نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
ISSN: 2345-2269
نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
سال یازدهم، شماره بیست و سوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صفحه ۱۳۹-۱۵۹
www.ier.basu.ac.ir
DOI: https://dx.doi.org/10.22084/IER.2024.5570

طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین امداد بشردوستانه، مبتنی‌بر اتصال متقاطع

هدی اکبری[۱]، علی محتشمی[۲*]، مهدی یزدانی‌بیجاربنه[۳]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت صنعتی، گروه مدیریت و حسابداری، دانشکدهٔ مدیریت، حسابداری و علوم انسانی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۲. دانشیار گروه مدیریت و حسابداری، دانشکدهٔ مدیریت، حسابداری و علوم انسانی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۳. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ صنایع، مکانیک، عمران و صنایع غذایی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۱/۳/۲۸
پذیرش ۱۴۰۱/۷/۱۱
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
شبکه زنجیره‌تأمین
امداد بشردوستانه
مسیریابی
وسیله نقلیه با اتصال متقاطع
الگوریتم فراابتکاری NSGAIII

خلاصه

بهره‌وری یک عامل مهم موفقیت در شبکه‌های زنجیره‌تأمین است. ضروری است که از واکنش مناسب کالاها و خدمات در زنجیره‌های عرضه بشردوستانه در پاسخ به فاجعه اطمینان حاصل شود. در این مطالعه، به‌منظور طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین امداد بشردوستانه، مسیریابی وسیله نقلیه با اتصال متقاطع، مدلی ارائه گردید که با استفاده از الگوریتم فراابتکاری الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی تحت سلطه[۱] (NSGAIII)، به حل مدل پرداخته شد. نتایج نشان داد که هزینه بیشترین اثر را بر تابع هدف اول که نسبت بیماران به کل مجروحین می‌باشد ایجاد کرده و سپس بر تابع هدف دوم که کمبود می‌باشد اثرگذاری خود را نشان داده است. اثرگذاری بر تابع هزینه ظاهراً در کمترین میزان بوده و نسبت‌به دو هدف دیگر تاثیرگذاری کمتری را نشان می‌دهد. درخصوص اثر هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار نیز مشاهده می‌شود که بیشترین اثر بر تابع هدف اول می‌باشد اما همچنان اثر بعدی بر تابع هدف دوم است درحالی‌که میزان اثرگذاری هزینه حمل از تأمین‌کننده به انبار عبوری بر هزینه بیش از میزان اثرگذاری هزینه حمل از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده است و واکنش مدل نسبت‌به هزینه نسبت‌به تحلیل حساسیت پارامتر قبلی بیشتر می‌باشد. درخصوص هزینه حمل از توزیع‌کننده به انبار عبوری مشاهده می‌شود که اثرگذاری بر هزینه نسبت‌به هزینه حمل از تأمین‌کننده به انبار عبوری کمتر می‌باشد اما همچنان مشاهده می‌شود که این افزایش می‌تواند منجربه افزایش زیاد در نسبت بیماران به کل مجروحین و همچنین کمبود شود به‌عبارت دیگر منجربه بدتر شدن جواب شده و به اصطلاح مدل نسبت‌به افزایش این پارامتر واکنش منفی نشان می‌دهد.

۱. مقدمه

امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های تکنولوژیکی موجود، مصائب ناشی از سوانح طبیعی (زلزله، سیل، طوفان، صاعقه، بهمن، گردباد، آتش‌سوزی، آتش‌فشان) و غیرطبیعی (جنگ، حوادث تروریستی، تصادفات جاده‌ای، حوادث صنعتی، ناآرامی‌های سیاسی، مهاجرت آوارگان) یکی از موانع اصلی توسعه پایدار کشورها به‌شمار می‌روند و آمادگی نداشتن و

1. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III

* نویسنده مسئول: علی محتشمی
پست الکترونیکی: mohtashami07@gmail.com

مقابله‌ی نامناسب با آن‌ها تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارایی‌های آن‌ها وارد می‌کند که گاه جبران‌ناپذیر است. با وجود یک سیستم مدیریت بحران منسجم و علمی در کشور که بتواند با پیش‌بینی و شناسایی، از بروز و وقوع بحران‌ها جلوگیری نماید و در صورت بروز بحران بتواند با اولویت‌بندی، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت، رهبری و کنترل فعالیت‌های لازم برای مداخله، هدایت و مهار بحران و سالم‌سازی بعد از وقوع بحران را با موفقیت به انجام رساند، می‌توان امیدوار بود که بسیاری از بحران‌ها قبل از وقوع، پیش‌بینی و مهار شود و یا درصورت وقوع بحران، عواقب ناشی از آن‌ها به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. بنابراین باتوجه به افزایش حوادث غیرمترقبه و فجایع زمینی، اقیانوسی و جوی در سال‌های اخیر، برنامه‌ریزی جهت پاسخ‌گویی بهتر به این حوادث ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از مهم‌ترین فجایع مذکور زلزله است که می‌تواند خسارات فراوانی چه جانی و چه مالی به‌همراه داشته باشد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین امداد بشردوستانه، مسیریابی وسیله نقلیه با اتصال متقاطع انجام شده است.

بهره‌وری یک عامل مهم موفقیت در شبکه‌های زنجیره‌تأمین است. لازم است از جریان مناسب کالاها و خدمات در زنجیره‌های عرضه بشردوستانه در پاسخ به یک فاجعه اطمینان حاصل شود. بلایای طبیعی همیشه بخشی از زندگی ما بوده است، با وجود تحولات علمی و فناوری، انسان قادر به جلوگیری از این وقایع نمی‌باشد. بحران ممکن است طبیعی (زمین‌لرزه، سیل، ...) یا انسانی (حملات تروریستی، نشت مواد شیمیایی) باشد. زمین‌لرزه‌ها بیشترین تعداد حوادث طبیعی را دارند، اثرات زمین‌لرزه‌های شدید می‌تواند مخرب باشد حتی اگر هزاران نفر در ایستگاه‌های لرزه‌نگار شبکه‌ای و متصل در سراسر جهان باشند و داده‌های جمع‌آوری شده به‌طور مداوم تجزیه و تحلیل شوند ما هنوز قادر به پیش‌بینی زمان و مکان دقیق زمین‌لرزه‌ها نیستیم، تهران دارای سیزده میلیون نفر جمعیت است و یک زمین‌لرزه می‌تواند باعث مرگ بیش از یک میلیون نفر شود. به این دلیل یکی از اهداف اولویت‌دار مقامات محلی و سازمان‌های امدادی ایجاد شبکه امدادی بشردوستانه برای آماده‌سازی شهر است.در تدارکات بشردوستانه، اقدامات اولیه باید در طی۷۲ ساعت اول پس از زلزله، انجام شود. اولین ۱۲ ساعت پس از این فاجعه بسیار مهم است و به‌عنوان زمان امدادرسانی استاندارد شناخته می‌شود، هر نوع تأخیر در انجام اقدامات لازم می‌تواند منجربه مرگ افراد بیشتری شود. سازمان‌های عمومی و غیردولتی مجبورند فوراً وضعیت را ارزیابی کرده و از محصولات امدادی انبارهای محلی به مناطق آسیب‌دیده، شروع به ارسال کنند. علاوه‌بر این، محدودیت زمانی باید درنظر گرفته شود.

یکی از استراتژی‌های مهم برای بهبود عملکرد و کاهش تأخیر و خسارت ناشی از زلزله ایجاد مراکز توزیع امداد و مراکز مراقبت در مکان مناسب است. همچنین، تعیین برنامه‌های بهینه برای پاسخ مناسب به توزیع تجهیزات امدادی و تخلیه مجروحان در شرایط فاجعه می‌تواند به میزان قابل توجهی تلفات جانی و مالی را کاهش دهد (یاداولی و همکاران، ۲۰۱۶). به‌طور کلی، برنامه تدارکات در مرحله پاسخ به فاجعه شامل دو هدف است. هدف اول انتقال افراد آسیب‌دیده از مناطق آسیب‌دیده به پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و سایر مراکز فوریت‌های پزشکی است و هدف دوم ارسال تجهیزات امدادی از انبارها یا تهیه‌کنندگان ازپیش تعیین شده، به مناطق آسیب‌دیده است. تخلیه در آغاز مرحله پاسخ انجام می‌شود و افراد مصدوم را از ناحیه آسیب‌دیده خارج می‌کند. برنامه‌ریزی مؤثر فعالیت‌های لجستیک در مرحله پاسخ می‌تواند به‌میزان چشم‌گیری مرگ‌ومیر افراد را کاهش دهد. همچنین در این شرایط معمولاً منابع، کالاها و وسایل نقلیه موجود ناکافی هستند. بنابراین، مکان‌یابی مناسب مراکز مراقبت موقت و مراکز اسکان موقت و تخصیص بهینه آن‌ها می‌تواند خسارات مالی و انسانی را کاهش دهد.

یکی دیگر از مسائل مورد توجه در زنجیره‌تأمین امداد برنامه‌ریزی برای جمع‌آوری خون، تولید، کنترل موجودی و توزیع آن می‌باشد. زنجیره‌تأمین خون به‌دلیل افزایش تقاضای خون به‌ویژه درنتیجه فجایع یک چالش است، زنجیره‌های خون‌رسانی شامل چندین فرآیند مانند جمع‌آوری، تولید و توزیع خون و مشتقات آن از اهداکنندگان به گیرندگان می‌باشد. یک سیستم لجستیک انسانی و کارآمد باید تلفات انسانی را با ارسال و تحویل امداد، به حداقل برساند. درعین حال اتصال متقاطع یکی از راهکارهای مؤثر در سیستم‌های لجستیک است که منجربه کاهش هزینه‌های موجودی و به‌طور کلی تحویل به‌موقع کالا می‌شود، فعالیت‌های مربوط به اسکله متقاطع (کراس داک) شامل سه کلاس کلی بارگیری، مرتب‌سازی و تخلیه بار می‌باشد. مدیریت زنجیره‌تأمین نتیجه تکاملی مدیریت انبارداری است و به‌عنوان یکی از مبانی زیرساختی و مهم پیاده‌سازی کسب‌وکار است که در بسیاری از آن‌ها تلاش اساسی برای کوتاه کردن زمان بین سفارش مشتری تا تحویل واقعی کالا می‌باشد. اتصال متقاطع یکی از مهم‌ترین گزینه‌ها برای کاهش زمان در زنجیره‌تأمین می‌باشد. ایده کلی آن به این صورت است که انتقال محموله‌ها از کامیون‌های ورودی به خروجی بدون هیچ‌گونه انبارش و به‌طور معمول با صرف زمان کمتر از ۲۴ ساعت در اتصال متقاطع و گاهی اوقات کمتر از یک ساعت می‌باشد. باتوجه به موارد ذکر شده لازم است یک مدل ایجاد شود که بتواند بهترین موقعیت‌ها را برای انبارهای مرکزی در بین مناطق تعیین شده ارائه دهد، ظرفیت انبارهای مرکزی را تعیین کند و درعین حال، بهترین خط‌مشی عملیات امدادی را با مسیریابی وسایل نقلیه و برنامه اولویت‌بندی کالای امداد و کاهش هزینه‌های آن ازطریق انبار موقت عبوری (کراس داک) برای شرایط قبل و بعد از وقوع فاجعه درنظر بگیرد. در بسیاری از مطالعات، فقط جریان منابع امدادی یا فقط جریان مصدومان درنظر گرفته شده است. عدم توجه به این دو به‌طور همزمان، فاصله‌ای بین مسأله و دنیای واقعی ایجاد می‌کند. در بسیاری از مطالعات، نوع مصدومان در عملیات تخلیه درنظر گرفته نشده است. توجه به نوع کالاهای امدادی و اولویت آن‌ها برای بهینه‌سازی توزیع ازجمله خون، غذا، آب، پتو و چادر در هیچ مطالعه‌ای صورت نگرفته همچنین استفاده ازاتصال متقاطع (کراس داک) برای پیاده‌سازی این

