

برنامه ریزی لجستیک بشردوستانه یک زنجیره تامین خدمت مربوط به بیمارستان های سیار در شرایط بحران با اولویت بندی مناطق

امین فرح بخش: دانشجوی دکترا، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
پروانه سمونی*: استادیار، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، p.samouei@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۶

چکیده

یکی از مسائل بسیار مهم روز، حوادث و رخدادهای طبیعی و آثار شدید و مخرب جانی و مالی مربوط به آن‌ها است. با توجه به این که در شرایط بحرانی زمان مورد نیاز برای خدمت‌رسانی و ارسال کالاهای امدادی بسیار محدود است؛ بنابراین با توجه به محدودیت‌های موجود، ضرورت نیاز به تعریف شرایطی ویژه برای امداد رسانی با هدف کاهش تلفات به وضوح روشن است. این تحقیق در حوزه یک زنجیره تامین خدمت، یک سیستم خدمات پزشکی حیاتی سیار مبتنی بر تعریف بیمارستان‌های سیاری که وظیفه خدمت‌رسانی به بیماران دارای اولویت‌های پزشکی در مناطق آسیب‌دیده را دارند تعریف می‌کند. دو هدف حداقل کردن هزینه‌های امداد رسانی و زمان خدمت‌رسانی که به ترتیب مبتنی بر معیارهای اقتصادی و اجتماعی هستند برای تعیین مکان‌های توزیع، مسیر بهینه ارسال بیمارستان‌ها و همچنین میزان ظرفیت خدمت‌رسانی بیمارستان‌ها در زمان رخداد حادثه در نظر گرفته شده است. مدل مسئله مورد نظر با استفاده از روش ϵ -constraint با در نظر گرفتن تابع هدف مربوط به زمان خدمت‌رسانی به عنوان هدف اصلی حل شده است و جبهه پارتو مربوط به حل مدل ارائه شده است.

کلمات کلیدی: برنامه ریزی چندهدفه، شرایط بحران، بیمارستان سیار، زنجیره تامین خدمت

Humanitarian Logistics Planning of a Service Supply Chain for Mobile Hospitals in Crisis Condition with Prioritizing Areas

Amin Farahbakhsh¹, Parvaneh Samouei^{*2}

Abstract

One of the most significant issues nowadays is natural disasters and their severe and devastating vital and financial effects. As in crisis situations the time required to service and deliver relief goods is extremely limited, therefore, with regard to existing restrictions, the need to define special conditions for relief with a view to alleviate casualties is clearly evident. This research in the scope of a service supply chain, defines a vital mobile medical service system based on the definition of mobile hospitals that serve patients with medical priorities in the affected areas. The two objectives of minimizing relief cost and service time, which are based on economic and social criteria, respectively, are intended to define the distribution locations, the optimal route of hospital delivery, and also the capacity of hospitals to serve in case of casualty. The problem model is solved using the ϵ -constraint method by considering the objective function of the service time as the main objective; and the Pareto frontier of the model solution is presented.

Keywords: Multi-Objective Programming, Crisis Situation, Mobile Hospital, Service Supply Chain

1 - PhD candidate, department of industrial engineering, faculty of engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2 - Assistant professor, department of industrial engineering, faculty of engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

مقدمه

پیامدهای بسیار مخرب مربوط به حوادث طبیعی مانند تلفات جانی، تخریب زیرساخت‌ها و تخریب منابع طبیعی و حیاتی در جوامع نه تنها به هیچ عنوان قابل چشم پوشی نیستند بلکه نیازمند توجه بسیار بالایی مدیران و محققان هستند. از جمله این بلاها می‌توان به مواردی مانند سیل، زمین لرزه و طوفان؛ که انسان در رخداد آن‌ها دخل و تصرفی ندارد و وقوع آن‌ها به سختی قابل پیش‌بینی است اشاره کرد. پس از وقوع یک حادثه، توزیع موثر و صحیح منابع، انتقال آسیب‌دیدگان به مراکز درمانی و ارسال نیروهای امدادرسانی به مناطق آسیب دیده از اهم اولویت‌های مربوطه هستند. در این شرایط وجود کمک‌های بشردوستانه بسیار موثر است [۱].

مدیریت بحران یک فرآیند پویا، پایدار و یکپارچه برای بهبود اثربخشی و کارایی فعالیت‌های مربوط به پیشگیری، کاهش، آمادگی، هشدار اولیه، واکنش اضطراری، توانبخشی و بازسازی فاجعه است. در شرایط اضطراری، حمل و نقل کمک‌های بشردوستانه باید به درستی مدیریت شود تا کالاها به موقع و مطابق با نوع و تعداد مورد نیاز به منطقه برسد [۲]. در صورت وقوع یک فاجعه طبیعی و انسانی، تقاضای زیادی برای مواد دارویی بوجود آمده و تعداد زیادی از افراد مجروح در مناطق آسیب دیده در یک دوره کوتاه مدت ظاهر خواهند شد. توزیع سریع مواد درمانی و سرعت انتقال مجروحان به بیمارستان نقش مهمی را در تعیین کارایی خدمات اورژانسی ایفا می‌کند. در شرایط بحرانی توزیع موثر کالاهای امدادی و نحوه کار تامین کنندگان نقش اساسی در بهبود شرایط بحرانی و خدمت رسانی به مجروحان ایفا می‌کند.

زنجیره تامین خدمت یک شکل دیگری از زنجیره تامین است که بر خلاف عموم زنجیره‌های تامین که رسالت تامین، تولید و تحویل یک یا چند کالا را بر عهده دارند؛ این زنجیره به دنبال تامین، ایجاد و انجام یک یا چند خدمت در راستای موضوع مورد نظر زنجیره است. تنها نگرش مربوط به معیارهای اجتماعی در زنجیره‌های تامین کالا ایجاد یک خدمت‌رسانی مطلوب در خلال انجام ماموریت اصلی زنجیره یعنی تامین، تولید و توزیع کالا است. اما در زنجیره تامین خدمت ماموریت اصلی ایجاد و انجام یک خدمت به مشتری است. از جمله این نوع از زنجیره‌ها می‌توان به انجام خدمات پزشکی، پرستاری، امنیتی، وکالت و نظافتی اشاره کرد که در برخی از آن‌ها زنجیره تامین در خلال خدمت مورد نظر نیاز به ارائه کالا نیز دارد مانند دارو و وسایل پزشکی؛ که می‌توان آن‌ها را زنجیره تامین کالا و خدمت در نظر گرفت.

