

ارائه‌ی یک مدل غیرخطی دو هدفه‌ی لجستیک بشردوستانه تحت شرایط عدم قطعیت برای بحران زلزله در منطقه‌ی ۱ شهر تهران

حدیث دریکوند: دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران،
محمد خلیل‌زاده*: استادیار و مدیر گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، Mo.kzadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

سالانه بلایای طبیعی، در سراسر جهان، خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری را به انسان‌ها وارد می‌کنند. بلایای طبیعی و پیامدهای آن‌ها موجب ضرورت توجه به فعالیت‌های امداد رسانی شده است. از این رو، این مطالعه با تمرکز بر لجستیک بشردوستانه، به ارائه‌ی یک مدل غیرخطی دو هدفه پرداخته است. شبکه‌ی لجستیک پیشنهادی از تأمین‌کنندگان، بیمارستان‌ها، مراکز توزیع امدادی و مناطق آسیب‌دیده تشکیل شده است و اهداف مدل شامل کاهش هزینه‌ی کل و افزایش سطح رضایت است. عدم قطعیت در مدل از طریق بهینه‌سازی استوار بررسی و پس از خطی‌سازی قسمت‌های غیرخطی، مدل چند هدفه با استفاده از روش معیار جامع حل شده است. برای نمایش کارایی مدل پیشنهادی از داده‌های یک مثال واقعی زلزله در منطقه‌ی ۱ شهر تهران استفاده شد و سه سناریو با نام‌های گسل ری، گسل شمال و گسل مشا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد در سناریوی شمال هزینه‌ی بیشتری به سیستم تحمیل می‌شود، به این دلیل که این گسل در فاصله‌ی نزدیک‌تری از منطقه‌ی مورد مطالعه واقع شده و خسارات بیشتری را موجب می‌شود و وقتی که تعداد مراکز امدادی افزایش می‌یابد، به علت داشتن سیستم توزیع مناسب، هزینه‌ی کل کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: لجستیک بشردوستانه، بهینه‌سازی استوار، بهینه‌سازی چندهدفه، زلزله، مطالعه‌ی موردی

A non-linear multi-objective model for relief logistics under uncertainty for earthquake disaster in region 1 of Tehran city

Hadis Drikvand^{1*}, Mohammad Khalilzadeh²

Abstract

Annually, natural disasters bring irreparable injuries and losses for people throughout the world. Relief activities have to receive a deal of attention due to the negative consequences of natural disasters; thus, this paper develops a non-linear bi-objective model in the context of humanitarian logistics. The proposed logistics network consists of suppliers, hospitals, relief distribution centers, and affected areas. The objective of the proposed model is to minimize total cost while maximizing the satisfactory level. Furthermore, uncertainty relating to parameters are captured in the model through robust optimization, firstly, the nonlinear terms are linearized and then the bi-objective model is solved as a single-objective applying compromise programming method. Finally, to demonstrate the efficiency and effectiveness of the model, a real case study on earthquake disaster in region # of Tehran city is considered; three scenarios are defined namely Ray fault, Shomal fault, and Mosha fault. The results show the higher value for a total cost under the scenario of Shomal fault, as this fault is located near the considered region causing more losses, also, when the number of established relief distribution centers increases, the value of total cost decreases, because of a more resilient distribution system.

Keywords: Humanitarian logistics, Robust optimization, Multi-Objective optimization, Earthquake, Case study.

1 Ph.D student, Department of industrial engineering, Science and research branch, Islamic Azad University, Address: science and research university, Tehran, Iran; EMail: H.drikvand@yahoo.com

2 Assistant professor, Department of industrial engineering, Science and research branch, Islamic Azad University, Address: science and research university, Tehran, Iran, E-Mail: Mo.kzadeh@gmail.com

۳۵

شماره چهاردهم

بایزور زمستان
۱۳۹۷

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



و بهداشتی و تجهیزات مورد نیاز امدادگران در مناطق، نواحی و محلات شهر تهران اقدام کند.

لذا در این پژوهش از طریق مکان‌یابی تسهیلات موقت در نزدیکی مکان بحران سعی در بهبود خدمات امدادسانی شده است.

ادامه‌ی این پژوهش به شرح ذیل است: مرور پیشینه در بخش دوم ارائه شده است، بخش سوم به روش‌شناسی پژوهش اختصاص یافته، بیان مسئله و مدل ریاضی در بخش چهارم و روش حل در بخش پنجم ارائه شده‌اند، مطالعه‌ی موردی و نتایج عددی به ترتیب در بخش‌های ششم و هفتم آمده‌اند و در پایان نتیجه‌گیری در بخش هشتم ارائه شده است.

پیشینه‌ی پژوهش

بحران‌های طبیعی به صورت ناگهانی اتفاق می‌افتند و زمان و مکان واقع شدن آن‌ها غیرقابل پیش‌بینی است، از دیگر سو در شرایط بحران ابهام‌های زیادی در مورد مکان و تعداد قربانیان، تقاضاها، انتقال، کمبود منابع و بسیاری دیگر وجود دارد، لذا عدم قطعیت را می‌توان جزء جدانشدنی بحران دانست. با این توضیح پژوهش‌های انجام شده در حوزه‌ی مدیریت بحران و لجستیک بشردوستانه از حیث نحوه‌ی برخورد با عدم قطعیت قابل تقسیم به چهار دسته پژوهش‌ها با رویکردهای قطعی، فازی، احتمالی و استوار هستند که در ادامه به طور خلاصه مرور می‌شوند.

پژوهش‌هایی بدون توجه به عدم قطعیت به بررسی موضوع پرداخته‌اند؛ در این راستا جیا و همکاران (۲۰۰۷) مدلی را برای مکان‌یابی تسهیلات تأمین پزشکی ارائه کردند که در آن نقاط تقاضا نیازهای خود را در مقدرهای مختلفی از تسهیلاتی که در مکان‌های مختلفی (فاصله) قرار دارند، تأمین می‌کنند، در واقع به صورت یک مسئله حداکثرسازی پوشش که از نظر مقدار و کیفیت پوشش‌دهی تسهیلات با هم متفاوت بودند و برای حل آن از سه روش الگوریتم ژنتیک، روش ابتکاری و روش آزادسازی لاگرانژ استفاده کردند [۹]. تزنگ و همکاران (۲۰۰۷) یک مدل چند هدفه برای سیستم‌های امدادسانی ارائه کردند، به صورتی که توزیع نیازهای امدادی را تسهیل می‌ساخت. توابع هدف مدل پیشنهادی ارائه شده توسط آنان به صورت کمینه‌سازی هزینه‌ی کل، کمینه‌سازی زمان سفر و بیشینه‌سازی کمترین سطح رضایت تعریف شده بودند [۱۰]. لین و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل عدد صحیح چندهدفه را برای تحویل کالاهای اولویت‌دار در فرایند امدادی بحران ارائه کردند که به صورت چند محصولی، چند وسیله‌ی نقلیه و چند دوره‌ای بود و از روش الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی مبتنی بر ژنتیک برای حل آن استفاده کردند [۱۱]. افشار و حقانی (۲۰۱۲) یک مدل را برای عملکرد یکپارچه‌ی لجستیکی در فاز پاسخ به بحران ارائه کردند، مدل پیشنهادی آنان جریان چندین کالای امدادی را از تأمین‌کنندگان تا تحویل به دریافت‌کنندگان کنترل می‌کرد و علاوه بر در نظر گرفتن مسیریابی وسایل نقلیه و زمان‌بندی برداشت و تحویل اقلام، مکان‌یابی بهینه‌ی تسهیلات موقتی با ظرفیت‌های مختلف را نیز در نظر می‌گرفت و از یک سری مثال‌های عددی برای

بیماری‌های همه‌گیر، زلزله، سیل، سونامی، طوفان و آتشفشان بحران‌های مختلفی هستند که جان انسان‌ها را تهدید می‌کنند، از این رو بشر همواره به دنبال روش‌هایی برای حفاظت از جان خود در مقابل این بحران‌ها بوده است. فدراسیون بین‌المللی صلیب سرخ و هلال احمر بحران را این‌گونه تعریف می‌کند: بحران یک رویداد ناگهانی و فاجعه‌بار است که به صورت جدی عملکرد جامعه را مختل می‌سازد و باعث زیان‌های جانی، مالی، مواد و زیست‌محیطی می‌شود که فراتر از توانایی‌های جامعه در استفاده از منابع خود است [۱]. مدیریت بحران شامل چهار فاز پیش‌گیری، آمادگی، پاسخ و بازسازی است. در این میان برنامه‌ریزی در فازهای پیش‌گیری و آمادگی از اهمیت دوچندانی برخوردار هستند، زیرا از غافل‌گیری و بی‌نظمی جلوگیری می‌کنند [۲]. بخش عمده‌ی تمرکز این مقاله نیز بر این دو فاز است.