مهم، ازجمله کارهای انجام نشده مطالعات پیشین می‌باشد. درضمن در عملیات تخلیه، در مرحله بعد از فاجعه توجه به نوع مصدومین هم جزو کارهایی است که در اکثر مطالعات به آن‌ها توجه نشده است.

باتوجه به اهمیت مشکل مدیریت بحران در دنیای کنونی، در این مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مختلط و عدد صحیح مکان‌یابی- مسیریابی چندمنظوره، چندکالا و چندوسیله نقلیه پیشنهاد شده است. یک زنجیره‌تأمین امداد شش‌سطحی شامل تأمین‌کننده، مراکز توزیع، انبارهای موقت عبوری (کراس داک)، مناطق آسیب‌دیده (نقاط تقاضا)، مراکز مراقبت‌های موقت و بیمارستان‌ها، به‌صورت قبل و بعد فاجعه درنظر گرفته می‌شود. تصمیمات مربوط به فاز پیش‌بینی‌کننده مربوط به مکان مراکز توزیع امداد دائمی و تعداد آن‌ها می‌باشد. در مرحله آماده‌سازی ما یک زنجیره‌تأمین دومرحله‌ای ازجمله تهیه‌کنندگان و مراکز توزیع داریم. تصمیمات مرحله دوم تعیین بهینه مکان برای ایجاد انبارهای موقت عبوری و مراکز مراقبت موقت برای افزایش سرعت درمان افراد آسیب‌دیده و توزیع کالاها در مناطق آسیب‌دیده، است که شامل یک زنجیره‌تأمین سه‌سطحی بین مراکز توزیع، انبارهای موقت عبوری (کراس داک) و نقاط تقاضا، همچنین زنجیره‌تأمین برای نقاط تقاضا و مراکز درمان موقت و بیمارستان می‌باشد.

درادامه تصمیمات مربوط به انبار موقت عبوری (کراس داک) را داریم، در این بین مسیریابی بین سطوح مختلف بسیار حائز اهمیت می‌باشد از این‌رو که ازطرفی هزینه‌های کمتری به سیستم تحمیل کرده و باعث تسریع تخلیه و توزیع با درنظر گرفتن قابلیت فاسد شدن خون و مواد غذایی و ... باشد، مسیریابی این سیستم به‌صورت مسیریابی انبار عبوری (کراس داک) می‌باشد. در این سیستم سه نوع اولویت برای کالاهای امدادی (ضروری، متوسط، با ضرورت کمتر) و دو نوع صدمات شدید و متوسط برای افراد آسیب‌دیده درنظر گرفته شده است که افراد مجروح با جراحت شدید به بیمارستان، و افراد مجروح سرپایی به مراکز موقت مراقبت منتقل می‌شوند. مرتب‌سازی و اولویت‌بندی کالای امداد ازجمله خون، دارو، آب، غذا، شیرخشک چادر، پتو، لباس و غیره در انبار موقت عبوری (کراس داک) انجام می‌شود. جریان مصدومان و جریان منابع امدادی به‌طور همزمان درنظر گرفته می‌شود، جریان منابع امدادی بین تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع، انبارهای موقت عبوری (کراس داک) و مناطق آسیب‌دیده (نقاط تقاضا) درنظر گرفته شده، وجریان مصدومین بین مراکز مراقبت و مناطق آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها است. باتوجه به اهمیت پوشش حداکثری تقاضا اینکه کدام تقاضا توسط کدام مرکز پوشش داده شود مورد توجه قرار گرفته است.

به‌طور کلی تصمیمات امروز بر تصمیم فردا تأثیر می‌گذارد بنابراین، نیاز به یک مدل جامع وجود دارد، که تصمیات همزمان را مدنظر قرار دهد. مدل پیشنهادی این مطالعه، هم قبل از بروز و هم بعد از فاجعه را درنظر می‌گیرد، یک مدل یکپارچه می‌تواند تأخیر در عملیات تسکین را از بین ببرد و تخصیص بهینه‌ای داشته باشد. این سیستم به‌صورت چنددوره‌ای برنامه‌ریزی شده است و شامل چندین نوع محصول امداد ازجمله خون با طول عمر محدود می‌باشد، همچنین چندین نوع وسیله نقلیه مناسب برای حمل کالاها، خون و افراد می‌باشد. درنتیجه به‌طور خلاصه باید گفت در این شبکه، منابع امدادی از گره تأمین‌کنندگان به گره مراکز توزیع منتقل و توسط وسایل نقلیه مختلف و متناسب با کالاهای امداد به گره انبار موقت عبوری (کراس داک) در مرحله بعد از فاجعه می‌رسند در این مرحله عملیات تخلیه بار، مرتب‌سازی، اولویت‌بندی، بارگیری و ارسال، تصمیم‌گیری می‌شود.

همچنین افراد آسیب‌دیده باتوجه به نوع جراحت از گره منطقه آسیب‌دیده به مراکز موقت مراقبت و بیمارستان، منتقل می‌شوند با درنظر گرفتن مکان‌یابی گره‌ها و مسیریابی ارتباطات وهمچنین در این مرحله در مورد نحوه تخصیص گره‌های منطقه آسیب‌دیده به گره‌های بیمارستان و تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده بین آن‌ها و در مورد ایجاد یک مرکز مراقبت موقت، نحوه تخصیص مراکز مراقبت موقت در مناطق آسیب‌دیده تصمیاتی گرفته می‌شود. اهداف موردنظر مدل پیشنهادی در این مطالعه به این ترتیب می‌باشد: ۱- کمینه کردن نارضایتی افراد آسیب‌دیده از خدمات امداد و درمان ۲- به حداقل رساندن نارضایتی افراد از توزیع اقلام امداد ۳- حداقل کردن هزینه کل تهیه و آماده‌سازی زنجیره‌تأمین.

قاسمی[1] و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل برنامه‌نویسی ریاضی مختلط و عدد صحیح تصادفی چندمرحله‌ای را برای توزیع لجستیک و برنامه‌ریزی تخلیه در هنگام وقوع زلزله ارائه دادند. در این مدل مسائل مربوط به هزینه در مدل‌های پیشنهادی ازطریق سه عملکرد هدف درنظر گرفته می‌شود. همچنین چندین محدودیت نیز در مدل ارائه شده درنظر گرفته شده است تا مدل انعطاف‌پذیرتر گردد. درنهایت مدل فوق با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک حل گردید.

رهبری[2] و همکاران در سال (۲۰۱۹) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی مختلط با دو هدف برای مشکل مسیریابی و برنامه‌ریزی وسیله نقلیه با اتصال متقاطع برای محصولات فاسدشدنی ارائه داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر عدم قطعیت ظاهری در زمان سفر بر وخیم‌تر شدن اهداف از تأثیر طراوت محصولات بیشتر است و با استفاده از مدل پیشنهادی، تازه بودن محصولات تحویل داده شده، به‌طور متوسط بدون افزایش هزینه توزیع، ۷۴/۱۴ درصد افزایش می‌یابد که می‌تواند ضایعات را کاهش دهد.

توانا[3] و همکاران (۲۰۱۸) یک شبکه لجستیکی بشردوستانه چندسطحی را پیشنهاد دادند که موقعیت انبارهای مرکزی، مدیریت موجودی محصولات فرآورده‌های فاسدشدنی را در مرحله قبل از فاجعه، و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در مرحله پس از فاجعه درنظر بگیرد. بدین منظور یک لجستیک بشردوستانه چندسطحی به پیشنهاد کردند که موقعیت از انبارهای مرکزی، مدیریت موجودی محصولات

1. Ghasemi et al
2. Rahbari et al
3. Tavana et al.

فاسدشدنی در فازهای قبل از فاجعه و مسیریابی وسائل نقلیه امدادی در فاز بعد از فاجعه، را درنظر می‌گیرد و یک الگوریتم ژنتیکی مرتب‌سازی غیر تحت سلطه برای حل مسأله برنامه‌نویسی خطی عدد صحیح مختلط پیشنهاد دادند.

قاسمی[1] و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح برای اختصاص مکان، در مرحله پاسخ ارائه دادند. مدل پیشنهادی دارای پنج سطح با عناوین مناطق آسیب‌دیده، مراکز توزیع، بیمارستان‌ها، مراکز اسکان موقت و مراکز مراقبت‌های موقت می‌باشد. همچنین در مدل از دو تابع هدف حداقل کردن هزینه کل محل تخصیص مکان امکانات و حداقل رساندن میزان کمبود منابع امدادی و محدودیت‌های تقاضا، گردش کالاهای امدادی، ظرفیت مرکز، حمل‌ونقل مصدومان، ظرفیت حمل‌ونقل کالاها و مصدومان در دوره‌های زمانی مختلف استفاده شده است.