در شرایط بحران مقابله با این مشکلات پیچیده نیاز به هماهنگی وسیع و دقیق وسایل نقلیه مختلف با ظرفیت‌های مختلف برای حمل کالاها، قربانیان و نیروهای داوطلب از طریق شبکه جاده‌ای محسوس است. با توجه به مطالب فوق در هنگام بروز یک حادثه یک سیستم توزیع کارآمد کالا اگر چه ضروری است اما نمی‌تواند به تنهایی ابعاد مختلف آثار مخرب ناشی از این حوادث را پوشش داده و باید یک سیستم خدمت‌رسانی کارا نیز وجود داشته باشد. این تحقیق با توجه به این مسئله و با تمرکز بر

بیماران با اولویت بالا از نظر پزشکی که نه امکان جابجایی بیمار در شرایط عادی وجود دارد و نه زمان چنین اجازه‌ای را می‌دهد به تعریف یک زنجیره تامین خدمت و کالا به عنوان بیمارستان سیار را مطرح می‌کند. از موارد دیگری که برنامه‌ریزی را برای این حوادث مشکل می‌کند طبیعت اتفاقی و غیر قابل پیش‌بینی این بلاهای طبیعی مانند زلزله، سیل و... است. درجه اهمیت این مسائل، تنوع عوامل موثر بر آن‌ها و همچنین پیچیدگی بالای این مسائل باعث توجه بسیار زیاد محققین به این حوزه شده است.

مرور تحقیقات پیشین

زمینه‌های علمی در صورتی برای جوامع انسانی مفید هستند که بتوانند برای مشکلات واقعی و عملی راهکارهای موثری ایجاد کنند. مسیریابی وسایل نقلیه یکی از مسائل وسیع و کاربردی است که در بسیاری از موارد به صورت توأم با مسائلی دیگر مانند برنامه‌ریزی مکان، موجودی و حتی تولید مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله کاربردهای عملی که از این مسئله برای بهبود شرایط استفاده کرده‌اند می‌توان به حمل و نقل سوخت و مواد خطرناک [۳]، برنامه‌ریزی مربوط به بازیافت زباله [۴] و برنامه‌ریزی مربوط به انتقالات کالاها و خدمات امدادی در شرایط بحران اشاره کرد. بررسی تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که برخی از محققین به دنبال بهبود روش‌های حل از نظر کمی و کیفی بوده و برخی دیگر به دنبال نزدیک کردن شرایط مسئله به شرایط واقعی هستند. در این بین تحقیقات زیادی وجود دارد که هر دو این موارد را مد نظر قرار داده است.

با توجه به بررسی تحقیقات در این زمینه می‌توان کارهای انجام شده را از لحاظ زمان رویداد به دو بخش پیش از رخداد حادثه و بعد از آن تقسیم کرد. شورانی و ویزوری در سال ۲۰۱۸ با تمرکز بر بحران‌های بوجود آمده در زمان بعد از وقوع حادثه با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل مدلی برای مسیریابی انتقال بیماران بدحال از دپوهای مورد نظر به بیمارستان‌ها توسط وسایل حمل و نقل غیر ثابت در زمانی قبل از زمان نهایی تعیین شده پرداختند [۵]. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دو مرحله‌ای مربوط به زمان بعد از وقوع حادثه که مسیریابی تیم پزشکی را برای مناطق آسیب دیده توسط الگوریتم ژنتیک حل می‌کند نیز توسط ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ ارائه شده است [۶].

هدف اصلی از ارائه مسائل و حل آن‌ها استفاده از جواب‌ها در دنیای واقعی است که برای نزدیک شدن به این موضوع باید شرایط واقعی موجود در مدل‌های پایه‌ای مطرح شوند. به همین منظور بسیاری از محققان سعی بر نزدیک کردن شرایط مدل به شرایط واقعی دارند. تحقیقی که توسط مقفیرو و هانوکا در سال ۲۰۱۸ صورت گرفت سعی در نزدیک کردن شرایط مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شرایط رخ داد فاجعه با در نظر گرفتن مواردی چون وجود وسایل نقلیه ناهمگن و با ظرفیت محدود، امکان سفرهای متعدد، وجود مکان‌هایی با قابلیت دسترسی‌های مختلف و بررسی تقاضاها بصورت غیرقطعی دارد [۷]. با توجه به محدودیت منابع در دسترس در زمان وقوع حادثه و توجه به

اولویت بیماران در دریافت دارو، محمدی و یعقوبی در سال ۲۰۱۸ برای نزدیک کردن مدل به دنیای واقعی یک سیستم تریاز و یک احتمال شکست مربوط به تسهیلات و مسیرها را در شرایط بحرانی وقوع حادثه در نظر گرفتند [۸]. استفاده از برنامه‌ریزی استوار یکی از جدیدترین روش‌های رویارویی با شرایط عدم قطعیت در مدل است که وجود پارامترهای دارای عدم قطعیت باعث نزدیکی بسیار زیادی به شرایط دنیای واقعی شده و وحدانی و همکاران برای توسعه این موضوع یک مدل چند دوره‌ای، چندهدفه و چندکالایی عدد صحیح مختلط با پارامترهای غیرقطعی در سال ۲۰۱۸ ارائه داده‌اند [۹]. همچنین بن تال و همکاران در سال ۲۰۱۱ با استفاده از بهینه‌سازی استوار سعی در کاهش ریسک عدم قطعیت در تقاضا با در نظر گرفتن ترافیک راه‌ها کرده‌اند [۱۰]. یک مدل مکانیابی و مسیریابی در زنجیره تامین بشر دوستانه با توجه به وجود چند دیو برای خدمت رسانی با در نظر گرفتن درصد شکست شبکه و همچنین استفاده از وسایل نقلیه با چند کاربری با هدف خدمت رسانی به مسدومان بعد از زلزله در یک زمان استاندارد بعد از رخداد توسط احمدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ ارائه گردیده است [۱۱]. در سال ۲۰۱۷ تحقیقی با هدف بررسی یک حمل و نقل دو گانه برای مواقع اضطراری شامل ارسال کالاهای پزشکی و تیم پزشکی به مناطق آسیب دیده و ارسال بیماران به مراکز درمانی مورد نظر توسط التیب و مورای انجام شده و مدل مورد نظر از دو روش قطعی برای ابعاد کوچک مسئله و یک روش فراابتکاری برای ابعاد بزرگ آن حل کردند [۲].

مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار با ظرفیت تجمعی با زمان‌های وابسته به تقاضا^۲ یک مسئله نوین در لجستیک بشردوستانه است در شرایطی که تقاضا به صورت غیر قطعی بوده و هدف حداقل کردن مجموع زمان‌های رسیدن به نقاط بحرانی در شرایط اضطراری باشد [۱۲]. بزرگی امیری و خرسی در سال ۲۰۱۶ در تحقیقی با محوریت برنامه‌ریزی تخصیص تامین کننده، وسایل نقلیه و مشتری به تسهیلات مربوط به مدیریت بحران در شرایط اضطراری و همچنین طراحی شبکه مسیره‌های مربوطه و با استفاده از برنامه‌ریزی پویای احتمالی در دو مقطع زمانی پیش و پس از وقوع رخداد بررسی کرده‌اند [۱۳]. هزینه‌های مربوط به تدارکات تقریباً ۶۵ درصد هزینه‌های یک سیستم توزیع را در شرایط بحران تشکیل می‌دهد که فالاسکا و زبل در سال ۲۰۱۱ برای اولین بار با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به تدارکات یک زنجیره تامین در شرایط بحران به صورت کمی با ارائه یک مدل دو مرحله‌ای تصادفی به این مسئله پرداختند [۱۴].

تحقیقات در این زمینه منحصر به مسیریابی وسایل نقلیه نبوده و بسیاری از موارد به دنبال پیدا کردن مکان بهینه برای تسهیلات مورد نیاز از جمله مراکز توزیع، انبارها، تامین کنندگان و... نیز هستند. همچنین طراحی لجستیک بشردوستانه که به در نظر گرفتن توام مدیریت مکان، مسیر و موجودی می‌پردازد نیز از جمله مسائل موجود در این زمینه است که تحقیقات زیادی را به خود معطوف ساخته است. وحدانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در فاز اول مکانیابی انبارها و مراکز توزیع با ظرفیت متفاوت و همچنین

میزان کالاهای ذخیره‌ای معین کرده و در فاز دوم به مسیریابی ارسال کالا به مناطق آسیب دیده با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی سخت و قابلیت اطمینان راه‌ها پرداختند [۹]. تحقیق ذکر شده بصورت جداگانه و در دو مرحله به حل مکان‌یابی و مسیریابی پرداخته است. بررسی راه‌های دیگر برای انتقال اقلام دارویی در شرایط بحران به غیر از حمل و نقل زمینی نیز در نظر گرفته شده است من جمله در سال ۲۰۱۸ مدلی توسط ماسیاس و همکاران در رابطه با در نظر گرفتن هواپیماهای بدون سرنشین برای انتقالات در طول مدت زمان بحران برای خدمت رسانی بهتر ارائه گردید که رویکرد خوبی را دنبال می‌کرد و با استفاده از یک الگوریتم تقریبی به نتایج خوبی برای این مدل رسیدند [۱۵].

از آنجایی که مسائل مسیریابی در یک زنجیره تامین جزء مسائل سخت بوده [۱۶] و زمان حل زیادی را برای بدست آوردن جواب بهینه به صورت دقیق صرف می‌کند و این امر با شرایط اضطراری بحران که نیازمند تصمیم‌گیری سریع است تطابق ندارد از این رو محققین بسیاری در حوزه تحقیقاتی خود در جستجوی روش‌های فراابتکاری برای رسیدن به جوابی با کیفیت بالا و در زمانی معقول هستند. در همین رابطه توانا و همکاران در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی تواما به مباحث مدیریت موجودی کالاهای امدادی و مکانیابی انبارهای مرکزی در فاز قبل از وقوع حادثه و بررسی مسیریابی وسایل نقلیه در فاز بعد از رخداد حادثه پرداختند و مدل مورد نظر را با استفاده از دو روش فراابتکاری NSGA-II و RPBNSGA-II حل کرده و به مقایسه نتایج پرداختند [۱۷]. از این دست می‌توان به مولینا و همکاران اشاره کرد که در سال ۲۰۱۸ یک الگوریتم فراابتکاری multi-start با انتخاب همسایگی هوشمند برای مدل چند هدفه مسیر یابی وسایل نقلیه برای ارسال اقلام پزشکی به مناطق آسیب دیده با کمترین هزینه ممکن و حداکثر زمان تاخیر ارائه دادند [۱۸]. ارائه الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی محله‌ای متغیر (VNS) در سال ۲۰۱۸ توسط هندیانی و همکاران اثر قابل توجهی در جواب مربوط به بهبود سیستم تدارکات در زمان بروز فاجعه و واکنش اضطراری برای حداقل کردن زمان پاسخگویی و زمان حمل و نقل ایجاد کرد [۱۹].

با توجه به مرور انجام شده در ادبیات موضوع این تحقیق با در نظر گرفتن یک زنجیره تامین خدمت و کالا در شرایط بحران سعی در پوشش شکاف تحقیقاتی موجود در ادبیات موضوع دارد. در تحقیقات موجود در زمینه زنجیره تامین اکثریت تحقیقات به بحث‌های مربوط به تامین و توزیع کالا با در نظر گرفتن معیارهای خدماتی مربوط به شرایط تحویل به مصرف کنندگان پرداخته‌اند. اما این تحقیق سعی دارد خدمات پزشکی را به عنوان محور اصلی زنجیره در نظر گیرد. یعنی کالای زنجیره همان خدمت است. این نوع نگاه به زنجیره‌های تامین می‌تواند شرایط جالب و مفیدی را برای محققین ایجاد کند. همچنین از آنجا که معمولاً انجام خدمات از جمله خدمات پزشکی نیاز به کالاهای مورد نیاز مصرفی و غیر مصرفی دارد لذا زنجیره تامین سعی در تامین و توزیع کالاهای مربوطه نیز دارد که می‌توان آن را به شکل یک زنجیره تامین کالا و خدمت نگاه کرد. این نگرش با در نظر گرفتن بیمارستان‌های

سیار به عنوان اولین بار در حین رخداد یک بحران و تخصیص منابع مربوط به هر یک دست‌یافتنی است. دیگر نوآوری این پژوهش مربوط به اولویت بندی مناطق آسیب‌دیده است که در تحقیقات بررسی شده دیده نشده است. ضمناً لحاظ کردن این که هر بیمارستان سیار نیاز به مدت زمانی برای معالجه بیماران در منطقه مورد نظر دارد و بعد از آن امکان رفتن به نقطه بعدی برایش محیا می‌گردد، آن را تبدیل به مسئله‌ای با وجود پنجره‌های زمانی درمان تبدیل می‌کند.

