Scientific Journal of Supply Chain Management
Vol. 26, No. 1, Spring 2024, Serial No. 82
ISSN: 2008-9198 , E-ISSN: 2717-1647

The Mathematical Model for Location-Routing Problem of Relief Logistics Considering the Types of People Under Conditions of Uncertainty

Behrooz Bayegan , Ahmad Mehrabian *, Mahdi Yousefi Nejad Attari , Mohammad Jafar Doosti Dylami

*Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Aliabad Katul Branch, Islamic Azad University, Aliabad Katul, Iran.

(Received: 15/10/2023, Revised: 21/12/2023, Accepted: 06/02/2024, Published: 20/05/2024)
DOR:

ABSTRACT

Crisis management holds significant importance during the occurrence of disasters to ensure maximum reduction in damages and casualties. From a crisis management perspective, emergency logistics occupy a special position because swift transportation of relief personnel and necessary supplies to the affected area, as well as the evacuation of the injured and others during and after a disaster, are amongst the critical needs. This research addresses the locating, routing, and distribution of emergency supplies in the context of earthquakes. Objectives of this research include maximizing the probability of successfully navigating routes, minimizing emergency response costs, and reducing discrepancies in the allocation of relief personnel to affected regions. The proposed mathematical model, enhanced with an augmented epsilon constraint approach, has been solved using the GAMS software for a case study of Tehran's 11th district. The consideration of various types of injured individuals, including those with minor injuries and those in critical condition, as well as the homeless and relief workers in a concurrent manner, and the development of a three-objective, multi-commodity, multi-vehicle mathematical model with scenarios incorporating uncertainty, are among the innovations of this study.

Keywords: Relief Logistics, Expanded Epsilon Limitation, Routing, Positioning

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: ahmad_mehrabian@yahoo.com

نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و ششم، شماره ۸۲، بهار ۱۴۰۳؛ ص ۶۶-۵۵
شاپای چاپی: ۲۰۰۸-۹۱۹۸| شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۱۶۴۷

علمی – پژوهشی

مدل سازی مساله مکان یابی– مسیریابی لجستیک امدادی با در نظر گرفتن انواع افراد تحت شرایط عدم قطعیت

بهروز بایگان[۱]، احمد مهرابیان[۲*]، مهدی یوسفی نژاد عطاری[۳]، محمد جعفر دوستی دیلمی[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران. ۲- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران. ۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران. ۴- استادیار گروه ریاضی، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران

DOR:20.1001.1.20089198.1403.26.82.4.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱

چکیده

مدیریت بحران در هنگام وقوع بلایا جهت کاهش حداکثری خسارات و تلفات از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از لحاظ مدیریت بحران، لجستیک امداد جایگاه خاصی دارد، زیرا یکی از نیازهای مهم در مدیریت بحران قابلیت نقل و انتقال سریع نیروهای امدادی و اقلام مورد نیاز به منطقه بحران زده و نیز خروج آسیب‌دیدگان و افراد در هنگام و بعد از وقوع بحران است. در این پژوهش به مکانیابی، مسیریابی و توزیع کالاهای امدادی در شرایط وقوع زلزله پرداخته شده‌است. بیشینه کردن احتمال عبور موفق از مسیرها، کمینه کردن هزینه‌های امدادی و کمینه‌سازی مازاد و کمبود پرسنل امدادی انتقالی به مناطق آسیب دیده از جمله اهداف این پژوهش می‌باشد. مدل ریاضی پیشنهادی با رویکرد محدودیت اپسیلون توسعه یافته و با استفاده از نرم افزار گمز برای مطالعه موردی منطقه ۱۱ تهران حل گردیده است. در نظر گرفتن انواع مجروحین شامل مجروحان سرپایی و مجروحان شدید، همچنین بی‌خانمان‌ها و پرسنل امداد بصورت همزمان و مدل‌سازی ریاضی سه هدفه، چندکالایی، چند وسیله‌ای با ملاحظات عدم قطعیت بصورت سناریویی از جمله نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: لجستیک امداد، محدودیت اپسیلون توسعه یافته ، مسیریابی، مکان‌یابی

۱- مقدمه

سال‌های اخیر چندین بلایای طبیعی ویرانگر مانند سیل لیبی (۲۰۲۳)، سیل‌های هند (۲۰۲۰)، شکستن سدها در برزیل (۲۰۱۹)، طوفان‌ها در ایالات متحده آمریکا (۲۰۱۸) رخ داده‌است که منجر به تلفات جانی قابل ملاحظه و خسارات مالی و اقتصادی شده‌است [۱]. پیش‌بینی وقوع بسیاری از این بلایا دشوار است. اگر هزاران شبکه متصل به ایستگاه های لرزه‌نگار در سراسر جهان نصب شده باشد و داده‌های جمع‌آوری شده به طور مداوم با استفاده از رایانه‌های قدرتمند آنالیز شوند، جوامع بشری هنوز قادر به پیش‌بینی زمان و مکان دقیق زلزله‌ها نیستند [۲]. وقوع این بلایای طبیعی و بحران ایجاد شده توسط آن نشان دهنده اهمیت برنامه‌ریزی دقیق برای مقابله با پیامدهای ناشی از آن است.

بی شک مهمترین موضوع در هنگام وقوع بلایا، مسأله کنترل و مدیریت بلایا است و چنانچه این مسأله مورد توجه قرار نگیرد فاجعه ثانویه دیگری در دل فاجعه اصلی رخ می‌دهد. مدیریت بلایا شامل آماده سازی برای بلایا قبل از وقوع آن، پاسخ دهی بلافاصله بعد از وقوع و همچنین حمایت و بازسازی جامعه بعد از آن می‌باشد. مدیریت بلایا یک فرایند پیوسته است و داشتن طرح‌های اضطراری جامع و به طور پیوسته ارزیابی کردن و بهبود دادن طرح‌ها ضروری می‌باشد. فعالیت‌های مرتبط با مدیریت بحران معمولا به چهار فاز: آمادگی، پاسخ، بازیابی و کاهش تقسیم‌بندی می‌شوند [۳].

لجستیک امداد بلایا یکی از اصلی‌ترین فعالیت‌ها در زمان وقوع بلایا می‌باشد [۲, ۴]. به طور کلی دو نوع از اقداماتی که در پاسخ گویی به وقوع زلزله مهم به نظر می‌رسند عبارتند از: عملیات لجستیکی تخلیه و انتقال افراد آسیب‌دیده و اقدامات لجستیکی

* رایانامه نویسنده مسئول: ahmad_mehrabian@yahoo.com

مربوط به توزیع کالاهای امدادی. عملیات تخلیه با هدف خارج‌سازی مصدومان از زیر آوار و انتقال آن‌ها رخ می‌دهد و اقدامات لجستیکی کالاها جهت بر آورده سازی نیازهای افراد آسیب دیده از فاجعه می‌باشد. برنامه ریزی درست و مناسب این اقدامات، با توجه به محدودیت منابع و امکانات، تأثیر به‌سزایی در کاهش خسارات جانی و مالی و افزایش کارایی و اثر بخشی پاسخ‌گویی دارد [۵]. در فاز پاسخ، مجروحان باید بر اساس شدت جراحات به بیمارستان‌ها یا مراکز درمان موقت منتقل شوند. یکی از راهکارهای مؤثر جهت کاهش هزینه‌های مالی و صدمات جانی ناشی از بحران‌ها این است که مکان‌های مناسب برای احداث مراکز درمانی موقت و مراکز اسکان موقت تعیین شده و همچنین برنامه‌ریزی‌های مناسب برای تخصیص بخش‌های مختلف شبکه امداد درنظر گرفته شود [۶]. بنابراین مکان‌یابی مناسب مراکز درمانی موقت و مراکز اسکان موقت می‌تواند خسارت‌های جانی و مالی را کاهش داده و هر گونه اقدام نادرست در این شرایط باعث افزایش چشمگیر این خسارات می‌شود [۷].

زلزله‌ها معمولاً زنجیره‌ای از بلایای پیچیده شامل آتش‌سوزی، رانش زمین و سیل را ایجاد می‌کنند که در نهایت منجر به عواقب فاجعه‌باری می‌شود. روش های مبتنی بر سناریو اغلب توسط تصمیم گیرندگان در زمینه های مختلف به عنوان ابزاری برای مدیریت عدم قطعیت اثرات زلزله استفاده شده است [۸]. روش سناریو، با هدف توسعه چشم‌اندازهای جایگزین از آینده، به عنوان رویکردی برای مطالعه موقعیت‌هایی که می‌تواند منجر به تغییرات حیاتی شود و ایجاد روابط صریح بین رویدادها در آن دشوار است، شناخته شده است [۹].

در این تحقیق، یک مدل تصادفی دو سطحی به منظور مدیریت وقوع یک فاجعه توسعه داده شده است. در سطح اول تأسیس مراکز اسکان موقت و مراکز درمانی موقت و تخصیص بهینه مراکز توزیع کالاها به مراکز اسکان موقت به عنوان فاز پیش از بحران بررسی شده است. در سطح دوم مسیریابی مربوط به مصدومان، بی خانمان ها و توزیع اقلام امدادی به عنوان فاز پس از بحران توسعه داده شده است. افراد شدیدا مجروح به دلیل شدت جراحات به بیمارستان و افراد با جراحت کمتر به مراکز درمانی سرپایی منتقل می‌شوند. در این پژوهش بطور همزمان اقدامات لجستیکی کالا (مسیریابی وسایل نقلیه) جهت بر آورده‌سازی نیازهای افراد بی‌سرپناه که به مراکز اسکان موقت منتقل شده‌اند انجام می‌شود. برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی پارامترهای تقاضا به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌است.

