱(۵۰۲)، ۲(۱۰۹)، ۳(۴۵۷)، ۴(۱۶۵)	شماره نقطه انتقال (دریافتی) ۱۳(۱۲۳۳) مجروح (مجروح قرمز ۲۴۶)، (مجروح زرد ۵۵۶)، (مجروح سبز ۴۳۱)
شماره نقطه انتقال (مجروح قرمز) ۱۳(۲۴۶)	شماره بیمارستان (دریافتی و روش انتقال) ۹(۲۲ آمبولانس)، ۱۲(۹۳ آمبولانس)، ۱۰(۲۵ هلیکوپتر)، ۱۱(۱۵۰ هلیکوپتر)
شماره نقاط تقاضا (بی خانمان) ۱(۳۵۸۸)	شماره پناهگاه (دریافتی) ۶(۳۵۸۸)
۲(۲۰۷۶)، ۳(۳۸۱۵)، ۴(۲۰۶۲)	۵(۷۹۵۳)
شماره انبار (نقلیه ارسالی) ۵(۴۵۷)	شماره نقاط انتقال، تقاضا، پناهگاه، بیمارستان (دریافتی) ۱۳(۲۳)، ۲(۲۲)، ۳(۳۹)، ۴(۲۲)، ۵(۳۴۵)، ۹(۲)، ۱۲(۴)
شماره نقطه انتقال (مجروح زرد) ۱۳(۵۵۶)	شماره مرکز امداد (دریافتی) ۷(۴۰۰)، ۸(۱۵۶)
شماره مرکز امداد (مجروح بدحال شده) ۷(۱۲)	شماره بیمارستان (دریافتی) ۹(۱۲)
۸(۵)	۱۲(۵)

جدول ۶: جواب‌های بهینه با توجه مقادیر مختلف بودجه

ردیف	مقدار بودجه	تعداد نقطه انتقال	تعداد بیمارستان	تعداد مرکز امدادی	تعداد پناهگاه	تعداد انبار	مقدار تابع هدف
۱	۲۲۵	۱۱	۱۵	۳۱	۱۸	۱۱	۰.۴۹۵۰۷۵۳*۱۰ ^۸
۲	۲۸۰	۲۸	۱۷	۲۹	۲۰	۱۱	۰.۳۷۵۴۸۷۱*۱۰ ^۸
۳	۲۸۰	۱۰	۲۵	۳۵	۲۰	۱۵	۰.۴۲۱۴۵۸۸*۱۰ ^۸
۴	۳۰۰	۳۰	۲۰	۳۲	۲۴	۱۱	۰.۳۳۱۴۲۶۱*۱۰ ^۸

همچنین در ادبیات نقطه انتقال فرض بر این است که همه مجروحین از طریق هلیکوپتر به بیمارستان ارسال می‌شوند؛ اما در این مقاله با توجه به شرایط واقعی و محدودیت هلیکوپترهای امداد رسان در کشور، فرض انتقال دوگانه به مدل اضافه شد. به طوری که در صورت کمبود ظرفیت هلیکوپتر مجروح با آمبولانس به بیمارستان ارسال می‌شود. قابل توجه اینکه اکثر بیمارستان‌های موجود در سطح شهر قابلیت پذیرش هلیکوپتر را ندارند؛ از این رو نتایج این پژوهش می‌تواند راهنمایی جهت ایجاد زیرساخت‌های پذیرش هوایی در بیمارستان‌های منتخب باشد.

در این مقاله با توجه به محدودیت‌های بودجه‌ای و ساختار شهری تهران برای واقعی شدن پاسخ‌ها جهت انتخاب تسهیلات، اولاً از مکان‌یابی در شبکه استفاده شد؛ زیرا احتمال اینکه نتیجه مکان‌یابی در سطح غیرقابل اجرا باشد زیاد است و از سوی دیگر به جای فرض تأسیس تسهیلات مستقل برای خدمت‌رسانی در زمان بحران، تغییر کاربری تسهیلات موجود در نظر گرفته شد؛ به طوری که برای انتخاب نقاط انتقال پارک‌های وسیع، دانشگاه‌ها و ورزشگاه‌هایی که می‌توان زیرساخت‌های انتقال هوایی و ارائه خدمات درمانی را در آنها ایجاد کرد، شناسایی شده و به عنوان نقاط کاندیدا پیش‌بینی شدند. به همین ترتیب برای مراکز امدادی و پناهگاه‌ها عمل شد.