بیان مسئله

مسئله‌ای را که این تحقیق مطرح می‌کند به این صورت است که مجموعه‌ای از نقاط حادثه دیده وجود دارد که خدمت‌رسانی به آن‌ها در زمان معقول و کاهش تلفات مربوطه هدف مسئله است. تعدادی نقطه به عنوان مراکز توزیع و راه‌اندازی بیمارستان‌های سیار در نظر گرفته شده است که با توجه به موقعیت و ظرفیت نقاط حادثه دیده تصمیم‌گیری می‌شود که کدام یک از این نقاط فعال گردد. خدمت‌رسانی مورد نظر مربوط به بیماری‌های با اولویت پزشکی بالا از جمله بیماری‌های قلبی، آسیب‌های سر و مغزی و جراحات‌های شدید است.

بیمارستان‌های سیار در نظر گرفته شده دارای ابزار و وسایل پزشکی، داروهای مورد نیاز و متخصصین مربوط به بیماری‌های ذکر شده هستند. وجود این نوع از صدمات قابلیت انتقال بیمار را به بیمارستان‌ها بسیار سخت کرده و انتقال آن‌ها به بیمارستان در زمان معقول در شرایط بحران تقریباً نشدنی است. لذا نیاز است که متخصصین مربوطه و امکانات پزشکی مورد نظر در حد نیاز به خدمت‌رسانی به این بیماران بپردازند تا تلفات جانی مربوطه کاهش یابند. بیمارستان‌های سیار با توجه به ظرفیت خدمت‌رسانی، قیمت ثابت استفاده از آن‌ها و همچنین سرعت حرکت آن‌ها به سه دسته کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم می‌شوند. بیمارستان‌های کوچک دارای هزینه ثابت کمتر و همچنین سرعتی بیشتر در خدمت‌رسانی به نقاط آسیب‌دیده هستند اما ظرفیت آن‌ها نیز کمتر بوده و لذا تعداد نقاط تحت پوشش آن‌ها کمتر و هزینه متغیر مربوط به نقل و انتقال آن‌ها بیشتر است. در مقابل بیمارستان‌های بزرگ دارای ظرفیتی بیشتر و در مقابل توانایی پوشش نقاط بیشتر برای خدمت‌رسانی و همچنین هزینه متغیر نقل و انتقال کمتری دارند اما این در حالی است که این بیمارستان‌ها دارای هزینه ثابت بکارگیری بالا و همچنین سرعت پایین‌تری در حرکت هستند که همین تقابل نیاز به برنامه‌ریزی درست را برای خدمت‌رسانی افزایش می‌دهد.

مدل مسئله

این تحقیق در راستای خدمت‌رسانی و امداد رسانی مربوط به رخداد حوادث غیر منتظره است. با توجه به محدودیت‌های مربوط به زمان خدمت‌رسانی مدل مربوطه به صورت یک مدل دو هدفه عدد صحیح مختلط خطی^۳ بیان شده است. در مدل مورد نظر به صورت همزمان باید برنامه مسیر بهینه حرکت

بیمارستان‌های سیار، سطح خدمت بهینه مورد نظر با توجه به ظرفیت بیمارستان‌های سیار موجود برای پوشش تقاضای نقاط آسیب‌دیده و مکان‌های مربوط به راه‌اندازی مراکز توزیع صورت گیرد. از آنجا که در شرایط بحرانی محث زمان خدمت‌رسانی و امداد اهمیت بسیار بالاتری نسبت به هزینه‌های مربوط به حمل و نقل و راه‌اندازی مراکز توزیع و بیمارستان‌های سیار دارند لذا هدف مربوط به حداقل کردن مجموع زمان خدمت‌رسانی در اولویت قرار می‌گیرد.

مفروضات مدل

- عمده مفروضاتی که در مراحل مدل‌سازی و تحلیل و ارزیابی در نظر گرفته خواهند شد عبارتند از:
- زمان امداد رسانی مورد نظر در هر منطقه از زمان حمل و نقل مربوط به مسیرهای مربوطه جدا است.
 - همه نقاط باید تقاضایشان به صورت کامل و در اسرع وقت برطرف شود.
 - همه بیمارستان‌های سیار هر سه نوع متخصص را دارا باشند.
 - همه مراکز توزیع هر سه نوع بیمارستان سیار را دارا باشند.
 - مسئله به صورت یک مرحله‌ای حل شود.
 - موقعیت مراکز توزیع و نقاط آسیب‌دیده ثابت و معین است.
 - راه‌اندازی مراکز توزیع و بیمارستان‌های سیار باعث تحمیل هزینه ثابت به سیستم می‌شود.
 - تقاضای نقاط آسیب‌دیده معلوم و ثابت است و هر نقطه بایستی فقط یک بار و توسط یک بیمارستان ویزیت گردد.
 - هر بیمارستان فقط یک مرتبه می‌تواند راه‌اندازی گردد.
 - مسیرهای ایجاد شده از نوع مسیر بسته باشند.
 - برای هر نوع از بیمارستان‌های سیار یک سرعت متوسط در نظر گرفته شده است.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

مجموعه‌ها و اندیس‌های مورد استفاده در مدل به شرح جدول (۱) است.

پارامترهای مدل

پارامترهای موجود در مدل و تعریف آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است.

متغیرهای مدل

جدول (۳) نشان دهنده متغیرهای مدل و تعریف هر یک از آن‌هاست.