در ادامه مقدمه، پیشینه پژوهش به منظور استخراج شکاف تحقیقاتی بررسی می‌شود. در بخش سوم، مدل ریاضی توسعه داده شده و مفروضات آن و در ادامه این بخش روش حل تشریح گردیده است. مدل پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی برای ارائه عملی بودن مدل در بخش ۵ پیاده‌سازی شده است. در پایان و در بخش ۶ نتیجه‌گیری این پژوهش ارائه شده است.

۲- پیشینه پژوهش

در حوزه مکان‌یابی تسهیلات امدادی، اولین مطالعه در سال ۱۹۷۱ توسط تورگاس و همکارانش منتشر شد. آن‌ها این مسأله را به فرم یک مسأله مکان‌یابی پوشش مجموعه[1] (SCLP) مطرح کردند و سپس برای حل آن از روش‌های برنامه‌ریزی خطی استفاده کردند[۱۰]. ازدامر و یی [۱۱] یک مدل مکان‌یابی-توزیع یکپارچه برای هماهنگ‌سازی عملیات تخلیه و پشتیبانی لجستیک در فعالیت‌های پاسخ به فاجعه ارائه دادند. برنامه‌ریزی لجستیک در مواقع اضطراری شامل اعزام و توزیع کالاها (از قبیل: پرسنل و مواد دارویی، تجهیزات ویژه نجات، تیم نجات، غذا و ...) به مراکز توزیع در مناطق آسیب‌دیده و تخلیه و انتقال افراد مجروح به واحدهای اورژانس است. آن ها همچنین تخصیص بهینه پرسنل پزشکی در بین واحدهای اورژانس را در تحقیق خود درنظر گرفتند. مدل پیشنهادی آن‌ها یک مدل جریان شبکه‌ای چندکالایی عدد صحیح مختلط است که وسایل نقلیه مانند جریان‌های کالا به جای متغیرهای باینری عدد صحیح رفتار می‌کنند. افشار و حقانی [۱۲] با توسعه یک مدل جامع به تشریح عملیات لجستیک یکپارچه در پاسخ به بلایا پرداخته‌اند. مدل ریاضی ارائه شده توسط آن‌ها جریان کالاهای امدادی مختلف از منابع تا زمانی که به دست گیرندگان تحویل داده می‌شود را کنترل می‌کند. مدل پیشنهادی نه تنها از نظر جزئیات، مانند مسأله مسیریابی وسیله نقلیه و زمان‌بندی برداشت و ارسال می‌باشد بلکه، به مکان‌یابی مکان بهینه برای لایه‌های مختلف تسهیلات به طور موقت و با توجه به محدودیت ظرفیت‌های مختلف برای هر یک از تسهیلات و سامانه حمل و نقل می پردازد. بزرگی‌امیری و همکاران [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی غیر-خطی عدد صحیح مختلط را برای به‌حداقل رساندن مجموع هزینه‌های مورد انتظار کل (شامل هزینه مکان، تدارکات، حمل و نقل، نگه داشتن، و کمبود) و واریانس هزینه کل پیشنهاد دادند. این مدل به‌طور همزمان به تعیین محل مراکز توزیع امداد و تخصیص مناطق آسیب‌دیده به مراکز توزیع امداد می‌پردازد. پل و هری‌هاران [۱۴] برنامه‌ریزی مکان‌یابی و تخصیص انبارها در عملیات تخلیه را مورد بررسی قرار دادند. به حداقل رساندن هزینه‌های اجتماعی، هزینه‌های مرگ‌ومیر و هزینه‌های نگهداری موجودی انبارها از اهداف اصلی این مقاله می‌باشد. تعیین ظرفیت هر مرکز و در نظر گرفتن خرابی تسهیلات از جمله نو آوری‌های

[1] Set Covering Location Problem

مقاله آن‌ها است و مدل پیشنهادی برای دو مطالعه موردی تحت شرایط طوفان و زلزله مورد آزمایش قرار گرفته‌است. ابوناصر و همکاران [۱۵] یک مسأله حمل‌ونقل – مکان‌یابی سه هدفه در پاسخ به فاجعه ارائه دادند. اهداف مسأله مکان‌یابی شامل: تعیین تعداد، مکان و مأموریت مراکز توزیع کمک‌های بشر دوستانه مورد نیاز مناطق آسیب‌دیده‌است، در حالیکه مسأله حمل‌ونقل با توزیع کمک‌ها از مراکز توزیع کمک‌های بشردوستانه به نقاط تقاضا سروکار دارد. سه هدف در نظر گرفته‌شده در این مقاله عبارتند از: ۱- کمینه ساختن زمان رسیدن کالاهای امدادی مورد نیاز به مناطق آسیب دیده. ۲- کمینه ساختن تعداد امداد رسان‌های مورد نیاز برای تأسیس یک مرکز توزیع. ۳- کمینه ساختن تقاضای برآورده‌نشده. برای حل مدل از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده‌است. وانگ و همکاران [۱۶] یک مدل مکان‌یابی- مسیریابی باز عدد صحیح غیرخطی برای مسأله توزیع امداد با درنظر گرفتن زمان سفر، هزینه کل و قابلیت اطمینان با انشعاب تحویل درنظر گرفتند. مدل ارائه شده سه هدفه (شامل: مینیمم کردن حداکثر زمان سفر مسیر وسیله نقلیه، مینیمم کردن هزینه‌های توزیع امداد، حداکثر کردن قابلیت اطمینان مسیر) می‌باشد. برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و الگوریتم تکاملی دیفرانسیل مرتب‌سازی نامغلوب با مطالعه موردی زلزله سیچوان چین استفاده کرده‌اند. احمدی و همکاران [۱۷] یک مدل مکان‌یابی – مسیریابی چندانباره با درنظر گرفتن خرابی شبکه، وسایل نقلیه چندکاره و زمان امداد رسانی استاندارد پیشنهاد دادند. مدل، مکان‌یابی انبارهای محلی و مسیریابی توزیع بعد از زلزله را تعیین می‌کند. و به یک برنامه تصادفی دو مرحله‌ای با زمان سفر تصادفی برای مشخص کردن مکان‌های مراکز توزیع توسعه داده‌شده‌است. الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای حل مدل قطعی استفاده شده و برای مثال هایی با اندازه کوچک مدل با گمز حل شده‌است. نتایج محاسبات برای مطالعه موردی منطقه سان فرانسیسکو نشان داده است که می‌توان تقاضای ناراضی را از طریق افزایش هزینه در تعداد انبارهای محلی و وسایل نقلیه کاهش داد. وحدانی و همکاران [۱۸] یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط دومرحله‌ای چند هدفه چند دوره‌ای چند محصولی برای زنجیره تأمین امدادی سه سطحی ارائه دادند. در این مقاله مکان‌یابی مراکز توزیع و انبارها با سطوح مختلف ظرفیتی و تصمیمات مرتبط با کالاهای ذخیره شده در این انبارها و مراکز توزیع تأسیس شده در مرحله اول درنظر گرفته می‌شود و در مرحله دوم با درنظر گرفتن محدودیت پنجره زمانی سخت، برنامه ریزی عملیاتی برای مسیریابی وسایل نقلیه و توزیع کالاها به مناطق آسیب‌دیده با حداقل هزینه‌های کل و زمان سفر و همچنین افزایش قابلیت اطمینان مسیرها ارائه شده‌است. توانا و همکاران [۲] یک شبکه لجستیک بشردوستانه چند سطحی برای مکان‌یابی انبارهای مرکزی، مدیریت موجودی کالاهای فساد پذیر در فاز قبل از فاجعه و مسیریابی وسایل نقلیه در فاز بعد از فاجعه پیشنهاد کردند. برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه‌شده یک روش محدودیت اپسیلون، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و یک الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب اصلاح‌شده به نام نقطه مرجع مبنی بر الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب استفاده شده‌است. ویس مردای و همکاران [۱۹] برای تخصیص امداد پس از زلزله، یک مدل مکان‌یابی- مسیریابی باز غیرخطی عدد صحیح مختلط در شرایط عدم قطعیت پیشنهاد کردند. این مدل شامل چندین هدف متناقض شامل: مینیمم کردن هزینه‌های توزیع امداد، مینیمم کردن حداکثر زمان سفر مسیر وسیله نقلیه و ماکزیمم کردن حداقل قابلیت اطمینان مسیر می‌باشد. برای حل مدل، راه حل ترکیبی بهینه‌سازی استوار و برنامه‌ریزی چند هدفه فازی استفاده شده و کارایی و اثر بخشی مدل و رویکرد حل در یک مطالعه موردی زمین‌لرزه در آذربایجان شرقی مورد استفاده قرار گرفته‌است. قاسمی و همکاران [۲۰] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط مکان‌یابی- تخصیص چند هدفه چند محصولی چند دوره‌ای چند وسیله ای تحت عدم قطعیت در فاز پاسخ به زلزله پیشنهاد کردند. این مدل در یک مطالعه موردی واقعی در شهر تهران اجرا و با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه اصلاح شده ، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و روش محدودیت اپسیلون حل شده‌است. محمدی و همکاران [۲۱] در تحقیقی از مفهوم کراس داک در عملیات لجستیک اضطراری استفاده کردند و چندین روش حل از جمله fix-and-relax را در نمونه‌های تصادفی تولید شده مورد بحث قرار دادند.