اسکوز و ستگلو[2] در سال (۲۰۱۹) یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای برای برنامه‌ریزی مکان مراکز پزشکی موقت برای واکنش به بلایای طبیعی ارائه دادند. مدل پیشنهادی یک راه‌حل مکان‌یابی بهینه را در حین به حداقل رساندن هزینه راه‌اندازی کل سیستم و هزینه کل حمل‌ونقل مورد انتظار با درنظر گرفتن انواع تلفات، تقاضا، امکان آسیب به جاده‌ها و بیمارستان‌ها و فاصله بین نواحی فاجعه و مراکز پزشکی، پیدا می‌کند. در مدل، محدودیت‌های قابلیت اطمینان آلفا برای تعداد مورد انتظار تلفات نیز مورد استفاده قرار گرفت.

ازجمله مقالات جدید در زمینه زنجیره‌تأمین امداد بشردوستانه می‌توان به مطالعه هاشمی پترودی[3] و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد که درآن چالش‌های زنجیره پیش‌روی جمعیت هلال احمر ایران را بررسی شده است. برای شناسایی این چالش‌ها از روش دلفی فازی و مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی استفاده کرده‌اند. در این تحقیق روابط علت و معلولی بین این چالش‌ها را بررسی شده است. در مطالعه تیمپریو[4] و همکاران (۲۰۲۰) تلاشی در این راستا است که با ادغام تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهینه‌سازی شبکه و شبیه‌سازی رویداد گسسته را برای پرداختن به پیش‌فرض موجودی برای بهبود کارایی، اثربخشی و چابکی زنجیره‌های امدادی پیشنهاد کنند. آن‌ها معتقدند درحالی‌که لجستیک بشردوستانه به‌طور سنتی بر تنها تجربه عملی شاغلین متکی بوده است، این مقاله موردی را، برای یک تغییر پارادایم ارائه می‌کند زیرا یک رویکرد بین رشته‌ای را پیشنهاد می‌کند که این تجربه عملی را با روش‌های شبیه‌سازی تحلیلی و پویا که به‌طور گسترده در زنجیره‌تأمین تجاری به‌کار گرفته شده‌اند، ادغام می‌کند.

مطالعه آقاجانی[4] و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برنامه‌نویسی ترکیبی احتمالی تصادفی مبتنی‌بر سناریو دومرحله‌ای برای مقابله با عدم قطعیت‌های مختلف توسعه داده شده را نشان می‌دهد. تصمیمات مرحله اول شامل انتخاب تأمین‌کننده و سطح رزرو ظرفیت در هر تأمین‌کننده/دوره و سطح اضافه کردن موجودی است. همچنین در مرحله دوم تصمیمات مربوط به زمان و مقدار انجام شده اتخاذ می‌شود. کاربرد مدل ازطریق یک مطالعه موردی واقعی تأیید می‌شود. درنهایت، چندین تحلیل حساسیت برای بررسی تأثیر پارامترهای مهم بر راه‌حل‌ها برای به‌دست آوردن بینش مدیریتی مفید انجام می‌شود. روش محدودیت-ε افزوده وزنی برای یافتن راه‌حل‌های بهینه پارتو در مدل دوهدفه حاصل استفاده می‌شود. همچنین یک مطالعه موردی برای نشان دادن عملکرد و کاربرد مدل‌های پیشنهادی در عمل ارائه شده است.

مطالعه گارسیا-الویز[5] و همکاران (۲۰۲۱) یک برنامه‌ریزی بازسازی شبکه جاده‌ای و توزیع امداد تحت اختلالات ناهمگن جاده بحث می‌کند. در این راستا، یک مدل ریاضی برای زمان‌بندی و مسیریابی ماشین‌های و وسایل نقلیه امدادی ارائه شده است. این رویکرد به‌دنبال یک طرح بازسازی است که به ارائه پشتیبانی از عملیات امدادی اختصاص دارد. این امر مستلزم اولویت‌بندی بازسازی جاده‌ها با درنظر گرفتن تأثیر آن‌ها بر کارایی فعالیت‌های امدادی است. علاوه‌بر این، یک الگوریتم اکتشافی برای حل نمونه‌های بزرگی از مشکل ارائه شده است. این رویکرد بر روی یک مطالعه موردی واقع‌بینانه براساس سیل که در منطقه موجانا در شمال کلمبیا در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۱ رخ داده است، اعمال می‌شود.

در مطالعه رجب‌زاده[6] و همکاران (۲۰۲۲) استفاده از انبارهای متقاطع یک استراتژی لجستیکی است که در آن کالاها از کامیون‌های ورودی تخلیه شده و با حداقل ذخیره‌سازی در کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند. مدل و رویکرد حل پیشنهادی برای زمان‌بندی ماشین‌های ورودی و خروجی در انبار متقاطع در یک گروه فعال در صنعت غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آن‌ها یک مدل دوهدفه با هدف‌های کم کردن زمان توزیع و مدیریت تجهیزات و نیروی انسانی در توزیع و باتوجه به عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسأله است. همچنین آن‌ها یک رویکرد حل پیشنهادی برای مسیریابی و زمان‌بندی ماشین‌های ورودی و خروجی در انبارهای متقاطع پیشنهاد دادند.

در مطالعه غایب‌لو[7] و همکاران (۱۳۹۹) یک مدل ریاضی سه‌هدفه سیستم لجستیک توزیع برای مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه امدادی جهت توزیع کالای امدادی تحت شرایط عدم قطعیت و با درنظر گرفتن اختلال در توزیع طراحی شده است. برای حل مدل از یک رویکرد فازی تعاملی بهره گرفته شده است و به‌منظور بررسی کاربردپذیری مدل ارائه شده، مطالعه موردی در شهر تبریز صورت گرفته است. آن‌ها مسأله مسیریابی و توزیع کالای امدادی با حداکثر سرعت را از اهداف پژوهش خود قرار دادند حداقل کردن تعداد وسایل مورد نیاز به‌منظور کاهش هزینه ها و توزیع عادلانه کالاهای امدادی به‌گونه‌ای که در یک پناهگاه نسبت‌به پناهگاه دیگر، کمبود بیش‌ازحد

1. Ghasemi et al
2. Oksuz& Satoglu
3. Hashemi petrudi
4. Timperio
5. García-Alviz
6. Rajabzadeh
7. Ghayebloo et all

نباشد، از دیگر اهداف این مطالعه بود. در این مقاله روش استوار امکانی بهترین روش برای مدل‌سازی مسأله انتخاب شد و نتایج نشان داده است که بین میزان عرضه کالاهای امدادی و زمان توزیع رابطه معکوس وجود دارد و درصد کاهش زمان توزیع کالاهای امدادی در ازای افزایش بیش‌ازحد عرضه کالاهای امداد بسیار ناچیز است.

در مقاله کیریاکاکایز[1] و همکاران (۲۰۲۲) مشکل بشردوستانه مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره‌های زمانی با رویکرد جدید با تعداد ازپیش تعیین شده وسایل نقلیه موجود و با الگوریتم فراابتکاری جستجوی ترکیبی حل شده است. این مطالعه یک الگوریتم فراابتکاری جستجوی ترکیبی تابو-نزول همسایگی متغیر[2] (HTS-VND) را برای مسأله مسیریابی خودرو با ظرفیت تجمعی با ویندوز زمان[3] (CCVRPTW) ارائه می‌کند. این الگوریتم همچنین برای حل مسأله مسیریابی خودرو با ظرفیت تجمعی بدون محدودیت زمانی استفاده می‌شود.

بنابراین باتوجه به خلأهای تحقیقاتی موجود، مطالعه حاضر قصد دارد مدلی با درنظر گرفتن تصمیماتی در مورد مکان‌یابی، مسیریابی، توزیع، تخصیص (پیش و بعد فاجعه) به‌طور همزمان برای تجهیزات، کالا ومصدومان به‌عنوان یک مدل ریاضی جامع برای شبکه امدادرسانی در برابر بلایای طبیعی ارائه دهد، طراحی ساختار زنجیره‌تأمین امداد بشردوستانه با درنظر داشتن انبار موقت عبوری (کراس داک) که می‌تواند تأخیر در توزیع را از بین ببرد و با مرتب‌سازی کالای امداد، برحسب تقاضا، تخصیص بهینه‌ای داشته باشد. گسترش کاربرد انبار موقت عبوری (کراس داک) برای توزیع محصولات امداد و در مدل پیشنهادی، هزینه و اهداف بشردوستانه به‌طور همزمان درنظر گرفته می‌شود. در مدل پیشنهادی، جریان مصدومان و جریان منابع امدادی به‌طور همزمان درنظر گرفته می‌شود، جریان منابع امدادی بین تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع، انبارهای موقت عبوری (کراس داک) و مناطق آسیب‌دیده و بیمارستان می‌باشد و جریان مصدومین بین مراکز مراقبت و مناطق آسیب‌دیده و بیمارستان است. در مدل پیشنهادی، برای افراد دو نوع صدمات شدید و متوسط درنظر گرفته می‌شود. کالاهای امداد در سه سطح یک (ضروری: خون، دارو، آب، غذا، شیرخشک) دو (چادر، پتو) سه (لباس و غیره) می‌باشد.

فضای انسان‌دوستانه شامل اصل بشریت، بی‌طرفی (انصاف) است. اصل بشریت دلالت بر این دارد که افراد مبتلا به درد و رنج باید هرجا که پیدا شود تسکین یابد. کمک باید بدون تبعیض، با اولویت بیشترین نیازهای اضطراری باشد. در مناطق آسیب‌دیده یکی از معیارهای ارزیابی بی‌طرفی، میزان رضایت مردم است. کارکردهای اهداف اول و دوم در جهت جلب رضایت مردم و درنتیجه انسان‌دوستانه است و عملکرد هدف سوم برای به‌حداقل رساندن هزینه‌های زنجیره‌تأمین است. با وجود محدودیت‌هایی ازجمله ظرفیت انبار، ظرفیت وسایل نقلیه، ظرفیت مراکز مراقبت‌های موجود، محدودیت تعادل و محل تأسیسات و محدودیت‌های جریان در شبکه و تخصیص وسایل نقلیه، هچنین محدودیت تعریف متغیرهای تصمیم که با آن‌ها مواجهیم. بنابراین، در این مطالعه برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین برای توزیع منابع امدادی، با کمک تکنیک کراس داک باتوجه به اولویت آن‌ها و تخلیه مجروحان باتوجه به شدت جراحتشان مورد بحث قرار گرفته است. درادامه خلاصه مرور ادبیات در جدول (۱) آورده شده است.