مدل ریاضی مسئله

مدل نهایی در قالب دو تابع هدف و ۱۶ محدودیت و توضیحات مربوط به آن در ادامه ارائه می‌شود.

$$MIN Z_1 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} d_{ij} X_{ijk}^{ls} \quad (1)$$

جدول ۱: مجموعه‌ها و اندیس‌های مدل

متغیر	تعریف
N	مجموعه کل گره‌های شبکه $N = N_p \cup N_s$
N_p	مجموعه گره‌های مبدا (مراکز توزیع) که در مکانیابی تصمیم‌گیری می‌شوند
N_s	مجموعه گره‌های مقصد (مناطق حادثه دیده)
G	مجموعه نوع بیمارستان‌های سیار (کوچک، متوسط، بزرگ)
$j \& i$	اندیس‌های شمارنده هر یک از گره‌های شبکه اعم از مبدا و مقصد
K	اندیس شمارنده مراکز توزیع
L	اندیس شمارنده نوع بیمارستان سیار مربوط به هر مرکز توزیع
S	اندیس شمارنده بیمارستان‌های سیار مربوط به هر نوع

جدول ۲: پارامترها (مقادیر ورودی) مدل

پارامتر	تعریف
F_c	هزینه ثابت راه‌اندازی هر مرکز توزیع
$C_v(l)$	مقدار ظرفیت بیمارستان سیار نوع l
$m(l)$	تعداد بیمارستان سیار موجود از نوع l مربوط به هر مرکز توزیع
$V_c(l)$	هزینه ثابت راه‌اندازی هر بیمارستان سیار از نوع l
$E(j)$	اولویت خدمت رسانی منطقه j
$V(l)$	سرعت متوسط هر بیمارستان سیار از نوع l
$w(j)$	زمان سرویس‌دهی مورد نیاز به بیماران در منطقه j
d_{ij}	هزینه حمل و نقل از گره i تا گره j
$r(j)$	تقاضای خدمات درمانی منطقه j

جدول ۳: متغیرهای مدل

متغیر	تعریف
Z_1	تابع هدف اول
Z_2	تابع هدف دوم
y_k	اگر مکان k برای استقرار مرکز توزیع انتخاب شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر
T_{ijk}^{ls}	زمان رسیدن s امین بیمارستان سیار از نوع l مربوط به مرکز k به منطقه j که از گره i حرکت کند
X_{ijk}^{ls}	اگر مسیر از گره i به گره j به وسیله s امین بیمارستان سیار از نوع l مربوط به مرکز k تخصیص داده شود مقدار یک، در غیر این صورت مقدار صفر
Q_{ijk}^{ls}	میزان ظرفیت تخصیص داده شده s امین بیمارستان سیار از نوع l مربوط به مرکز k در مسیر از گره i به گره j

۵۱

شماره نوزدهم

بهار و تابستان
۱۴۰۰

دوفصلنامه
پژوهشی



$$X_{ijk}^{ls} \in \{0,1\} \quad (15)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (16)$$

$$Q_{ijk}^{ls} \geq 0 \quad (17)$$

$$T_{ijk}^{ls} \geq 0 \quad (18)$$

تابع هدف اول در رابطه (۱) مجموع هزینه‌های حمل و نقل و هزینه‌های ثابت مربوط به راه‌اندازی مراکز توزیع و بیمارستان‌های سیار را حداقل می‌کند. تابع هدف دوم در رابطه (۲) مجموع زمان خدمت‌رسانی به مصدومان را با توجه به اولویت‌بندی مناطق حداقل می‌کند. رابطه (۳) تضمین می‌کند که تعداد بیمارستانی که به هر مرکز توزیع تخصیص داده می‌شود نباید بیشتر از تعداد بیمارستان موجود از آن نوع باشد. رابطه (۴) نشان می‌دهد که تعداد مسیر وارد شده به هر منطقه، حتماً باید یکی باشد. رابطه (۵) نشان می‌دهد که تعداد مسیر خارج شده از هر منطقه، حتماً باید یکی باشد. رابطه (۶) تضمین می‌کند که تمام تقاضای هر منطقه باید توسط بیمارستانی که به آن منطقه تخصیص داده می‌شود پوشش داده شود. همچنین این رابطه از تشکیل حلقه جلوگیری می‌کند. رابطه (۷) نشان می‌دهد که مجموع تقاضای مورد نیاز هر منطقه در هر مسیر نباید بیشتر از ظرفیت خدمت‌رسانی بیمارستان مربوطه باشد. رابطه (۸) تضمین می‌کند که هر بیمارستان حداکثر یک بار می‌تواند تخصیص داده شود. رابطه (۹) مانع از ایجاد مسیر بین یک گره با خودش می‌شود. رابطه (۱۰) تضمین می‌کند که شروع حرکت بیمارستان از هر گره‌ای بوده بطوریکه اول آن گره حتماً مرکز توزیع باشد و ثانیاً بیمارستان سیار حتماً مربوط به همان گره باشد. رابطه (۱۱) زمان رسیدن به هر منطقه را که مجموع زمان حرکت بیمارستان بین دو گره و زمان انجام خدمات در نقطه قبل است را مشخص می‌کند. رابطه (۱۲) نشان می‌دهد که فقط بیمارستان از مرکزی می‌تواند حرکت کند که آن مرکز توزیع راه‌اندازی شده باشد. رابطه (۱۳) مشخص می‌کند که بیمارستان سیار باید به اندازه مجموع تقاضای نقاطی که پوشش می‌دهد بارگذاری شود. رابطه (۱۴) تضمین می‌کند که تعداد بیمارستان‌های سیار وارد شونده و خارج شونده مربوط به هر گره باید برابر باشند و روابط (۱۵)، (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) نشان دهنده نوع متغیرهای مسأله است.