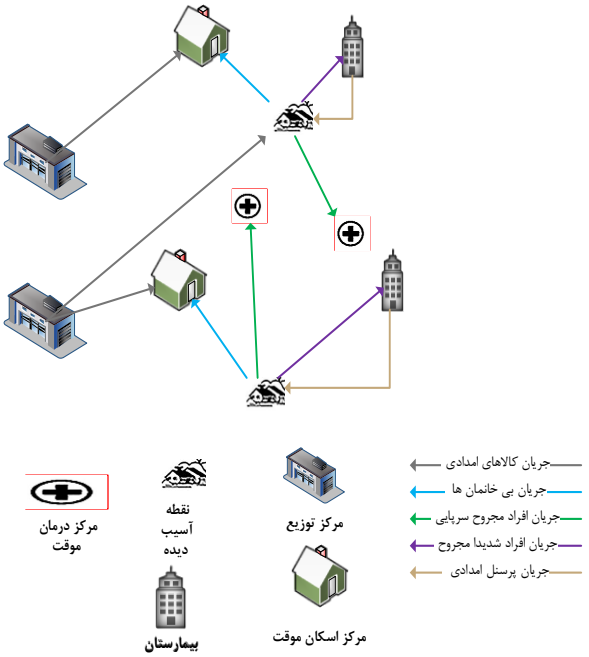
لذا با مطالعه مرور ادبیات، نوآوری‌های تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- ✓ ارائه یک مدل یکپارچه برنامه ریزی تصادفی چند هدفه سناریو محور مکان‌یابی- مسیریابی جهت انتقال مجروحین، بی‌خانمان‌ها و پرسنل امدادی درصورت رخداد یک فاجعه
- ✓ در نظر گرفتن انواع مجروحین شامل مجروحان سرپایی و مجروحان شدید و ارائه خدمت متناسب با شرایط آن‌ها
- ✓ تعیین بهینه پرسنل امداد جهت حضور در مناطق آسیب دیده با در نظر گرفتن امکان کمبود پرسنل
- ✓ درنظر گرفتن فرایند تخلیه افراد و توزیع کالاهای امدادی با توجه به میزان تخصیص یافته افراد بی‌خانمان به هر پناهگاه به صورت همزمان
- ✓ در نظر گرفتن وقوع اختلال در مسیرهای موجود در شبکه به منظور افزایش تاب آوری کلی مسیریابی در صورت وقوع بحران

۳- مدلسازی ریاضی

در این بخش مدل‌سازی ریاضی تشریح می‌شود. یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای چند هدفه به منظور به حداکثر رساندن احتمال عبور موفق از مسیرها، کمینه کردن هزینه‌های امدادی و مازاد و کمبود پرسنل انتقالی به مناطق آسیب‌دیده توسعه داده شده است.

مراکز اسکان موقت، مراکز درمان موقت، مراکز توزیع و مراکز آسیب‌دیده نقاط اصلی شبکه پیشنهادی هستند. شبکه پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. به منظور مکان یابی مراکز درمانی و اسکان موقت که پیش از وقوع بحران لازم است تعیین گردد و مسیریابی انتقال افراد بی‌خانمان و مجروح که مربوط به پس از وقوع بحران است؛ از رویکرد برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای استفاده شده است. در مرحله اول تصمیمات مربوط به پیش از وقوع بحران (مکان‌یابی‌ها) و در مرحله دوم تصمیمات مربوط به پس از وقوع بحران (مسیریابی‌ها) گرفته می‌شود.



شکل(۱): شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی

در سطح اول به عنوان مرحله قبل از فاجعه با توجه به سناریوهای مختلف وقوع فاجعه، تصمیماتی در مورد انتخاب بهینه مکان‌های اسکان موقت و درمان موقت و تخصیص بهینه مراکز توزیع به این مراکز احداث شده اتخاذ می‌شود. در سطح دوم و پس از وقوع فاجعه به منظور یافتن مسیر بهینه برای انتقال افراد بی‌خانمان به مراکز اسکان موقت، افراد شدیدا مجروح به بیمارستان‌ها، افراد مجروح سرپایی به مراکز درمان موقت، پرسنل امدادی از بیمارستان‌ها به مراکز آسیب دیده و توزیع اقلام امدادی از مراکز توزیع به مکان‌های اسکان موقت با استفاده از یک ناوگان این مدل ریاضی توسعه داده‌شده‌است.

تمامی سفرهای خودروها از مسیرهای ممکن در شبکه قابل انجام است که هر کدام از این مسیرها در هر سناریو با احتمال مشخصی ممکن است غیرقابل عبور شوند. همچنین، به منظور انجام کمک‌های اولیه و درمان‌های سرپایی از بیمارستان‌ها به مناطق آسیب دیده پرسنل امدادی ارسال می‌شود و این مدل سعی در بهینه نمودن تعداد پرسنل امدادی حاضر در هر منطقه آسیب دیده در هر سناریو را دارد.

با توجه به این توضیحات، مفروضات مدل بصورت زیر می‌باشد:

۱- در هر نقطه آسیب دیده افراد از دسته‌های مختلف وجود دارد. این افراد شامل پرسنل امداد، بی‌خانمان‌ها، افراد شدیدا مجروح و افراد مجروح سرپایی می‌باشند.

۲- مکان‌های بالقوه مراکز درمان موقت و مراکز اسکان موقت و ظرفیت هر یک از آن‌ها مشخص و ثابت است.

۳- مکان بیمارستان‌ها، و ظرفیت آن‌ها مشخص و ثابت است.

۴- فاصله بین نقاط کاندید احداث مراکز اسکان موقت و مراکز توزیع از پیش مشخص شده‌است.

۵- احتمال وقوع هر سناریو از پیش مشخص شده‌است.

۶- مدل پیشنهادی برای برنامه‌ریزی همزمان تخلیه افراد آسیب‌دیده و توزیع امداد استفاده می‌شود.

۷- ظرفیت وسایل نقلیه محدود و برای حمل هر نوع بار مشخص است.

۸- کمبود برای کالاهای امدادی در مراکز اسکان مجاز نیست.

۹- کمبود پرسنل منتقل شده از بیمارستان‌ها به مراکز آسیب دیده به منظور درمان مجروحین سرپایی در این مدل امکان پذیر می‌باشد.

۱۰- با توجه به عدم قطعیت بسیار رخداد یک فاجعه و نیاز به تکیه بر پیش بینی‌های کارشناسان، احتمال وقوع سناریوهای مختلف رخداد یک فاجعه در این مدل در نظر گرفته شده است و تصمیمات مسیریابی با توجه به این عدم قطعیت در مدل گرفته شده است

۳-۱- تعریف مجموعه ها، پارامترها و متغیر های تصمیم مدل

قبل از ارائه‌ی مدل ریاضی، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به‌ترتیب به شرح جداول ۲،۱ و ۳ معرفی می‌شوند.

جدول (۱): معرفی مجموعه های مدل

مجموعه	توصیف
I	مجموعهٔ نقاط کاندید احداث مرکز درمان موقت
J	مجموعهٔ نقاط کاندید احداث مرکز اسکان موقت
E	مجموعهٔ مکان‌های آسیب‌دیده
H	مجموعهٔ بیمارستان‌ها
D	مجموعهٔ مراکز توزیع
S	مجموعهٔ سناریوها
C	مجموعهٔ کالاهای امدادی
V	مجموعهٔ وسایل حمل‌ونقل
R	مجموعهٔ مسیرها

جدول (۲): معرفی پارامترهای های مدل

پارامتر	توصیف
cv_v	ظرفیت وسیلهٔ حمل و نقل vام برای انتقال مجروحان سرپایی
$\grave{c_v}$	ظرفیت وسیلهٔ حمل و نقلvام برای انتقال مجروحان شدید
cg_v	ظرفیت وسیلهٔ حمل و نقلvام برای انتقال بی‌خانمان‌ها
cp_v	ظرفیت وسیلهٔ حمل و نقلvام برای انتقال پرسنل امداد
cc_v	ظرفیت وسیلهٔ حمل و نقل vام برای حمل کالای امدادی
ch_h	ظرفیت بیمارستان hام برای افراد شدیدا مجروح
cj_j	ظرفیت مرکز اسکان موقت j ام برای افراد بی خانمان
cu_{he}	هزینه انتقال افراد از بیمارستان به مراکز آسیب دیده
f_i	هزینهٔ ایجاد مرکز درمان موقت در مکان iام
$\grave{f_j}$	هزینهٔ ایجاد مرکز اسکان موقت در مکان jام
$\grave{f_v}$	هزینهٔ وسیله نقلیه vام به ازای هر واحد مسافت
DEI_{eir}	فاصلهٔ بین منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e و مرکز درمان موقت iام از مسیر rام
DEJ_{ejr}	فاصلهٔ بین منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e و مرکز اسکان موقت jام از مسیر rام
DEH_{ehr}	فاصلهٔ بین منطقه آسیب دیده e و بیمارستان h از مسیر rام
DHE_{her}	فاصلهٔ بین بیمارستان h ومنطقه آسیب دیده e از مسیر rام
DDj_{djr}	فاصلهٔ بین مرکز توزیع d و مرکز اسکان موقت j از مسیر rام
pei_{eirs}	احتمال گذر موفق از مسیرr از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز درمان موقت i در سناریوs
pej_{ejrs}	احتمال گذر موفق از مسیرr از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز اسکان موقت j در سناریوs
peh_{ehrs}	احتمال گذر موفق از مسیرr از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به بیمارستان h در سناریوs
phe_{hers}	احتمال گذر موفق از مسیرr از بیمارستان h به منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوs
pdj_{djrs}	احتمال گذر موفق از مسیرr از مرکز توزیع d به مرکز اسکان موقت j در سناریوs
ni_{es}	تعداد افراد شدیدا مجروح در منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوs
np_{es}	تعداد افراد مجروح سرپایی در منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوs
n_h	تعداد پرسنل امدادی در بیمارستانh
nh_{es}	تعداد افراد بی‌خانمان در منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوs
$\grave{n}_{es}$	تعداد پرسنل امداد مورد نیاز منطقهٔ آسیب دیدهٔ e در سناریوs
rn_c	میزان کالای امدادی نوع c مورد نیاز هر نفر در سناریوی s
vc_c	حجم اشغالی کالای امدادی نوعc
im_e	اهمیت کمبود پرسنل در منطقه اسیب دیده
m	یک عدد بزرگ
ps_s	احتمال وقوع سناریوs