زنجیره‌ی تأمینی که بعد از بروز بحران، کالاها و خدمات ضروری را برای انسان‌ها در مناطق آسیب‌دیده فراهم می‌کند تحت عنوان «زنجیره‌ی تأمین کمک‌های بشردوستانه» شناخته می‌شود و بعد از بروز بحران در مدت کوتاهی توسط دولت‌ها یا سازمان‌های غیردولتی تشکیل می‌شود [۳]. لجستیک بشردوستانه متشکل از فرایندهای مختلف است که فعالیت‌های امدادسانی و پشتیبانی مداوم را پوشش می‌دهد. پیش‌بینی شده که در آینده بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی روندی افزایشی را خواهند داشت، از همین رو نیاز برای امدادسانی در حال افزایش است [۴]. در همین راستا امدادسانی بشردوستانه یک صنعت جهانی و مهم محسوب می‌شود [۵]. لجستیک همواره عامل مهمی در فرایند کمک‌های بشردوستانه بوده است تا جایی که فعالیت‌های لجستیکی ۸۰ درصد از امدادسانی بحران را تشکیل می‌دهند [۶]. علاوه بر این، از آنجایی که بحران‌های طبیعی غیرقابل پیش‌بینی هستند، میزان تقاضا برای کالاها در این بحران‌ها نیز غیرقابل پیش‌بینی است [۷]. لذا این پژوهش با ارائه‌ی یک مدل ریاضی استوار برای امدادسانی به مناطق آسیب‌دیده، در جستجوی یک سیستم توزیع مناسب با حداکثر پوشش‌دهی و متناسب با ماهیت نامعلوم و غیرقطعی بحران است. پژوهش حاضر منطقه‌ی ۱ شهر تهران را به منزله‌ی مطالعه‌ی موردی خود برگزیده و شرایط بحران را برای بحران زلزله با توجه به سه گسل اصلی ری، گسل شمال و گسل مشا در نظر گرفته است. از سوی دیگر روزنامه‌ی دنیای اقتصاد [۸] در سال ۱۳۹۵ با انتشار خبر زیر از عدم آمادگی شهر تهران در برابر زلزله خبر داد:

بر اساس قانون، امداد و نجات و اسکان اضطراری بر عهده‌ی هلال احمر است و این نهاد نسبت به ذخیره‌سازی اقلام امداد و نجات و اسکان اضطراری در پایگاه‌های خود در سراسر کشور اقدام کرده است، اما در تهران این پایگاه‌ها و مراکز ذخیره در خارج از شهر و دور از بافت مسکونی قرار دارد که با توجه به گستردگی شهر تهران و احتمال آسیب‌دیدگی مسیرهای دسترسی و حجم بالای ترافیک در زمان زلزله باید هلال احمر نسبت به ایجاد مراکز ذخیره‌ی اقلام امداد و نجات و اسکان اضطراری از جمله چادر، پتو، مواد غذایی

حل و مقایسه‌ی نتایج روش دقیق و ابتکاری پرداختند [۱۹].
 مته و زیناسکای (۲۰۱۰) روش برنامه‌ریزی احتمالی را برای حل مسئله‌ی ذخیره‌سازی و توزیع نیازهای پزشکی به کار بردند. مدل ارائه شده توسط آنان در پی یافتن مکان بهینه‌ی ذخیره‌سازی و سطح بهینه‌ی ذخیره‌سازی از هر نوع نیاز پزشکی بود که در واقع فازهای آمادگی و پاسخ به بحران را مورد توجه قرار داده بود و بحران زلزله در منطقه‌ی سیاتل را به‌منزله‌ی مطالعه‌ی موردی به کار بردند [۲۰]. سلمرون و اپته (۲۰۱۰) از روش برنامه‌ریزی احتمالی برای تخصیص بودجه به تأسیس تسهیلات پیش از بحران به گونه‌ای که دارای ظرفیت کافی برای امدادسانی کارا باشند، استفاده کردند. هدف مدل ارائه شده کمینه‌سازی تعداد مجروحان بود، بنابراین گسترش منابع شامل انبارها، تسهیلات پزشکی، و پناهگاه‌ها را مد نظر قرار دادند [۲۱]. راثول و ترانکوئیست (۲۰۱۰) یک مدل برای مکان‌یابی و تعیین مقدار بهینه‌ی انواع مختلف خدمات پزشکی ارائه کردند، درحالی‌که در مورد اینکه بحران طبیعی اتفاق می‌افتد و در کجا اتفاق می‌افتد عدم قطعیت وجود داشت و از رویکرد بهینه‌سازی احتمالی و روش لاگرانژ برای حل آن استفاده کردند و از داده‌های بحران طوفان در سواحل خلیجی ایالات متحده به‌منزله‌ی مطالعه‌ی موردی برای نشان دادن کارایی مدل خود استفاده کردند [۲۲]. چاکراورتی (۲۰۱۴) مدل ریاضی را با تأکید به این مطلب که برای حفظ جان حادثه‌دیدگان نیازهای امدادی باید به هنگام و در مقدار مناسب تأمین شوند، ارائه کرد و از رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی برای برخورد با عدم قطعیت‌های مقتضی ماهیت بحران ناشی از عواملی نظیر شدت بحران، زیرساخت‌های توزیع و خسارت وارده استفاده کرد [۲۳]. احمدی و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل ریاضی چند انباره‌ی مکان‌یابی- مسیریابی را با در نظر گرفتن خرابی‌های شبکه، استفاده‌های چندگانه‌ی وسایل نقلیه و زمان استاندارد امدادسانی برای شبکه‌ی لجستیک امدادی ارائه کردند که مدل مکان بهینه‌ی انبارها و مسیریابی وسایل نقلیه بعد از وقوع زلزله را نشان می‌داد و از رویکرد بهینه‌سازی احتمالی و حل دقیق برای حل آن استفاده کردند [۲۴]. آلم و همکاران (۲۰۱۶) روش برنامه‌ریزی احتمالی را برای برخورد با عدم قطعیت‌های موجود در شرایط بحران به کار گرفتند و در مدل پیشنهادی خود مواردی از قبیل تخصیص بودجه، اندازه‌ی وسایل نقلیه‌ی مختلف، تهیه و زمان تحویل‌های متغیر را وارد کردند و بحران‌های سیل و زلزله را در ریبو دو ژانیرو به‌مثابه‌ی مطالعه‌ی موردی برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی خود به کار بستند [۲۵].

بهینه‌سازی استوار دیگر روش مورد استفاده توسط پژوهشگران بوده است، بن تال و همکاران (۲۰۱۱) از روش برنامه‌ریزی استوار برای حل مسئله‌ی پاسخ اضطراری و تخلیه‌ی ترافیک جریان با تقاضای غیرقطعی وابسته به زمان استفاده کردند. مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با روش بهینه‌سازی احتمالی و روش دقیق برتری آن را ثابت نمود [۳]. ذکابی و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی برای زنجیره‌ی تأمین بشردوستانه در نظر گرفتند و به ارائه‌ی مدلی که هزینه‌ها را کمینه و سطح

نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی خود استفاده کردند [۱۲].
 ونگ و همکاران (۲۰۱۴) مکان‌یابی مراکز توزیع و مسیریابی وسایل نقلیه را به‌منزله‌ی دو موضوع مهم در لجستیک امدادی مد نظر قرار دادند و یک مدل ریاضی غیرخطی عدد صحیح مکان‌یابی- مسیریابی را برای لجستیک امدادی را با در نظر گرفتن زمان سفر، هزینه‌ی کل و قابلیت اطمینان ارائه کردند و از روش‌های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکاملی برای حل آن استفاده کردند و بحران زلزله در چین را به‌منزله‌ی مطالعه‌ی موردی خود مورد استفاده قرار دادند [۱۳]. گریدو و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل ریاضی را برای یاری رساندن به تصمیم‌گیرندگان در بحران سیل ارائه کردند که به بهینه‌سازی سطح موجودی و در دسترس بودن وسیله‌ی نقلیه، به‌منظور مطمئن شدن از تحویل کالاهای امدادی کافی برای برآوردن تقاضا در مناطق آسیب‌دیده، می‌پرداخت. آن‌ها از مثال عددی و تحلیل حساسیت برای سنجش مدل خود استفاده کردند [۱۴].

از پژوهش‌هایی که رویکرد بهینه‌سازی فازی را به کار بسته‌اند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

شیئو (۲۰۰۷) اذعان داشت برای کاهش اثرات بحران، سیستم‌های توزیع لجستیکی کارا به‌منظور پاسخ سریع به بحران مورد نیاز هستند و یک روش ترکیبی بهینه‌سازی- خوشه‌بندی فازی برای طراحی سیستم توزیع لجستیکی پاسخ به نیازهای امدادی ضروری در زمان نجات را ارائه کردند. مدل پیشنهادی آن‌ها از دو سطح شامل مناطق آسیب‌دیده و توزیع‌کنندگان تشکیل شده بود [۱۵]. شیئو (۲۰۱۰) یک رویکرد به‌منظور مدیریت پویای تقاضاهای امدادی برای سیستم لجستیکی اورژانسی تحت اطلاعات نادرست ارائه کرد. رویکرد پیشنهادی شامل سه مرحله بود: ۱. پیش‌بینی نیازهای امدادی در چندین منطقه؛ ۲. خوشه‌بندی فازی برای دسته‌بندی مناطق آسیب‌دیده؛ ۳. روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی دسته‌های مناطق آسیب‌دیده [۱۶]. روئان و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند در فاز پاسخ به بحران تصمیم‌گیرندگان عوامل مختلفی را برای تخصیص نیازهای امدادی به مراکز توزیع در نظر می‌گیرند، در حالی‌که اطلاعات دقیقی در این شرایط موجود نیست و روشی را مبتنی بر ترکیب روش‌های دقیق، فازی و بازه‌ای توسعه دادند [۱۷].