روش حل

مدل ارائه شده در این تحقیق به صورت دو هدفه بوده و برای حل آن از روش اسپیلون محدودیت استفاده شده است. با حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه به کمک این روش یک مجموعه پاسخ نامغلوب که اصطلاحاً منجر به تشکیل مرز یا جبهه پارتو می‌شود حاصل می‌گردد. از مزایای مهم این روش سادگی مراحل حل و قدرت بالای این روش در دستیابی به جبهه پارتو است. روش

$$+ \sum_{i \in N_p} \sum_{j \in N} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} Vc(l) X_{ijk}^{ls} + \sum_{k \in N_p} Fc.y_k \quad (2)$$

$$MIN Z_2 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_s} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} E_j T_{ijk}^{ls} \quad (3)$$

$$\sum_{s \leq m(l)} \sum_{j \in N} X_{ijk}^{ls} \leq m(l) \quad \forall k \in N_p, l \in G, i \in N_p \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} X_{ijk}^{ls} = 1 \quad \forall j \in N_s \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} X_{ijk}^{ls} = 1 \quad \forall j \in N_s \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} Q_{ijk}^{ls} - \sum_{i \in N} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} Q_{jik}^{ls} = r_j \quad \forall j \in N_s \quad (7)$$

$$Q_{ijk}^{ls} \leq CV(l) X_{ijk}^{ls} \quad \forall i \in N, \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N_s} X_{ijk}^{ls} \leq 1 \quad \forall i \in N, k \in N_p, \quad (9)$$

$$l \in G, s \leq m(l) \\ j \in N, i \neq j, k \in N_p, l \in G, s \leq m(l) \\ \sum_{i \in N} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} X_{iik}^{ls} = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N_p} \sum_{j \in N} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} X_{ijk}^{ls} = 0 \quad (11)$$

$$T_{ijk}^{ls} = \frac{d_{ij} X_{ijk}^{ls}}{V(l)} + w(j) X_{ijk}^{ls} \quad \forall i \in N, \quad (12)$$

$$j \in N, i \neq j, k \in N_p, l \in G, s \leq m(l) \quad (13)$$

$$X_{ijk}^{ls} \leq y_k \quad \forall i \in N, j \in N, i \neq j \quad (14)$$

$$k \in N_p, l \in G, s \leq m(l) \quad (15)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{i \neq j} \sum_{k \in N_p} \sum_{l \in G} \sum_{s \leq m(l)} Q_{ijk}^{ls} = 0 \quad \forall j \in N_s \quad (16)$$

$$\sum_{i \in N, i \neq j} X_{ijk}^{ls} = \sum_{i \in N, i \neq j} X_{jik}^{ls} \quad (17)$$

$$j \in N, s \leq m(l)$$



اپسیلون، با این رویکرد که محدود به حل مسائل چندهدفه است، تمامی اهداف به جز یکی از آن‌ها را در هر مرحله به محدودیت‌ها انتقال داده و سپس به حل مسئله به صورت تک هدفه می‌پردازد. در این روش سعی می‌شود که پیچیدگی فضای اهداف کاهش و پیچیدگی فضای قیود افزایش یابد. پس از تعیین و تعریف کلیه ورودی‌ها و پارامترهای مدل مطابق با آنچه که بیان شد، مساله در نرم‌افزار گمز نسخه ۲۵،۱،۲ کدنویسی شده است.

برای بررسی نتایج مدل ارائه شده در این تحقیق از مثال‌های استاندارد کتابخانه‌ای CVRPLIB⁴ استفاده شده است.^۵ البته در نمونه مورد نظر تغییراتی ایجاد شده است تا مطابق با مسئله مربوط به این تحقیق باشد. یعنی پارامترهای مربوط به موقعیت نقاط حادثه دیده و مراکز توزیع و همچنین ظرفیت مربوط به مراکز توزیع و بیمارستان‌های سیار و تقاضای مربوط به نقاط برگرفته از نمونه‌های کتابخانه‌ای است و سایر پارامترها مانند متوسط سرعت و تعداد بیمارستان‌ها و همچنین مدت زمان خدمت‌رسانی به نمونه‌ها اضافه شده است. جدول (۴) نتایج مربوط به نمونه‌های حل شده با در نظر گرفتن هریک از اهداف را به طور جداگانه را نشان می‌دهد.

از نمونه‌های فوق نمونه دوم که دارای زمان حل معقولی است برای حل با روش اپسیلون محدودیت و بدست آوردن جبهه پارتو مربوطه انتخاب شد. از آنجا که مدل مساله به صورت دوهدفه است، با روش اپسیلون محدودیت مدل ارائه شده به یک مساله یک هدفه تبدیل شده و حل گردید. در این روش ابتدا هریک از دو تابع هدف موجود برای مثال مورد نظر به صورت مجزا بهینه شدند

و سپس با اعمال یک محدودیت کراندار بر روی یکی از توابع هدف (در این تحقیق تابع هدف هزینه) جبهه پارتو حاصل شد. ابتدا به منظور تعیین مقدار بهینه تابع هدف هزینه؛ مساله به صورت تک هدفه و با هدف کاهش هزینه کل حل شده و سپس با جایگذاری مقادیر متغیرها در تابع هدف دوم، مجموع زمان خدمت‌رسانی در حالت کمترین هزینه کل بدست آمد. سپس برای مشخص کردن مقدار بهینه تابع هدف مجموع زمان خدمت‌رسانی؛ مساله به صورت تک هدفه و با هدف کاهش مجموع زمان خدمت‌رسانی حل گردید و با جایگذاری مقادیر متغیرها در تابع هدف اول، هزینه کل در حالت کمترین مجموع زمان خدمت‌رسانی بدست آمد. نتایج حاصل در جدول (۵) ارائه شده است.

پس از حل مسئله به ازای هر یک از توابع هدف و تعیین مقدار بهینه هر یک از اهداف در بخش قبل می‌توان با استفاده از رویه اپسیلون محدودیت جبهه پارتو را مشخص کرد. در ادامه یکی از اهداف باید به عنوان هدف اصلی تعیین شود. با توجه به ماهیت مسئله که در شرایط بحرانی اتفاق می‌افتد و اهمیت بالای زمان امداد رسانی در این شرایط، لذا در این مدل هدف حداقل کردن مجموع زمان خدمت‌رسانی به عنوان هدف اصلی انتخاب شده است. هدف دیگر را که حداقل کردن هزینه‌ها است به عنوان یک محدودیت کراندار مطابق با رابطه (۱۹) به مدل می‌افزاییم.

$$(19) \quad Z_1 \leq \varepsilon$$

مقدار اپسیلون در رابطه (۱۹) مستلزم تعیین طول گام تغییرات

جدول ۴: نتایج مربوط به نمونه‌های حل شده با در نظر گرفتن هریک از اهداف به طور جداگانه