جدول (۳): معرفی متغیرهای تصمیم مدل

متغیر	توصیف
	تصمیمات مرحله قبل از وقوع بحران
Z_i	اگر مرکز درمان موقت در مکان کاندید i احداث شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر.
W_j	اگر مرکز اسکان موقت در مکان کاندید j احداث شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر.
Q_{jd}	اگر مرکز اسکان موقت احداث شده j به مرکز توزیع d تخصیص داده شود، برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر
	تصمیمات مرحله پس از وقوع بحران
OEI_{eirs}	اگر مسیر r از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز درمان موقت i در سناریوی s انتخاب شود، برابر یک و در غیر اینصورت صفر.
OEJ_{ejrs}	اگر مسیر r از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز اسکان موقت j در سناریوی s انتخاب شود، برابر یک و در غیر اینصورت صفر.
OEH_{ehrs}	اگر مسیر r از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به بیمارستان h در سناریوی s انتخاب شود، برابر یک و در غیر اینصورت صفر.
OHE_{hers}	اگر مسیر r از بیمارستان h به منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوی s انتخاب شود، برابر یک و در غیر اینصورت صفر.
ODJ_{djrs}	اگر مسیرr از مرکز توزیع d به مرکز اسکان موقت j در سناریوs انتخاب شود، برابر یک و در غیر اینصورت صفر.
F_{es}	متغیر کمکی باینری مربوط به مازاد و کمبود پرسنل در منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوی s
XHE_{hevs}	تعداد وسایل نقلیهٔ نوعv انتقال یافته از بیمارستان h به منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e برای حمل پرسنل امداد در سناریوs
XEH_{ehvs}	تعداد وسایل نقلیهٔ نوع v انتقال یافته از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به بیمارستان h برای حمل افراد شدیدا مجروح در سناریوs
XEI_{eivs}	تعداد وسایل نقلیهٔ نوع v انتقال یافته از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز درمان موقت i برای حمل افراد مجروح سرپایی در سناریوs
XEJ_{ejvs}	تعداد وسایل نقلیهٔ نوع v انتقال یافته از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز اسکان موقت j برای حمل افراد بی خانمان در سناریوs
XDJ_{djvs}	تعداد وسایل نقلیه نوع v انتقال یافته از مرکز توزیع d به مرکز اسکان موقت j برای حمل کالاهای امدادی در سناریو s
U_{hevs}	تعداد پرسنل امدادی انتقال یافته از بیمارستان h به منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e با وسیله نقلیه v در سناریوs
NS_{es}	تعداد مازاد پرسنل امدادی در منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوs
NF_{es}	میزان کمبود پرسنل امدادی در منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e در سناریوs
NU_{eivs}	تعداد افراد مجروح سرپایی انتقال یافته از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز درمان موقت i با وسیله نقلیه v در سناریوs
$\grave{NU}_{ehvs}$	تعداد افراد شدیدا مجروح انتقال یافته از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به بیمارستان h با وسیله نقلیه v در سناریوs
$\grave{NU}_{ejvs}$	تعداد افرداد بی‌خانمان انتقال یافته از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ e به مرکز اسکان موقت j با وسیله نقلیه v درسناریوs
K_{djcvs}	مقدار کالاهای امدادی نوع c انتقال یافته از مرکز توزیع d به محل اسکان موقت j با وسیله نقلیه v در سناریوs

۳-۲- مدل ریاضی پیشنهادی

مدل ارائه‌شده در این تحقیق، برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی عدد صحیح مختلط چند وسیله‌ای چند محصولی چند هدفه است. که در ادامه آورده شده است:

$$\boldsymbol{Min\ f_1 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{I}\sum_{r=1}^{R}\sum_{j=1}^{J}\sum_{h=1}^{H}\sum_{d=1}^{D} Ps_s.\ [(1 - pei_{eirs}).OEI_{eirs} + (1 - pej_{ejrs}).OEJ_{ejrs} + (1 - peh_{ehrs}).OEH_{ehrs} + (1 - phe_{hers}).OHE_{hers} + (1 - pdj_{djrs}).ODJ_{djrs}\ ]} \quad (۱)$$

$$\begin{aligned} Minf_2 = {} & \sum_{i=1}^{I} f_i.Z_i + \sum_{j=1}^{J} \grave{f}_j.W_j + \\ & \sum_{s=1}^{S} ps_s.\Big(\sum_{v=1}^{V}\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{I}\sum_{r=1}^{R} DEI_{eir}.OEI_{eirs}.XEI_{eivs}.\grave{\grave{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{e=1}^{E}\sum_{j=1}^{J}\sum_{r=1}^{R} DEJ_{ejr}.OEJ_{ejrs}.XEJ_{ejvs}.\grave{\grave{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{e=1}^{E}\sum_{h=1}^{H}\sum_{r=1}^{R} DEH_{ehr}.OEH_{ehrs}.XEH_{ehvs}.\grave{\grave{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{h=1}^{H}\sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R} DHE_{her}.OHE_{hers}.XHE_{hevs}.\grave{\grave{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{d=1}^{D}\sum_{j=1}^{J}\sum_{r=1}^{R} DDj_{djr}.ODJ_{djrs}.XDJ_{djvs}.\grave{\grave{f}}_v\Big) \end{aligned} \quad (۲)$$

$$Minf_3 = \sum_{e=1}^{E}\sum_{s=1}^{S} im_e(NS_{es} + NF_{es}) \quad (۳)$$

$$\sum_{r=1}^{R} OEI_{eirs} \le 1 \qquad \forall\, e,i,s \quad (۴)$$

$$\sum_{r=1}^{R} OEJ_{ejrs} \le 1 \qquad \forall\, e,j,s \quad (۵)$$

$$\sum_{r=1}^{R} OEH_{ehrs} \le 1 \qquad \forall e,h,s \quad (۶)$$

$$\sum_{r=1}^{R} OHE_{hers} \le 1 \qquad \forall h,e,s \quad (۷)$$

$$\sum_{r=1}^{R} ODJ_{djrs} \le 1 \qquad \forall d,j,s \quad (۸)$$

$$\sum_{e=1}^{E}\sum_{v=1}^{V} \grave{N}U_{ejvs} \le cj_j \qquad \forall j,s \quad (۹)$$

$$NS_{es} - NF_{es} = \sum_{v=1,h=1}^{V,H} U_{hevs} - \grave{n}_{es} \qquad \forall e,s \quad (۱۰)$$

$$NS_{es}.NF_{es} = 0 \qquad \forall e,s \quad (۱۱)$$

$$U_{hes} \le XHE_{hevs}.\sum_{r=1}^{R} OHE_{hers}\ .cp_v \qquad \forall h,e,v,s \quad (۱۲)$$

$$NU_{eivs} \le XEI_{eivs}.\sum_{r=1}^{R} OEI_{eirs}.cv_v \qquad \forall e,i,v,s \quad (۱۳)$$

$$\grave{N}U_{ehvs} \le XEH_{ehvs}.\sum_{r=1}^{R} OEH_{ehrs}.\grave{c}_v \qquad \forall e,h,v,s \quad (۱۴)$$

$$\grave{N}U_{ejvs} \le XEJ_{ejvs}.\sum_{r=1}^{R} OEJ_{ejrs}.cg_v \qquad \forall e,j,v,s \quad (۱۵)$$

$$\sum_{e=1}^{E}\sum_{v=1}^{V} \grave{N}U_{ehvs} \le ch_h \qquad \forall h,s \quad (۱۶)$$

$$nh_{es} = \sum_{j=1}^{J}\sum_{v=1}^{V} \grave{N}U_{ejvs} \qquad \forall e,s \quad (۱۷)$$

$$ns_{es} = \sum_{h=1}^{H}\sum_{v=1}^{V} \grave{N}U_{ehvs} \qquad \forall e,s \quad (۱۸)$$

$$np_{es} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{v=1}^{V} NU_{eivs} \qquad \forall e,s \quad (۱۹)$$

$$\sum_{r=1}^{R} OEI_{eirs} \le Z_i \qquad \forall e,i,s \quad (۲۰)$$

$$\sum_{r=1}^{R} OEJ_{ejrs} \le W_j \qquad \forall e,j,s \quad (۲۱)$$

$$\sum_{c=1}^{C} K_{djcvs}.vc_c \le XDJ_{djvs}.\sum_{r=1}^{R} ODJ_{djrs}\ .cc_v \forall d,j,c,v,s \quad (۲۲)$$

$$\sum_{e=1}^{E}\sum_{v=1}^{V} U_{hevs} \le n_h \qquad \forall h,s \quad (۲۳)$$

$$\sum_{c=1}^{C}\sum_{v=1}^{V} K_{djcvs} = \sum_{e=1}^{E}\sum_{v=1}^{V} \grave{N}U_{ejvs}.rn_c \qquad \forall j,c,s \quad (۲۴)$$