رویکرد بهینه‌سازی احتمالی دیگر روش مورد استفاده بوده است، چانگ و همکاران (۲۰۰۷) به‌منظور فراهم کردن یک چارچوب برای مدیریت بحران سیل یک مدل ریاضی را ارائه کردند که متغیرهای تصمیم‌گیری آن شامل ساختار سازمان‌های مبارزه با بحران، مکان‌یابی انبارهای تأمین نیازهای امدادی، تخصیص منابع تحت محدودیت‌های ظرفیت و جریان‌های توزیعی انبارهای تأمین‌کننده می‌شد و برای حل آن از رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی استفاده کردند [۱۸]. برلدی و برون (۲۰۰۹) با ترکیب دو روش برنامه‌ریزی احتمالی و تصادفی که معمولاً به صورت جداگانه به کار گرفته می‌شوند از روش برنامه‌ریزی تصادفی در حل مدل ارائه شده برای مکان‌یابی تسهیلات در سیستم‌های اورژانسی با محدودیت‌های احتمالی استفاده کردند و سپس به

جدول ۱: مقایسه‌ی پیشینه‌ی پژوهش

	قطعی	عدم قطعیت			تمرکز پژوهش			
		فازی	احتمالی	استوار	فاز پیش‌گیری	فاز آمادگی	فاز پاسخ	فاز بازسازی
جیا و همکاران (۲۰۰۷)	*					*		
تزنک و همکاران (۲۰۰۷)	*						*	
لین و همکاران (۲۰۱۱)	*						*	
افشار و حقانی (۲۰۱۲)	*						*	
ونگ و همکاران (۲۰۱۴)	*					*	*	
گریو و همکاران (۲۰۱۵)	*					*	*	
شیئو (۲۰۰۷)		*				*	*	
شیئو (۲۰۱۰)		*				*		
روثان و همکاران (۲۰۱۵)		*					*	
چانگ و همکاران (۲۰۰۷)			*		*	*	*	
برلیدی و برونی (۲۰۰۹)			*			*		
مته و زیناسکای (۲۰۱۰)			*			*	*	
سلمرون و ایته (۲۰۱۰)			*			*		
رائول و ترانکوویست (۲۰۱۰)			*			*		
چاکراورتی (۲۰۱۴)			*				*	
احمدی و همکاران (۲۰۱۵)			*			*	*	
آلم و همکاران (۲۰۱۶)			*				*	
بن تال و همکاران (۲۰۱۱)				*			*	
ذکایی و همکاران (۲۰۱۶)				*			*	
رضایی مالک و همکاران (۲۰۱۶)				*	*	*	*	
این پژوهش				*	*	*	*	*

یک مدل ریاضی همه‌جانبه و منطبق بر شرایط واقعی که در آن فاز پیش‌گیری از طریق شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و مقام‌سازی آن‌ها و فاز آمادگی از طریق تأمین و نگهداری کالاهای اضطراری، فاز پاسخ از طریق احداث مراکز توزیع موقت و خرید جابه‌جایی کالاهای اضطراری با کمترین تأخیر و بیشترین سطح رضایت ممکن و فاز بازسازی از طریق جمع‌آوری و تخلیه‌ی مراکز توزیع موقت، لحاظ شده‌اند؛

۲. ارائه‌ی مدل دو هدفه که به‌طور همزمان مسائل پزشکی و امدادی را در نظر می‌گیرد؛

۳. در نظر گرفتن پوشش پشتیبانی توسط تأمین‌کنندگان، بیمارستان‌ها و مراکز توزیع امدادی؛

۴. در نظر گرفتن عدم قطعیت به‌صورت استوار و استفاده از داده‌های واقعی منطقه‌ی ۱ شهر تهران برای پیاده‌سازی مدل.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش یک مدل ریاضی دو هدفه را برای شرایط بحران توسعه داده است، به‌گونه‌ای که تابع هدف اول هزینه‌ی فازهای مختلف بحران اعم از فاز پیش‌گیری، آمادگی، پاسخ و بازسازی را کاهش داده است و تابع هدف دوم افزایش سطح رضایت را از طریق کاهش احتمال کمبود در برآوردن نیازهای امدادی مد نظر دارد.

رضایت را با جریمه‌ی کمبودها پیشینه‌ی ساخت پرداختند و از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای مواجهه با عدم قطعیت استفاده کردند [۲۶]. رضایی مالک و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که ذخیره‌سازی نیازهای حیاتی در مکان و مقدار مناسب به توزیع مؤثر آن‌ها در زمان بحران کمک می‌کند، درحالی‌که بحران ممکن است بعد از مدت زمانی طولانی روی دهد و بعضی از اقلام فاسد شوند و به این منظور مسئله‌ی مکان‌یابی را با ارائه‌ی یک مدل ریاضی دو هدفه بررسی کردند که متوسط زمان پاسخ و هزینه‌ی تهیه‌ی کل با جریمه در دسترس نبودن یا مورد استفاده قرار نگرفتن اقلام را کمینه‌ی می‌ساخت و برای مواجهه با عدم قطعیت از روش برنامه‌ریزی استوار استفاده کردند [۲۷].

همان‌طور که از مرور پژوهش‌های انجام شده برداشت می‌شود تعداد کمی از پژوهش‌ها عدم قطعیت ذاتی شرایط بحران را مورد غفلت قرار داده‌اند و اکثر پژوهش‌های این حوزه صرفاً بر فازهای آمادگی و پاسخ مدیریت بحران متمرکز بوده‌اند که علت آن را می‌توان در اهمیت دو چندان این فازها و شرایط اضطراری بعد از بحران جستجو کرد، در صورتی‌که این مطلب از لزوم توجه به سایر فازهای مدیریت بحران نمی‌کاهد.

با توجه به مرور ادبیات انجام شده نوآوری‌هایی که این تحقیق را از دیگر پژوهش‌ها متمایز می‌کند شامل موارد زیر است:

۱. در نظر گرفتن همه‌ی فازهای مدیریت بحران اعم از فازهای پیش‌گیری، آمادگی، پاسخ و بازسازی به‌منظور ارائه‌ی

۲. هر تأمین‌کننده ممکن است توسط دیگر تأمین‌کنندگان پوشش داده شود و همچنین بیمارستان‌ها و مراکز توزیع امدادی (پوشش پشتیبانی).
۳. مراکز توزیع امدادی تسهیلات موقتی هستند که با بروز بحران به صورت موقت احداث می‌شوند (چادر، کانتینر و...) و بعد از خدمت‌رسانی و رفع بحران تخلیه خواهند شد.
۴. مراکز توزیع امدادی از نظر اندازه و ظرفیت با یکدیگر متفاوت هستند و در سه اندازه‌ی کوچک، متوسط و بزرگ احداث می‌شوند.
۵. در مراکز توزیع امدادی پیش از بروز بحران و در ابتدای دوره هیچ موجودی وجود ندارد.
۶. عدم قطعیت ذاتی پارامترهای ورودی با استفاده از سناریوهای گسسته‌ی مبتنی بر بهینه‌سازی استوار مد نظر قرار گرفته است.
۷. در این پژوهش از مدل استوار مولوی و همکاران [۸۲] که با روش پیشنهادی یو و لی [۲۹] به یک مدل خطی استوار تبدیل شده، استفاده شده است.

مجموعه‌ها

- i : مجموعه‌ی تأمین‌کنندگان
- j : مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز توزیع
- l : مجموعه اندازه مراکز توزیع
- h : مجموعه بیمارستان‌ها
- c : مجموعه محصولات حیاتی
- m : مجموعه اقلام دارویی
- a : مجموعه نقاط آسیب‌دیده
- s : مجموعه سناریوها

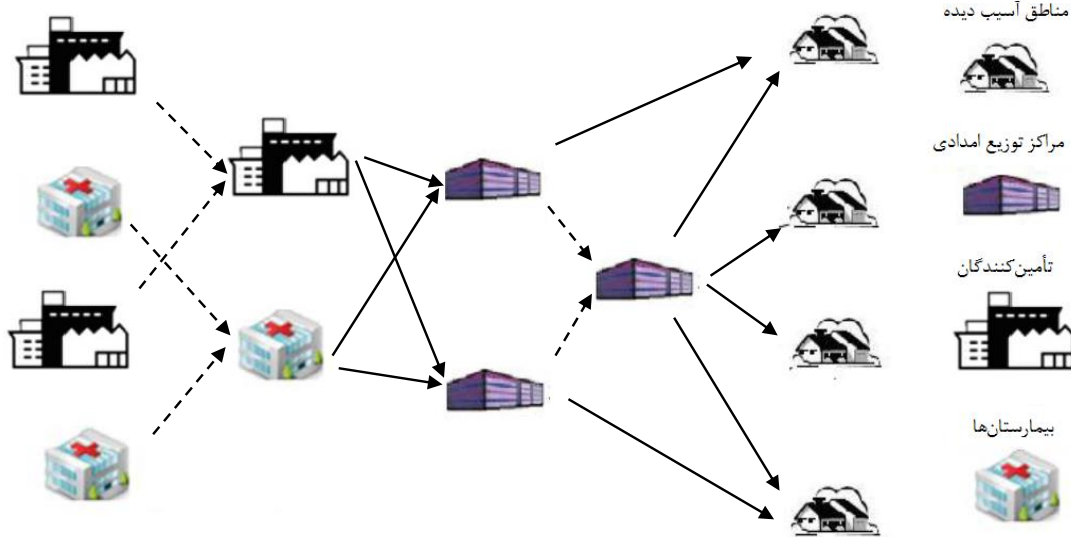
ابتدا برای مواجهه با عدم قطعیت ذاتی پارامترهای ورودی، رویکرد برنامه‌ریزی استوار به کار گرفته شده است و خطی‌سازی قسمت‌های غیرخطی مدل انجام شده، سپس برای حل مدل ریاضی دهدفه‌ی پیشنهادی از روش معیار جامع استفاده شده است. در پایان برای نمایش کارایی مدل از داده‌های یک مثال واقعی زلزله در منطقه‌ی ۱ شهر تهران استفاده شد و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، فازهای مختلف بحران در نظر گرفته شده است و با توجه به احداث شدن تأمین‌کنندگان کالاهای حیاتی در خارج از شهر تهران، مکان‌یابی تسهیلات موقتی به صورت چادر، کانتینر و ... در نزدیکی مکان حادثه‌دیده در شرایط بحران به منظور سهولت خدمت‌رسانی به مصدومان انجام شده است.

بیان مسئله و مدل ریاضی

در این پژوهش، شبکه‌ی لجستیکی امدادی از تأمین‌کنندگان، بیمارستان‌ها، مراکز توزیع امدادی و مناطق آسیب‌دیده تشکیل شده است. به منظور آمادگی در صورت مواجهه با بحران، کالاهای امدادی و داروها به ترتیب توسط تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌ها نگهداری می‌شود و با بروز بحران به منظور مقابله با شرایط بحرانی مراکز توزیع امدادی به عنوان تسهیلات موقت، به منظور تسهیل جریان ارسال کالاهای امدادی و داروها به نقاط تقاضا تأسیس می‌شوند به این منظور مکان آن‌ها نیز با توجه به مکان و مقدار تقاضا در نقاط آسیب‌دیده تعیین می‌شود. در شرایط بحران همه‌ی تسهیلات در حالت اورژانسی هستند و با پشتیبانی از همدیگر احتمال کمبود دارو و کالاهای امدادی را کاهش می‌دهند.