این مطالعه در چهار بخش ارائه می‌گردد به‌گونه‌ای که در بخش اول مقدمه و بیان چالش اصلی مطالعه تبیین گردیده و با بررسی مطالعات بروز انجام شده در حوزه موضوع مطرح شده در مطالعه حاضر خلأ تحقیقاتی این مطالعه ارائه گردیده است. درادامه در بخش دوم به ارائه مدل پیشنهادی پرداخته شده و پس از بیان مفروضات مدل، اندیس‌ها و پارامترها، توابع هدف ارائه گردیده‌اند و در آخر محدودیت‌های مدل بیان خواهد شد. در بخش چهارم نیز به بیان نتایج عددی به‌دست آمده از حل مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی تحت سلطه[4] (NSGAIII) ارائه می‌گردد.

۲. مدل پیشنهادی

در این مطالعه، یک مدل زنجیره‌تأمین بشردوستانه با درنظر گرفتن انبار عبوری و همچنین مسیریابی وسیله نقلیه ارائه می‌شود. در ابتدا شرح مدل به‌طور کامل ارائه گردید و سپس مفروضات و اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم و همچنین توابع هدف و محدودیت‌های آن ارائه می‌گردد. باتوجه به اهمیت مشکل مدیریت بحران در دنیای کنونی در این مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مختلط و عدد صحیح مکانیابی مسیریابی چندمنظوره چندکالا و چندوسیله نقلیه پیشنهاد می‌شود. یک زنجیره‌تأمین امداد شش‌سطحی شامل تأمین‌کننده، مراکز توزیع، انبارهای موقت عبوری، مناطق آسیب‌دیده یا نقاط تقاضا، مراکز مراقبت‌های موقت و بیمارستان‌ها به‌صورت قبل و بعد فاجعه درنظر گرفته می‌شود. تصمیمات مربوط به فاز پیش‌بینی‌کننده مربوط به مکان مراکز توزیع امداد دائمی وتعداد آن‌ها می‌باشد. مرحله دوم تعیین بهینه مکان برای ایجاد انبارهای موقت عبوری و مراکز مراقبت موقت برای افزایش سرعت درمان افراد آسیب‌دیده و توزیع کالاها در مناطق آسیب‌دیده است درادامه تصمیمات مربوط به انبار موقت عبوری به‌صورت تصمیمات منطقه ورودی و خروجی به‌شرح ذیل است. در منطقه ورودی کراس داک به‌ترتیب: زمان ورود وسایل نقلیه ورودی، واگذاری وسایل نقلیه ورودی به درب‌های گیرنده و توالی وسایل نقلیه ورودی به هر درب ورودی و در منطقه خروجی: اختصاص کالاهای امداد به وسایل نقلیه برون‌مرزی، زمان سفر وسایل نقلیه خروجی، تخصیص وسایل نقلیه خروجی به درب خروجی، زمان خروجی وسایل نقلیه خروجی و مسیریابی وسایل نقلیه خروجی در فرآیند تحویل.

1. Kyriakakis
2. Hybrid Tabu Search - Variable Neighborhood Descent
3. Cumulative Capacitated Vehicle Routing Problem

جدول (۱). خلاصه مرور ادبیات

شماره	نویسنده	مسیریابی	مکان‌یابی	نوع جریان		مراحل		نوع توابع هدف		تعداد توابع هدف		درنظر گرفتن	درنظر گرفتن
				افراد	کالا	قبل	بعد	انسان‌دوستانه	هزینه‌ای	چندهدفه	تک‌هدفه	انبار موقت عبوری	اولویت‌بندی کالا و توزیع خون
۱	برزین و اسماعیل[1]	-	*		کالا		بعد فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		-	-
۲	گاریدو[2] و همکاران	-	*		کالا		بعد فاجعه		هزینه		تک‌هدفه	-	-
۳	هونگ[3] و همکاران	-	*		کالا		قبل فاجعه		هزینه		تک‌هدفه	-	-
۴	شو و پان[4]	-	*		کالا		بعد فاجعه	انسان‌دوستانه			تک‌هدفه	-	-
۵	احمدی[5] و همکاران	*	*		کالا		قبل-بعد فاجعه		هزینه		تک‌هدفه	-	-
۶	داگلاس و همکاران	-	*		کالا		قبل-بعد فاجعه		هزینه		تک‌هدفه	-	-
۷	پرز[6]-گلارس و همکاران	-	*		افراد		بعد فاجعه	انسان‌دوستانه			تک‌هدفه	-	-
۸	فریدونی و شاهاناقی[7]	-	*		کالا-افراد		بعد فاجعه		هزینه		تک‌هدفه	-	-
۹	توانا و همکاران	*	*		کالا		قبل-بعد فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		-	-
۱۰	ماهوتچی[8] و همکاران	*	*		کالا		قبلبعد فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		-	-
۱۱	ماهارجان و شینیا[9]	-	*		کالا		قبل-بعد فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		-	-
۱۲	نویان و کاهوسیوگلو[10]	-	*		کالا		قبل فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		-	-
۱۳	حسنی و مختاری[11]	*	*		کالا		قبل-بعد فاجعه		هزینه		تک‌هدفه	-	-
۱۴	حبیبی[12] و همکاران	*	*		کالا		قبل-بعد فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		-	-
۱۵	قاسمی[13] و همکاران	-	*		کالا-افراد		قبل-بعد فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		-	-
۱۶	این مطالعه	*	*		کالا-افراد		قبل-بعد فاجعه	انسان‌دوستانه-هزینه		چندهدفه		*	*

1. Barzinpour and Esmaeili
2. Garrido et al.
3. Hong et al.
4. Sheu and Pan
5. Ahmadi et al.
6. Perez-Galarce et al.
7. Fereiduni and Shahanaghi
8. Mahootchi et al.
9. Maharjan and Shinya
10. Noyan and Kahvecioğlu
11. Hasani and Mokhtari
12. Habibi et al.
13. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III

در این بین مسیریابی بین سطح مختلف بسیار حائز اهمیت است ازاین‌رو که ازطرفی هزینه‌های کمتری به سیستم تحمیل کرده و باعث تسریع تخلیه و توزیع با درنظر گرفتن قابلیت فاسد شدن خون و مواد غذایی و .. می‌باشد. مسیریابی در این سیستم مسیریابی انبار عبوری کراس داک می‌باشد. در این سیستم سه نوع اولویت برای کالاهای امدادی وجود دارد که شامل ضروری، متوسط و با ضرورت کمتر می‌باشد و دو نوع صدمات شدید و متوسط برای افراد آسیب‌دیده درنظر گرفته شده است که افراد مجروح با جراحت شدید به بیمارستان و افراد مجروح سرپائی به مراکز موقت مراقبت منتقل می‌شوند. مرتب‌سازی و اولویت‌بندی کالای امدادی ازجمله خون، دارو، آب، غذا، شیرخشک، چادر، پتو و لباس و غیره در انبار موقت عبوری انجام می‌شود. جریان مصدومان و جریان منابع امدادی به‌طور همزمان درنظر گرفته می‌شود. جریان منابع امدادی بین تأمین‌کنندگان مراکز توزیع، انبارهای موقت و مناطق آسیب‌دیده درنظر گرفته شده و جریان مصدومین بین مراکز مراقبت و مناطق آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها است. باتوجه به اهمیت پوشش حداکثری تقاضا اینکه کدام تقاضا توسط کدام مرکز پوشش داده شود مورد توجه قرار گرفته است. مدل پیشنهادی این مطالعه هم قبل از بروز و هم بعد از بروز فاجعه را درنظر می‌گیرد. این سیستم به‌صورت چنددوره‌ای برنامه‌ریزی شده است و شامل چندین نوع محصول امداد ازجمله خون با طول عمر محدود می‌باشد همچنین چندین نوع وسیله نقلیه مناسب برای حمل کالاها، خون و افراد می‌باشد.

اهداف مدل پیشنهادی به‌شرح ذیل است: ۱) کمینه کردن نارضایتی افراد آسیب‌دیده از خدمات امداد و درمان از طریق کمینه کردن نسبت وزنی تعداد مصدومین درمان نشده در دوره‌های زمانی مختلف به تعداد کل افراد زخمی در هر منطقه آسیب‌دیده. ۲) به‌حداقل رساندن نارضایتی افراد از توزیع اقلام امداد ازطریق کمینه کردن نسبت وزنی کمبود کالا در زمان مختلف دوره به کل تقاضای مناطق آسیب‌دیده. ۳) حداقل کردن هزینه کل تهیه و آماده‌سازی قبل از وقوع فاجعه این هزینه شامل هزینه‌های ایجاد مراکز توزیع، انبارداری و حمل‌ونقل و هزینه‌های ایجاد انبارهای موقت مراکز درمانی موقت و هزینه‌های حمل‌ونقل در شرایط فاجعه می‌شود.

کارکردهای اهداف اول و دوم در جهت جلب رضایت مردم و درنتیجه انسان‌دوستانه است و عملکرد هدف سوم برای به‌حداقل رساندن هزینه‌های زنجیره‌تأمین است. با وجود محدودیت‌هایی ازجمله ظرفیت انبار، ظرفیت وسایل نقلیه، ظرفیت مراکز مراقبت‌های موجود، محدودیت تعادل و محل تأسیسات و محدودیت‌های جریان در شبکه و تخصیص وسایل نقلیه همچنین محدودیت تعریف متغیرهای تصمیم می‌باشد.