$$Z_i, W_j, Q_{jd}, OEI_{eirs}, OEJ_{ejrs}, OEH_{ehrs}, OHE_{hers}, ODJ_{djrs} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,e,d,h,r,s \quad (۲۵)$$

$$XHE_{hevs}, XEH_{ehvs}, XEI_{eivs}, XEJ_{ejvs}, U_{hevs}, NS_{es}, NF_{es}, NU_{eivs}, \grave{N}U_{ehvs}, \grave{N}U_{ejvs} \ge 0, Integer \qquad \forall i,j,e,h,r,s \quad (۲۶)$$

$$K_{djcvs} \ge 0 \qquad \forall\, j,d,c,v,s \quad (۲۷)$$

تابع هدف (۱) به دنبال بیشینه کردن احتمال عبور موفق از مسیرها به‌منظور ایجاد بیشترین سطح خدمت می‌باشد و قابلیت اطمینان مسیرها را افزایش می‌دهد. تابع هدف (۲) بیانگر کمینه سازی هزینه‌های امدادی می‌باشد. تابع هدف (۳) سعی بر کمینه‌سازی مازاد و کمبود پرسنل انتقالی به مناطق آسیب‌دیده را دارد. محدودیت‌های (۴) تا (۸) بیانگر آن است که بین دو نقطه تنها و تنها یک مسیر می‌تواند وجود داشته‌باشد. با توجه به نوع محدودیت‌های مدل پیشنهادی مسیر وسایل نقلیه در این پژوهش، فقط از یک نقطه به یک نقطهٔ دیگر می‌باشد به عنوان مثال از منطقهٔ آسیب‌دیده به بیمارستان. بنابراین با توجه به این موضوع و سایر محدودیت‌های مدل نیاز به نگارش محدودیت زیر تور نمی‌باشد و هیچ چرخه‌ای در مسیر تردد وسایل نقلیه اتفاق نخواهد افتاد. محدودیت (۹) بیانگر محدودیت ظرفیت در محل اسکان موقت ایجاد شده می‌باشد که تضمین می‌کند تعداد افراد آسیب دیده انتقال یافته به یک مرکز در هر سناریو از ظرفیت آن مرکز کمتر می‌باشند. محدودیت (۱۰) میزان کمبود و مازاد پرسنل امدادی در مناطق آسیب‌دیده با توجه به تقاضای آن منطقه در هر سناریو مشخص می‌کند. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند تنها یکی از متغیرهای کمبود و مازاد پرسنل مقدار بگیرد. محدودیت (۱۲-۱۵) ظرفیت وسایل نقلیهٔ انتقال پرسنل امدادی،

افراد بی خانمان، مجروحان شدید و سرپایی را نشان می‌دهد و اجازه انتقال آن‌ها در هر ماشین را بیش از ظرفیت آن وسیله نمی‌دهد. محدودیت (۱۶) ظرفیت بیمارستان را برای افراد شدیدا مجروح نشان می‌دهد و تضمین می‌کند در هر سناریو به هیچ بیمارستانی بیش از ظرفیتش افراد شدیدا مجروح منتقل نگردد. محدودیت (۱۷) بیانگر آن است که تمامی افراد بی‌خانمان در تمامی سناریوها باید از مناطق آسیب‌دیده تخلیه شوند و عملیات امدادرسانی بطور کامل انجام شود. محدودیت (۱۸) بیان می‌کند که در تمامی سناریوها تمامی مجروحین شدید باید به بیمارستان منتقل شوند. همچنین محدودیت (۱۹) بیانگر آن است که در هر سناریو تمامی مجروحین سرپایی باید از مناطق آسیب‌دیده تخلیه شوند و به مرکز درمان موقت منتقل شوند. محدودیت (۲۰) بیانگر آن است که قبل از اینکه مجروحین سرپایی به مرکز درمان موقت منتقل شوند؛ باید آن مرکز درمان موقت احداث شده باشد. محدودیت (۲۱) بیانگر آن است که در هر سناریو قبل از اینکه بی‌خانمان‌ها به محل اسکان موقت منتقل شوند؛ باید آن محل تأسیس شده‌باشد. محدودیت (۲۲) مربوط به محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه کالاهای امدادی می‌باشد. محدودیت (۲۳) بیانگر آن است که تعداد پرسنل امدادی اعزام شده نمی‌تواند بیشتر از تعداد پرسنل امدادی حاضر در بیمارستان باشد. محدودیت (۲۴) مقدار تقاضای هر کالای امدادی در هر مرکز اسکان موقت در هر سناریو را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۲۵-۲۷) نیز متغیرهای تصمیم مسئله را بیان می‌کنند.

۳-۳- خطی سازی

محدودیت شماره ۱۰ غیرخطی بوده که با استفاده از متغیر باینری تعریف شده خطی می گردد:

$$NS_{es} \le F_{es}.M \qquad \forall e,s \qquad (۲۸)$$
$$NF_{es} \le (1-F_{es}).M \qquad \forall e,s \qquad (۲۹)$$

همچنین تابع هدف دوم نیز نیاز به خطی سازی دارد که خطی سازی شده آن به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} Minf_2 = {} & \sum_{i=1}^{I} f_i.Z_i + \sum_{j=1}^{J} \hat{f}_j.W_j + \\ & \sum_{s=1}^{S} ps_s.\Big(\sum_{v=1}^{V}\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{I}\sum_{r=1}^{R} DEI_{eir}\,TEI_{eirvs}.\hat{\hat{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{e=1}^{E}\sum_{j=1}^{J}\sum_{r=1}^{R} DEJ_{ejr}.TEJ_{ejrvs}.\hat{\hat{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{e=1}^{E}\sum_{h=1}^{H}\sum_{r=1}^{R} DEH_{ehr}.TEH_{ehrvs}.\hat{\hat{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{h=1}^{H}\sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R} DHE_{her}.THE_{hervs}.\hat{\hat{f}}_v + \\ & \sum_{v=1}^{V}\sum_{d=1}^{D}\sum_{j=1}^{J}\sum_{r=1}^{R} DDj_{djr}.TDJ_{djrvs}.\hat{\hat{f}}_v\Big) \end{aligned} \qquad (۳۰)$$

$$TEI_{eirvs} \ge XEI_{eivs} \qquad \forall e,i,v,s \qquad (۳۱)$$

$$TEI_{eirvs} \le M.OEI_{eirs} \qquad \forall e,i,r,v,s \qquad (۳۲)$$

$$TEI_{eirvs} \ge XEI_{eivs} - M.(1-OEI_{eirs}) \qquad \forall e,i,v,r,s \qquad (۳۳)$$

$$TEJ_{ejrvs} \ge XEJ_{ejvs} \qquad \forall e,j,v,s \qquad (۳۴)$$

$$TEJ_{ejrvs} \le M.OEJ_{ejrs} \qquad \forall e,j,v,s \qquad (۳۵)$$

$$TEJ_{ejrvs} \ge XEJ_{ejvs} - M.(1-OEJ_{ejrs}) \qquad \forall e,j,v,s \qquad (۳۶)$$

$$TEH_{ehrvs} \ge XEH_{ehvs} \qquad \forall e,h,v,s \qquad (۳۷)$$

$$TEH_{ehrvs} \le M.OEH_{ehrs} \qquad \forall e,h,v,s \qquad (۳۸)$$

$$TEH_{ehrvs} \ge XEH_{ehvs} - M.(1-OEH_{ehrs}) \qquad \forall e,h,v,s \qquad (۳۹)$$

$$THE_{hervs} \ge XHE_{hevs} \qquad \forall e,h,v,s \qquad (۴۰)$$

$$THE_{hervs} \le M.OHE_{hers} \qquad \forall e,h,v,s \qquad (۴۱)$$

$$THE_{hervs} \ge XHE_{hevs} - M.(1-OHE_{hers}) \qquad \forall e,h,v,s \qquad (۴۲)$$

$$TDJ_{djrvs} \ge XDJ_{djvs} \qquad \forall d,j,v,s \qquad (۴۳)$$

$$TDJ_{djrvs} \le M.ODJ_{djrs} \qquad \forall d,j,v,s \qquad (۴۴)$$

$$TDJ_{djrvs} \ge XDJ_{djvs} - M.(1-ODJ_{djrs}) \qquad \forall d,j,v,s \qquad (۴۵)$$

به طریق مشابه محدودیت‌های ۱۲ تا ۱۵ و محدودیت ۲۲ نیز خطی‌سازی می‌شوند.

۴- رویکرد حل

در این پژوهش از روش محدودیت اپسیلون برای تبدیل مسئله چند هدفه به یک مدل تک‌هدفه استفاده شده‌است. برخلاف بسیاری از تکنیک‌های متداول مانند روش‌های وزنی که نیاز به تخصیص وزن به توابع هدف دارند؛ روش محدودیت اپسیلون از رایج‌ترین و کارآمدترین رویکردهای چند هدفه است که به وزن اهداف نیازی ندارد. به عبارت دیگر روش محدودیت اپسیلون نیاز به هم‌مقیاس کردن توابع هدف به یک مقیاس مشترک را برطرف می‌کند. مدل چندهدفه مسئله (۴۶) را در نظر بگیرید[۲۰] :

$$Min_{x\in X}\left\{\begin{matrix} F(x) = \\ (F_1(x), F_2(x), \dots, F_k(x)) \end{matrix}\right\} \qquad (۴۶)$$

در رابطه (۴۶)، F_x , x و X به‌ترتیب برداری از متغیرهای تصمیم، برداری از k تابع هدف و فضای شدنی حل هستند. روش محدودیت اپسیلون بر اساس یکی از توابع هدف بهینه می‌شود و مابقی توابع هدف با در نظر گرفتن کران‌های بالا در محدودیت‌ها به صورت زیر قرار می‌گیرند.

$$\boldsymbol{Min}_{x\in\chi}\ \boldsymbol{F_p(x)} \qquad (۴۷)$$
$$\boldsymbol{F_i(x) \le \varepsilon_i} \qquad \forall i \in \{1,2,\dots,k\}/\{p\}$$

در رابطه (۴۷)، $F_p(x)$ به عنوان تابع هدف اصلی حداقل می‌شود و توابع هدف دیگر به صورت محدودیت در نظر گرفته می‌شوند. پارامتر ε_i کران محدودیت‌های مربوطه است. با تغییر مقادیر ε_i می‌توان مجموعه‌ای از جواب‌ها را به دست آورد [۲۰].