مفروضات

۱. نیازهای اساسی در زمان بحران به دو دسته کالاهای امدادی و داروها تفکیک می‌شوند. که کالاهای امدادی توسط تأمین‌کنندگان و داروها توسط بیمارستان‌ها تأمین می‌شوند.



تصویر ۱: شبکه‌ی لجستیکی پیشنهادی

تقاضای تسهیل f از داروی m تحت سناریوی s	: D_{fms}	پارامترها
ظرفیت توزیع کننده ی نوع l	: cap_l	شدت آسیب پذیری منطقه ی a
ظرفیت تأمین کننده ی i از محصول c	: cap_{ic}	هزینه ی مقاوم سازی منطقه a
ظرفیت بیمارستان h از داروی m	: cap_{hm}	فاصله ی منطقه ی آسیب دیده ی a از مرکز توزیع امدادی j
کسری از محصولات c که تحت سناریوی s قابل استفاده باقی می ماند.	: ρ_{cs}	هزینه ی تهیه ی کالای امدادی c توسط تأمین کننده i
کسری از داروهای m که تحت سناریوی s قابل استفاده باقی می ماند.	: ρ_{ms}	هزینه ی تهیه ی داروی m توسط بیمارستان h
شاخص استاندارد برای کنترل آسیب پذیری	: β	هزینه ی نگهداری کالای امدادی c توسط تأمین کننده ی i
ضرایب تخصیص داده شده به تغییرات توابع هدف	: $\lambda_1 \omega_2$	هزینه ی نگهداری داروی m توسط بیمارستان h
یک عدد بسیار بزرگ	: M	هزینه ی ثابت تأسیس مرکز توزیع j با اندازه ی l تحت سناریوی s
احتمال سناریوی s	: p_s	هزینه ی تهیه ی یک واحد کالای حیاتی c از تأمین کننده ی i تحت سناریوی s
متغیرها		هزینه ی تهیه ی یک واحد داروی m از بیمارستان h تحت سناریوی s
اگر منطقه ی a برای مقاوم سازی انتخاب شود ۱ در غیر این صورت صفر	: k_a	هزینه ی حمل یک واحد داروی m از تسهیل f به تسهیل f' تحت سناریوی s
اگر مرکز توزیع با اندازه ی l در مکان بالقوه j تأسیس شود ۱، در غیر این صورت صفر	: α_{jl}	$f, f' = \{h, j, a\}$
اگر منطقه ی آسیب دیده a به مرکز توزیع j اختصاص داده شود ۱ در غیر این صورت صفر	: q_{aj}	هزینه ی حمل یک واحد کالا c از تسهیل f به تسهیل f' تحت سناریوی s
مقدار کالاهای c حمل شده از تسهیل f به تسهیل f' تحت سناریوی s	: $x_{ff'cs}$	$f, f' = \{i, j, a\}$
مقدار داروهای m حمل شده از تسهیل f به تسهیل f' تحت سناریوی s	: y_{ffms}	هزینه ی حمل یک واحد c' از مرکز توزیع امدادی j به تسهیل f
مقدار جریان برگشتی c' از مراکز توزیع $f = \{h, i\}$ به تسهیل f'	: $z_{jfc'}$	$c' = \{c, m\}$
موجودی اولیه ی تسهیل f از c'	: $g_{fc'}$	هزینه ی تخلیه و جمع آوری مرکز توزیع امدادی j با اندازه ی l
مقدار موجودی کالاهای c مرکز توزیع j تحت سناریوی s	: I_{jcs}	وزن اهمیت محصول c در نقطه ی آسیب دیده ی a تحت سناریوی s
مقدار موجودی داروهای m مرکز توزیع j تحت سناریوی s	: I_{jms}	وزن اهمیت داروی m در نقطه ی آسیب دیده ی a تحت سناریوی s



کمیود وجودی کالاهاى c مرکز توزیع j
تحت سناریوی S : e_{jcs}

رابطه ی ۱۲ :
$$\sum_h y_{hjms} - \sum_a y_{jams} = I_{jms} \quad \forall j, m, s$$

کمیود موجودی داروهای m مرکز توزیع j
تحت سناریوی S : e_{jms}

رابطه ی ۱۳ :
$$\sum_j z_{jic} = \sum_{j,s} \rho_{cs} I_{jcs} \quad \forall c, i$$

مدل ریاضی

رابطه ی ۱۴ :
$$\sum_j z_{jhm} = \sum_{j,s} \rho_{ms} I_{jms} \quad \forall m, h$$

رابطه ی ۱ :
رابطه ی ۲ :
$$term_1 = \sum_a k_a \tau_a$$

رابطه ی ۱۵ :
$$x_{iics} \leq MD_{ics} \quad \forall i, c, s$$

رابطه ی ۳ :
$$term_2 = \sum_{i,c} (\mu_{ic} + \delta_{ic}) g_{ic} + \sum_{h,m} (\mu_{hm} + \delta_{hm}) g_{hm}$$

رابطه ی ۱۶ :
$$y_{hhms} \leq MD_{hms} \quad \forall h, m, s$$

رابطه ی ۴ :
$$term_{3s} = \sum_{j,l,s} f_{jls} \alpha_{jl} + (\sum_{i,j,c,s} \psi_{ics} x_{ijcs} + \sum_{h,j,m,s} \psi_{hms} y_{hjms}) + (\sum_{i,j,c,s} c_{ijcs} x_{ijcs} + \sum_{h,j,m,s} c_{hjms} y_{hjms} + \sum_{j,a,c,s} c_{jacs} x_{jacs} + \sum_{j,a,m,s} c_{jams} y_{jams}) + (\sum_{j,c,s} e_{jcs} \pi_{cs} + \sum_{j,m,s} e_{jms} \pi_{ms})$$

رابطه ی ۱۷ :
$$x_{jjcs} + y_{jjms} \leq M \sum_l \alpha_{jl} (D_{jcs} + D_{hms})$$

رابطه ی ۱۸ :
$$x_{jacs} + y_{jams} \leq M (\sum_l \alpha_{jl} + D_{acs} + D_{ams})$$

$$term_4 = (\sum_{i,j,c} c_{jic} z_{jic} + \sum_{j,h,m} c_{jhm} z_{jhm}) + (\sum_{j,l} \varphi_{jl} \alpha_{jl})$$

$$\forall j, c, m, s$$

رابطه ی ۱۹ :
$$x_{ijcs} \leq M \sum_l \alpha_{jl} \quad \forall j, c, s$$

رابطه ی ۵ :
$$\min z_1 = term_1 + term_2 + term_4 + \gamma \sum_s \sum_j \sum_c p_s \varepsilon_{jcs}$$

رابطه ی ۲۰ :
$$y_{hjms} \leq M \sum_l \alpha_{jl} \quad \forall j, m, s$$

رابطه ی ۲۱ :
$$x_{jacs} \leq M \sum_l \alpha_{jl} \quad \forall j, c, s$$

رابطه ی ۲۲ :
$$y_{jams} \leq M \sum_l \alpha_{jl} \quad \forall j, m, s$$

رابطه ی ۶ :
$$\min z_2 = \sum_s p_s \left(\sum_{c,a} \max_j \{ \eta_{acs} e_{jcs} q_{aj} l_{aj} \} + \sum_{m,a} \max_j \{ \eta_{ams} e_{jms} q_{aj} l_{aj} \} \right) + \lambda_2 \sum_s p_s [\sum_{c,a} \max_j \{ \eta_{acs} e_{jcs} q_{aj} l_{aj} \} + \sum_{m,a} \max_j \{ \eta_{ams} e_{jms} q_{aj} l_{aj} \} - \sum_s p_s] + \sum_{c,a} \max_j \{ \eta_{acs} e_{jcs} q_{aj} l_{aj} \} + \sum_{m,a} \max_j \{ \eta_{ams} e_{jms} q_{aj} l_{aj} \} + 2\theta_{2s}$$

رابطه ی ۲۳ :
$$\sum_c v_c I_{jcs} + \sum_m v_m I_{jms} \leq \sum_l cap_l \alpha_{jl} \quad \forall j, s$$

رابطه ی ۲۴ :
$$v_c (g_{ic} + \sum_j z_{jic}) \leq cap_{ic} \quad \forall i, c$$

رابطه ی ۲۵ :
$$v_m (g_{hm} + \sum_j z_{jhm}) \leq cap_{hm} \quad \forall h, m$$

رابطه ی ۷ :
$$\sum_a q_{aj} (x_{jacs} - D_{acs}) - (I_{jcs} - e_{jcs}) = \varepsilon_{jcs} \quad \forall j, c, s$$

رابطه ی ۸ :
$$\sum_a q_{aj} (y_{jams} - D_{ams}) = I_{jms} - e_{jms} \quad \forall j, m, s$$

رابطه ی ۲۶ :
$$\sum_l \alpha_{jl} \leq 1 \quad \forall j$$

رابطه ی ۲۷ :
$$\partial_a k_a \geq \beta \quad \forall a$$

رابطه ی ۲۸ :
$$term_{3s} - \sum_{s'} p_{s'} term_{3s'} + 2\theta_{1s} \geq 0 \quad \forall s$$

رابطه ی ۹ :
$$\sum_j x_{ijcs} \leq \rho_{cs} (g_{ic} + \sum_j z_{jic}) \quad \forall i, c, s$$

رابطه ی ۱۰ :
$$\sum_j y_{hjms} \leq \rho_{ms} (g_{hm} + \sum_j z_{jhm}) \quad \forall h, m, s$$

رابطه ی ۱۱ :
$$\sum_i x_{ijcs} - \sum_a x_{jacs} = I_{jcs} \quad \forall j, c, s$$



توزیع و یا ناحیه‌ی آسیب‌دیده وجود داشته باشد. محدودیت‌های ۱۹ تا ۲۲ تأمین‌کنندگان، بیمارستان‌ها و مراکز توزیع امدادی را از انتقال مواد به نقاط تقاضا وقتی که مرکز توزیعی وجود ندارد باز می‌دارد. محدودیت‌های ۲۳ تا ۲۵ به ترتیب محدودیت‌های ظرفیت مراکز توزیع، تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌ها را نمایش می‌دهند. محدودیت ۲۶ از باز شدن بیش از یک مرکز توزیع در یک نقطه ممانعت می‌کند. محدودیت ۲۷ بیان می‌کند که منطقه‌ای برای مقاوم‌سازی انتخاب می‌شود که آسیب‌پذیری بالایی دارد. محدودیت‌های ۲۸ و ۲۹ محدودیت‌های کمکی برای خطی‌سازی مدل پیشنهادی مبتنی بر بهینه‌سازی استوار مولوی هستند و محدودیت ۳۰ نوع متغیرهای مدل را نمایش می‌دهد.