در ادبیات موضوع، اغلب انتخاب تعداد تسهیلات از پارامترهای مسئله است که معمولاً با توجه به حجم نهایی نیازهای ایجاد شده مشخص می‌شوند؛ در حالی که به نظر می‌آید در واقعیت، مهمترین عامل تأثیرگذار بر این انتخاب تعداد تسهیلات محدودیت بودجه و نه فقط تعداد تسهیلات است؛ از این رو در این مقاله با اضافه کردن محدودیت بودجه در انتخاب تعداد تسهیلات مدل دوباره حل شد. نتایج نشان‌دهنده این امر است که مدل اگر بر اساس مشخص کردن حد نهایی بودجه که امری در اختیار تصمیم‌گیرنده است حل شود، نتایج کاربردی‌تر و بهینه‌تری نسبت به انتخاب از پیش تعیین شده تعدادی تسهیلات ارائه خواهد کرد. در این بخش برای ضرایب هزینه تسهیلات، ضریب انبار بیش از دیگر تسهیلات در نظر گرفته شد؛ زیرا تنها تسهیلی بود که باید تأسیس می‌شد. ضرایب دیگر تسهیلات با توجه به تجهیزات مورد نیاز و میزان ایجاد زیرساخت برآورد شد.

در این مقاله علاوه بر انبار به حجم کالاهای مورد نیاز در انبار نیز توجه شده است. ۱۴ کالای اساسی مورد نیاز امداد رسانی شناسایی شد که هر نقطه از هر کالا مقدار متفاوتی نیازمند است؛ از این رو برای هر نقطه بسته مخصوص آن در نظر گرفته شد. برای مثال تجهیزات امداد رسانی کالایی است که تنها باید به نقاط آسیب‌دیده ارسال شود؛ کمک‌های اولیه باید به نقاط انتقال، مراکز امدادی و بیمارستان‌ها ارسال شود و داروهای ویژه بیمارستان تنها به بیمارستان ارسال خواهد شد. این امر در بهینه‌سازی ظرفیت انبار در واقعیت بسیار مؤثر است.

جهت ارائه مدل به این نکته توجه شد که خدمت‌رسانی به مجروحین باید در اولویت نسبت به خدمت‌دهی به افراد سالم قرار

گیرد؛ هرچند به دلیل حضور زنان و کودکان در افراد سالم نباید این خدمت‌رسانی نادیده گرفته شود. از این رو برای جلوگیری از این اتفاق که تابع هدف با کمینه‌سازی عبارات مرتبط با خدمت‌رسانی به افراد سالم نسبت به مجروحین نتایج بهتری به دست آورد، این عبارات به عنوان تابع هدف مجزا در نظر گرفته شده و در هنگام حل از طریق در نظر گرفتن وزن نرمال، دو تابع هدف به یک تابع هدف تبدیل شدند.