برای این مطالعه، مفروضات مدل به‌شرح زیر می‌باشد: ۱) شش سطح شامل تأمین‌کننده، مراکز توزیع، انبارهای موقت عبوری، مناطق آسیب‌دیده، مراکز مراقبت‌های موقت، بیمارستان‌ها در مدل ارائه شده به‌صورت قبل و بعد فاجعه درنظر گرفته می‌شود. ۲) نقاط تقاضا، تأمین‌کنندگان، مراکز مراقبت موجود شناخته شده همچنین میزان تقاضا مشخص است. ۳) تمام فاصله بین تسهیلات در دوره‌های برنامه‌ریزی ثابت و شناخته شده است. ۴) در هر مکان کاندید ایجاد مراکز توزیع امداد انبارهای موقت امکان‌پذیر است. ۵) فرض می‌شود مراکز توزیع قابلیت توزیع خون هم دارند. ۶) فرآورده‌های خونی دارای ماندگاری محدودی هستند و از زمان تولید آن‌ها میزان آسیب‌پذیری آن‌ها درنظر گرفته می‌شود. ۷) برای حمل‌ونقل کالاهای امدادی و آسیب‌دیدگان مجموعه ای از وسایل نقلیه ازجمله انواع مختلفی از وسایل نقلیه حمل‌ونقل ازجمله وسایل نقلیه یخچال‌دار برای انتقال خون با ظرفیت‌های مختلف درنظر گرفته شده است. ۸) وسایل نقلیه برای فرآیند جمع‌آوری و تحویل در انبار موقت متفاوت درنظر گرفته می‌شود. ۹) در منطقه ورودی انبار موقت عملیات بارگیری و جابجائی حمل‌ونقل یک وسیله نقلیه ورودی نمی‌تواند همزمان انجام شود. به‌عبارت دیگر یک عملیات متحرک فقط پس از بارگیری کامل وسیله نقلیه ورودی می‌تواند آغازشود. ۱۰) در ناحیه خارج از انبار موقت عبوری عملیات بارگیری یک وسیله نقلیه برون‌مرزی فقط پس‌از دریافت کلیه سفارشات اختصاص‌یافته به آن وسیله نقلیه و انتقال به منطقه خارج از انبار آغاز می‌شود. ۱۱) هریک از مسیرهای تحویل در انبار موقت شروع و پایان می‌یابد. ۱۲) کل سفارش مشتری باید فقط با یک وسیله نقلیه برون‌مرزی تحویل داده شود. ۱۳) فرض می‌شود که پرسنل بهداشتی بعد از فاجعه طبقه‌بندی بیماران را در مناطق ایمنی انجام می‌دهند. ۱۴) مراکز درمانی موجود توانائی معالجه هر دو نوع مصدوم را دارند. درحالی‌که مراکز مراقبت موقت فقط توانائی درمان مجروحان با شدت متوسط را دارند. ۱۵) هر منطقه آسیب‌دیده می‌تواند افراد مجروح را به یک یا چند مرکز مراقبت اعزام کند و هر مرکز مراقبت می‌تواند از یک یا چند منطقه آسیب‌دیده مجروح بگیرد. ۱۶) هر وسیله نقلیه فقط می‌تواند از یک نقطه به نقطه دیگر در هر مأموریت منتقل شود. ۱۷) توانائی و ظرفیت وسایل نقلیه مختلف برای حمل انواع مختلف کالاهای امدادی و افراد مصدوم با جراحات مختلف ازقبل مشخص شده‌اند به‌عبارت دیگر هر وسیله نقلیه نمی‌تواند همه انواع کالاهای امدادی و افراد آسیب‌دیده با انواع جراحات را حمل کند.

در توابع هدف، از اندیس‌ها و پارامترهایی استفاده شده است که درادامه به تعریف آن‌ها پرداخته می‌شود:

i: تأمین‌کننده؛ j: مراکز توزیع؛ k: انبارهای موقت عبوری؛ l: نقاط تقاضا؛ m: مراکز مراقبت موقت؛ n: بیمارستان‌ها؛ p: کالای امداد؛ q: اولویت کالای امدادی؛ o: نوع صدمه‌دیدگی افراد مجروح؛ v: وسیله نقلیه؛ w: مکان بالقوه؛ t: دوره زمانی؛ a: وسیله نقلیه برون‌مرزی؛ d: درب ورودی؛ dd: درب خروجی و r: مسیر. تعریف پارامترها به‌ترتیب زیر می‌باشد:

$HDEM_{lot}$: میزان تقاضای کل افراد مصدوم با نوع صدمه دیدگی oدر منطقه تقاضای l در دوره زمانی t

$HDEM_{pqlt}$: میزان تقاضای کالای امدادی p با اولویت q در منطقه تقاضای l در دوره t

$TCIJ_{ijpq}$: هزینه حمل کالای امدادیp با اولویت q از تأمین‌کننده i

به توزیع‌کننده j

$TCKI_{ikpq}$: هزینه حمل کالای امدادیp با اولویت q از تأمین‌کننده i به انبار عبوری k

$TCKJ_{jkpq}$: هزینه حمل کالای امدادیp با اولویت q از توزیع‌کننده j به انبار عبوری k

$TCLJ_{jlpq}$: هزینه حمل کالای امدادیp با اولویت q از توزیع‌کننده j به نقاط تقاضای l

$TCKL_{klpq}$: هزینه حمل کالای امدادیp با اولویت q از انبار عبوری k به نقطه تقاضای l

$TCRVLN_{ovln}$: هزینه حمل مصدومان با جراحت از نوع o با وسیله نقلیه v از نقطه تقاضای l به بیمارستان n

$TCRVLM_{ovlm}$: هزینه حمل مصدومان با جراحت از نوع o با وسیله نقلیه v از نقطه تقاضای l به مرکز مراقبت موقت m

$FCmw_{mw}$: هزینه احداث مرکز مراقبت موقت m در مکان بالقوه w

$FCkw_{kw}$: هزینه احداث انبار عبوری k در مکان بالقوه w

$FCjw_{iw}$: هزینه احداث مرکز توزیع j در مکان بالقوه w

$Capij_{pqij}$: ظرفیت توزیع‌کننده j برای نگهداری کالای p از نوع q از تأمین‌کننده i

$Capjk_{pqik}$: ظرفیت انبار عبوری k برای نگهداری کالای p از نوع q از توزیع‌کننده j

$Capik_{pqik}$: ظرفیت انبار عبوری k برای نگهداری کالای p از نوع q از تأمین‌کننده i

$PETEV_{vk}$: زمان پردازش وسیله نقلیه v در انبار عبوری k

$Capm_{m}$: ظرفیت مرکز موقت مراقبت m برای پذیرش مصدومان

$Capn_{n}$: ظرفیت مرکز موقت مراقبت n برای پذیرش مصدومان

$Capv_{v}$: ظرفیت وسیله نقلیه v

EVT_{v}: زمان سفر وسیله نقلیه خروجی v

T_{pq}: زمان آستانه کالاهای فسادپذیر

تعریف متغیرهای تصمیم نیز به‌ترتیب زیر می‌باشد:

$ETEV_{vk}$: زمان ورود وسایل نقلیه ورودی v به انبار عبوری k

$EVRD_{vkd}$: اگر وسیله نقلیه ورودی v به درب گیرنده d انبار عبوری k تخصیص یابد ۱ و در غیر این صورت صفر

$EVED_{vv'k}$: اگر وسیله نقلیه v از وسیله نقلیه v' به هر درب ورودی d انبار عبوری k پیشی بگیرد ۱ و در غیر این صورت صفر

$HCBV_{pa}$: اگر کالای امداد p به‌وسیله نقلیه برون‌مرزی a تخصیص یابد ۱ و در غیر این صورت صفر

EVT_{v}: زمان سفر وسیله نقلیه خروجی v

EVD_{vdk}: اگر وسیله نقلیه خروجی v به درب خروجی dd از انبار عبوری k تخصیص یابد ۱ و در غیر این صورت صفر

$EEVT_{v}$: زمان خروج وسیله نقلیه خروجی v

ER_{vr}: اگر مسیر r برای وسیله نقلیه خروجی v انتخاب شود ۱ و در غیر این صورت صفر

LN_{ln}: اگر گره تقاضای l به گره بیمارستان n تخصیص یابد ۱ و در غیر این صورت صفر

mw_{mw}: اگر مرکز مراقبت موقت m در مکان بالقوه w احداث شود ۱ و در غیر این صورت صفر

LNV_{ln}: تعداد وسایل نقلیه برای انتقال مصدومان از نقطه تقاضا l به بیمارستان n

jw_{iw}: اگر مرکز توزیع j در مکان w احداث شود ۱ و در غیر این صورت صفر

kw_{kw}: اگر انبار موقت k در مکان w احداث شود ۱ و در غیر این صورت صفر

$Xvlm_{vlmt}$: تعداد مصدومان منتقل شده از گره تقاضا l به مرکز درمان موقتی m با وسیله نقلیه v در دوره t

$Xvln_{vlnt}$: تعداد مصدومان منتقل شده از گره تقاضا l به بیمارستان n با وسیله نقلیه v در دوره t

$Ypqij_{pqij}$: کالای انتقالی p از نوع q از تأمین‌کننده i به توزیع‌کننده j

$Ypqjk_{pqjk}$: کالای انتقالی p از نوع q از توزیع‌کننده j به انبار عبوری k

$Ypqik_{pqik}$: کالای انتقالی p از نوع q از تأمین‌کننده i به انبار عبوری k

$Ypqjl_{pajl}$: کالای انتقالی p از نوع q از توزیع‌کننده j به نقطه تقاضای l

۲-۱. توابع هدف

تابع هدف اول به‌عنوان حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران درمان نشده به کل زخمی‌ها و مجروحین می‌باشد.

$$\min z_1 = \sum_l\sum_o\sum_t HDEM_{lot} - [\sum_v\sum_l\sum_m\sum_t Xvlm_{vlmt} + \sum_v\sum_l\sum_n\sum_t Xvln_{vlnt}].\frac{1}{\sum_l\sum_o\sum_t HDEM_{lot}} \quad (1)$$

تابع هدف دوم به‌دنبال حداقل ساختن کمبود کالاهای امدادی است.

$$\min z_2 = \sum_p\sum_q\sum_l\sum_t HDEM_{pqlt} - [\sum_p\sum_q\sum_i\sum_j Ypqij_{pqij} + \sum_p\sum_q\sum_j\sum_k Ypqjk_{pqjk} + \sum_p\sum_q\sum_l\sum_k Ypqik_{pqik} + \sum_p\sum_q\sum_j\sum_k Ypqjl_{pqjl} + \sum_p\sum_q\sum_l\sum_k Ypqkl_{pqkl}]. \cdot \frac{1}{\sum_l\sum_p\sum_t\sum_q HDEM_{lptq}} \quad (2)$$

تابع هدف سوم به‌عنوان حداقل ساختن هزینه کل سیستم می‌باشد این هزینه شامل هزینه حمل‌ونقل و همچنین احداث مراکز انبار موقت و مراکز درمانی موقت می‌باشد.