روش حل

خطی‌سازی

خطی‌سازی تابع هدف و محدودیت استوار: برای خطی‌سازی عبارات‌های غیرخطی ضرب متغیر باینری در متغیر پیوسته از تکنیک ارائه شده در مطالعه‌ی [۳۰] استفاده شده است. گام ۱. عبارات $e_{jms} q_{aj}$ و $e_{jcs} q_{aj}$ در تابع هدف دوم (۶) و محدودیت ۲۹ مدل مبتنی بر بهینه‌سازی استوار غیرخطی هستند. با جایگزین نمودن R^1_{jacs} و R^2_{jams} و اضافه نمودن محدودیت‌های زیر خطی‌سازی می‌شود:

$$R^1_{jacs} \leq e_{jcs} \quad \forall j, a, c, s \quad \text{رابطه‌ی ۳۱}$$

$$R^1_{jacs} \leq M q_{aj} \quad \forall j, a, c, s \quad \text{رابطه‌ی ۳۲}$$

رابطه‌ی ۳۳:

$$R^1_{jacs} \leq M (q_{aj} - 1) + e_{jacs} \quad \forall j, a, c, s$$

$$R^2_{jams} \leq e_{jms} \quad \forall j, a, m, s \quad \text{رابطه‌ی ۳۴}$$

$$R^2_{jams} \leq M q_{aj} \quad \forall j, a, m, s \quad \text{رابطه‌ی ۳۵}$$

رابطه‌ی ۳۶:

$$R^2_{jams} \leq M (q_{aj} - 1) + e_{jams} \quad \forall j, a, m, s$$

$$R^1_{jacs}, R^2_{jams} \geq 0 \quad \text{رابطه‌ی ۳۷}$$

گام ۲. از دیگر سو عبارات جایگزین شده $\max_j \{\eta_{acs} R^1_{jacs} l_{aj}\}$ و $\max_j \{\eta_{ams} R^2_{jams} l_{aj}\}$ باز هم غیرخطی هستند که با جایگزین کردن R^3_{jacs} و R^4_{jams} و محدودیت‌های زیر خطی‌سازی می‌شوند:

رابطه‌ی ۳۸:

$$R^3_{jacs} \geq \eta_{acs} R^1_{jacs} l_{aj} \quad \forall j, a, c, s$$

رابطه‌ی ۳۹:

$$R^4_{jams} \geq \eta_{ams} R^2_{jams} l_{aj} \quad \forall j, a, m, s$$

رابطه‌ی ۴۰:

$$R^3_{jacs}, R^4_{jams} \geq 0$$

رابطه‌ی ۲۹:

$$\sum_{c,a} \max_j \{\eta_{acs} e_{jcs} q_{aj} l_{aj}\} + \sum_{m,a} \max_j \{\eta_{ams} e_{jms} q_{aj} l_{aj}\} - \sum_{s'} p_{s'} \sum_{c,a} \max_j \{\eta_{acs} e_{jcs} q_{aj} l_{aj}\} + \sum_{m,a} \max_j \{\eta_{ams} e_{jms} q_{aj} l_{aj}\} + 2\theta_{2s} \geq 0 \quad \forall s$$

رابطه‌ی ۳۰:

$$\sum_{m,a} \max_j \{\eta_{ams} e_{jms} q_{aj} l_{aj}\} + 2\theta_{2s} \geq 0 \quad \forall s$$

$$k_a, \alpha_{jl}, q_{aj} \in \{0,1\}$$

$$x_{ffts}, y_{ffms}, z_{jfc}, g_{fc}, I_{jcs}, I_{jms}, e_{jcs}, e_{jms}, \theta_{1s}, \theta_{2s} \geq 0$$

رابطه‌های ۱ تا ۴ هزینه‌های مربوط به تابع هدف اول را محاسبه می‌کنند؛ به صورتی که رابطه‌ی ۱ هزینه‌های مربوط به فاز پیش‌گیری، رابطه‌ی ۲ هزینه‌های مربوط به فاز آمادگی که شامل هزینه‌های تهیه و نگهداری کالاها و داروهای ذخیره شده در تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌هاست، رابطه‌ی ۳ هزینه‌های مربوط به فاز پاسخ شامل هزینه‌ی احداث مراکز توزیع امدادی، هزینه‌ی خرید کالاهای امدادی و دارو، هزینه‌های جابه‌جایی اقلام و هزینه‌های مربوط به کمبود است و رابطه‌ی ۴ هزینه‌های مربوط به فاز بازسازی اعم از هزینه‌ی کالاها و داروهای بازگشتی و هزینه‌های تخلیه و جمع‌آوری مراکز توزیع را محاسبه می‌کند. رابطه‌ی ۵ تابع هدف اول را نمایش می‌دهد که به دنبال کاهش هزینه‌های کل است. قسمت اول آن ارزش مورد انتظار جمع هزینه‌های کل و قسمت دوم آن پراکندگی هزینه‌ها را نمایش می‌دهد و قسمت آخر استواری مدل را با توجه به میزان نشدنی بودن محدودیت تعادلی ۷ اندازه‌گیری می‌کند. تابع هدف دوم (۶) با استفاده از مفهوم کاهش کمبود در مراکز توزیع اختصاص داده شده به نواحی آسیب‌دیده، افزایش سطح رضایت در نواحی آسیب‌دیده را مد نظر دارد، که قسمت اول ارزش مورد انتظار و قسمت دوم پراکندگی بیشینه‌ی کمبود را نمایش می‌دهند. محدودیت‌های ۷ محدودیت‌های تعادلی موجودی کالاهای امدادی در مراکز توزیع است و محدودیت ۸ محدودیت تعادلی داروها در مراکز توزیع امدادی است. محدودیت ۹ و ۱۰ به ترتیب بیان می‌کنند که جریان‌های ارسالی از تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌ها به مراکز توزیع امدادی نمی‌تواند از اقلام سالم موجود در آن‌ها بیشتر باشد. محدودیت‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب سطح موجودی کالاهای امدادی و داروها را در شرایط بحران در مراکز توزیع امدادی نمایش می‌دهند، محدودیت‌های ۱۳ و ۱۴ مقدار جریان‌های برگشتی به تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌ها پس از بحران را نمایش می‌دهند. محدودیت‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ بیان می‌کنند که تأمین‌کنندگان، بیمارستان‌ها و مراکز توزیع امدادی چنانچه تقاضایی صورت گیرد می‌توانند جریانی را به تأمین‌کنندگان، بیمارستان‌ها و مراکز توزیع امدادی دیگر صادر کنند. ۱۸ تضمین‌کننده‌ی این مطلب است که یک مرکز توزیع امدادی زمانی جریانی را صادر می‌کند که مرکز



بر روی چندین گسل فعال واقع شده است، لذا آسیب پذیری بالایی دارد.

این پژوهش برای اعتباربخشی به نتایج خود از دو پژوهش معتبر زیر استفاده کرده است:

۱. در فروردین ماه سال ۱۳۷۸ بنا به درخواست ایران، آژانس همکاری های بین المللی ژاپن (JICA) که نماینده رسمی و مسئول اجرای طرح های همکاری های فنی دولت ژاپن است، گروه مطالعاتی خود را به تهران اعزام کرد تا مطابق مقررات و آیین نامه های جاری کشور ژاپن، مطالعاتی را در زمینه ی زلزله های احتمالی تهران انجام دهد. مطالعات این گروه بر روی ۲۲ منطقه ی کلان شهر تهران با دو هدف تهیه ی نقشه ی «میکرو زونینگ» زلزله برای تهران و ارائه ی توصیه هایی برای کاهش خسارات زلزله ی احتمالی تهران انجام شد. گزارش نهایی این گروه که با همکاری مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و «جایکا» صورت گرفت پس از ۱۸ ماه در آذر ماه سال ۱۳۷۹ تحت عنوان «ریزیپنه بندی لرزه ای تهران بزرگ» انتشار یافت. این گروه سه سناریو در زمینه ی فعال شدن سه گسل اصلی شهر تهران شامل مدل گسل «ری»، مدل گسل «شمال تهران»، مدل گسل «مشا» و یک سناریو برای فعال شدن گسل های پنهان در زیر لایه های رسوبی شهر تهران ارائه می دهد [۳۳].

۲. امینی و همکاران (۱۳۹۰) مطالعه ای را با عنوان «ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS» در نشریه ی علمی و پژوهشی «مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای» به چاپ رساندند. امینی و همکاران بر اساس سه سناریوی ارائه شده در گزارش جایکا میزان خسارات و آمار کشته شدگان و آسیب دیدگان را در منطقه ی ۱ تهران برآورد کردند [۳۴].

