

# مدل بهینه‌سازی مسیریابی و برنامه‌ریزی چند دوره‌ای برای وسایل نقلیه بعد از وقوع بحران با هدف کاهش تقاضای تأمین نشده و مجاز بودن کمبود کالا

مطالعه‌ی موردی: منطقه ۴ تهران

تینا نامداری: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه  
سهراب عبدالله زاده\*: استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه؛ S.abdollahzadeh@uut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۶

## چکیده

با توجه به رشد پنج برابری وقوع حوادث غیرمترقبه در دهه‌های گذشته و افزایش هزینه‌های جانی و مالی ناشی از آن، مدیریت زنجیره‌ی تأمین امداد به‌عنوان راه‌حلی مناسب به‌منظور کاهش هزینه‌های مختلف بحران‌ها همواره مورد توجه سازمان‌های بشردوستانه قرار گرفته است. یکی از زمینه‌های مهم در این حوزه مسیریابی وسایل نقلیه است که نقش مهمی در بهبود خدمت‌رسانی به آسیب‌دیدگان دارد. با وجود اینکه تحقیقات متعددی در این زمینه انجام گرفته، اما مدل‌های ارائه شده غالباً یک دوره‌ای و تک‌کالایی بوده و شرط مجاز بودن کمبود کالاهای امدادی منظور نشده است. به همین منظور در این پژوهش یک شبکه زنجیره‌ی تأمین امداد چند دوره‌ای و چند محصولی پیشنهاد شده که دربردارنده سه بخش مراکز نگهداری وسایل نقلیه، مراکز توزیع کالاهای امدادی و پناهگاه‌هاست. مدل پیشنهادی با هدف به حداقل رساندن تقاضای تأمین نشده به مسیریابی وسایل نقلیه به‌صورت پویا می‌پردازد. در صورت مزاد بودن مقدار تقاضا در پایان دوره‌های عملیاتی، میزان کمبود کالا را به تفکیک هر پناهگاه مشخص می‌کند. به‌منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از اطلاعات منطقه‌ی چهار شهر تهران برگرفته شده و با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز حل شده است. نتایج به‌دست آمده از حل عددی مدل نشان داد که کلیه عملیات امدادی در راستای تأمین حداکثری تقاضا انجام گرفته و زمان نقل و انتقال وسایل نقلیه نیز به نحو مطلوبی مدیریت می‌شود. با بهره‌گیری از مدل پیشنهادی میزان حمل کالاهای امدادی توسط وسایل نقلیه در هر دوره مشخص می‌شود. درنهایت به‌منظور بررسی مدت زمان اجرای مدل در ابعاد مختلف تحلیل حساسیت شده است.

واژگان کلیدی: مدیریت بحران، مسیریابی پویا، چندمحصولی، تقاضای تأمین نشده، زنجیره‌ی تأمین بشردوستانه

## Optimization of multi-product dynamic routing model for vehicles after disaster, with justifiability of demand shortage

Tina Namdari<sup>1</sup>, Sohrab Abdollahzadeh<sup>\*2</sup>

### Abstract

Regarding the five-fold increase in unexpected accidents in the past decade and the increase in its human and financial losses, the relief supply chain has always been considered by humanitarian organizations as a suitable solution to reduce the cost of disaster. One of the most important fields in this area is the routing of vehicles, which has an important role in improving service to the injured. Undoubtedly, the selection of inappropriate routes for vehicles has a negative effect on timely and suitable relief operations. Several studies have been conducted in this regard, the models presented by them are often periodic and single-product, and the demand shortage of shelters is not permitted. In this research, a multi-product relief chain network has been proposed, including three main areas: vehicle maintenance centers, distribution centers for relief supply chains and shelters. The proposed mathematical model, with a goal to maximizing the supplied demand, by a minimum of vehicle and time, addresses the dynamically routing of vehicles. In the event of excess demand, at the end of the operational periods, the amount of unsupplied demand for each type of product will also be determined in terms of each shelter. In order to validate the proposed model, information of the 4th district of Tehran province, which is published in the basic papers, is utilized and has been solved by GAMS software. The results of the numerical solution of the model showed that all relief operations are in order to maximize the supply of demand in the shortest time. Also, the amount of unsupplied demand for shelters, the amount and type of goods carried, and the route of each vehicle's movement in each period, are other outcomes of the model.

**Key words:** Disaster management, dynamic routing, multi-product, unsupplied demand, humanitarian supply chain.

1. M. A. Student, Industrial Engineering Dept., Urmia University of Technology, Urmia, Iran.

2. Industrial Engineering Dept., Assistant, Urmia University of Technology, Urmia, Iran. Email: S.abdollahzadeh@uut.ac.ir

به صرفه بودن جریان ارسال تسهیلات و همچنین جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و کافی به منظور تسریع در امر امداد رسانی و کاهش رنج آسیب دیدگان در قالب زنجیره تأمین امداد است [۸].

در برخی از پژوهش‌ها لجستیک امداد<sup>۸</sup> به جای زنجیره‌ی تأمین امداد معرفی شده است. مؤسسه‌ی فریتز<sup>۹</sup> در تعریف جامعی از لجستیک امداد بیان داشته: لجستیک امداد به عنوان بخش عظیم و گسترده در بخش اجرایی مدیریت بلاها، وظیفه تأمین و توزیع مواد غذایی، آب، دارو، سرپناه، جابه‌جایی مصدومان، افراد سالم، کشته‌شدگان، تخلیه‌ی افراد سالم از منطقه‌ی هدف، امداد و نجات و درمان موقت، کاهش اثرات بحران، اسکان موقت بازماندگان و فعالیت‌های دوران بازسازی را بر عهده دارد. میزان و حجم فعالیت‌های لجستیکی به حدی است که تقریباً ۸۰ درصد از فعالیت‌های امداد رسانی را شامل می‌شود [۹].

بعد از وقوع بلاهای طبیعی و با هدف کاهش تلفات انسانی، کالاهای امدادی باید به مقدار کافی و سریع توزیع شوند. یکی از مشکلات اساسی بعد از وقوع بحران، عدم شناخت و تشخیص مراکز توزیع با کارآمدی و اثربخشی مناسب است [۱۰].

یکی از تفاوت‌هایی که HSC با CSC دارد این است که در HSC الگوی تقاضا کاملاً نامعلوم است و انجام هم‌زمان مجموعه‌ی زیادی از فعالیت‌ها بخش زیادی از امکانات سازمان‌های مختلف را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین HSC دارای واکنش سریع با زمان تدارکات تقریباً صفر است و این تنها بخشی از تفاوت‌های بین دوزنجیره‌ی تأمین یاد شده است [۱۱].

در این پژوهش در راستای تسریع در امر امداد رسانی سعی شده مدلی کارا و نزدیک به دنیای واقعی معرفی شود. در مسئله‌ی تعریف شده سه مرکز نگهداری خودرو، مراکز توزیع و پناهگاه‌ها جهت اسکان آسیب‌دیدگان وجود دارد. بر اساس مدل پیشنهادی امکان تأمین حداکثری تقاضا فراهم شده و در صورت مزاد بودن تقاضا، مقدار تقاضای تأمین نشده به تفکیک هر پناهگاه مشخص می‌شود. از ویژگی‌های دیگر مدل پیشنهادی می‌توان به دوره‌ای بودن ارسال کالاهای امدادی به پناهگاه‌ها، چندمحصولی بودن و تنوع وسایل نقلیه‌ی حمل بار اشاره کرد. تعداد دوره‌های امداد رسانی به مقدار حجم وسایل نقلیه موجود و تعداد کالاهای امدادی در دسترس بستگی خواهد داشت. همچنین امکان مدیریت زمان نقل و انتقال وسایل نقلیه از بین مراکز توزیع و پناهگاه‌ها با بهره‌گیری از مدل پیشنهادی فراهم شده است.

ساختار تحقیق جاری به این شکل است که در ادامه به پیشینه زنجیره تأمین بشردوستانه به‌ویژه در حوزه‌ی مسیریابی وسایل نقلیه پرداخته می‌شود. در بخش سوم مدل پیشنهادی معرفی و مفاهیم آن تشریح می‌شود. در بخش چهارم نیز باهدف اعتبارسنجی مدل، در ابتدا به بیان مطالعه موردی پرداخته و سپس نتایج حاصل از آن نیز به تفصیل مطرح می‌شود. در بخش پنجم به تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از اجرای مدل پرداخته و در بخش ششم نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی تشریح می‌شود. در نهایت در بخش هفتم ضمن بیان نتیجه‌گیری‌ها پیشنهادها‌ی لازم به منظور توسعه معرفی شده است.