۲-۲. محدودیت‌ها

$$Ypqij_{pqij} \le Capij_{paij} \quad (4)$$

محدودیت (۴) نشانگر ظرفیت نگهداری کالای امدادی توسط مراکز توزیع می‌باشد.

$$Ypqjk_{pqjk} + Ypqik_{pqik} \le Capjk_{pqjk} \quad (5)$$

محدودیت (۵) نشانگر محدودیت ظرفیت نگهداری انبارهای عبوری

می‌باشد

$$Ypqkl_{pqkl} \geq HDEM_{pqlt} \quad (۶)$$

محدودیت (۶) بیان می‌کند میزان کالای انتقالی از انبار عبور k می‌بایست تقاضای کالای انتقالی از منطقه آسیب‌دیده را محقق نماید.

$$Ypqkl_{pqkl} \leq Capjk_{pqjk} \quad (۷)$$

محدودیت (۷) بیان می‌نماید میزان کالای انتقالی از انبار عبوری k نمی‌تواند از ظرفیت انبار عبوری در پذیرش کالا از توزیع‌کننده j بیشتر باشد.

$$Ypqkl_{pqkl} \leq Capik_{pqik} \quad (۸)$$

محدودیت (۸) نشان می‌دهد میزان کالای انتقالی از انبار عبوری k نمی‌تواند از ظرفیت انبار عبوری در پذیرش کالا از تأمین‌کننده i بیشتر باشد.

$$ETEV_{vk} = ETEV_{v-۱k} + PETEV_{vk} \quad (۹)$$

محدودیت (۹) بیانگر زمان ورود وسایل نقلیه به انبار عبوری می‌باشد.

$$EEVT_{v} = ETEV_{vk} + PETEV_{vk} \quad (۱۰)$$

محدودیت (۱۰) بیانگر زمان خروج وسایل نقلیه از انبار عبوری می‌باشد.

$$FEVT_{v} + EVT_{v} \leq T_{pq} \quad (۱۱)$$

محدودیت (۱۱) بیانگر محدودیت آستانه کالاهای فساد پذیر می‌باشد.

$$\sum_{k} EVRD_{vkd} = ۱ \quad (۱۲)$$

محدودیت (۱۲) بیانگر این است که هر وسیله نقلیه صرفاً به یک انبار عبوری تخصیص می‌یابد.

$$\sum_{d} EVRD_{vkd} = ۱ \quad (۱۳)$$

محدودیت (۱۳) نشانگر این است که هر وسیله نقلیه به یک درب ورودی تخصیص می‌یابد.

$$\sum_{v} EVED_{vv'tk} = ۱ \quad (۱۴)$$

محدودیت (۱۴) نشانگر توالی بین وسایل نقلیه می‌باشد.

$$\sum_{p} HCBV_{pa} = ۱ \quad (۱۵)$$

محدودیت (۱۵) نشانگر تخصیص کالا به وسایل نقلیه برون‌مرزی می‌باشد.

$$\sum_{k} EVD_{vkdd} = ۱ \quad (۱۶)$$

محدودیت (۱۶) نشانگر این است که هر وسیله نقلیه به یک انبار عبوری تخصیص می‌یابد.

$$\sum_{dd} EVD_{vkdd} = ۱ \quad (۱۷)$$

محدودیت (۱۷) نشانگر این است که هر وسیله نقلیه به یک درب خروجی انبار عبوری تخصیص می‌یابد.

$$\sum_{r} ER_{vr} = ۱ \quad (۱۸)$$

محدودیت (۱۸) نشان می‌دهد که هر وسیله نقلیه حداکثر به یک مسیر تخصیص می‌یابد.

$$\sum_{n} LN_{ln} \leq N \quad (۱۹)$$

محدودیت (۱۹) نشانگر کل تعداد بیمارستان‌های در دسترس می‌باشد.

$$\sum_{w} mw_{mw} \leq ۱ \quad (۲۰)$$

محدودیت (۲۰) بیان می‌کند که هر مرکز درمانی موقت حداکثر در یک مکان بالقوه تخصیص می‌یابد.

$$LNV_{in} \leq \frac{HDEM_{lot}}{Capv_{v}} \quad (۲۱)$$

محدودیت (۲۱) نشانگر تعداد کل وسایل نقلیه می‌باشد.

$$\sum_{w} jw_{jw} \leq ۱ \quad (۲۲)$$

محدودیت (۲۲) نشانگر این است که هر مرکز توزیع حداکثر در یک مکان احداث می‌شود.

$$\sum_{w} kw_{kw} \leq ۱ \quad (۲۳)$$

محدودیت (۲۳) بیان می‌کند که هر انبار عبوری حداکثر در یک مکان بالقوه احداث می‌شود.

$$\sum_{v} Xvlm_{vlmt} \leq Capm_{m} \quad (۲۴)$$

محدودیت (۲۴) نشانگر محدودیت ظرفیت مراکز درمانی موقت می‌باشد.

$$\sum_{v} Xvln_{vlnt} \leq Capn_{n} \quad (۲۵)$$

محدودیت (۲۵) نشانگر محدودیت ظرفیت بیمارستان‌ها می‌باشد.

$$\begin{aligned}
&EVRD_{vkd} \in \{۰,۱\},\\
&EVED_{vv'k} \in \{۰,۱\},\\
&HCBV_{pa} \in \{۰,۱,\},\\
&EVD_{vdk} \in \{۰,۱\},\\
&ER_{vr} \in \{۰,۱\},\\
&LN_{in} \in \{۰,۱\},\\
&mw_{mw} \in \{۰,۱\},\\
&jw_{jw} \in \{۰,۱\},\\
&kw_{kw} \in \{۰,۱\}
\end{aligned} \quad (۲۶)$$

محدودیت (۲۶) نشانگر محدودیت‌های متغیرهای باینری مسأله می‌باشد.

$$\begin{aligned}
&EEVT_{v} \geq ۰,\\
&ETEV_{vk} \geq ۰,\\
&LNV_{in} \geq ۰,\\
&Xvln_{vlnt} \geq ۰,\\
&Xvlm_{vlmt} \geq ۰,\\
&Ypqij_{pqij} \geq ۰,\\
&Ypqjk_{pqik} \geq ۰,\\
&Ypqik_{pqik} \geq ۰,\\
&Ypqjl_{pqil} \geq ۰,\\
&Ypqkl_{pqkl} \geq ۰
\end{aligned} \quad (۲۷)$$

محدودیت (۲۷) نشانگر محدودیت‌های متغیرهای عدد صحیح مسأله است.

۳. نتایج عددی

۳-۱. حل مدل با الگوریتم فراابتکاری

الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های اکتشافی حل مسأله است که از مدل‌سازی زیستی جمعیت جانداران به‌وجود آمده است.

در این الگوریتم، خصوصیات نسل جانداران به مقدار توابع هدف و بهبود در خصوصیات نسلی در پی گذشت زمان تشبیه و ظهور نسل‌های جدید از آمیزش نسل‌های قبلی به بهبود در مقدار توابع هدف کمک می‌کند.

به‌عبارت دیگر این الگوریتم از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول یا جواب بهینه استفاده می‌کند.

در این بخش، با استفاده از الگوریتم فراابتکاری NSGAIII به حل مدل پرداخته شد.

۳-۲. الگوریتم NSGA-III

یک الگوریتم جدید مبتنی‌بر الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب است که در سال ۲۰۱۴ توسط پروفسور دب و یکی از دانشجویانش به‌نام جِین ارائه شده است. اصول پایه این الگوریتم مانند الگوریتم NSGA-II است. هر دو الگوریتم از عملگرهای تقاطع و جهش برای تولید فرزندان استفاده می‌کنند و از رویکرد مرتب‌سازی نامغلوب برای تعیین رتبه نامغلوبی اعضای جمعیت استفاده می‌کنند. با این حال، برخلاف الگوریتم NSGA-II که از مفهوم فاصله ازدحام برای ایجاد تمایز بین اعضای مربوط به یک جبهه پرتو استفاده می‌کند، الگوریتم NSGA-III ازیک عملگر انتخاب برمبنای تعدادی نقطه مرجع برای این منظور استفاده می‌کند که می‌تواند منجربه پراکندگی بیشتر جواب‌های نامغلوب حاصل شود.

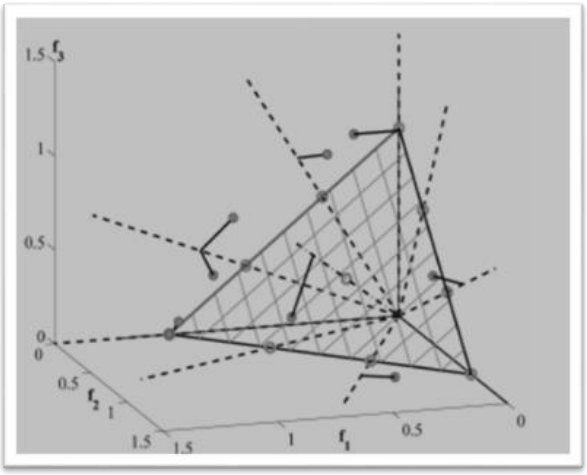
برای نمایش جواب‌ها در الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب چندین کروموزوم یا به‌عبارت دیگر چندین ترکیب مختلف مشخصه‌ها به‌صورت تصادفی به‌کار گرفته شدند.

مراحل مختلف اجرای الگوریتم NSGAIII به‌صورت زیر هستند:

۱) تولید یک جمعیت اولیه
۲) انجام عملگرهای جهش و تقاطع
۳) ایجاد جمعیت ترکیبی از والدین و فرزندان
۴) مرتب‌سازی نامغلوب
۵) تعیین نقاط مرجع بر روی یک صفحه موسوم به صفحه بالایی
۶) نرمال‌سازی وفقی اعضای جمعیت
۷) عملگر ارتباط
۸) حفظ تورفتگی

این الگوریتم در تولید جمعیت اولیه مانند سایر الگوریتم‌های ژنتیک عمل کرده و ابتدا به‌طور تصادفی چندین مجموعه جواب برای مسأله تولید کردیم.

الگوریتم NSGA-III از یک مجموعه ازپیش تعیین شده نقاط مرجع استفاده می نماید تا از تنوع پاسخ‌های به‌دست آمده نهایی اطمینان حاصل شود. این نقاط مرجع انتخاب شده می‌توانند در یک روش ساختاری ازپیش تعیین شده یا به‌طور ترجیحی توسط کاربر مشخص شوند. برای مثال، در یک مسأله سه-هدفه نقاط مرجع روی یک فضای مثلثی شکل که رئوس آن روی نقاط (۱،۰،۰) و (۰،۱،۰) و (۰،۰،۱) قرار دارند ایجاد می‌شوند. اگر چهار بخش در امتداد هر تابع هدف درنظر گرفته شوند، آنگاه ۱۵ نقطه مرجع تولید خواهد شد. برای درک بهتر، این نقاط در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.