مراحل روش اپسیلون به‌صورت زیر است:

۱- یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود.

۲- همان‌طور که در معادله (۴۸) مشخص است؛ با استفاده از تکنیک لکسیکوگرافی بازه‌ی بهترین و بدترین هر تابع هدف فرعی مشخص می‌شود:

$$[f_i^{best}, f_i^{worst}] \quad (۴۸)$$

$$r_i = f_i^{worst} - f_i^{best} \quad \forall i \in \{1,2,\dots,k\}/\{p\}$$

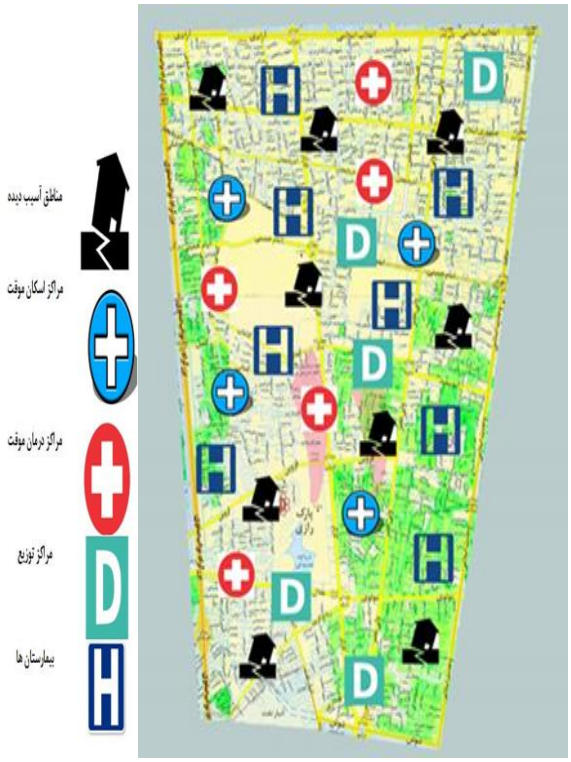
بازه بین دو مقدار بهینه توابع فرعی، به تعداد از قبل مشخص شده‌ای (q_i) تقسیم شده و بر اساس رابطه‌ی (۴۹) مقادیر مختلف برای پارامتر اپسیلون به دست می‌آید.

$$\varepsilon_i^k = f_i^{best} - \frac{r_i}{q_i} \times k \quad k = 1,2,\dots,q_i \quad (۴۹)$$

هر بار با در نظر گرفتن هر یک از مقادیر پارامتر اپسیلون مسئله با تابع هدف اصلی حل می‌شود. یکی از اشکالات روش محدودیت اپسیلون این است که ممکن است جوابهای ناکارآمد تولید کند [۲۰]. نسخه های متفاوتی از روش محدودیت اپسیلون برای کاراتر شدن جوابها ارائه شده است، که می‌توان یکی از آن‌ها را در مقاله ماوروتاس مشاهده کرد. در این مقاله برای رفع این مشکل روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته پیشنهاد شده‌است که در این روش پیشنهادی تغییر محدودیت‌های تابع هدف به صورت محدودیت‌های مساوی با بکارگیری از مقادیرمناسب متغیرهای کمبود و مازاد ارائه شده‌است و تابع هدف اصلی بوسیله مجموع مقادیر کمبود یا مازاد تکمیل می‌شود [۲۰] .

۵- مطالعه موردی

منطقه ۱۱ شهرداری تهران یکی از مناطق شهری تهران است که در مرکز شهر تهران قرار دارد. این منطقه دارای ۴ ناحیه و ۱۹ محله است و شبکه معابر آن شامل ۴۵/۲ کیلومتر معابر شریانی و ۲۲/۸ کیلومتر پخش‌کننده محلی می‌شود. شکل (۲) نقشه مطالعه موردی را نشان می دهد که بر روی آن نقاط آسیب‌دیده، محل بیمارستان‌ها، مراکز توزیع و نقاط کاندید احداث مراکز درمان و اسکان موقت مشخص شده‌است.



شکل (۲): نقشه مطالعه موردی

جدول (۴) سناریوهای در نظر گرفته‌شده برای مطالعه موردی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است سناریوها براساس زمان وقوع، احتمال وقوع و قدرت تخریب متفاوت می‌باشد. بعنوان مثال در سناریوی ۱ زمان وقوع روز و احتمال آن ۰/۲۳۶۷ و قدرت تخریب آن شش ریشتر می‌باشد.

جدول (۴): سناریوهای در نظر گرفته‌شده

سناریوها	گسل شمال تهران		گسل شناور	
زمان وقوع	روز (سناریو۱)	شب (سناریو۲)	روز (سناریو۳)	شب (سناریو۴)
احتمال وقوع	۰/۲۳۶۷	۰/۱۵۶۷	۰/۳۰۷۹	۰/۲۹۸۷
قدرت تخریب (ریشتر)	۶		۷	

جدول (۵) فواصل نقاط آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها را برحسب کیلومتر نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است ۸ بیمارستان و ۹ منطقه آسیب دیده در مطالعه موردی در نظر گرفته شده‌است.

جدول (۵): فواصل نقاط آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها

منطقه آسیب دیده/ بیمارستان	اسکندری	امیریه	راه آهن	حر	جمهوری	فلسطین	منیریه	آگاهی	هلال احمر
بهارلو	۲۰	۶	۲۰	۲۸	۷	۱۱	۲۸	۱۴	۷
پارسا	۱۶	۲۰	۲۳	۲۸	۲۸	۲۴	۶	۶	۲۶
روزبه	۱۸	۹	۲۲	۲۶	۱۷	۱۱	۱۹	۱۰	۲۴
فارابی	۴	۲	۴	۱۳	۱۶	۱۸	۲۴	۱۰	۷
مدائن	۲	۱۴	۱۰	۲۶	۲۷	۲۱	۲۵	۲۲	۱۵
لقمان	۲۸	۳	۱۵	۲۶	۳	۱۰	۲۱	۱۵	۲۸
حکیم	۲۰	۷	۲۲	۲۶	۱۰	۱۵	۶	۱۳	۲۰
مروستی	۴	۲	۱۶	۹	۲۵	۸	۵	۸	۱۴

جدول (۶) و (۷) به‌ترتیب هزینهٔ ثابت تأسیس مراکز درمان و اسکان موقت را برحسب تومان نشان می‌دهد.

جدول (۶): هزینهٔ ثابت تأسیس مرکز درمان موقت

مخصوص	انبار نفت	سلامت	شیخ هادی	عباسی
۳۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۴۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۸۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰

جدول (۷): هزینهٔ ثابت تأسیس مرکز اسکان موقت

جمالزاده	قلمستان	فروزش	انقلاب
۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰۰۰۰

جدول (۸) تقاضای منطقهٔ آسیب‌دیده برای کالای امدادی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است کالاهای امدادی شامل آب، غذا، چادر و دارو می‌باشد. به‌عنوان مثال مقدار چادر مورد نیاز برای مکان آسیب‌دیده منیریه برابر ۷۰۰ عدد می‌باشد.

جدول (۸): تقاضای منطقهٔ آسیب دیده برای کالای امدادی

منطقهٔ آسیب	اسکندری	امیریه	راه آهن	حر	جمهوری	فلسطین	منیریه	آگاهی	هلال احمر
آب (لیتر)	۲۵۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰	۱۸۹۰۰۰	۲۱۵۰۰۰	۴۰۵۰۰۰	۵۰۵۰۰۰	۲۷۵۰۰۰	۲۸۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰
غذا (کیلو گرم)	۲۵۶	۳۵۰	۳۱۵	۴۱۱	۲۹۰	۴۱۰	۴۸۵	۳۹۰	۲۹۰
چادر (تعداد)	۴۵۰	۵۰۰	۸۱۳	۷۵۰	۵۰۰	۳۶۰	۷۰۰	۸۰۰	۵۵۰
دارو (کیلوگرم)	۸۵	۱۱۰	۱۵۰	۹۰	۶۵	۱۰۰	۱۸۰	۲۰۰	۱۶۰

جدول (۹) قابلیت اطمینان مسیرها را از مراکز توزیع به مراکز اسکان موقت نشان می‌دهد. اعداد قابلیت اطمینان براساس نظر خبرگان و استحکام مسیرها در نظر گرفته‌شده‌است. لازم به ذکر است که برای هر سفر دو مسیر متفاوت در نظر گرفته شده است.