بحران به هر حادثه‌ای که به‌طور طبیعی و یا به‌وسیله‌ی بشر به‌طور ناگهانی و یا به‌صورت فزاینده به وجود آمده و سختی و مشقتی را به جامعه‌ی انسانی تحمیل کند، اطلاق می‌شود. بحران جان یا مال انسان‌ها را به مخاطره انداخته و یا از بین می‌برد و جهت برطرف کردن آن نیاز به اقدامات و عملیات اضطراری و فوق‌العاده‌ای است [۱]. وقوع بحران‌هایی همچون سیل، زلزله، سونامی و غیره هر ساله باعث خسارت‌های شدید اجتماعی، اقتصادی و همچنین جابه‌جایی و حتی مرگ و میر هزاران نفر می‌شود. بنابراین برای کاهش تلفات و زیان‌های اقتصادی در این بلاها فرآیند امداد رسانی مناسب مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است [۲].

بر اساس گزارش‌های آماری سازمان بهداشت جهانی<sup>۱۰</sup> ۴۰ نوع از بلاهای طبیعی در سراسر جهان به رسمیت شناخته شده که ۳۱ نوع آن در ایران رخ می‌دهد. به‌عنوان نمونه بلاهای رخ داده در بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ میلادی منجر به مرگ بیش از ۱۲۰ هزار نفر شده است [۳]. زلزله یکی از خطرناک‌ترین بلایای طبیعی است که باعث هزینه‌های مالی و جانی گسترده، تخریب جاده‌ها و پل‌ها، خسارات عمومی، سقوط یا بی‌ثبات‌سازی ساختمان‌ها، آتش‌سوزی‌ها و سونامی‌ها می‌شود. بر اساس آمار، از سال ۱۹۰۰ میلادی حداقل ۱۲۶ هزار مورد مرگ و میر ناشی از زلزله در ایران به ثبت رسیده است [۴].

به مجموعه‌ای از عملیات و فرآیندهای مشخص که برای جلوگیری و کاهش اثرات بحران برنامه‌ریزی می‌شوند، مدیریت بحران گفته می‌شود [۵]. بیشتر مدل‌هایی که جهت طبقه‌بندی فرآیندهای مدیریت بحران ارائه شده، روی چهار فاز اصلی پیشگیری<sup>۲</sup>، آمادگی<sup>۳</sup>، مقابله<sup>۴</sup> و بازسازی و بازتوانی<sup>۵</sup> توافق نظر و تکیه دارند [۶]. مرحله پیشگیری مجموعه اقداماتی است که از وقوع بحران جلوگیری کرده و یا اثر بحرانی که در آینده ممکن است به وقوع بپیوندد را کاهش می‌دهند. مرحله آمادگی مدیریت بحران مربوط به برنامه‌ریزی، پژوهش و آموزش است. مرحله‌ی مقابله بلافاصله بعد از وقوع بحران آغاز شده و خدمات فوری جهت کمک به مصدومان ارائه می‌شود. هدف اصلی مرحله بازسازی و بازتوانی بازگرداندن جامعه به حالت اولیه است [۷].

مدیریت بحران را می‌توان هسته اصلی عملیات امداد رسانی دانست؛ چرا که گستردگی و تنوع مسائل در آن به قدری است که می‌توان در تمام مراحل چرخه‌ی مدیریت بحران به‌ویژه در مرحله‌ی آمادگی و پاسخ از آن استفاده کرد. زنجیره‌ی تأمین امداد بعد از وقوع سونامی بزرگ اقیانوس هند در سال ۲۰۰۴ با آشکار شدن ناکارآمدی زنجیره‌ی تأمین تجاری<sup>۶</sup> در مقابله با شرایط بحرانی معرفی شد. البته آمادگی در برابر زلزله امری نیست که دولت‌ها به‌تنهایی بتوانند با توجه به عمق و گستردگی خطرات از عهده آن برآیند [۷].

از جمله تعاریف ارائه شده برای زنجیره تأمین بشردوستانه<sup>۷</sup>، روند تخلیه‌ی مردم از مناطق بحران‌زده به اماکن امن و برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل فرآیند امداد رسانی همراه با مقرون

## پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر تحقیقات علمی در زمینه‌ی تدارکات بشردوستانه و عملیات مدیریت بحران افزایش یافته است. این مهم از سال ۲۰۰۵ به طور گسترده مورد توجه محققان قرار گرفته و پیش از آن به ندرت پژوهشی در این حوزه منتشر و به رسمیت شناخته شده بود. به عنوان نمونه در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ کنت و لنسینگ بر موضوعاتی همچون مسائل انسانی در سطح جهانی پرداختند [۱۲]. رشد آگاهانه در زمینه‌ی زنجیره تأمین بشردوستانه و موضوعات پیرامون آن پس از سال ۲۰۰۵ توسط بررسی‌های ادبی آلتا و گرین [۱۳] و ناتاراجارائینام و همکاران [۱۴] صورت گرفت و به دلیل اهمیت زیاد این مقالات، به طور عمده در نشریات حرفه‌ای برجسته شد. در ادامه‌ی پژوهش‌های منتشر شده با پیشرفت‌هایی که در حوزه فناوری اطلاعات در مجلات تحقیقاتی بین سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ رخ داد؛ با به کارگیری آنها در حوزه زنجیره تأمین بشردوستانه به ویژه در مسائلی با ابعاد بزرگ، منجر به تسریع در اجرای مدل‌ها و بهبود در رسیدن به نتایج شد [۱۵].

زنجیره تأمین بشردوستانه در بردارنده‌ی حوزه‌های متعددی شامل تخلیه دسته جمعی<sup>۱۱</sup>، مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات<sup>۱۲</sup> و مسیریابی<sup>۱۳</sup> است که می‌توان از آنها در حالات قبل، هنگام و بعد از وقوع بحران استفاده کرد. مدل‌سازی پژوهش‌ها را می‌توان به دو نوع قطعی و عدم قطعیت طبقه بندی کرد [۱۶، ۱۷، ۱۸]. برخی از مهمترین اهداف مطالعات انجام شده در زمینه‌ی مدیریت بحران را می‌توان نظیر به حداکثر رساندن شعاع تحت پوشش، افزایش هماهنگی بین سازمان‌های بشردوستانه با هدف امداد رسانی مناسب‌تر [۱۹]، افزایش رضایت‌مندی آسیب‌دیدگان، کاهش مدت زمان امداد رسانی [۲۰] اشاره کرد. در ادامه تعدادی از مهمترین پژوهش‌های در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه در شرایط بحران و شناخت روند توسعه آنها معرفی می‌شوند.

وحدانی و همکاران (۲۰۱۸) مدلی در زمینه‌ی مسیریابی وسایل نقلیه به منظور امداد رسانی به آسیب‌دیدگان ناشی از زلزله معرفی کردند. از ویژگی‌های این پژوهش در نظر گرفتن یک شبکه‌ی سه سطحی شامل انبار وسایل نقلیه، مراکز توزیع امداد<sup>۱۴</sup> (DCs) و پناهگاه‌ها بوده که تعداد و محل آنها مشخص است. از اهداف این پژوهش می‌توان به کاهش مدت زمان طی کردن وسایل نقلیه از بین مراکز توزیع امداد (DCs) و پناهگاه‌ها به همراه به حداقل رساندن تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده نام برد. همچنین با استفاده از مدل معرفی شده توسط آنها می‌توان به تعیین مسیریابی وسایل نقلیه جهت امداد رسانی پرداخت [۲۱].

صبوحی و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود به ارائه مدلی سه سطحی شامل مراکز نگهداری خودرو، مراکز توزیع کالا و پناهگاه‌ها پرداختند. آنها با هدف کاهش مدت زمان اجرای عملیات امدادی و استفاده از حداقل وسایل نقلیه به مسیریابی و برنامه‌ریزی وسایل نقلیه در بین سه سطح تعریف شده پرداختند. از دیگر ویژگی‌های مدل آنها می‌توان به مواردی مانند تک‌محصولی و تک‌دوره‌ای بودن و نبود شرط کمبود مجاز اشاره کرد [۲۲]. لازم به ذکر است در مقاله‌ی حاضر با بهره‌گیری از مفاهیم مدل صبوحی و همکاران وی

مدلی با عملکردی بهتر و جامع‌تر ارائه شده که در ادامه توضیحات لازم پیرامون آن به تفصیل تشریح می‌شود.

پوررحمان (۲۰۱۵) با ارائه یک پژوهش به معرفی یک مدل مسیریابی برای انتقال مصدومان از پناهگاه‌های محلی به پناهگاه‌های منطقه‌ای با هدف به حداقل رساندن کل زمان سفر پرداخت [۲۳]. راث و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود با توجه به در نظر گرفتن یک وسیله‌ی نقلیه برای خدمت‌رسانی به مناطق آسیب‌دیده، یک مدل غیرقطعی چندهدفه جهت مسیریابی و برنامه‌ریزی مجروحان از مناطق حادثه‌دیده به بیمارستان‌های موجود ارائه کردند [۲۴]. بریتس چنیدر (۲۰۱۲) در پژوهش خود یک مدل مسیریابی چند محصولی در حوزه‌ی مسائل تخلیه با استفاده از اتوبوس معرفی کردند که چندین جنبه از تخلیه اضطراری مانند ایمنی، اجتناب از تأخیر و کاهش زمان سفر در پژوهش آنها بررسی شده است [۲۵]. حامدی و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود یک مدل قطعی چندهدفه برای مسیریابی و مکان‌یابی توزیع کالاهای امدادی از مراکز امداد رسانی به مناطق آسیب‌دیده معرفی کردند که با بهره‌گیری از آن می‌توان با استفاده از یک وسیله‌ی نقلیه به مناطق آسیب‌دیده خدمت‌رسانی کرد [۲۶].