خطی سازی محدودیت ها: عبارت $q_{aj}x_{jacs}$ در محدودیت ۷ و قسمت آخر رابطه ی ۵ و عبارت $q_{aj}y_{jams}$ در محدودیت ۸ به وضوح غیرخطی هستند. برای خطی سازی عبارات غیرخطی را به ترتیب با عبارات R^5_{jacs} و R^6_{jams} جایگزین کرده و محدودیت های زیر به مدل افزوده می شوند:

$$R^5_{jacs} \leq x_{jacs} \quad \forall j, a, c, s \quad \text{رابطه ی ۴۱}$$

$$R^5_{jacs} \leq Mq_{aj} \quad R^5_{jacs} \leq Mq_{aj} \quad \text{رابطه ی ۴۲}$$

$$R^5_{jacs} \leq M(q_{aj} - 1) + x_{jacs} \quad \forall j, a, c, s \quad \text{رابطه ی ۴۳}$$

$$R^6_{jams} \leq y_{jams} \quad \forall j, a, m, s \quad \text{رابطه ی ۴۴}$$

$$R^6_{jams} \leq Mq_{aj} \quad \forall j, a, m, s \quad \text{رابطه ی ۴۵}$$

$$R^6_{jams} \leq M(q_{aj} - 1) + y_{jams} \quad \forall j, a, m, s \quad \text{رابطه ی ۴۶}$$

$$R^5_{jacs}, R^6_{jams} \geq 0 \quad \text{رابطه ی ۴۷}$$

روش حل چند هدفه: مدل چندهدفه پیشنهادی با استفاده از روش معیار جامع قابل تبدیل به یک مدل تک هدفه است. روش معیار جامع با توجه به ماهیت مسئله انتخاب شده است. ایده ی اصلی این روش بر مبنای کاهش اختلاف بین جواب ایدئال و جواب مورد انتظار است؛ به این منظور ابتدا بهترین و بدترین جواب ممکن برای هر یک از توابع هدف محاسبه می شوند [۳۱]. بهترین جواب از بهینه سازی هر یک از توابع هدف بدون لحاظ کردن سایر توابع هدف به دست می آید و بدترین جواب از بهینه سازی هر یک از توابع هدف در جهت مخالف بر روی مسئله قابل محاسبه است. عبارت زیر چگونگی محاسبات را نشان می دهد. اگر عبارت ۴۸ یک معادله ی خطی با چند تابع هدف باشد:

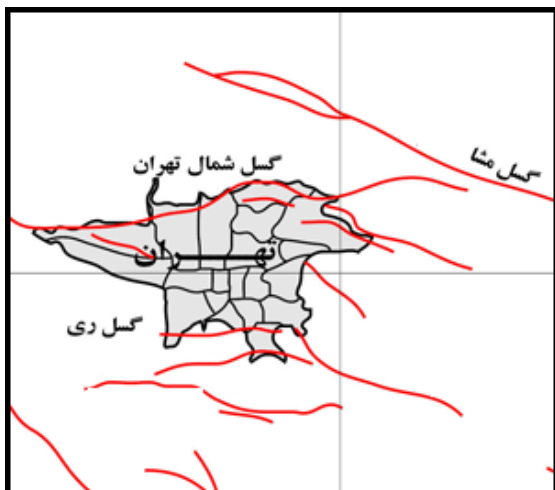
$$Min [Z_1, \dots, Z_3] \quad g_i(x) \geq 0 \quad \text{رابطه ی ۴۸}$$

آنگاه با استفاده از روش معیار جامع خواهیم داشت:

$$Min \quad z_r^* = \left[\sum_i w_i \left(\frac{z_i - z_i^*}{z_m - z_i^*} \right)^r \right]^{\frac{1}{r}} \quad g_i(x) \geq 0 \quad \text{رابطه ی ۴۹}$$

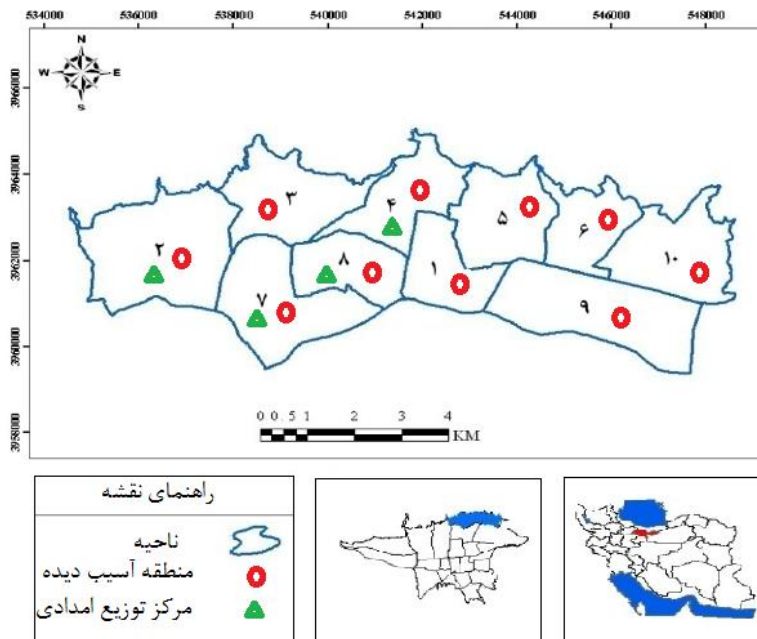
مطالعه ی موردی

طبق گزارش سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۵، ایران از نظر فراوانی زلزله ها با شدت بیشتر از ۵/۵ ریشتر رتبه ی اول را بین کشورهای جهان دارد و از سوی دیگر از آسیب پذیرترین کشورها در برابر زلزله نیز هست که تا کنون قربانیان زیادی نیز داشته است [۳۲]. تهران، پایتخت ایران، طبق سرشماری سال ۹۰، دارای ۹،۰۴۲،۸۰۲ نفر جمعیت است که به مثابه ی پرجمعیت ترین شهر



تصویر ۲: سناریوهای گسل های اصلی تهران

همان طور که در تصویر ۲ مشاهده می شود، کلان شهر تهران بر روی سه گسل اصلی مشا، شمال تهران و ری واقع شده است، بر این اساس، پژوهش حاضر منطقه ی ۱ شهر تهران را به منزله ی



تصویر ۳: منطقه‌ی مورد مطالعه

حاکم بر شهر تهران که تأمین‌کنندگان کالاهای ضروری در خارج شهر واقع شده‌اند و به دلیل دور بودن مکان تأمین‌کنندگان از محل بروز بحران احداث مراکز توزیع اضطراری و موقت برای خدمات‌رسانی بهتر ضروری می‌نماید، بنابراین نقاط بالقوه برای

مطالعه‌ی موردی خود برگزیده است و سه سناریو بر اساس سه گسل‌های اصلی ری، گسل شمال و گسل مشا در نظر گرفته شده‌اند. مطابق تصویر ۳ این منطقه شامل تعداد ۱۰ ناحیه است، که به منزله‌ی نقاط آسیب‌دیده تعریف شده‌اند. با توجه به شرایط

جدول ۲: میزان تقاضای کالاهای امدادی تخمین شده برای نواحی مختلف تحت سناریوهای مختلف بر طبق تعداد مصدومان در مطالعه [۳۴]

ناحیه	سناریوی یک (گسل مشا)				سناریوی دوم (گسل شمال)				سناریوی سوم (گسل ری)			
	تعداد مصدومان	تقاضای کالای امدادی			تعداد مصدومان	تقاضای کالای امدادی			تعداد مصدومان	تقاضای کالای امدادی		
		آب	غذا	چادر		آب	غذا	چادر		آب	غذا	چادر
۱	۳۱۱۹	۱۸۶۷۴	۹۳۳۵۷	۱۰۱۹	۶۲۰۹	۳۷۲۲۵	۱۸۶۲۷	۲۰۶۹	۹۷۹	۵۸۷۴	۲۹۳۷	۳۲۶
۲	۳۰۸۹	۱۸۵۳۴	۹۲۶۷	۱۰۲۹	۸۸۳۳	۵۲۹۹۸	۲۶۴۹۹	۲۹۴۴	۱۱۶۳	۶۹۷۸	۳۴۸۹	۳۸۷
۳	۲۳۳۳	۱۳۹۹۸	۶۹۹۹	۷۷۷	۶۰۷۸	۳۶۶۶۸	۱۸۳۳۴	۲۰۲۶	۵۶۱	۳۳۶۶	۱۶۸۳	۱۸۷
۴	۳۷۴۴	۲۲۴۶۴	۱۱۳۳۲	۱۲۴۸	۷۲۵۰	۴۳۵۰۰	۲۱۷۵۰	۲۴۱۶	۹۷۳	۵۸۳۸	۲۹۱۹	۳۲۴
۵	۲۶۸۱	۱۶۰۸۶	۸۰۴۳	۸۹۳	۵۰۶۴	۳۰۳۸۴	۱۵۱۹۲	۱۶۶۸	۶۰۵	۳۶۳۰	۱۸۱۵	۲۰۱
۶	۲۳۲۸	۱۳۹۶۸	۶۹۸۴	۷۷۶	۳۹۲۱	۲۳۵۲۶	۱۱۷۶۳	۱۳۰۷	۵۷۲	۳۴۳۲	۱۷۱۶	۱۹۰
۸	۳۷۰۶	۲۲۲۳۶	۱۱۱۸	۱۳۳۵	۱۱۰۴۷	۶۶۲۸۲	۳۳۱۴۱	۳۶۸۲	۱۴۳۰	۸۵۸۰	۴۲۹۰	۴۷۶
۸	۲۸۶۰	۱۷۱۶۰	۸۵۸۰	۹۵۳	۵۹۸۳	۳۵۸۹۸	۱۷۹۴۹	۱۹۹۴	۸۷۷	۵۲۶۲	۲۶۳۱	۲۹۲
۹	۲۰۱۶	۱۲۰۹۶	۶۰۴۸	۶۷۲	۳۷۸۴	۲۲۷۰۴	۱۱۳۵۲	۱۲۶۱	۶۰۲	۳۶۱۲	۱۸۰۶	۲۰۰
۱۰	۲۸۴۶	۱۷۰۷۶	۸۵۳۸	۹۴۸	۴۶۳۶	۲۷۸۱۶	۱۳۹۰۸	۱۵۴۵	۵۱۲	۳۰۷۲	۱۵۳۶	۱۷۰

جدول ۳: شدت آسیب‌پذیری نواحی مختلف بر مبنای سناریوهای مختلف [۳۴]