شکل (۱). نقاط مرجع

در الگوریتم NSAG-III علاوه‌بر تأکید بر پاسخ‌های نامغلوب، پاسخ‌های در جهت وابسته به این نقاط مرجع نیز مطرح هستند. از آنجا که نقاط مرجع ایجاد شده فوق عمدتاً روی کل ناحیه صفحه توزیع شده در الگوریتم NSAG-III علاوه‌بر تأکید بر پاسخ‌های نامغلوب، پاسخ‌های در جهت وابسته به این نقاط مرجع نیز مطرح هستند. از آنجا که نقاط مرجع ایجاد شده فوق عمدتاً روی کل ناحیه صفحه توزیع شده‌اند، پاسخ‌های به‌دست آمده نیز احتمالاً روی جبهه بهینه پارتو یا نزدیک آن توزیع می‌شوند. در مرحله نرمال‌سازی وقفی جمعیت یک فرآیند نرمالیزاسیون انجام می‌شود. نخست نقاط ایده‌آل از جمعیت با شناسایی مقدار مینیمم برای هر تابع هدف ساخته می‌شود سپس نقاط افراطی در هر محور هدف با پیدا کردن جواب‌هایی که تابع مقیاس‌زایی حاصله متناظر را مینیمم می‌نماید، شناسایی می‌شوند.

عملگر ارتباط بعد از نرمالیزه کردن هر هدف به‌طور انطباقی براساس توسعه اعضای جمعیت در فضای تابع هدف، هر عضو از جمعیت را با نقاط مرجع مرتبط می‌کند. بدین منظور، که خط مرجع متناظر با هر نقطه مرجع روی صفحه با اتصال نقطه مرجع به مبدأ تعریف می‌شود. سپس، فاصله عمودی هر عضو از جمعیت را از هر خط مرجع محاسبه می‌شود. نقطه مرجع که خط مرجعش نزدیک به عضو جمعیت در فضای هدف نرمالیزه شده است و به‌عنوان عضو جمعیت مرتبط با آن تلقی می‌شود. این نکته هم ارزشمند خواهد بود که نقطه مرجع ممکن است یک یا چند عضو جمعیت را وابسته به خود داشته باشد یا نیازی نیست که هیچ عضوی از جمعیت را داشته باشد بعد از اینکه تعداد فرورفتگی‌ها آپدیت شد، فرآیند برای nبار دیگر تکرار می‌شود.

لازم به ذکر است مقادیر پارامترهای روش NSGAIII که شامل، تعداد تکرار (Max Iteration) با مقدار ۱۰۰، تعداد جمعیت (Pop Size)، با مقدار ۲۰۰، نرخ ترکیب (PC) ۹۰٪، نرخ جهش (PM) ۱۰٪ درنظر گرفته شده است. همچنین جهت تنظیم پارامترهای ورودی به مدل از مقالات مطرح در این حوزه و تابع توزیع تصادفی استفاده شده است.

با حل الگوریتم نقاط پارتو به‌دست می‌آید که نشانگر عملکرد الگوریتم در اجرای مدل و حل آن می‌باشد نتایج حل الگوریتم براساس نقاط پارتو به‌شرح ذیل می‌باشد. مسأله در ابعاد بزرگ معرفی می‌گردد که به‌شرح جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱). معرفی مسأله در ابعاد بزرگ

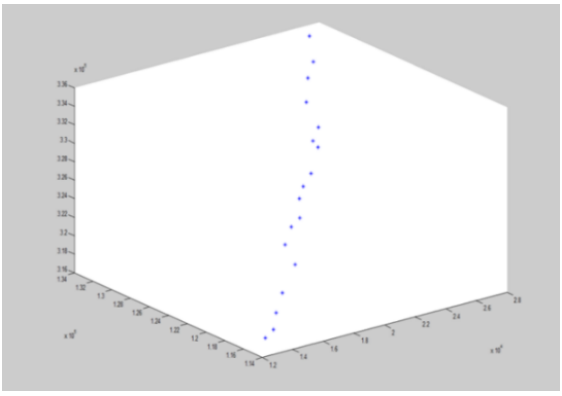
مسأله	تأمین کننده	مراکز توزیع	انبارهای موقت عبوری	نقاط تقاضا	مراکز مراقبت موقت	بیمارستانها	کالای امداد	اولویت کالای امدادی	نوع صدمه دیدگی افراد مجروح	وسایل نقلیه	مکان بالقوه	دوره زمانی	وسایل نقلیه برون‌مرزی	درب ورودی	درب خروجی	مسیر
۱	۱۰	۱۵	۴	۲۰	۱۵	۱۲	۵	۳	۳	۳۰	۳۰	۵	۵	۵	۵	۲۰
۲	۱۱	۱۵	۴	۲۰	۱۵	۱۳	۵	۳	۳	۳۰	۳۰	۵	۵	۵	۵	۲۰
۳	۱۲	۱۶	۴	۲۱	۱۵	۱۴	۵	۳	۳	۳۲	۳۲	۵	۵	۵	۵	۲۱
۴	۱۲	۱۶	۴	۲۱	۱۶	۱۴	۵	۳	۳	۳۲	۳۲	۵	۵	۵	۵	۲۲
۵	۱۳	۱۶	۴	۲۲	۱۶	۱۴	۵	۳	۳	۳۳	۳۳	۵	۵	۵	۵	۲۳
۶	۱۳	۱۷	۴	۲۳	۱۶	۱۴	۵	۳	۳	۳۴	۳۴	۵	۵	۵	۵	۲۳
۷	۱۴	۱۸	۴	۲۳	۱۷	۱۴	۵	۳	۳	۳۵	۳۵	۵	۵	۵	۵	۲۳
۸	۱۴	۱۸	۴	۲۴	۱۸	۱۵	۵	۳	۳	۳۵	۳۵	۵	۵	۵	۵	۲۴
۹	۱۵	۱۹	۴	۲۴	۱۸	۱۶	۵	۳	۳	۳۶	۳۶	۵	۵	۵	۵	۲۴
۱۰	۱۵	۱۹	۴	۲۴	۱۹	۱۶	۵	۳	۳	۳۶	۳۶	۵	۵	۵	۵	۲۵

با معرفی مسأله در ابعاد بزرگ اکنون می‌توان مدل را اجرا کرد که نتیجه آن نقاط پارتو تولید شده توسط الگوریتم NSGAIII می‌باشد. نتایج حل مدل به‌شرح ذیل ارائه می‌گردد.

با حل الگوریتم NSGAIII مشاهده می‌شود که باتوجه به ارائه نقاط پارتو می‌توان گفت، الگوریتم NSGAIII موفق به حل مدل طراحی شده گردیده است.

۳-۳. تحلیل حساسیت مسأله در ابعاد بزرگ

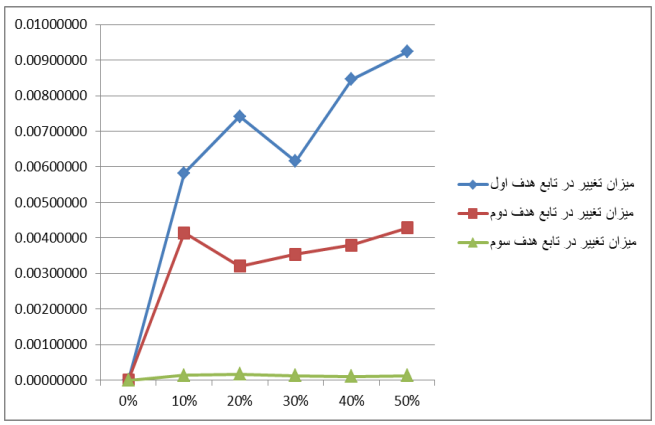
باتوجه به اینکه مسأله در ابعاد بزرگ حل شده است به‌دنبال تحلیل حساسیت مسأله با استفاده از پارامترهای بیشتری می‌باشیم. نتایج تحلیل حساسیت در ادامه ارائه شده است.



شکل (۲). نمودار پارتوی الگوریتم NSGAIII

جدول (۲). تحلیل حساسیت هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده

هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۴۶۵۹۸۹	۳۲۲۴۴۳۱۰	۹۷۱۲۸۴۲۹۸۱۲۱۶	۰/۰۰۵۸۲۰۳۰	۰/۰۰۴۱۴۳۲۵	۰/۰۰۰۱۳۹۱۶
%۲۰	۲۰۶۱۷۶۹۶	۳۲۳۴۷۸۱۲	۹۷۱۴۴۶۵۱۳۲۷۱۶	۰/۰۰۷۴۱۲۶۴	۰/۰۰۳۲۰۹۹۳	۰/۰۰۰۱۶۷۰۱
%۳۰	۲۰۷۴۴۵۰۹	۳۲۴۶۲۲۴۶	۹۷۱۵۶۸۸۱۱۱۸۱۶	۰/۰۰۶۱۵۰۶۹	۰/۰۰۳۵۳۷۶۱	۰/۰۰۰۱۲۵۸۹
%۴۰	۲۰۹۱۹۹۶۹	۳۲۵۸۵۵۳۰	۹۷۱۶۷۱۱۲۵۲۹۱۶	۰/۰۰۸۴۵۸۱۴	۰/۰۰۳۷۹۷۷۷	۰/۰۰۰۱۰۵۳۱
%۵۰	۲۱۱۱۳۰۹۶	۳۲۷۲۴۸۸۵	۹۷۱۷۸۹۰۸۰۱۰۱۶	۰/۰۰۹۲۳۱۷۱	۰/۰۰۴۲۷۶۵۹	۰/۰۰۰۱۲۱۳۹

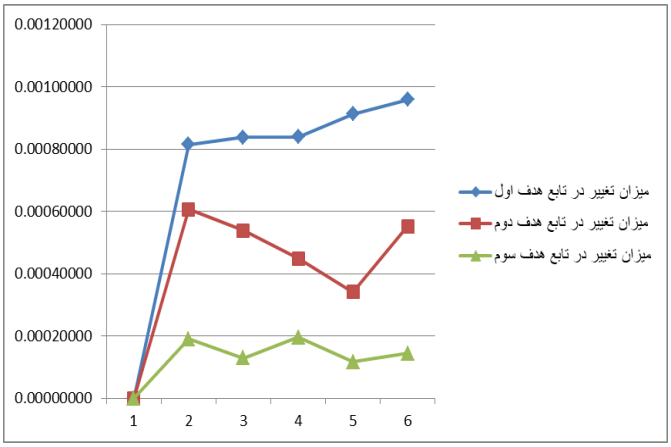


شکل (۳). تحلیل حساسیت هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده

همان‌گونه که از نمودار فوق پیداست این هزینه بیشترین اثر را بر تابع هدف اول که نسبت بیماران به کل مجروحین می‌باشد ایجاد کرده و سپس بر تابع هدف دوم که کمبود می‌باشد اثرگذاری خود را نشان داده است. اثرگذاری بر تابع هزینه ظاهراً در کمترین میزان بوده و نسبت‌به دو هدف دیگر تأثیرگذاری کمتری را نشان می‌دهد.