عبدلگواد (۲۰۱۱) در پژوهش خود به معرفی یک مدل برنامه‌ریزی و مسیریابی باز پرداخت. اهداف مدل پیشنهادی او به حداقل رساندن هزینه‌های مسیریابی و کاهش زمان انتظار جهت انتقال از مکان‌های مبدأ است [۲۷]. نولز و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل قطعی چندهدفه برای مسیریابی و برنامه‌ریزی توزیع کالای امدادی از مراکز امداد به پناهگاه‌ها ارائه کردند. بر اساس مدل آنها امکان سرویس دهی به هر پناهگاه با چندین وسیله نقلیه فراهم شده است [۲۸].

مت و زابینسکی (۲۰۱۰) با معرفی یک مدل قطعی چندهدفه به دنبال مسیریابی انتقال کالاهای امدادی از مراکز امداد به مناطق آسیب‌دیده بودند. بر اساس مدل معرفی شده در پژوهش آنها انجام خدمات امدادی به مناطق آسیب‌دیده تنها با بهره‌گیری از یک وسیله نقلیه صورت می‌پذیرد [۲۹]. جوتشی و همکاران وی (۲۰۰۹) در پژوهش خود یک مدل دومارحله‌ای در نظر گرفتند که از اهداف مرحله اول آن می‌توان به انتخاب مکان‌های بهینه جهت ایجاد انبارهای مناسب و تعیین سطح موجودی ذخیره‌سازی آنها اشاره کرد و از اهداف مرحله‌ی دوم آن نیز می‌توان به مواردی نظیر تخصیص وسایل نقلیه، تعیین مسیرهای مناسب تحت سناریوهای مختلف و ارسال تجهیزات پزشکی از انبارهای تأسیس شده به بیمارستان‌های موجود اشاره کرد [۳۰]. پتیت و همکاران وی (۲۰۰۵) پژوهشی به منظور بهینه‌سازی مسیریابی بالگردها را مطالعه کردند. هدف از پژوهش آنها به حداقل رساندن هزینه‌های استفاده از بالگردهای موجود در یک پایگاه هوایی بود. آنها همچنین تلاش کردند هزینه‌های دیگری را مانند تعداد به‌کارگیری و استفاده از خلبان‌های متعدد را کاهش دهند [۳۱]. اوزدامرو و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیق خود مدلی برای انتقال وسایل نقلیه از مسیرهای مناسب در شرایط پس از فاجعه معرفی کردند. هدف از پژوهش آنها انتخاب سریع‌ترین مسیرهای قابل استفاده

۷

شماره هجدهم  
پاییز زمستان  
۱۳۹۹

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی

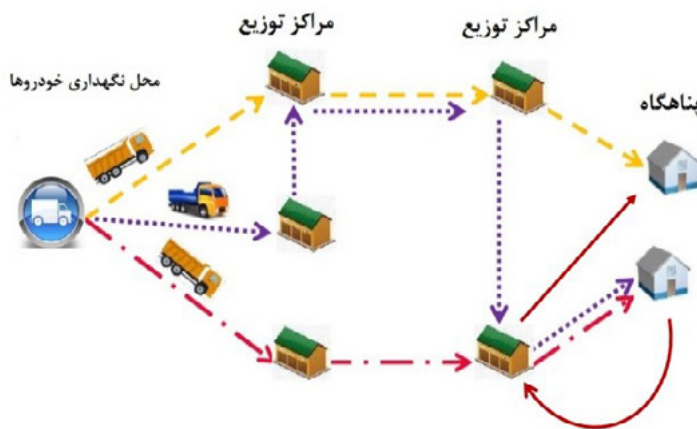


مدل بهینه‌سازی مسیریابی و برنامه‌ریزی چند دوره‌ای برای وسایل نقلیه بعد از وقوع بحران با هدف کاهش .....  
.....

کالا و به تفکیک هر پناهگاه تعیین می‌شود. شرط کمبود مجاز را می‌توان یکی از ویژگی‌های مهم مدل پیشنهادی عنوان کرد. از دیگر ویژگی‌های مدل جدید می‌توان به مدیریت زمان نقل و انتقال وسایل نقلیه در بین مراکز توزیع و پناهگاه‌ها برای تمامی دوره‌های امداد رسانی اشاره کرد. چگونگی امداد رسانی در تصویر ۱ آمده است. وسایل نقلیه به منظور بارگیری کالاهای امدادی از محل نگهداری به مراکز توزیع کالا منتقل می‌شوند. با توجه به دو عامل ظرفیت وسایل نقلیه و مقدار تقاضای مورد نیاز پناهگاه‌ها بارگیری انجام می‌شود. وسایل نقلیه می‌توانند در یک دوره به چندین مرکز توزیع مراجعه کرده تا ظرفیت خود را تکمیل کنند. وسایل نقلیه به طرف پناهگاه‌ها منتقل می‌شوند. بعد از تحویل کالاها و در صورت تأمین کامل تقاضای پناهگاه‌ها عملیات امدادی به پایان می‌رسد. در صورت تأمین نشدن بخشی از تقاضا دو حالت وجود خواهد داشت: (۱) کالا در مراکز توزیع موجود نباشد؛ با توجه به مزیت مدل تحقیق جاری مقدار کمبود کالا مشخص می‌شود. (۲) در مراکز توزیع کالای مورد نیاز موجود باشد؛ در این حالت به تعداد مورد نیاز از وسایل نقلیه تخلیه شده از پناهگاه‌ها به مراکز توزیع منتقل و پس از بارگیری به پناهگاه‌هایی که دارای تقاضای تأمین نشده هستند، منتقل می‌شوند. این دوره‌ها تا زمانی که حداقل یکی از دو شرط برقرار نباشد، ادامه می‌یابد.

**الف: اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی اندیس‌ها:**

$v$	نشان دهنده مجموعه‌ای از وسایل نقلیه حمل بار $\{v_1, v_2, \dots, v\}$
$d$	نشان دهنده انبار وسایل نقلیه $\{d_1, d_2, \dots, d\}$
$e, e'$	نشان دهنده مراکز توزیع کالای امدادی $\{e_1, e_2, \dots, e\}$
$s$	نشان دهنده مجموعه‌ای از پناهگاه‌ها $\{s_1, s_2, \dots, s\}$
$p$	تعداد محصولات $\{p_1, p_2, \dots, p\}$
$t$	تعداد دوره $\{t_1, t_2, \dots, t\}$



تصویر ۱: شبکه زنجیره تأمین امداد

جهت انتقال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های موجود است [۳۲]. بر اساس مطالعه‌ای که بارباروسوگلو و همکارانش (۲۰۰۲) منتشر کردند، به ارائه یک مدل حمل و نقل چند دوره‌ای پرداختند. شرایط استفاده از این مدل این است که وسایل نقلیه لازم نباشد به مراکز نگهداری خود برگردند. همچنین هدف از مدل پیشنهادی آنها به حداقل رساندن تقاضای تأمین نشده در طول زمان است [۳۳].

با توجه به مرور ادبیات، پژوهش حاضر از ویژگی‌ها و ساختار بدیعی برخوردار است که تاکنون در پژوهش‌های مشابه تعریف نشده است. تحقیق حاضر با هدف بهبود و توسعه مدل ارائه شده توسط صبوچی و همکاران [۲۲] معرفی می‌شود. از جمله مهمترین مزیت‌های مدل پیشنهادی پژوهش جاری نسب به مدل پایه می‌توان به مواردی مانند چند دوره‌ای و چند محصولی بودن و برقرار بودن شرط کمبود مجاز اشاره کرد. همچنین به دلیل حیاتی بودن تأمین تقاضاهای آسیب‌دیدگان، هدف مدل پیشنهادی پژوهش جاری به حداقل رساندن تقاضای تأمین نشده است. علاوه بر این، بر اساس مدل پیشنهادی شرط ورود به مرحله‌ی بعدی عملیات امداد رسانی، وجود تقاضای تأمین نشده به همراه موجود بودن کالاهای مورد نیاز در مراکز توزیع است. از نکات قابل توجه در مدل پایه این است که تنها مقدار کالای بارگیری شده از مراکز توزیع و مقدار کالای وارد شده به هر پناهگاه مشخص می‌شود و نوع وسیله‌ی نقلیه و مقدار کالای امدادی حمل شده توسط آن قابل تعیین نیست. بر اساس مدل بهبود و توسعه یافته، مقدار حمل و نقل کالاها توسط هر وسیله نقلیه مشخص است.