ناحیه	میزان خسارت تحت گسل مشا	میزان خسارت تحت گسل شمال	میزان خسارت تحت گسل ری	شدت آسیب‌پذیری
۱	۱۰۹۰	۱۷۸۳	۴۶۰	۰/۱۰۵۰۰۲۸
۲	۱۲۵۲	۲۶۶۵	۶۰۵	۰/۱۴۲۴۶۱۱
۳	۱۰۴۴	۲۱۰۰	۳۵۴	۰/۱۱۰۲۰۱
۴	۱۴۵۳	۲۳۵۲	۵۲۴	۰/۱۳۶۳۸۰۸
۵	۹۱۵	۱۴۶۵	۲۹۲	۰/۰۸۴۱۷۸۷
۶	۶۷۲	۹۸۴	۲۵۲	۰/۰۶۱۰۹۶
۷	۱۵۴۱	۳۳۵۸	۷۳۶	۰/۱۷۷۵۲۵
۸	۱۱۲۹	۱۹۸۷	۴۷۸	۰/۱۱۳۲۲۵۴
۹	۳۷۱	۶۰۵	۱۴۵	۰/۰۳۵۳۱۶
۱۰	۴۱۶	۶۰۰	۱۱۴	۰/۰۳۵۵۹۹۵

جدول ۴: نتایج نوع مراکز توزیع امدادی احداث شده و میزان کالاهای امدادی و پزشکی حمل شده به آن‌ها

مجموع کالاهای پزشکی حمل شده از بیمارستان‌ها	مجموع کالاهای امدادی حمل شده از تأمین‌کنندگان	نوع مرکز امدادی تأسیس شده		
		آب	غذا	چادر
۱۳۸۷۹	کوچک	۸۷۰۴۱	۴۱۶۷۵	۴۹۶۳
۱۹۸۷۶	متوسط	۱۳۰۰۷	۶۳۹۸۱	۷۹۸۸
۱۶۵۴۹	متوسط	۱۲۸۷۳	۵۷۲۹۴	۷۱۳۲
۲۰۹۸۴	بزرگ	۲۱۱۲۴	۱۰۶۳۴۳	۱۴۹۹۶

باز شده نمایش را می‌دهد و با مشاهده‌ی آن در می‌یابیم که از مجموع چهار مرکز امدادی باز شده، یک مرکز با اندازه‌ی بزرگ و دو مرکز با اندازه‌ی متوسط و یک مرکز با اندازه‌ی کوچک احداث شده‌اند که متناسب با منطقه‌ی تحت پوشش آن‌ها و تعداد مجروحان آن مناطق است.

تصویر ۴ تغییرات مقدار تابع هزینه‌ی کل را به ازای تأسیس تعداد مراکز امدادی بالقوه نمایش می‌دهد و آنچنان که در تصویر مشخص است وقتی که هیچ مرکز توزیعی وجود ندارد و اقلام مستقیماً از تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌ها به نواحی آسیب‌دیده حمل می‌شوند، تابع هزینه‌ی کل بیشترین مقدار خود را دارد. با تأسیس مراکز توزیع مقدار آن رفته‌رفته کاهش یافته است که علت آن توزیع متناسب اقلام است.

تصاویر ۵ و ۶ تغییرات هر یک از توابع هدف را به ازای تغییرات نمایش می‌دهند.

با مشاهده‌ی تصاویر ۵ و ۶ در می‌یابیم که با افزایش گاما مقدار هزینه‌ی کل افزایش می‌یابد درحالی‌که سطح رضایت کاهش می‌یابد. این بدین معنا است که تصمیم‌گیرندگان می‌توانند ضریب گاما را بر مبنای ترجیح خود تنظیم کنند، که مقادیر بیشتر برای گاما به معنای ریسک بیشتر و مقادیر کمتر به معنای ریسک کمتر است.

تصویر ۷ رابطه‌ی معکوس هزینه‌ی کل و تعداد کمبودها را نمایش می‌دهد، به این معنا که با صرف هزینه‌های بیشتر، تعداد کمبود کمتر و سطح رضایت بیشتر می‌شود، با صرف هزینه در فاز پیش‌گیری با مقاوم‌سازی منطقه باعث متحمل شدن خسارات کمتر و نیازهای امدادی و دارویی کمتر شده و در فاز آمادگی با تأمین

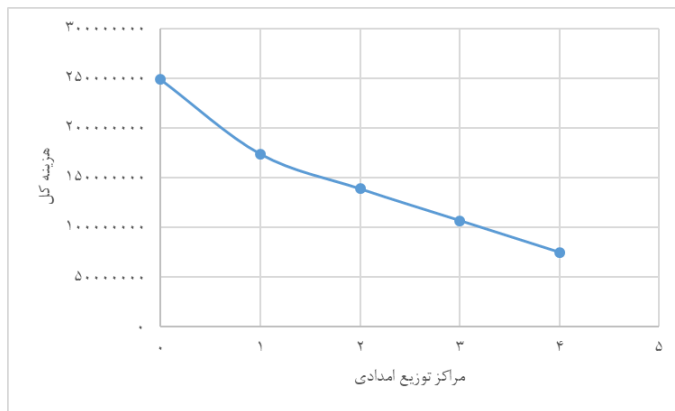
تأسیس مراکز توزیع امدادی نواحی ۷، ۴، ۲ و ۸ در نظر گرفته شده‌اند، زیرا بر اساس پژوهش امینی و همکاران [۳۴] نواحی ۷، ۴، ۲ و ۸ به منزله‌ی نواحی با بیشترین آسیب‌پذیری معرفی شده‌اند.

جدول ۲ تعداد تقاضا برای کالاهای امدادی را نشان می‌دهد، با توجه به پژوهش امینی و همکاران [۳۴] که تعداد مصدومان را بر اساس سناریوهای مختلف پیش‌بینی کرده است و با توجه به کالاهای مورد نیاز برای خدمت‌رسانی به این مصدومان این پارامترها استخراج شده است.

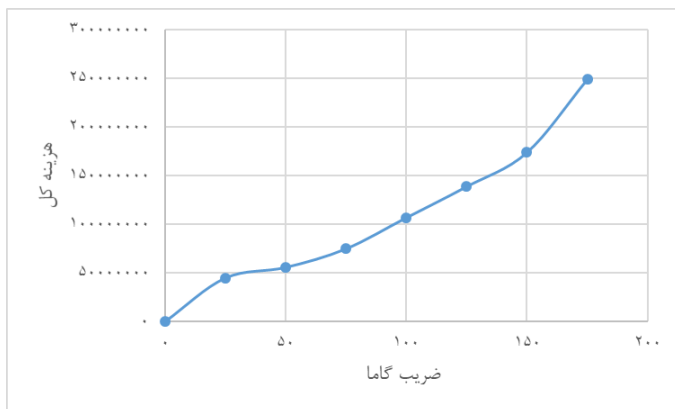
جدول ۳ شدت آسیب‌پذیری را نمایش می‌دهد که با توجه به پژوهش امینی و همکاران [۳۴] تعیین شده است، آن‌ها در پژوهش خود با توجه به جنس خاک، بافت شهری و ساختمان‌های منطقه، وضعیت شریان‌های اصلی منطقه، شیب زمین و ... خسارات ناشی از زلزله را با استفاده از رویکرد رادیوس به دست آوردند.

نتایج عددی

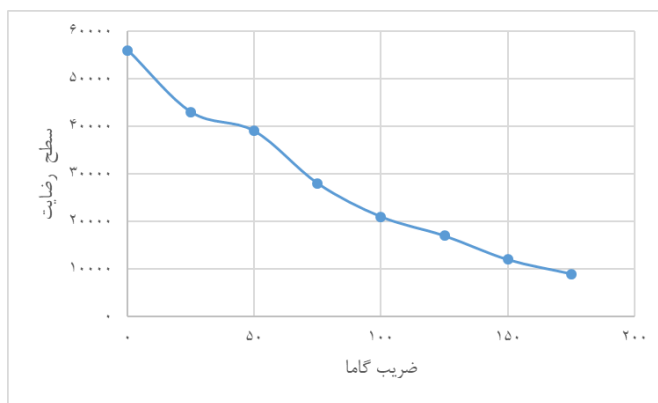
در این بخش نتایج محاسباتی ارائه شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از CPLEX Solver نرم‌افزار GAMS و کامپیوتری با مشخصات CORE™ i5 و حافظه‌ی داخلی ۸ گیگا بایت اجرا شده است. مقدار گزارش شده برای هزینه‌ی کل ۸۷۶،۴۵۲،۳۲۲ و میزان سطح رضایت ۶۷۵۴۹ است. نواحی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۷ مطابق با شاخص استاندارد تعیین شده و شدت آسیب‌پذیری آن‌ها به‌منظور مقاوم‌سازی انتخاب شده‌اند. مراکز توزیع امدادی تأسیس شده از نظر اندازه به سه دسته‌ی بزرگ، متوسط و کوچک تقسیم می‌شوند که جدول ۴ نوع مراکز امدادی



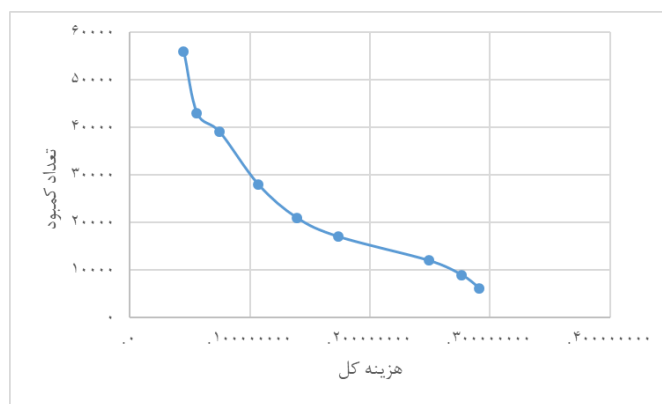
تصویر ۴: تغییرات تابع هزینه‌ی کل به ازای تعداد مراکز توزیع امدادی