از نتایج به دست آمده از حل مدل با توجه به محدودیت بودجه، تأثیرگذاری زیاد افزایش نقطه انتقال در کاهش زمان خدمت‌رسانی است که توجه به برنامه‌ریزی برای اجرای این نقاط را ضروری می‌سازد. البته قابل توجه است که کارکرد درست این زنجیره امداد رسانی در گرو آموزش شهروندان پیش از بحران است؛ به طوری که شهروندان به جای حرکت به سمت بیمارستان‌های اطراف با نقاط انتقال از پیش آشنا شده باشند و مجروحین را به این نقاط برسانند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط دو هدفه جهت مکان‌یابی نقاط انتقال و تسهیلات جهت تشکیل زنجیره امداد رسانی در بحران زلزله ارائه شد. علاوه بر بیمارستان در این مقاله تسهیلات مراکز امداد، انبار و پناهگاه هم در نظر گرفته شد. غربالگری مجروحین در نقاط انتقال، ارائه خدمات درمانی سرپایی به مجروحین سبز در نقاط انتقال، ارسال مجروحین زرد به مراکز امداد، انتقال دوگانه هوایی و زمینی برای انتقال مجروحین قرمز به بیمارستان، عدم پذیرش مجروحین به صورت مستقیم در بیمارستان، توجه به نوع کالای مورد نیاز در هر نقطه و در نظر گرفتن بسته‌های مخصوص هر تسهیل جهت ارسال از انبار و در نهایت اضافه کردن محدودیت بودجه جهت راه‌اندازی تأسیسات و به دست آوردن مقادیر بهینه تعداد تسهیلات، مفروضات جدید مقاله در توسعه مدل مکان‌یابی نقاط انتقال است. جهت بررسی کاربرد مدل در شرایط واقعی مطالعه موردی در مناطق جنوب مرکزی تهران شامل مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۱۹ که دارای تراکم جمعیتی بالا، بافت‌های قدیمی شهری و ساختمان‌های فرسوده هستند، انجام شد. مناطق مذکور شامل ۷۶ محله هستند که این محلات به عنوان نقاط تقاضا انتخاب شدند. ۵۱ بیمارستان در این مناطق وجود دارد که مجموع ظرفیت آنها از تعداد مجروحین در یک زلزله شدید بسیار کمتر است. همچنین پراکنش نامتوازن بیمارستان‌ها در این مناطق و تجمع بیمارستان‌ها در مناطق مرکزی از معضلات مهم امداد رسانی است که باعث ازدحام در مناطق مرکزی شهر خواهد شد. از آن جهت که برای تأسیس نقاط انتقال مراکز امدادی و پناهگاه‌ها نسبت به چشم‌انداز مطلوب محدودیت بودجه شدیدی وجود دارد، مکان‌ها و ساختمان‌هایی که قابلیت تغییر کاربری دارند مانند پارک‌ها، ورزشگاه‌ها، مدارس و مساجد به عنوان کاندیدای این تسهیلات شناسایی شدند. مدل ارائه شده از طریق روش وزن‌دهی به توابع هدف به مدل تک‌هدفه تبدیل

- O. (2008). Themultiple location of transfer points. *Journal of the Operational Research Society*, 59, 805-811.
11. Sasaki, M., Furuta, T., & Suzuki, A. (2008). Exact optimal solutions of the minisum facility and transfer. *Intl. Trans. in Op. Res*, 15, 295-306.
 12. 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.
 13. Hosseinijou, S. A., & Bashiri, M. (2011). Stochastic models for transfer point location problem. *Int J Adv Manuf Technol*, 58, 211-225.
 14. 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.
 15. Kalantari, H., Yousefi, A., Ghazanfari, M., & Shahanaghi, K. (2013). Fuzzy transfer point location problem: a possibilistic unconstrained nonlinear programming approach. *Int J Adv Manuf Technol*, 70, 1043-1051.
 16. Kalantari, H., Badiiee, A., & Ghazanfari, M. (2014). A New Heuristic Model for Fuzzy Transfer Point Location Problem. *Journal of Uncertain Systems*, 8, 31-43.
 17. 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.
 18. Mohamadi, A., & Yaghoubi, S. (2017). A bi-objective stochastic model for emergency medical services network. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23, 204-217.
 19. Merakl, M., & Yaman, H. (2016). Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty. *Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty*, 86, 66-85.

شد و در دو حالت تعداد تسهیلات مشخص و تصمیم‌گیری براساس محدودیت بودجه توسط نرم افزار LINGO حل شد. نتایج نشان می‌دهد که به جای مشخص کردن تعداد تسهیلات، مشخص کردن بودجه در دسترس نتایج بهتری به دست خواهد داد. همچنین با افزایش مقدار بودجه در جواب‌های مختلف تعداد نقاط انتقال به طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده تأثیرگذاری این نقاط در کاهش زمان کل خدمت‌رسانی است. توجه به ایجاد زیرساخت‌های مورد نیاز جهت امداد رسانی مانند زیرساخت‌های فیزیکی پذیرش هوایی در بیمارستان‌ها، آمادگی تغییر کاربری نقاط منتخب، پیش‌بینی تجهیزات مورد نیاز برای خدمت‌رسانی و آموزش شهروندان برای مراجعه به نقاط انتقال و ایجاد شناخت از نقاط انتقال در عموم مردم از مسائل مهم در کارکرد درست زنجیره امداد رسانی در شرایط بحران است. البته قابل توجه است که این زنجیره امداد رسانی باید برای کل شهر تهران اجرایی شود.