## بیان مسئله و مدل سازی

یکی از اساسی‌ترین عملیات در مرحله پاسخ به فاجعه، انتقال کالاهای امدادی از مراکز توزیع به پناهگاه‌هاست. از این رو در این مقاله مدلی چند دوره‌ای و چند محصولی باهدف به حداقل رساندن تقاضاهای تأمین نشده معرفی می‌شود که دربردارنده یک شبکه‌ی سه سطحی از مراکز نگهداری خودرو، مراکز توزیع کالا و پناهگاه‌هاست. بر اساس مدل پیشنهادی، در پایان آخرین دوره عملیات امداد رسانی میزان تقاضای تأمین نشده برای هر نوع



شماره هجدهم  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۹  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مدل بهینه‌سازی مسیریابی و برنامه‌ریزی چند دوره‌ای برای وسایل نقلیه بعد از وقوع بحران با هدف کاهش .....  
.....

اگر وسیله نوع  $v$  موجود در مرکز  $d$  در دوره  $t$  استفاده شود. برابر یک؛ در غیر این صورت برابر با صفر است (متغیر باینری).  $Z_{dvt}$

متغیر کمبود (مقدار کالای نوع  $p$  که در پایان عملیات امداد رسانی برای پناهگاه  $s$  ام تامین نشده است).  $ds'_{sp}$

**ب: معرفی و تشریح مدل پیشنهادی**

$$(1) \quad Min F = \frac{\sum_s \sum_p (ds_{sp} - \sum_e \sum_v \sum_t X_{vestp}^3)}{\sum_s \sum_p ds_{sp}}$$

$$(2) \quad \sum_v \sum_d X_{vdetp}^1 + \sum_v \sum_{e'} X_{vee'tp}^2 + \sum_s \sum_v X_{vsetp}^4 \leq se_{ept} \quad \forall e, p, t$$

$$(3) \quad se_{ept+1} = se_{ept} - \sum_v \sum_s X_{vestp}^3$$

$$\forall e, p, t \notin \{T\}$$

$$(4) \quad X_{vdetp}^1 \leq X_{vdetp}^1 M_{big} \quad \forall d, e, v, t, p$$

$$(5) \quad X_{vee'tp}^2 \leq X_{vee'tp}^2 M_{big} \quad \forall e, e', v, t, p$$

$$(6) \quad X_{vestp}^3 \leq X_{vestp}^3 M_{big} \quad \forall e, s, v, t, p$$

$$(7) \quad X_{vsetp}^4 \leq X_{vsetp}^4 M_{big} \quad \forall s, e, v, t, p$$

$$(8) \quad \sum_s X_{vestp}^3 + \sum_{e'} X_{vee'tp}^2 = \sum_d X_{vdetp}^1 + \sum_{e'} X_{vee'tp}^2 + \sum_s X_{vsetp}^4 \quad \forall e, v, t, p$$

$$(9) \quad \sum_e \sum_v \sum_t X_{vestp}^3 + ds'_{sp} = ds_{sp} \quad \forall s, p$$

**پارامترها:**

- $C_{de}^1$  زمان حمل و نقل از مرکز تجمع وسایل نقلیه به مراکز توزیع
- $C_{ee'}^2$  زمان حمل و نقل از مراکز توزیع به مراکز توزیع دیگر
- $C_{es}^3$  زمان حمل و نقل از مراکز توزیع به پناهگاه‌ها
- $ds_s$  مقدار تقاضای پناهگاه‌ها
- $se_e$  موجودی مراکز توزیع
- $A_{dv}$  در صورت وجود وسیله نقلیه  $v$  در مرکز نگهداری خودرو  $d$
- $Cap_v$  ظرفیت وسایل نقلیه نوع  $v$
- $De_e$  زمان سرویس‌گیری در مراکز توزیع
- $Ds_s$  زمان سرویس‌دهی در پناهگاه
- $M_{big}$  عدد بسیار بزرگ

**متغیرهای تصمیم:**

- $X_{vdetp}^1$  مقدار حمل از محصول نوع  $P$  توسط وسیله نوع  $v$  از مرکز  $d$  ام به مرکز  $e$  ام در دوره  $t$  ام.
- $X_{vee'tp}^2$  مقدار حمل از محصول نوع  $P$  توسط وسیله نوع  $v$  از مرکز  $e$  ام به مرکز  $e'$  ام در دوره  $t$  ام.
- $X_{vestp}^3$  مقدار حمل از محصول نوع  $P$  توسط وسیله نوع  $v$  از مرکز  $e$  ام به مرکز  $s$  ام در دوره  $t$  ام.
- $X_{vsetp}^4$  مقدار بارگیری از محصول نوع  $P$  توسط وسیله نوع  $v$  از مرکز  $s$  ام به مرکز  $e$  ام در دوره  $t$  ام.
- $X_{vdetp}^1$  و از مرکز  $d$  ام به مرکز  $e$  ام منتقل شود، یک؛ در غیر این صورت صفر.
- $X_{vee'tp}^2$  اگر وسیله نوع  $v$  حامل محصول  $p$  ام در دوره  $t$  از مرکز توزیع به مرکز توزیع دیگر منتقل شود، یک. در غیر این صورت صفر.
- $X_{vestp}^3$  اگر وسیله نوع  $v$  حامل محصول نوع  $p$  در دوره  $t$  ام، مسیر  $e$  به  $s$  را طی کند، برابر یک؛ در غیر این صورت صفر.
- $X_{vsetp}^4$  اگر وسیله نوع  $v$  حامل محصول نوع  $p$  در دوره  $t$  ام، مسیر  $s$  به  $e$  را طی کند، برابر یک؛ در غیر این صورت صفر.
- $Te_{vet}$  زمان پایان سرویس‌گیری در مراکز توزیع در دوره  $t$  ام.
- $Ts_{vst}$  زمان پایان سرویس‌دهی در پناهگاه‌ها در دوره  $t$  ام است.
- $se_{et}$  موجودی کالای  $p$  برای مراکز توزیع در دوره  $\{t_1\} \notin t$  ام (مقدار آن در ابتدای شروع عملیات  $(t_1)$  مشخص است).



$$X_{vsetp}^4 \geq X_{vsetp}^1 \quad (21)$$

$$\forall v, s, e, t, p$$

$$X_{vdetp}^1, X_{veetp}^2, X_{vestp}^3, X_{vsetp}^4 \quad (22)$$

$$se_{ept}, ds'_{sp} \in Z^{\geq 0}$$

$$Te_{vet}, Ts_{vst-1} \in R^{\geq 0}$$

$$\forall v, d, e, e', t, p$$

$$X_{vdetp}^1, X_{veetp}^2, X_{vestp}^3, X_{vsetp}^4$$

$$, Z_{dvt} \in \{0,1\}$$

معادله (۱) تابع هدف بوده و مقدار تقاضای تأمین نشده را کمینه می‌کند. محدودیت (۲) مجموع کالاهای ارسالی از مرکز توزیع  $e$  برای محصول  $p$  در هر دوره را از حداکثر ظرفیت را کنترل می‌کند. محدودیت (۳) مقدار عرضه‌ی مراکز توزیع امداد در دوره‌های بعد را مشخص می‌کند. به منظور اطلاع از انتقال وسیله‌ی  $v$  برای حمل کالای  $p$  ام از مرکز نگهداری وسایل نقلیه به مراکز توزیع  $e$  محدودیت (۴) اعمال شده است. محدودیت (۵) نشان می‌دهد در صورتی که وسیله نقلیه‌ی نوع  $v$  به منظور حمل کالای  $p$  مرکز توزیع  $e$  را به سمت مرکز توزیع دیگر ترک کند، متغیر  $X_{vdetp}^1$  برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود. محدودیت (۶) بیان‌کننده‌ی انتقال وسیله نقلیه‌ی نوع  $v$  برای حمل کالای نوع  $p$  از مراکز توزیع  $e$  به پناهگاه  $s$  است. محدودیت (۷) به منظور انتقال وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع  $v$  برای حمل کالای نوع  $p$  از پناهگاه  $s$  به مراکز توزیع  $e$  بیان شده است. محدودیت (۸) مسیرهای وسیله‌ی نقلیه‌ی  $v$  به منظور ترک مراکز توزیع  $e$  را نشان می‌دهد. محدودیت (۹) برابری مقدار کالای دریافتی با مقدار تقاضاست. محدودیت (۱۰) نشان‌دهنده حداکثر مقدار کالای بارگیری شده از مراکز توزیع با حجم قابل حمل توسط وسایل نقلیه است. محدودیت (۱۱) شامل هر تعداد وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع  $v$  که به مرکز توزیع  $e$  وارد می‌شود و برابر با تعدادی است که از آن مرکز بایستی خارج شود. محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۵) برای تعیین زمان خروج وسایل نقلیه  $v$  از مراکز  $e$  و  $s$  است. با اعمال محدودیت (۱۶) تعداد وسایل نقلیه‌ای که در دوره  $t+1$  از پناهگاه  $s$  خارج می‌شوند، از تعداد وسیله نقلیه‌ای که در دوره  $t$  به این پناهگاه وارد شده‌اند، بیشتر نیست. با محدودیت (۱۷) اگر وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع  $v$  در دوره  $t$  مورد استفاده قرار گیرد، صرفاً از یک مرکز توزیع به یک پناهگاه منتقل می‌شود. با اعمال محدودیت‌های (۱۸) تا (۲۱) در صورت عدم مراجعه وسایل نقلیه به منظور بارگیری از مراکز توزیع و ارسال به پناهگاه‌ها آن مسیر انتخاب نمی‌شود. محدودیت (۲۲) نوع و بازه متغیرهای استفاده شده در مدل است.