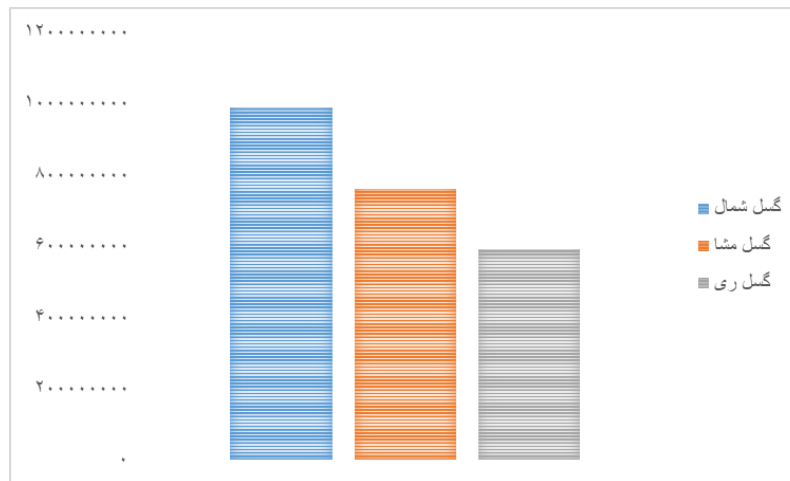
تصویر ۵: تغییرات هزینه‌ی کل به ازای مقادیر γ



تصویر ۶: تغییرات سطح رضایت به ازای مقادیر γ



تصویر ۷: هزینه‌ی کل در برابر تعداد کمبودها



تصویر ۸: تغییرات تابع هزینه کل تحت سناریوهای مختلف

تصمیم‌گیرندگان بنا به ترجیح در متحمل شدن ریسک بیشتر یا کمتر باید مقدار مناسب برای این ضریب را تعیین نمایند. مقادیر بیشتر برای این ضریب به معنای افزایش ریسک و مقادیر کمتر به معنای کاهش ریسک هستند. با مقایسه‌ی مقادیر هزینه‌ی کل تحت سناریوهای مختلف مشخص شد که تحت سناریوی گسل شمال بیشترین و تحت سناریوی گسل ری کمترین مقدار خود را دارد که به علت نزدیک بودن گسل شمال به منطقه‌ی مورد مطالعه و آسیب‌پذیری بیشتر منطقه در مقابل این گسل است. به‌منظور پیشنهاد برای تحقیقات آتی به‌کارگیری مباحث موجودی در انبارهای تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌ها و استفاده از مفاهیم پنجره‌ی زمانی با وارد کردن مباحث زمانی در مدل توصیه می‌شوند.

منابع

1. IFRC. (2009). What is a Disaster? Available at: www.ifrc.org/what/disasters/about/index.asp.
2. محمدی، احمد؛ یعقوبی، سعید؛ نهفتی کهنه، جمال (۱۳۹۳). ارائه‌ی یک مدل ریاضی دو هدفه لجستیک امداد با نقاط انتقال و تسهیلات پشتیبان. *مجله‌ی علمی و پژوهشی تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*، دوره‌ی یازدهم (۴)، ۱۱۹-۱۳۸.
3. Ben-Tal, A., Chung, B.D., Mandala, S.R., & Yao, T. (2011). Robust Optimization for Emergency Logistics Planning: Risk Mitigation in Humanitarian Relief Supply Chains. *Transp. Res. Part B*, 45, 1177-1189.
4. Thomas, A., & Kopczak, L. (2005). From logistics to supply chain management. The path forward in the humanitarian sector. Fritz Institute, available at: www.fritzinstitute.org
5. Kova'cs, G., & Spens, K.M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International journal of physical distribution & logistics management*, 37(2), 99-114

و نگهداری اقلام مورد نیاز امکان بروز کمبود کمتر شده، علاوه بر این مراکز توزیع امدادی با بروز بحران در فاز پاسخ با صرف هزینه‌ای احداث می‌شوند و در پایان در فاز بازسازی با صرف هزینه‌ای تخلیه و جمع‌آوری می‌شوند و باعث افزایش هزینه‌های سیستم می‌شوند، احداث این مراکز باعث داشتن سیستم توزیع بهتر و کارآمدتر شده و احتمال کمبود را کاهش می‌دهند.

تصویر ۸ مقادیر تابع هزینه‌ی کل را تحت هر سناریو نمایش می‌دهد. تصویر ۸ گویای این مطلب است که تحت سناریوی گسل شمال هزینه‌ی کل مقدار بیشتری و تحت سناریوی گسل ری کمترین مقدار خود را دارد. علت را می‌توان در احتمال بالای آسیب‌پذیری منطقه‌ی مورد مطالعه، خسارات بالاتر و تعداد بیشتر مصدومان تحت این سناریو به دلیل نزدیکی گسل شمال به منطقه‌ی مورد مطالعه دانست.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل دو هدفه‌ی برنامه‌ریزی ریاضی استوار برای لجستیک امداد ارائه شد. انگیزه‌ی اصلی نگارش این پژوهش ارائه‌ی مدلی با در نظرگیری فازهای مختلف مدیریت بحران بوده است. از دیگر سو با توجه به شرایط موجود در شهر تهران که تأمین‌کنندگان کالاهای حیاتی در خارج شهر واقع شده‌اند، برای خدمت‌رسانی بهتر به افراد حادثه‌دیده مکان‌یابی تسهیلات موقت برای کالاهای حیاتی انجام شده است. مدل پیشنهادی از طریق کاهش هزینه‌های اقتصادی و افزایش سطح رضایت، امداد رسانی بهتر به مصدومان را مد نظر داشت. مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار گمس حل و نتایج مورد بررسی و تحلیل حساسیت قرار گرفتند. با تحلیل نتایج مشخص شد که وقتی تعداد مراکز توزیع امدادی (تسهیلات موقت) افزایش یابند تابع هزینه‌ی کل کاهش می‌یابد، به این دلیل که با داشتن سیستم توزیع مناسب هزینه‌های مختلف شامل کمبود و مازاد و حمل و نقل و نگهداری و ... و همینطور احتمال کمبود در تأمین کالاهای امدادی و پزشکی کاهش می‌یابد. با افزایش ضریب گاما مقدار هزینه‌ی کل افزایش می‌یافت، در حالی‌که میزان سطح رضایت کاهش می‌یافت که

19. Beraldi, P., & Bruni, M.E. (2009). A probabilistic model applied to emergency service vehicle location. *European Journal of Operational Research*, 196, 323–331.
 20. Mete, H.O., & Zabinsky, Z.B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *Int. J. Production Economics*, 126, 2010, 76–84.
 21. Salmeró, J., & Apte A. (2010). Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning. *Production and Operations Management Society*, 19(5), 561–574.
 22. Rawls, C G., & Turnquist, M A. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B*, 44, 521–534
 23. Chakravarty A.K. (2014). Humanitarian relief chain: Rapid response under uncertainty. *Int. J. Production Economics*, 151, 146–157.
 24. Ahmadi, M., Seifi, A., & Tootooni, B. (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E*, 75, 145–163.
 25. Alem, D., Clark, A., & Moreno, A. (2016). Stochastic Network Models for Logistics Planning in Disaster Relief. *European Journal of Operational Research*.
 26. Zokaee, Sh., Bozorgi-Amiri, A., & Sadjadi S.J. (2016). A Robust Optimization Model for Humanitarian Relief Chain Design under Uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*.
 27. Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Bozorgi-Amiri, A. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities. *Computers & Industrial Engineering*.
 28. Mulvey, M.J., Vanderbei, R.J., & Zenios, S.A. (1995). Robust optimization of large scale systems. *Operation Research*, 43(2), 264–281.
 29. Yu Ch-S., & Li H-L. (2000). A robust optimization model for stochastic logistic problems. *International Journal of production economics*, 64, 385–397.
 30. Banerjee, S., & Roy, T.K. (2001). Linear equation and systems in fuzzy environment. *Journal of mathematics and computer Science*, 15, 23–31.
 31. Rao, S., & Rao, S. (2009). *Engineering optimization: theory and practice*. John Wiley & Sons.
 32. Pelling, M., Maskrey, A., Ruiz, P., Hall, L. (2004). Reducing disaster risk: a challenge for development. A
 6. Trunick, P.A. (2005b). Special report: delivering relief to tsunami victims. *Logistics Today*, 46(2), 1–3.
 7. Murray, S. (2005). How to deliver on the promises: supply chain logistics: humanitarian agencies are learning lessons from business in bringing essential supplies to regions hit by the
- Tsunami. *Financial Times*, January 7, p. 9.
۸. روزنامه دنیای اقتصاد (۱۳۹۵). تهران، ایران، شماره ۳۸۶۴.
9. Jia, H., Ordenez, F., Dessouky, M. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Comput Ind Eng*, 52(2), 257–276
 10. Tzeng, G-H., Cheng, H-J., & Huang, T D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E*, 43, 673–686.
 11. Lin, Y-H., Batta, R., Rogerson, P.A., Blatt, A., & Flanagan, M. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45, 132–145.
 12. Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences journal*, 46, 327–338.
 13. Wang, H., Du, L., & Ma, Sh. (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. (2014). *Transportation Research Part E journal*, 69, 160–179.
 14. Garrido, R.A., Lamash, P., & Pino F.J. (2015). A stochastic programming approach for floods emergency logistics. *Transportation Research Part E journal*, 75, 18–31.
 15. Sheu, J-B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E*, 43, 687–709.
 16. Sheu J-B. (2010). Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters. *Transportation Research Part E*, 46, 1–17.
 17. Ruan, J., Shi, P., Lim, C-C., & Wang X. (2015). Relief supplies allocation and optimization by interval and fuzzy number approaches. *Information Sciences*.
 18. Chang, M-Sh., Tseng, Y-L., & Chen, J-W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E*, 43, 737–754.

Global Report, United Nations Development Programme, 52-53.

۳۳. آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا)، (۱۳۸۰). پروژه‌ی ریزپهنه‌بندی تهران بزرگ.

۳۴. امینی، جمال؛ کرمی، جلال؛ علی‌محمدی سراب، عباس؛ صفرراد، طاهر (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS. مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره‌ی یازدهم، ۲۳-۴۰.

۴۹

شماره چهاردهم

باییز زمستان
۱۳۹۷

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



شرایط عدم قطعیت برای بحران زلزله در منطقه‌ی ۱ شهر تهران
ارائه‌ی یک مدل غیرخطی دو همدانی لجستیک بشردوستانه تحت