منابع

۱. جمالی، حسین؛ بشیری، مهدی؛ توکلی مقدم، رضا (۱۳۹۴) بررسی و حل مسئله امداد رسانی دوسطحی نقاط آسیب‌دیده از بحران، مدیریت بحران، ۲۲-۵، ۸
۲. نوروزی، اصغر؛ فرهادی، مریم (۱۳۹۶) سنجش آسیب‌پذیری و برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت بحران (زلزله) در نواحی روستایی، مطالعه موردی: شهرستان شهرکرد، مدیریت بحران، ۱۱، ۳۱-۴۵
۳. نظم فر، حسین؛ عشقی چهاربرج، علی (۱۳۹۵) ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله‌های احتمالی، مطالعه موردی: منطقه ۳ شهرداری تهران، مدیریت بحران، ۹، ۴۹-۶۱
۴. احمدآبادی، علی؛ قاسمی، کیمیا (۱۳۹۵) کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله با تأکید بر روش E-VIKOR، مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران، مدیریت بحران، ۹، ۱۰۳-۱۱۱
۵. فرج زاده، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال (۱۳۹۰) ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله، مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران. مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، ۹، ۳۶-۱۹
۶. عشقی، کوروش؛ نجفی، مهدی (۱۳۹۱) ارائه یک مدل برنامه‌ریزی لجستیکی جهت بهبود در فاز پاسخگویی به زلزله، مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ج ۲۳، ش ۴، ۴۰۲-۴۱۶
۷. جبل‌عاملی، محمدسعید؛ بزرگی امیری، علی؛ حیدری، مهدی (۱۳۹۰) ارائه مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه برای مسئله لجستیک امداد، مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ج ۲۲، ش ۱، ۶۶-۷۶
8. Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (2005). The facility and transfer points location problem. *INTERNATIONAL TRANSACTIONS IN OPERATIONAL RESEARCH*, 179, 387-402.
9. Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (2007). The transfer point location problem. *European Journal of Operational Research*, 179, 978-989.
10. Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G.

20. Erdemir , E., Batta , R., Rogerson, P., Blatt , A., & Flanigan, M. (2010). Joint ground and air emergency medical services coverage models: A greedy. *European Journal of Operational Research*, 207, 736-749.
21. Bozorgi-Amiri , A., Tavakoli, S., Mirzaeipour, H., & Rabbani, M. (2017). Integrated locating of helicopter stations and helipads for wounded. *American Journal of Emergency Medicine*, 35, 410-417.
22. Shahriari, M., Bozorgi-Amiri, A., Tavakoli, S., & Abolghasem , Y.-B. (2017). Bi-objective approach for placing ground and air ambulance base and. *American Journal of Emergency Medicine*, 35, 1873-1881.
۲۳. بزرگی امیری، علی؛ شهانقی، صبوچی، فاطمه؛ توکلی، زینب السادات؛ مرادحاصلی، نیلوفر (۱۳۹۵) ارائه مدل مکان‌یابی تخصیص برای تخلیه افراد و توزیع کمک‌های امدادی در فاز پاسخ به بحران. مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۲۷ (۳)، ۴۰۴-۴۱۷
۲۴. بدیعی، اقدس؛ شهانقی، کامران؛ کلانتری، حامد (۱۳۹۵) ارائه یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی جدید برای حل مدل چندهدفه مسئله مکان‌یابی نقاط انتقال با پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید. ۸، ۱۵۹-۱۷۲
25. Mcdougall, J., & Otero, L. (2017). optimal Transfer Point Locations in Two-Stage Distribution Systems. *IEEE Access*, 6, 1974-1984.
26. Yousefi, A., Kalantari , H., & Ghazanfari, M. (2018). Stochastic transfer point location problem: A probabilistic rule-based approach. *Uncertain Supply Chain Management*, 6, 65-74.
۲۷. کریمی، سلمان، ۱۳۹۰، سامانه تخمین سریع خسارت و تلفات زلزله شهر تهران، همایش ژئوماتیک ۹۰، تهران، سازمان نقشه برداری کشور، // https://html.۰۱۳_GEO۹۰-www.civilica.com/Paper-GEO۹۰