$$\sum_e \sum_p X_{vdetp}^1 + \sum_{e'} \sum_e \sum_p X_{veetp}^2 + \quad (10)$$

$$\sum_e \sum_s \sum_p X_{vestp}^4 \leq z_{dvt} A_{dv} cap_v \quad \forall d, v, t$$

$$\sum_d X_{vdetp}^1 + \sum_s X_{vsetp}^4 + \quad (11)$$

$$+ \sum_{e'} X_{veetp}^2 = \sum_s X_{vestp}^3 \quad \forall v, e, p, t$$

$$Td_{vd} + De_e + C_{de}^1 - \quad (12)$$

$$M_{big} (1 - X_{vdetp}^1) \leq Te_{vet_1} \quad \forall v, d, e, p$$

$$Te_{vet} + De_{e'} + C_{ee'}^2 - \quad (13)$$

$$M_{big} (1 - X_{veetp}^2) \leq Te_{ve't} \quad \forall v, e, e', t, p$$

$$Te_{vet} + Ds_s + C_{es}^3 - \quad (14)$$

$$M_{big} (1 - X_{vestp}^3) \leq Ts_{vst} \quad \forall v, s, e, p, t$$

$$\quad (15)$$

$$Ts_{vst-1} + De_e + C_{es}^3 - M_{big} (1 - X_{vsetp}^4) \leq Te_{vet} \quad \forall v, s, e, p \quad \forall t \in \{T\}$$

$$\sum_e \sum_p X_{vestp}^3 \geq \sum_e \sum_p X_{vsetp}^4 \quad (16)$$

$$\forall t \notin \{T\}, \forall v, s$$

$$\sum_e \sum_s \sum_p X_{vestp}^3 = Z_{dvt} \quad (17)$$

$$\forall d, v, t$$

$$X_{vdetp}^1 \geq X_{vdetp}^1 \quad (18)$$

$$\forall v, d, e, t, p$$

$$X_{veetp}^2 \geq X_{veetp}^2 \quad (19)$$

$$\forall v, e, e', t, p$$

$$X_{vestp}^3 \geq X_{vestp}^3 \quad (20)$$

$$\forall v, e, s, t, p$$



جدول ۱: تعداد آسیب دیدگان اسکان یافته در پناهگاه‌ها

ناحیه	محل سکونت	تعداد آسیب دیدگان قابل انتقال به پناهگاه
۱	خیابان سیف	۵۷۵
۳	خیابان هروی	۲۲۵۱
۷	خیابان هنگام	۶۳۴
جمع		۳۴۶۰

خبرگان مدیریت بحران از نقاط مختلف این منطقه به شرح جدول ۱ است.

دو نوع کالای امدادی غذا و آب بین آسیب دیدگان توزیع می شود. اطلاعات پناهگاه‌ها و مراکز توزیع در جدول ۲ آمده است. ظرفیت وسایل نقلیه برای انتقال کالاهای امدادی در جدول ۳ بیان شده است.

زمان لازم برای طی مسافت بین مراکز نگهداری به مراکز توزیع کالاها و پناهگاه‌ها توسط وسایل نقلیه مطابق جدول ۴ است [۲۰].

## اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی موردکاوی با داده‌های تحقیق پایه انجام شده است. در موارد مورد نیاز داده‌های بیشتر اضافه شده است. تغییرات عمده تازه‌ها در داده‌ها شامل تنوع کالاهای امدادی از یک به دو نوع است. در کلیه موارد، نتایج به دست آمده با نتایج تحقیق پایه مورد مقایسه قرار گرفت و کلیه نتایج نشان داد که عملکرد مدل پیشنهادی مورد تایید بوده و با نتایج مدل پایه مطابقت دارد.

### الف: مطالعه موردی

با توجه به ویژگی‌های مدل پیشنهادی در حوزه عملیات امدادسانی، یک مطالعه موردی در شهر تهران جزو مناطق مستعد زلزله و پرجمعیت‌ترین شهر ایران ارائه می شود. این شهر دارای ۲۲ منطقه است که منطقه‌ی ۴ یکی از مناطق پرجمعیت است. همچنین گسل‌های اطراف این مناطق عبارت‌اند از: شیان و کوسار با طول ۱۳ کیلومتر و نارمک با طول ۲/۵ کیلومتر. نواحی انتخاب شده ۱، ۳ و ۷ هستند. تعداد آسیب دیدگان بر اساس نظر

جدول ۲: اطلاعات مربوط به مراکز توزیع و پناهگاه‌ها

نوع	مرکز	متغیر	ظرفیت مراکز توزیع	تقاضای پناهگاه‌ها	زمان خدمت دهی (دقیقه)
پناهگاه	فرهنگی اشراق	$s_1$	-	۱۳۲۰	۳۰
	ورزشگاه گلشن	$s_2$	-	۸۲۵	۳۰
	استادیوم آرش	$s_3$	-	۸۸۰	۳۰
مرکز توزیع	دانشگاه آزاد	$s_4$	-	۷۸۱	۳۰
	مدرسه ارشاد	$e_1$	۱۱۶۰	-	۳۰
	مدرسه امیرکبیر	$e_2$	۱۱۶۰	-	۳۰
	مدرسه هدف	$e_3$	۱۱۶۰	-	۳۰

جدول ۳: ظرفیت وسایل نقلیه

وسيله نقلیه	ظرفیت (کیلوگرم)	وسيله نقلیه	ظرفیت (کیلوگرم)
$V_1$	۱۲۰۰	$V_5$	۸۰۰
$V_2$	۸۰۰	$V_6$	۷۰۰
$V_3$	۸۰۰	$V_7$	۷۰۰
$V_4$	۸۰۰	$V_8$	۷۰۰

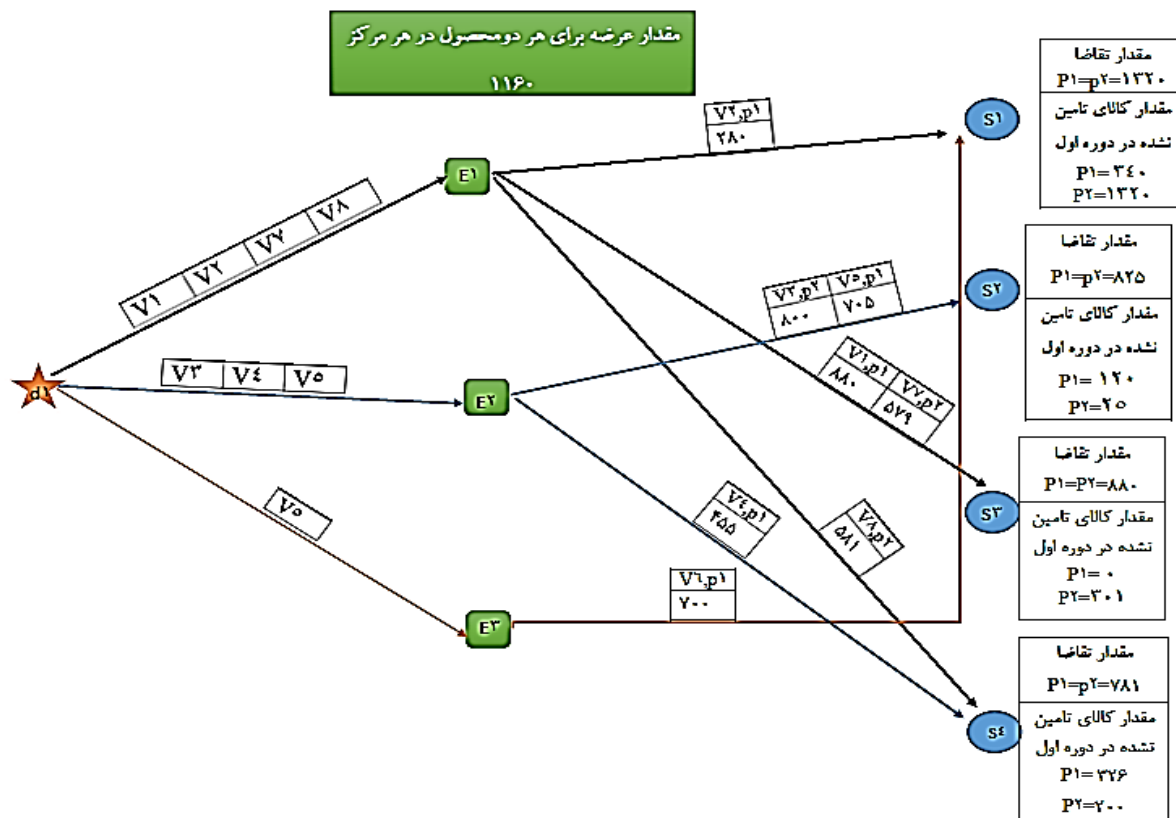
جدول ۴: مدت زمان طی شده بین مراکز توزیع و پناهگاه‌ها (دقیقه)

	پناهگاه‌ها				مراکز توزیع			
	$S_4$	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$E_3$	$E_2$	$E_1$	
$d_1$	-	-	-	-	۲۰	۱۰	۱۳	
$E_1$	۴۰	۳۰	۲۵	۷	۳۰	۵	-	
$E_2$	۱۰	۲۵	۸	۳۰	۳۰	-	۵	
$E_3$	۹	۷	۴۰	۳۵	-	۳۰۰	۳۰	

رسید. نحوه حرکت وسایل نقلیه و تخصیص کالاهای امدادی در پایان مرحله اول در تصویر ۲ ترسیم شده است. اطلاعات مربوط به زمان خروج وسایل نقلیه از مراکز توزیع و زمان اتمام فعالیت (خروج) آنها در پناهگاه‌ها برای دوره اول به شرح جدول ۵ است.