تعداد نقاط آسیب‌دیده	تعداد مراکز توزیع	بهینگی با تابع هدف دوم (زمان خدمت‌رسانی)		بهینگی با تابع هدف اول (هزینه)	
		مقدار تابع هدف اول	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول	مقدار تابع هدف دوم
۱۲	۲	۳۸۲/۸۷۴	۲۸۱/۱۴۳	۳۲۰/۳۱۷	۳۳۷/۹۸۰
۱۷	۳	۶۲۳/۰۸۷	۳۵۱/۰۵۱	۴۸۶/۱۹۲	۴۵۷/۲۳۲
۲۲	۳	۷۴۵/۰۴۰	۴۶۵/۶۴۳	۶۳۳/۱۵۴	۶۵۹/۶۱۱
۲۷	۴	۸۹۰/۲۱۶	۶۱۵/۴۵۴	۸۵۱/۲۱۶	۱۰۴۵/۴۷۸
۳۲	۴	۹۲۷/۹۲۲	۶۴۹/۷۲۹	۸۹۷/۵۱	۱۴۲۹/۱۸
۳۷	۵	۱۰۳۶/۲۳	۷۲۵/۸۴۲	**	
۴۲	۵	۱۲۶۹/۳۹۷	۷۷۲/۷۷۳		
۴۷	۶	۱۶۰۳/۴۸۷	۹۵۷/۹۳۶		

** با توجه به نیاز به زمان بسیار زیاد برای حل با این تابع هدف برای نمونه‌های مربوطه از آوردن نتایج صرف نظر شده است.

جدول ۵: نتایج حل مدل با یک تابع هدف مربوط به مثال عددی

تابع هدف	مجموع زمان خدمت‌رسانی	هزینه کل
مجموع زمان خدمت‌رسانی	۳۵۱/۰۵۱	۶۲۳/۰۸۷
هزینه	۴۵۷/۲۳۲	۴۸۶/۱۹۳

* مقدار بهینه

مربوط به مقادیر اسپیلون بوده و می‌توان برای تعیین طول گام مورد نظر از رابطه (۲۰) استفاده کرد.

$$l = \frac{z_1 - z_1^*}{k} \quad (20)$$

مقدار $k+1$ تعیین کننده تعداد مقادیر به دست آمده برای اسپیلون و l طول گام افزایش مقدار اسپیلون است. در مثال عددی ذکر شده با جایگذاری مقادیر به دست آمده برای تابع هدف اول و همچنین در نظر گرفتن مقدار ۶ برای k به صورت دلخواه، طبق رابطه (۲۰) طول گام مقدار $22/816$ از رابطه (۲۱) بدست آمده است. اکنون با مشخص شدن طول گام و متعاقباً مشخص شدن مقادیر اسپیلون در رابطه (۱۹) برای رسم جبهه پارتو مربوط به مسئله مورد نظر می‌توان جدول (۶) را ایجاد کرد.

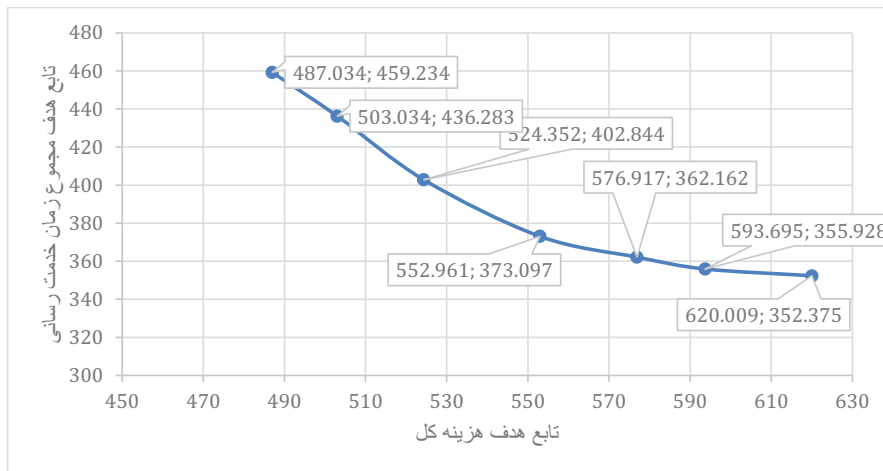
$$l = \frac{623.087 - 486.192}{6} = 22.816 \quad (21)$$

با توجه به نتایج حاصل از جدول (۶) مربوط به مقادیر توابع هدف می‌توان جبهه پارتو مورد نظر را مطابق شکل (۱) رسم کرد. با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۶ و همچنین جبهه پارتو رسم شده مشخص است که با افزایش میزان مربوط به

محدودیت هزینه که حاصل از تابع هدف هزینه است؛ کاهش میزان تابع هدف اصلی که مربوط به زمان خدمت‌رسانی است حاصل می‌گردد. این امر به این علت است که در هر مرحله با افزایش مقدار حد مربوط به هزینه، این محدودیت آزادتر شده و فضای حل بیشتری را در اختیار قرار می‌دهد که باعث بهبود تابع هدف خواهد شد. همانطور که نمودار شکل ۱ نشان می‌دهد این افزایش حد و افزایش فضای حل در سه مرحله اول با شیب زیادی باعث بهبود تابع هدف شده ولی در مراحل بعدی با افزایش حد به همان میزان تاثیر کمتری بر روی بهبود تابع هدف خواهد گذاشت. شاید بتوان در شرایط کلی چنین عنوان کرد که بهترین موقعیت برای انتخاب جواب مربوط به این مسئله محدوده ۵۳۰ تا ۳۶۵ می‌گردد. اما در شرایط کلی مربوط به تصمیم‌گیری در مورد نتایج مسئله با توجه به سیاست‌های دنبال شده توسط تصمیم‌گیرندگان و همچنین تعریف محدودیت‌ها و اولویت‌های عملیاتی شاید گزینه دیگری به عنوان جواب نهایی انتخاب شود. البته نمودارهای متفاوت از مسئله بطور قطع شرایط متفاوتی را برای مسئله رقم خواهند زد.