جدول (۹): قابلیت اطمینان مسیرها

مراکز توزیع / مراکز اسکان موقت	مسیر	وحدت	کاشان	کارگر	پاستور	حسن آباد
جمالزاده	مسیر۱	۰/۵	۰/۳۴	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۶۵
	مسیر۲	۰/۸	۰/۳	۰/۷۷	۰/۵۶	۰/۹۵
قلمستان	مسیر۱	۰/۱۵	۰/۸	۰/۷	۰/۶۵	۰/۷
	مسیر۲	۰/۷۴	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۳	۰/۵۵
فروزش	مسیر۱	۰/۲۵	۰/۹	۰/۹۵	۰/۵	۰/۴
	مسیر۲	۰/۷	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۵	۰/۲۵
انقلاب	مسیر۱	۰/۹	۰/۷۵	۰/۷	۰/۸	۰/۸
	مسیر۲	۰/۴۲	۰/۶۵	۰/۶	۰/۷۵	۰/۸۵

۵-۱- نتایج مطالعه موردی

جدول (۱۰) نتایج حل مطالعه موردی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است نتایج نقاط پارتو برای یک نقطه از مطالعه موردی با رویکرد محدودیت اپسیلون نمایش داده‌شده‌است. همچنین در این مطالعه مسأله برای سناریوی گسل شناور در زمان روز و برای حالت ۷ ریشتر در نظر گرفته‌شده‌است. همچنین خودروهای در نظر گرفته‌شده در این پژوهش دارای دو مد می باشد شامل ماشین‌های حمل پرسنل، مجروحین و... و کامیون های حمل کالاهای امدادی. ظرفیت حمل ماشین‌ها ۶ نفر و ظرفیت حمل کامیون‌ها ۱۰۰۰۰ کیلوگرم برای انواع کالاهای امدادی می‌باشد. ضریب استفاده کالاهای امدادی برای افراد عادی برابر ۲ لیتر آب، ۰,۵ کیلوگرم غذا و ۰,۲ کیلو گرم دارو می‌باشد.

جدول (۱۰): نقاط پارتوی استخراج شده از مطالعه موردی

محدودیت اپسیلون توسعه‌یافته		
تابع۱	**تابع۲**	**تابع۳**
۳۱/۰۸۲	۲۴۸۱۳۹۳۵	۴۴۳
۳۲/۲۱۱	۲۵۰۲۷۶۹۱	۳۵۳
۳۳/۷۲۴	۲۵۵۰۲۶۳۱	۲۷۳
۳۴/۹۱۹	۲۶۱۸۷۷۴۴	۲۴۹
۴۴/۱۳۶	۲۳۳۰۲۹۲۲	۱۸۳

جدول (۱۱) مراکز درمان موقت تأسیس شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد مرکز درمان موقت سلامت تأسیس نشده اما مراکز مخصوص، انبار نفت، شیخ هادی و عباسی تأسیس شده‌اند.

جدول (۱۱): مراکز درمان موقت تأسیس‌شده

مراکز درمان موقت	مخصوص	انبار نفت	سلامت	شیخ هادی	عباسی
تأسیس/ عدم تأسیس	۱	۱	۰	۱	۱

جدول (۱۲) مراکز اسکان موقت تأسیس شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد مرکز اسکان موقت انقلاب تأسیس نشده اما مراکز جمالزاده، قلمستان و فروزش تأسیس شده‌اند.

جدول (۱۲): مراکز درمان موقت تأسیس‌شده.

مراکز اسکان موقت	جمالزاده	قلمستان	فروزش	انقلاب
تاسیس/عدم تاسیس	۱	۱	۱	۰

جدول (۱۳) تعداد مجروحین حمل شده از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ به مرکز درمان موقت می‌دهد. بعنوان مثال همانطور که مشخص است تعداد مجروحین انتقال یافته از مرکز آسیب‌دیده حر به مرکز درمان موقت عباسی برابر ۱۳۵ نفر می‌باشد.

جدول (۱۳): تعداد مجروحین حمل شده از منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ به مرکز درمان موقت

مراکز درمان موقت	مناطق آسیب دیده								
	اسکندری	امیریه	راه آهن	حر	جمهوری	فلسن	منیریه	آگاهی	هلال احمر
مخصوص	۳۱	۱۳۶	۶۸	۶۷	۱۳۵	۱۳۴	۱۹۷	۱۶۴	۱۷۱
انبار نفت	۱۶۲	۲۵	۳۱	۲۲	۵۸	۳۱	۱۱۵	۹۳	۲۶
شیخ هادی	۶۴	۳۷	۲۲	۲۶	۴۵	۱۱۰	۱۹۱	۵۴	۷۵
عباسی	۲۵	۳۴	۴۵	۱۳۵	۱۱	۲۸	۸۵	۱۱۰	۶۸

جدول (۱۴) مقدار کالاهای امدادی انتقال‌یافته از مراکز توزیع به محل اسکان موقت را نشان می‌دهد. این جدول بر اساس محل‌های اسکان موقت از جمله پایگاه جمالزاده، قلمستان و فروزش تفکیک شده‌است. بعنوان مثال مقدار غذای مورد نیاز برای مرکز جمالزاده که از مرکز توزیع کارگر ارسال می‌گردد برابر ۵۰کیلوگرم می‌باشد.

جدول (۱۴): مقدار کالاهای امدادی انتقال یافته از مرکز توزیع به محل اسکان موقت

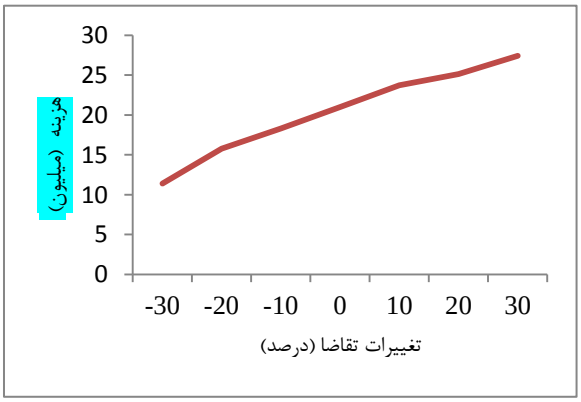
مرکز اسکان جمالزاده					
مرکز توزیع	**وحدت**	**کاشان**	**کارگر**	**پاستور**	**حسن آباد**
آب(لیتر)	۱۱۰۰۰۰	۱۶۳۰۰۰	۶۷۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	۱۲۵۰۰۰
غذا(کیلو گرم)	۱۲۵	۱۶۴	۵۰	۱۱۰	۱۷۰
دارو(کیلوگرم)	۷۰	۱۰۰	۱۲۰	۸۰	۵۰
مرکز اسکان قلمستان					
توزیع کننده	**وحدت**	**کاشان**	**کارگر**	**پاستور**	**حسن آباد**
آب(لیتر)	۱۰۰۰۰۰	۱۳۸۰۰۰	۸۵۰۰۰	۱۱۱۰۰۰	۹۵۰۰۰
غذا(کیلو گرم)	۸۰	۱۰۰	۳۰۰	۱۳۵	۱۱۵
دارو(کیلوگرم)	۷۰	۱۰۰	۸۵	۱۱۰	۷۰
مرکز اسکان فروزش					
توزیع کننده	**وحدت**	**کاشان**	**کارگر**	**پاستور**	**حسن آباد**
آب(لیتر)	۲۱۰۰۰۰	۱۵۶۰۰۰	۹۲۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۵۵۰۰۰
غذا(کیلو گرم)	۱۲۵	۱۵۶	۱۷۵	۹۰	۱۰۰

جدول (۱۵) مسیریابی خودروهای حمل کالاهای امدادی از توزیع کنندگان به مراکز اسکان موقت را نشان می‌دهد. مقادیر ۱ بیانگر ملاقات و مقادیر ۰ بیانگر عدم ملاقات آن منطقه از آن مسیر می‌باشد. به عنوان مثال خودروی حمل کالاهای امدادی از مسیر۲ از مرکز توزیع وحدت به پایگاه جمالزاده حرکت می‌کند.

جدول (۱۵): مسیریابی وسایل نقلیه

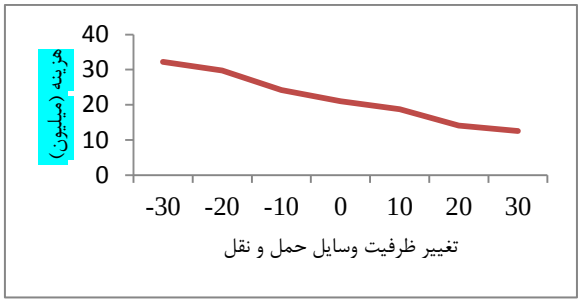
مراکز توزیع/ مراکزاسکان موقت	مسیر	وحدت	کاشان	کارگر	پاستور	حسن آباد
جمالزاده	مسیر۱	۰	۱	۰	۱	۰
	مسیر۲	۱	۰	۱	۰	۱
قلمستان	مسیر۱	۰	۱	۱	۰	۰
	مسیر۲	۱	۰	۰	۰	۰
فروزش	مسیر۱	۰	۱	۱	۰	۱
	مسیر۲	۱	۰	۰	۰	۰
انقلاب	مسیر۱	۱	۱	۱	۱	۰
	مسیر۲	۰	۰	۰	۰	۱

شکل (۳) تحلیل حساسیت تغییرات تقاضا را بر روی هزینه‌های کل سامانه نشان می‌دهد. روند صعودی نمودار بیانگر آن است که افزایش درصد تقاضا موجب افزایش هزینه‌ها می‌گردد. طبق این شکل کاهش میزان تقاضا تا ۳۰ درصد منجر به کاهش تابع هدف تا ۱۵۷۶۰۰۰۰ واحد شده‌است. کاهش ۲۰ درصدی تقاضا نیز منجر به کاهش تابع هدف تا ۱۸۲۹۸۰۰۰ واحد شده‌است. در نهایت افزایش ۳۰ درصدی تقاضا منجر به افزایش هزینه‌ها تا ۲۷۴۱۵۰۰۰ واحد می‌گردد.