**ب: نتایج حاصل از اجرای مدل**

به منظور اعتبارسنجی مدل با بهره‌گیری از اطلاعات مثال عددی و با استفاده از نرم‌افزار گمز و حل‌کننده‌ی سیمپلکس، مدل پیشنهادی حل شد. اجرای مدل در مدت زمان ۰/۰۹۴ ثانیه صورت پذیرفت و تابع هدف آن به کمترین مقدار خود (۰/۰۸۷۵)



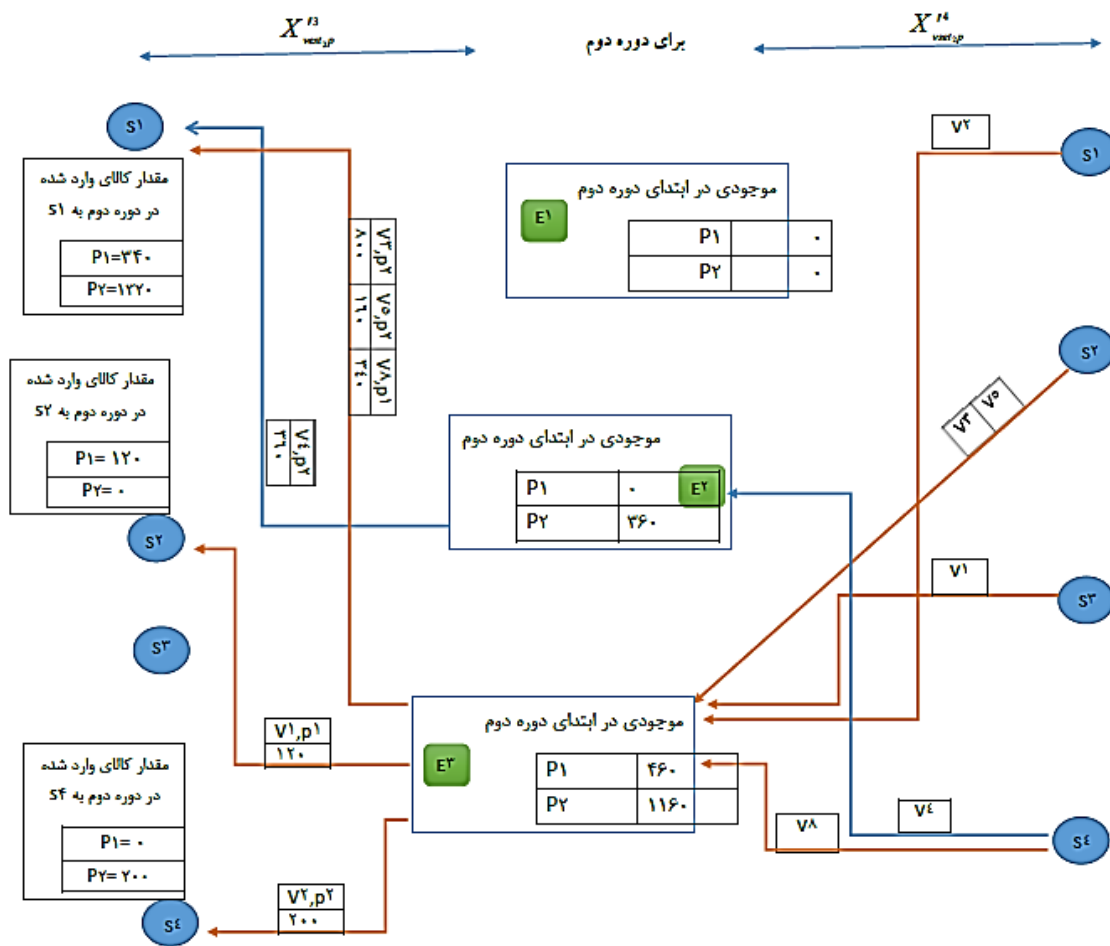
تصویر ۲: مسیریابی وسایل نقلیه و تخصیص کالاهای امدادی دوره اول  
جدول ۵: زمان خروج وسایل نقلیه از مراکز توزیع و رسیدن به پناهگاه‌ها در دوره اول

پناهگاه‌ها	مراکز توزیع		وسيله نقلیه
	متغیر	زمان خروج وسيله نقلیه از مرکز توزیع (دقیقه)	
۱۰۳	$S_3$	۴۳	$E_2$ $V_1$
۸۰	$S_1$	۴۳	$E_1$ $V_2$
۷۸	$S_2$	۴۰	$E_2$ $V_3$
۸۰	$S_4$	۴۰	$E_2$ $V_4$
۷۸	$S_2$	۴۰	$E_2$ $V_5$
۱۱۵	$S_1$	۵۰	$E_3$ $V_6$
۱۰۳	$S_3$	۴۳	$E_1$ $V_7$
۱۱۳	$S_4$	۴۳	$E_1$ $V_8$



زمان خروج از مراکز توزیع و اتمام فعالیت در پناهگاه‌ها توسط وسایل نقلیه در دوره دوم در جدول ۶ آمده است در پایان هر مرحله تقاضای تأمین‌نشده پناهگاه‌ها و موجودی مراکز توزیع بررسی و دوره بعدی شروع می‌شود. این فرآیند تا

در دوره اول، بار توسط ۸ نوع وسیله نقلیه از مرکز نگهداری وسایل نقلیه به سمت مراکز توزیع کالاهای امدادی صورت می‌گیرد. چگونگی وضعیت تقاضای پناهگاه‌ها و موجودی مراکز توزیع در پایان مرحله اول امداد رسانی در تصویر ۳ مشخص شده است.



تصویر ۳: مسیریابی وسایل نقلیه و تخصیص کالاهای امداد دوره دوم

جدول ۶: زمان اتمام کار وسایل نقلیه در پناهگاه‌ها در دوره دوم

پناهگاه	مرکز توزیع		نوع وسیله نقلیه
	شماره	زمان خروج وسیله نقلیه از مرکز (دقیقه)	
۲۱۰	S <sub>2</sub>	۱۴۰	V <sub>1</sub>
۱۸۴	S <sub>4</sub>	۱۴۵	V <sub>2</sub>
۲۱۳	S <sub>1</sub>	۱۴۸	V <sub>3</sub>
۱۸۰	S <sub>1</sub>	۱۲۰	V <sub>4</sub>
۲۱۳	S <sub>1</sub>	۱۴۸	V <sub>5</sub>
۲۱۷	S <sub>1</sub>	۱۵۲	V <sub>8</sub>

جدول ۷: وضعیت ارسال و دریافت کالاها دوره‌های مختلف

نوع	متغیر	نوع کالا	شروع بحران		پایان مرحله اول		پایان مرحله دوم		
			ظرفیت/ تقاضا	مانده	ارسال/ تحویل	مانده	ارسال/ تحویل	مانده	
پناهگاه	S <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	۱۳۲۰	۳۴۰	۹۸۰	۳۴۰	۳۴۰	۰	
		P <sub>2</sub>		۱۳۲۰	۱۳۲۰	۱۳۲۰	۱۳۲۰	۰	
	S <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	۸۲۵	۱۲۰	۷۰۵	۱۲۰	۱۲۰	۰	
		P <sub>2</sub>		۲۵	۸۰۰	۲۵	۰	۲۵	
	S <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	۸۸۰	۰	۸۸۰	۰	۰	۰	
		P <sub>2</sub>		۳۰۱	۵۷۹	۳۰۱	۰	۰	
	S <sub>4</sub>	P <sub>1</sub>	۷۸۱	۳۲۶	۴۵۵	۳۲۶	۰	۰	
		P <sub>2</sub>		۰	۵۸۱	۲۰۰	۲۰۰	۰	
	مرکز توزیع	E <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	۱۱۶۰	۰	۱۱۶۰	۰	۰	۰
			P <sub>2</sub>		۰	۱۱۶۰	۰	۰	۰
E <sub>2</sub>		P <sub>1</sub>	۱۱۶۰	۰	۱۱۶۰	۰	۰	۰	
		P <sub>2</sub>		۰	۸۰۰	۳۶۰	۳۶۰	۰	
E <sub>3</sub>		P <sub>1</sub>	۱۱۶۰	۰	۷۰۰	۴۶۰	۴۶۰	۰	
		P <sub>2</sub>		۰	۰	۱۱۶۰	۱۱۶۰	۰	

### تحلیل حساسیت

ابتدا به تأثیر مقادیر عرضه و حجم بارگیری وسایل نقلیه در تعیین تعداد دوره‌های امدادسانی پرداخته می‌شود. سپس با تغییر ابعاد مسئله چگونگی مدت زمان اجرای مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز بررسی می‌شود. جهت ارسال کلیه کالاها امدادی به پناهگاه‌ها حداقل دوره‌های امدادی باید برابر ۲ باشد. اگر حجم قابل حمل وسایل نقلیه کمتر از ۹۶۰۰ واحد باشد، نمی‌توان کلیه کالاها امدادی را در یک دوره به پناهگاه‌ها ارسال کرد. اگر تعداد دوره‌ها کمتر از حد مجاز باشد، مدل اجرا نخواهد شد.