جدول ۶: نتایج روش اسپیلون محدودیت

مقادیر اسپیلون	مقدار تابع هدف هزینه (z_1)	مقدار تابع هدف مجموع زمان خدمت‌رسانی (z_2)
$\varepsilon_1 = 623/0.87$	۶۲۰/۰۰۹	۳۵۲/۳۷۵
$\varepsilon_2 = 60/271$	۵۹۳/۶۹۵	۳۵۵/۹۲۸
$\varepsilon_3 = 577/455$	۵۷۶/۹۱۷	۳۶۲/۱۶۲
$\varepsilon_4 = 554/639$	۵۵۲/۹۶۱	۳۷۳/۰۹۷
$\varepsilon_5 = 531/824$	۵۲۴/۳۵۲	۴۰۲/۸۴۴
$\varepsilon_6 = 509/009$	۵۰۳/۰۳۴	۴۳۶/۲۸۳
$\varepsilon_7 = 486/192$	۴۸۷/۰۳۴	۴۵۹/۲۳۴



شکل ۱: نمودار جبهه پارتو بیانگر تبادلی بین اهداف مساله

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به اهمیت بالای مدیریت شرایط بحران مربوط به بلایای طبیعی و حوادث غیر مترقبه برای کاهش تلفات و صدمات مالی و جانی؛ این تحقیق حول محور برنامه ریزی لجستیک بشردوستانه برای خدمت رسانی به نقاط آسیب دیده در این شرایط طراحی شده است. از جمله مواردی که در ادبیات موضوع مورد نظر کمتر دیده می شود لحاظ کردن برنامه ریزی زنجیره تامین کالا و خدمات با هدف کاهش زمان خدمت رسانی به نقاط آسیب دیده با توجه به اولویت نقاط است. این تحقیق برای این موضوع یک مدل دو هدفه معرفی کرد. هدف اول به دنبال حداقل کردن هزینه های مدل از جمله هزینه های متغیر حمل و نقل و هزینه های ثابت مربوط به راه اندازی مراکز توزیع و بیمارستان ها بوده و هدف دوم آن به دنبال حداقل کردن مجموع زمان خدمت رسانی به نقاط آسیب دیده با توجه به اولویت نقاط است. برای حل مدل مورد نظر با توجه به روش های موجود در زمینه حل مسائل چند هدفه از روش اپسیلون محدودیت برای مشخص کردن جبهه پارتو استفاده شده است. برای بررسی نتایج مدل از ۸ مثال عددی مستخرج از نمونه های کتابخانه ای استفاده گردید که در طی آن مراکز توزیع مورد نظر برای راه اندازی، مسیر و ظرفیت بهینه و تعداد بهینه بیمارستان ها برای خدمت رسانی تعیین شد. سپس برای یکی از نمونه ها جدول تبادل اهداف با تغییر اپسیلون و همچنین نمودار مربوط به جبهه پارتو رسم شد. با توجه به نتایج حاصل وضعیت جواب های نامغلوب مشخص شدند.

موضوع زنجیره تامین خدمات دارای جزئیات زیاد و همچنین کاربردهای بسیار متنوع دارد که می تواند در آینده توسط پژوهشگران با گسترش ها و رویکردهای جدیدی به آن پرداخته شود. همچنین مواجهه با عدم قطعیت در مدت زمان مورد نیاز برای خدمت رسانی در هر منطقه می تواند در پژوهش های آتی مورد استفاد قرار گیرد.

پی نوشت

1. Emergency service (EMS)
2. Cumulative capacitated vehicle routing problem with time depended on demand (CCVRP-TDD)
3. Mixed Integer Linear Programming (MILP)
4. Capacitated Vehicle Routing Problem Library
5. <http://vrp.atd-lab.inf.puc-rio.br/>

مراجع

1. Dascioglu, B. G., Vayvay, O., & Kalender, Z. T. (2019). Humanitarian Supply Chain Management: Extended Literature Review *Industrial Engineering in the Big Data Era* (pp. 443-459): Springer.
2. Al Theeb, N., & Murray, C. (2017). Vehicle routing and resource distribution in postdisaster humanitarian relief operations. *International Transactions in Operational Research*, 24(6), 1253-1284.
3. Popović, D., Vidović, M., & Radivojević, G. (2012). Variable neighborhood search heuristic for the inven-

tory routing problem in fuel delivery. *Expert Systems with Applications*, 39(18), 13390-13398 .(

4. Farahbakhsh, A., & Forghani, M. A. (2019). Sustainable location and route planning with GIS for waste sorting centers, case study: Kerman, Iran. *Waste Management & Research*, 287-300 , (3)37 ,
5. Shavarani, S. M., & Vizvari, B. (2018). Post-disaster transportation of seriously injured people to hospitals. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(2), 227-251.
6. Wang, S., Liu, F., Lian, L., Hong, Y., & Chen, H. (2018). Integrated post-disaster medical assistance team scheduling and relief supply distribution. *The International Journal of Logistics Management*.
7. Maghfiroh, M. F., & Hanaoka, S. (2018). Dynamic truck and trailer routing problem for last mile distribution in disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*.
8. Mohamadi, A., & Yaghoubi, S. (2017). A bi-objective stochastic model for emergency medical services network design with backup services for disasters under disruptions: an earthquake case study. *International journal of disaster risk reduction*, 23, 204-217.
9. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, 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*, 27, 290-306.
10. Ben-Tal, A., Do Chung, B., Mandala, S. R., & Yao, T. (2011). Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains. *Transportation research part B: methodological*, 45(8), 1177-1189.
11. 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: Logistics and Transportation Review*, 75, 145-163.
12. Victoria, J. F., Afsar, H. M., & Prins, C. (2015). *Vehicle routing problem with time-dependent demand in humanitarian logistics*. Paper presented at the Industrial Engineering and Systems Management (IESM), 2015 International Conference on.
13. Bozorgi-Amiri, A., & Khorsi, M. (2016). A dynamic multi-objective location-routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 1633-

14. Falasca, M., & Zobel, C. W. (2011). A two-stage procurement model for humanitarian relief supply chains. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 151-169.
15. Escribano Macias, J. J., Angeloudis, P., & Ochieng, W. (2018). *Integrated Trajectory-Location-Routing for Rapid Humanitarian Deliveries using Unmanned Aerial Vehicles*. Paper presented at the 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference.
16. Lenstra, J. K., & Kan, A. R. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11(2), 221-227.
17. Tavana, M., Abtahi, A.-R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2017). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*.
18. Molina, J., López-Sánchez, A., Hernández-Díaz, A., & Martínez-Salazar, I. (2018). A Multi-start Algorithm with Intelligent Neighborhood Selection for solving multi-objective humanitarian vehicle routing problems. *Journal of Heuristics*, 24(2), 111-133.
19. Handayani, N. U., Arvianto, A., & Sesariana, Y. (2018). *Design of transportation system of humanitarian aids logistic using variable neighborhood search (VNS) algorithm: Case study in Merapi eruption*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.