شکل (۳): تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به تقاضا

شکل (۴) تحلیل حساسیت تغییرات ظرفیت وسایل حمل و نقل را بر روی هزینه‌های کل سیستم نشان می‌دهد. روند نزولی نمودار بیانگر آن است که افزایش درصد ظرفیت وسایل حمل و نقل موجب کاهش هزینه‌ها می‌گردد. طبق این شکل افزایش ظرفیت وسایل حمل و نقل تا ۳۰ درصد منجر به کاهش تابع هدف تا ۱۲۵۵۵۰۰۰واحد شده‌است.



شکل (۴): تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به تغییر ظرفیت وسایل حمل و نقل

۶- نتیجه‌گیری

فعالیت‌های لجستیکی یکی از اقدامات مهم در مدیریت بحران می‌باشد و انجام برنامه‌ریزی‌های لازم برای آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. اگرچه در حوادث کوچک مدیر بحران به صورت تجربی می‌تواند بخشی از برنامه‌ریزی‌ها را انجام دهد اما چنانچه حوادث ابعاد بزرگتری داشته باشد انجام برنامه ریزی های مربوطه از پیچیدگی زیادی برخوردار بوده و مدیران بدون استفاده از ابزارهای لازم قادر به انجام چنین برنامه‌ریزی نمی‌باشند. از این رو هدف این پژوهش ارائه یک مدل ریاضی به منظور بهینه کردن مکانیابی و احداث پایگاه‌های اسکان و درمان موقت و همچنین مسیریابی خودروهای امدادی و توزیع کالاهای امدادی در شرایط بحران می باشد. در این پژوهش قابلیت اطمینان و احتمال عبور موفق از مسیرها افزایش می‌یابد و همچنین کمینه‌سازی هزینه های امدادی وقوع بحران و کمینه‌سازی مازاد و کمبود پرسنل امدادی انتقالی به مناطق آسیب‌دیده از جمله اهداف دیگر این پژوهش می‌باشد. مطالعه موردی در نظر گرفته شده منطقه ۱۱ شهر تهران می‌باشد. نتایج حل شاخص‌های عملکرد برای مطالعه موردی بیانگر عملکرد قابل قبول مدل پیشنهادی می‌باشد. همچنین مراکز درمان موقت: مخصوص، انبار نفت، شیخ هادی و عباسی تأسیس شده‌اند و مرکز اسکان موقت انقلاب تأسیس نشده اما مراکز جمالزاده، قلمستان و فروزش تأسیس شده‌اند. نتایج تحلیل حساسیت بیانگر آن است که کاهش میزان تقاضا تا ۳۰ درصد منجر به کاهش تابع هدف تا ۱۵۷۶۰۰۰۰ واحد شده است. کاهش ۲۰ درصدی تقاضا نیز منجر به کاهش تابع هدف تا ۱۸۲۹۸۰۰۰ واحد شده‌است. در نهایت افزایش ۳۰ درصدی تقاضا منجر به افزایش هزینه‌ها تا ۲۷۴۱۵۰۰۰ واحد

می‌گردد. لذا موارد زیر جهت پیشنهادها آتی برای پژوهشگران مطرح می‌گردد:

- اضافه کردن تابع هدف زمان تحت پارامترهای عدم قطعیت به مدل ارائه شده جهت توسعه مدل

- یکپارچه نمودن تصمیمات مکانیابی و مسیریابی با مسأله تخصیص نقاط آسیب دیده به مراکز تأسیس شده.

- با توجه به NP Hard بودن مسأله در سایز بزرگ پیشنهاد می شود حل مسأله با استفاده از الگوریتم NSGA2 در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

- در نظر گرفتن ترافیک مسیرهای حمل و نقل در مدلسازی مسأله می‌تواند در پژوهش‌های آتی مد نظر قرار گیرد.

- ارائه مدلی جهت استخراج شبکه قابل استفاده، با استفاده از اطلاعات دریافتی از GPS های مستقر در شبکه می‌تواند یکی دیگر از زمینه های تحقیقاتی در این حوزه باشد.

- مسأله انتخاب تأمین کننده به عنوان فاز اول مسئله می‌تواد مد نظر قرار گیرد.

- مدلسازی عدم قطعیت‌های مسأله با استفاده از رویکرد استوار (Robust) که می‌تواند با رویکرد شبیه‌سازی مقایسه گردد.

۷- مراجع

[1] G. de Castro Pena, A. C. Santos, and C. Prins, "Solving the integrated multi-period scheduling routing problem for cleaning debris in the aftermath of disasters," European Journal of Operational Research, vol. 306, no. 1, pp. 156-172, 2023/04/01/ https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.005

[2] M. Tavana, A.-R. Abtahi, D. D. Caprio, R. Hashemi, and R. Y. Zenouz, "An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre- and post-disaster management considerations ",Socio-Economic Planning Sciences, vol. 64, pp. 21-37, 2018 https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.12.004

[3] A. M. Afshar, "A mathematical framework for optimizing disaster relief logistics," Thesis for Degree Doctor of Philosophy, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland, 2011 .

[4] C. Cao, Y. Liu, O. Tang, and X. Gao, "A fuzzy bi-level optimization model for multi-period post-disaster relief distribution in sustainable humanitarian supply chains," International Journal of Production Economics, vol. 235, p. 108081. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108081

[5] I. Shokr, F. Jolai, and A. Bozorgi-Amiri, "A novel humanitarian and private sector relief chain network design model for disaster response," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 65, p. 102522, 2021/11/01/ 2021. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102522.

[6] S. Mohammadi, S. Avakh Darestani, B. Vahdani, and A. Alinezhad, "A robust neutrosophic fuzzy-based approach to integrate reliable facility location and routing decisions for disaster relief under fairness and aftershocks concerns," Computers & Industrial Engineering, vol. 148, p. 106734, 2020/10/01/ 2020. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106734.

[7] B. Rabta, C. Wankmüller, and G. Reiner, "A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 28, pp. 107-112, 2018/06/01/ 2018. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.02.020.

[8] Heydari, .S. Ali Torabi, I. Shokr, S. Tofighi, and J "Integrated relief pre-positioning and procurement planning in humanitarian supply chains," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 113, pp. 123-146, 2018/05/01/ 2018. https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.03

[9] P. Ghasemi, F. Goodarzian, and A. Abraham, "A new humanitarian relief logistic network for multi-objective optimization under stochastic programming," Applied Intelligence, vol. 52, no. 12, pp. 13729-13762, 2022/09/01 2022. https:// doi: 10.1007/s10489-0

[10] C. Toregas, R. Swain, C. ReVelle, and L. Bergman, "The Location of Emergency Service Facilities," Operation Research, vol. 19, no. 6, pp. 1363-1373, 1971. https://doi.org/10.1287/opre.19.6.1363.

[11] W. Yi and L. Özdamar, "A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities," European Journal of Operational Research, vol. 179, no. 3, pp. 1177-1193, 2007, doi: 10.1016/j.ejor.2005.03.077.

[12] A. Afshar and A. Haghani, "Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations," Socio-Economic Planning Sciences vol. 46, no. 4, pp. 327-338, 2012, doi: 10.1016/j.seps.2011.12.003.

[13] A. BozorgiAmiri, M. S. Jabalameli, M. Alinaghian, and M. Heydari, "A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 60, no. 1-4, pp. 357-371, 2012, doi: 10.1007/s00170-011-3596-8.

[14] J. A. Paul and G. Hariharan, "Location-allocation planning of stockpiles for effective disaster mitigation," Annals of Operations Research, vol. 196, no. 1, pp. 469-490, 2012, doi: 10.1007/s10479-011-1052-7.

[15] R. Abounacer, M. Rekik, and J. Renaud, "An exact solution approach for multi-objective location–transportation problem for disaster response," Computers & Operations Research, vol. 41, pp. 83-93, 2014, doi: 10.1016/j.cor.2013.08.001.

[16] H. Wang, L. Du, and S. Ma, "Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake," Transportation Research Part E, vol. 69, pp. 160-179, 2014, doi: 10.1016/j.tre.2014.06.006.

[17] M. Ahmadi, A. Seifi, and B. Tootooni, "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: Logistics and Transportation Review, vol. 75, pp. 145-163, 2015, doi: 10.1016/j.tre.2015.01.008.

[18] B. Vahdani, D. Veysmoradi, F. Noori, and F. Mansour, "Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 27, pp. 290-306, 2018. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.10.015.

[19] D. Veysmoradi, B. Vahdani, M. F. Sartangi, and S. M. Mousavi" ,Multi-objective open location-routing model for relief distribution networks with split delivery and multi-mode transportation under uncertainty," Scientia Iranica E: Industrial engineering, vol. 25, no. 6, pp. 3635-3653, 2018.

[20] P. Ghasemi, K. Khalili-Damghani, A. Hafezalkotob, and S. Raissi, "Uncertain multi-objective multi-commodity multi-period multi-vehicle location-allocation model for earthquake evacuation planning," Applied Mathematics and Computation, vol. 350, pp. 105-132, 2019. https://doi.org/10.1016/j.amc.2018.12.061

[21] F. Faghih-Mohammadi, M. Nasiri, D. Konur." Cross-dock facility for disaster relief operations", Annals of Operations Research, vol. 322, pp. 497-538, 2023 . https://doi.org/10.1007/s10479-022-04939-2