با توجه به اهمیت مدت زمان اجرای مدل در شرایط بحرانی و حصول نتایج در مدت زمان مناسب، تحلیل حساسیت دیگری روی تغییرات زمان اجرای مدل در اثر افزایش در تعداد مراکز نگهداری خودرو، مراکز توزیع کالا و تعداد پناهگاه‌ها انجام شد. بدین منظور تأثیر تغییر افزایش تعداد هر یک از مراکز یادشده با فرض ثابت بودن سایر عوامل بر مدت زمان اجرای مدل بررسی شد. در جدول ۸ مقادیر در نظر گرفته شده برای هر پارامتر به همراه مدت زمان اجرای مدل درج شده است.

به منظور درک بهتر از نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت، در تصویر ۴ نمودارهای تغییر مدت زمان اجرای مدل مربوط به تغییرات تعداد مراکز نگهداری خودرو، مراکز توزیع کالا و مراکز پناهگاه‌ها ترسیم شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش ابعاد مسئله مدت زمان حل مدل بیشتر می‌شود. در نهایت، زمان اجرای مدل به مقداری می‌رسد که به دلیل حیاتی بودن عامل زمان در زمان بحران، لزوم استفاده از روش‌های فراابتکاری به روشنی مشخص می‌شود.

با توجه به نتایج تحلیل حساسیت، افزایش تعداد مراکز توزیع کالا نسبت به دو عامل دیگر تأثیر بیشتری در زمان اجرای مدل دارد. مهمترین دلیل آن وابستگی تعداد محدودیت‌های مدل

رسیدن موجودی کالاها به صفر و یا برآورد تقاضاهای تأمین نشده تکرار می‌شود. حل عددی مدل در جدول ۷ آمده است. حل مدل به دلیل اتمام موجودی مراکز توزیع در دوره دوم متوقف می‌شود؛ ولی پناهگاه چهارم با کمبود ۳۲۶ واحد از کالای اول و پناهگاه‌های دوم و سوم به ترتیب با کمبود ۲۵ و ۳۰۱ واحد از کالای دوم مواجه شده‌اند.

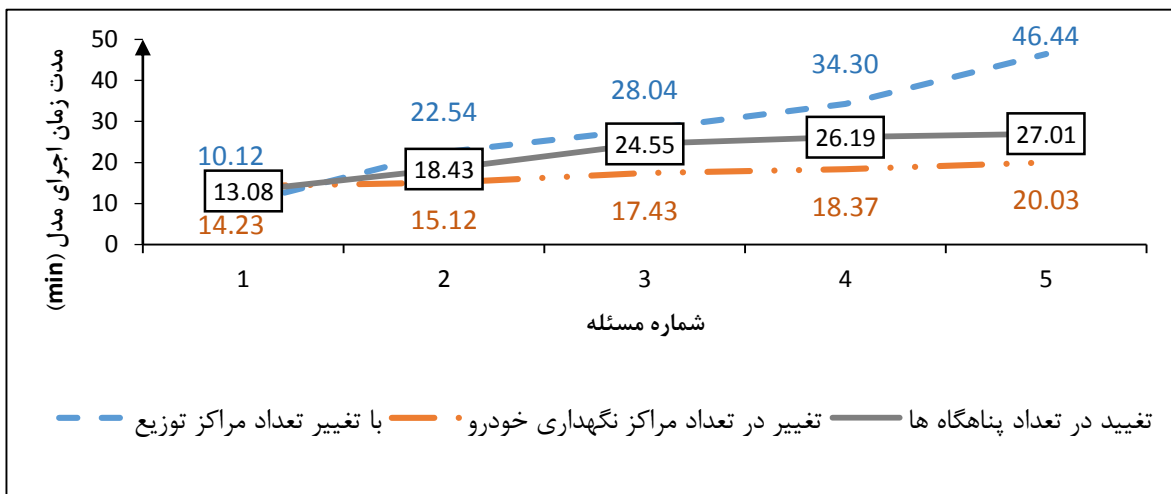
### تحلیل و تفسیر نتایج

خدمات امدادسانی در چند مرحله صورت می‌گیرد. مراحل به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که کالاها از مراکز توزیع با استفاده از وسایل نقلیه به پناهگاه‌ها منتقل شوند. همچنین متناسب با مقدار موجودی کالا در مراکز توزیع، حداکثر تقاضای کالاهای امدادی تأمین شده و در صورت مازاد بودن تقاضا مقدار کمبود به تفکیک هر پناهگاه مشخص می‌شود.

نتایج موردکاوی با بهره‌گیری از مدل پیشنهادی نشان داد که در پایان دوره اول ۳۵ درصد از تقاضای پناهگاه‌ها برآورده نشده و هر چهار پناهگاه دارای کمبود در کالاهای امدادی هستند. کالاهای مرکز توزیع اول تمام شده، ولی دو مرکز دیگر هنوز دارای کالای مازاد هستند. در پایان دوره دوم هیچ کالای موردنیازی در مراکز توزیع باقی نمانده است. از این رو شرط تأمین حداکثری تقاضای پناهگاه‌ها رعایت و بیش از ۹۱ درصد تقاضای پناهگاه‌ها تأمین شده است. میزان کمبود کالاها به ترتیب ۲۵ و ۳۰۱ واحد کالای نوع دوم برای پناهگاه‌های دوم و سوم و ۳۲۶ واحد کالای نوع اول برای پناهگاه چهارم است. یکی دیگر از مزایای استفاده از مدل پیشنهادی مدیریت زمان ارائه خدمات به آسیب‌دیدگان و مشاهده زمان پایان کار هر یک از وسایل نقلیه در مراکز توزیع و پناهگاه‌هاست.

جدول ۸: تحلیل حساسیت برای تعداد مراکز نگهداری خودرو، مراکز توزیع و پناهگاه‌ها

مسئله	تعداد مراکز نگهداری خودرو	تعداد مراکز توزیع	تعداد پناهگاه‌ها	مدت زمان اجرای مدل (دقیقه)
۱		۲۰		۱۰/۱۲
۲		۴۰		۲۲/۵۴
۳	۱	۶۰	۶۰	۲۸/۰۴
۴		۸۰		۳۴/۳۰
۵		۱۰۰		۴۶/۴۴
۱	۱			۱۴/۲۳
۲	۱۰			۱۵/۱۲
۳	۲۰	۳۰	۶۰	۱۷/۴۳
۴	۳۰			۱۸/۳۷
۵	۴۰			۲۰/۰۳
۱			۴۰	۱۳/۰۸
۲			۶۰	۱۸/۴۳
۳	۱	۳۵	۸۰	۲۴/۵۵
۴			۱۰۰	۲۶/۱۹
۵			۱۲۰	۲۷/۰۱



تصویر ۴: نمودار تغییر زمان اجرای مدل

کالاها دچار کمبود هستند. در مدل پیشنهادی و در پایان عملیات امداد رسانی تقاضای تأمین نشده هر پناهگاه مشخص می‌شود. به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، با اطلاعات شهر تهران و با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز موردکاوای انجام شده است. کلیه عملیات امدادی با هدف تأمین حداکثری تقاضا صورت گرفته است. در دوره اول امداد رسانی مقدار ۷۸۶ از کالای اول و ۱۸۴۶ واحد از کالای دوم کمبود وجود داشت که با استفاده از توانمندی مدل پیشنهادی در پایان دوره دوم به ۳۲۶ و ۴۴۶ واحد کاهش یافت. مدل بهینه‌شده پژوهش جاری نسبت به مدل پایه به دلیل دارا بودن شرط کمبود مجاز و تأمین در مراحل بعدی از کارایی بیشتری برخوردار است. از دیگر مزیت‌های مدل تحقیق جاری تعیین مقدار کالای حمل‌شده هر وسیله نقلیه از هر مرکز توزیع بارگیری به همراه نوع آن کالاست.

پیشنهادی به تعداد مراکز توزیع است. به منظور کاهش زمان اجرای مدل باید در تعیین تعداد مراکز توزیع دقت لازم صورت گیرد و در صورت نیاز به مراکز توزیع متعدد از روش‌های فراابتکاری کارآمد استفاده شود. تغییر در تعداد مراکز نگهداری خودرو نسبت به دو عامل دیگر تأثیر کمتری در افزایش زمان اجرای مدل دارد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش یک مدل عدد صحیح مختلط در حوزه زنجیره تأمین امداد معرفی شد که هدف آن تأمین حداکثری تقاضاهای امدادی است. وسایل نقلیه با توجه به ظرفیت خود کالاها را از مراکز توزیع به پناهگاه‌ها منتقل می‌کنند. در اغلب مواقع بحران، تقاضا بیشتر از عرضه است. به عنوان نمونه در پایان مرحله اول موردکاوای تحقیق جاری هر چهار پناهگاه حداقل در یکی از

۷. رضایی، محمدرضا؛ نوری، محبوبه (۱۳۹۷). تحلیل میزان آمادگی عملیاتی خانوارهای شهری در برابر زلزله. دوفصلنامه مدیریت بحران. شماره ۱۳، ۵۶-۴۳.

8. Behl, A., and Dutta, P. (2018). Humanitarian supply chain management: a thematic literature review and future directions of research. *Annals of Operations Research*, 1-44.
9. John, L. (2018). Review of Empirical Studies in Humanitarian Supply Chain Management: Methodological Considerations, Recent Trends and Future Directions. in *The Palgrave Handbook of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*: Springer, 637-673.
10. Overstreet, R. E., Hall, D., Hanna, J. B., and Kelly Rainer R. (2011). Research in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, Vol. 1, No. 2. 114-131.
11. Nadi, A., and Edrisi, A. (2005). Adaptive multi-agent relief assessment and emergency response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 24. 12-23.
12. R. C. Kent, "International humanitarian crises: two decades before and two decades beyond," *International Affairs*, vol. 80, pp. 851-869, 2004. Pettit S. J., and Beresford, A. K. (2005). Emergency relief logistics: an evaluation of military, non-military and composite response models. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 8, No. 4. 313-331.
13. N. Altay and W. G. Green III, "OR/MS research in disaster operations management," *European journal of operational research*, vol. 175, pp. 475-493, 2006.
14. M. Natarajarathinam, I. Capar, and A. Narayanan, "Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 39, pp. 535-573, 2009. Barbarosoglu, G., Özdamar, L., and Cevik, A. (2002). An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *European Journal of Operational Research*, Vol. 14 No. 1. 118-133.
15. M. Howden, "How humanitarian logistics information systems can improve humanitarian supply chains: a view from the field," in *Proceedings of the 6th international ISCRAM conference, Gothenburg, Sweden, 2009* Özdamar, L., Ekinici, E., and Küçükayzici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of operations research*, Vol. 129, No. 4-1. 217-245.
16. R. Oloruntoba and R. Gray, "Humanitarian aid: an agile supply chain?," *Supply Chain Management: an international journal*, vol. 11, pp. 115-120, 2006.
17. L. N. Van Wassenhove, "Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear," *Journal of the Operational research Society*, vol. 57, pp. 475-489, 2006.
18. E. E. Blanco and J. Goentzel, "Humanitarian supply chains: a review," *MIT Center for Transportation & Logistics, POMS*, 2006. Mete H. O., and Z. B.

در ادامه به تحلیل و تفسیر نتایج پرداخته شده است. با هدف بررسی مدت زمان اجرای مدل در ابعاد مختلف، تحلیل حساسیت روی تعداد مراکز نگهداری خودرو، مراکز توزیع کالا و تعداد پناهگاهها انجام شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، افزایش تعداد مراکز توزیع کالا نسبت به دو عامل دیگر تأثیر بیشتری در زمان اجرای مدل دارد. از این رو پیشنهاد می شود: به منظور جلوگیری از افزایش زمان اجرای مدل در تعیین تعداد مراکز توزیع دقت و توجه لازم صورت گیرد و در صورت نیاز به وجود مراکز توزیع متعدد از روش های فراابتکاری کارآمد برای حل مدل استفاده شود. در این راستا به منظور انجام پژوهش های آتی و بهبود مدل معرفی شده، پیشنهاد می شود به منظور اجرای سریع تر و دقیق تر مدل در ابعاد بزرگ یک روش فراابتکاری مناسب معرفی شود. علاوه بر این، با بهره گیری از مفاهیم عدم قطعیت می توان برای عوامل مختلفی نظیر تقاضا و مقدار عرضه آن را به یک مدل تصادفی تبدیل کرد.

## پی نوشت

- 1-World Health Organization (WHO)
- 2- Mitigation
- 3-Preparedness
- 4-Response
- 5-Recovery
- 6-Commercial Supply Chain
- 7-Humanitarian Supply Chain
- 8-Humanitarian logistics
- 9-Fritz
- 10-Mass evacuation.
- 11-Facility location and allocation
- 12-routing
- 13-Distribution Centers

## منابع

1. J. Bundy, M. D. Pfarrer, C. E. Short, and W. T. Coombs, W. T. (2017). Crises and crisis management: Integration, interpretation, and research development. *Journal of Management*, Vol. 43, No. 6. 16611692-.
2. Najafi, M., Eshghi, K., and Dullaert, W. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 49, No. 1. 217249-.
۳. کاویان پور، گلشن (۱۳۹۴). ارزیابی تاب آوری محلات شهری کلان شهر مشهد در مواجهه با سوانح طبیعی (زمین لرزه). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
۴. فرزاد بهتاش، محمدرضا؛ کی نژاد، علی؛ پیربابایی، محمدتقی؛ عسگری، علی (۱۳۹۲). ارزیابی و تحلیل ابعاد و مؤلفه های تاب آوری کلان شهر تبریز. نشریه ی هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی. دوره ی ۱۸ شماره ی ۳.
5. Balcik, B., and Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, Vol. 11, No. 2. 101-121.
6. Cyganik, K. A. (2003). Disaster preparedness in virginia hospital center-arlington after Sept 11, 2003. *Disaster Management & Response*, Vol. 1, No. 3. 80-86.

۱۶

شماره هجدهم  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۹  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مدل بهینه سازی مسیریابی و برنامه ریزی چند دوره ای برای وسایل نقلیه بعد از وقوع بحران با هدف کاهش.....

32. Özdamar, L., Ekinci, E., and Küçükyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of operations research*, Vol. 129, No. 4-1. 217-245.
33. Barbarosoğlu, G., Özdamar, L., and Cevik, A. (2002). An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *European Journal of Operational Research*, Vol. 14 No. 1. 118-133.
- Zabinsky, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, Vol. 126, No. 1. 76-84.
19. B. Balcik, B. M. Beamon, C. C. Krejci, K. M. Muramatsu, and M. Ramirez, "Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities," *International Journal of Production Economics*, vol. 126, pp. 22-34, 2010.
20. P. Tatham and G. Kovács, "The application of "swift trust" to humanitarian logistics," *International Journal of Production Economics*, vol. 126, pp. 35-45, 2010.
21. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F., and F. Mansour, F. (2018). Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International journal of disaster risk reduction*, Vol. 27. 290-306.
22. Sabouhi, F., Heydari, M., and Bozorgi-Amiri, A. (2016). Multi-objective routing and scheduling for relief distribution with split delivery in post-disaster response. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 9, No. 3. 17-27
23. E. Pourrahmani, M. R. Delavar, P. Pahlavani, and M. A. Mostafavi, "Dynamic evacuation routing plan after an earthquake," *Natural Hazards Review*, vol. 16, p. 04015006, 2015.
24. Rath, S., and Gutjahr, W.J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Computers & Operations Research*, Vol. 42. 25-39
25. S. Bretschneider, "A Multicommodity Urban Evacuation Problem," in *Mathematical Models for Evacuation Planning in Urban Areas*, ed: Springer, 2012, pp. 145-161
26. Hamedi, M., Haghani, A., and Yang, S. (2012). Reliable transportation of humanitarian supplies in disaster response: model and heuristic. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 54. 1205-1219.
27. H. Abdelgawad and B. Abdulhai, "Large-scale evacuation using subway and bus transit: approach and application in city of Toronto," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 138, pp. 1215-1232, 2011
28. Nolz, P. C., Semet, F., and Doerner, K. F. (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR spectrum*, Vol. 33, No. 3. 543-569.
29. H. O. Mete and Z. B. Zabinsky, "Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management," *International Journal of Production Economics*, vol. 126, pp. 76-84, 2010.
30. Jotshi, A., Gong, Q., and Batta, R. (2009). Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 43, No.
31. .Pettit S. J., and Beresford, A. K. (2005). Emergency relief logistics: an evaluation of military, non-military and composite response models. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 8,