جدول (۳). تحلیل حساسیت هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبور

هزینه حمل کالای امدادی از تامین‌کننده به انبار عبوری	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۳۶۴۱۴۴	۳۲۱۳۰۷۴۲	۹۷۱۳۳۳۸۰۰۷۳۵۵	۰/۰۰۰۸۱۵۰۴	۰/۰۰۰۶۰۶۵۵	۰/۰۰۰۱۹۰۱۴
%۲۰	۲۰۳۸۱۱۹۲	۳۲۱۴۸۰۳۳	۹۷۱۴۵۹۰۱۵۷۴۶۲	۰/۰۰۰۸۳۷۱۶	۰/۰۰۰۵۳۸۱۵	۰/۰۰۰۱۲۸۹۱
%۳۰	۲۰۳۹۸۲۹۵	۳۲۱۶۲۴۷۵	۹۷۱۶۴۹۰۵۹۷۵۸۳	۰/۰۰۰۸۳۹۱۶	۰/۰۰۰۴۴۹۲۳	۰/۰۰۰۱۹۵۶۳
%۴۰	۲۰۴۱۶۹۰۸	۳۲۱۷۳۴۵۱	۹۷۱۷۶۲۷۲۴۳۹۹۲	۰/۰۰۰۹۱۲۴۸	۰/۰۰۰۳۴۱۲۷	۰/۰۰۰۱۱۶۹۸
%۵۰	۲۰۴۳۶۴۸۹	۳۲۱۹۱۲۰۴	۹۷۱۹۰۲۵۲۲۵۴۹۱	۰/۰۰۰۹۵۹۰۶	۰/۰۰۰۵۵۱۷۹	۰/۰۰۰۱۴۳۸۶

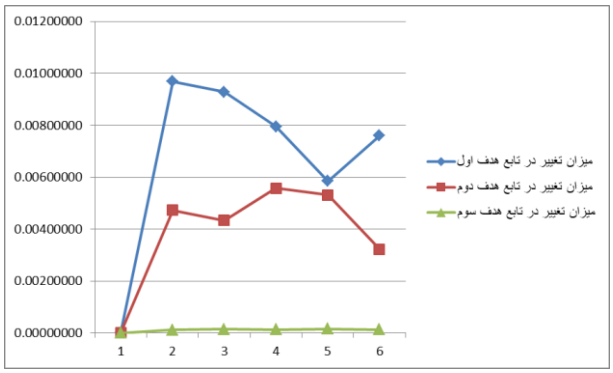


شکل (۴). تحلیل حساسیت هزینه حمل کالای امدای از تأمین‌کننده به انبار عبور

درخصوص اثر هزینه حمل کالای امدادی ازتأمین‌کننده به انبار نیز مشاهده می‌شود که بیشترین اثر بر تابع هدف اول مشاهده می‌شود اما همچنان اثر بعدی بر تابع هدف دوم است درحالی‌که میزان اثرگذاری هزینه حمل از تأمین‌کننده به انبار عبوری بر هزینه بیش‌از میزان اثرگذاری هزینه حمل از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده است و واکنش مدل نسبت‌به هزینه نسبت‌به تحلیل حساسیت پارامتر قبلی بیشتر می‌باشد.

جدول (۴). تحلیل حساسیت هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری

هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۵۴۴۶۹۰	۳۲۲۶۳۲۵۳	۹۷۱۲۷۲۱۲۲۴۹۴۴	۰/۰۰۹۶۸۸۱۴	۰/۰۰۴۷۳۳۱۷	۰/۰۰۰۱۲۶۶۳
%۲۰	۲۰۷۳۵۴۷۲	۳۲۴۰۳۲۹۶	۹۷۱۴۱۰۸۹۸۶۶۴۲	۰/۰۰۹۲۸۶۲۰	۰/۰۰۴۳۴۰۶۳	۰/۰۰۰۱۴۲۸۸
%۳۰	۲۰۹۰۰۲۲۹	۳۲۵۸۴۱۹۱	۹۷۱۵۴۴۲۵۳۰۵۴۰	۰/۰۰۷۹۴۵۶۶	۰/۰۰۵۵۸۲۶۱	۰/۰۰۰۱۳۷۲۸
%۴۰	۲۱۰۲۲۴۳۱	۳۲۷۵۷۴۲۰	۹۷۱۷۰۶۴۶۵۴۷۲۰	۰/۰۰۵۸۴۶۹۲	۰/۰۰۵۳۱۶۳۵	۰/۰۰۰۱۶۶۹۶
%۵۰	۲۱۱۸۲۰۷۱	۳۲۸۶۳۱۳۷	۹۷۱۸۳۱۰۷۶۴۲۳۴	۰/۰۰۷۵۹۳۷۹	۰/۰۰۳۲۲۷۲۷	۰/۰۰۰۱۲۸۲۴

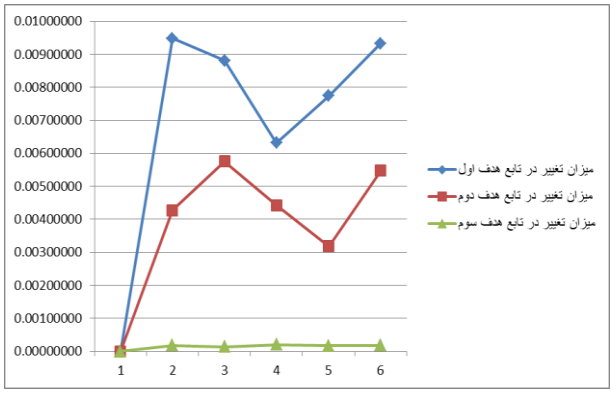


شکل (۵). تحلیل حساسیت هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری

درخصوص هزینه حمل از توزیع‌کننده به انبار عبوری مشاهده می‌شود که اثرگذاری بر هزینه نسبت‌به هزینه حمل از تأمین‌کننده به انبار عبوری کمتر می باشد اما همچنان مشاهده می‌شود که این افزایش می‌تواند منجربه افزایش زیاد در نسبت بیماران به کل مجروحین و همچنین کمبود شود به‌عبارت دیگر منجربه بدتر شدن جواب شده و به اصطلاح مدل نسبت‌به افزایش این پارامتر واکنش منفی نشان می‌دهد.

جدول (۵). تحلیل حساسیت هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان

هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۴۸۳۳۷۷	۳۲۲۸۳۸۵۱	۹۷۱۲۶۹۵۳۸۳۷۳۱	۰/۰۰۶۶۷۴۸۵	۰/۰۰۵۳۷۴۶۲	۰/۰۰۰۱۲۳۹۶
%۲۰	۲۰۶۲۰۹۷۲	۳۲۴۷۴۰۴۷	۹۷۱۴۳۹۲۴۹۳۹۰۴	۰/۰۰۶۷۱۷۴۰	۰/۰۰۵۸۹۱۳۷	۰/۰۰۰۱۷۴۷۳
%۳۰	۲۰۸۰۰۱۷۵	۳۲۶۱۴۹۷۲	۹۷۱۵۶۸۲۳۴۱۸۱۷	۰/۰۰۸۶۹۰۳۳	۰/۰۰۴۳۳۹۶۲	۰/۰۰۰۱۳۲۷۸
%۴۰	۲۰۹۴۱۱۲۱	۳۲۷۸۲۱۹۶	۹۷۱۷۵۴۹۹۴۲۰۶۱	۰/۰۰۶۷۷۶۱۹	۰/۰۰۵۱۲۷۲۲	۰/۰۰۰۱۹۲۲۳
%۵۰	۲۱۰۵۸۰۸۳	۳۲۸۹۳۹۹۵	۹۷۱۹۳۸۶۹۹۶۳۳۰	۰/۰۰۵۵۸۵۲۸	۰/۰۰۳۴۱۰۳۶	۰/۰۰۰۱۸۹۰۵

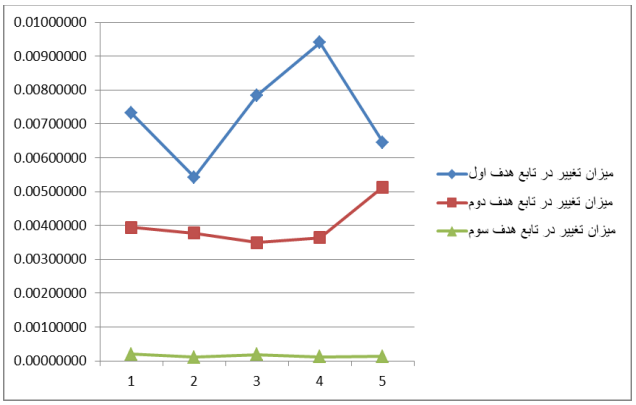


شکل (۶). تحلیل حساسیت هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان

در این بخش در ادامه حمل کالا به حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان پرداخته می‌شود که نتیجه تحلیل بیان می‌کند که هزینه حمل مصدومان منجربه افزایش تابع هدف اول و دوم و درواقع بدتر شدن جواب می‌شود درحالی‌که اثر کمتری بر هزینه داشته و هزینه نسبت‌به این افزایش واکنش ضعیفتری نشان می‌دهد.

جدول (۶). تحلیل حساسیت هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به مراکز مراقبت موقت

هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به مراکز مراقبت موقت	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۴۹۶۴۰۴	۳۲۲۳۷۹۹۸	۹۷۱۳۳۸۹۱۷۵۵۶۴	۰/۰۰۷۳۱۵۰۸	۰/۰۰۳۹۴۶۶۸	۰/۰۰۰۱۹۵۴۰
%۲۰	۲۰۶۰۷۶۴۵	۳۲۳۵۹۶۲۵	۹۷۱۴۴۷۰۸۳۵۰۲۶	۰/۰۰۵۴۲۷۳۴	۰/۰۰۳۷۷۲۷۸	۰/۰۰۰۱۱۱۳۶
%۳۰	۲۰۷۶۹۲۸۰	۳۲۴۷۲۸۷۰	۹۷۱۶۳۰۱۴۰۴۷۷۴	۰/۰۰۷۸۴۳۴۵	۰/۰۰۳۴۹۹۵۸	۰/۰۰۰۱۸۸۴۴
%۴۰	۲۰۹۶۴۵۷۲	۳۲۵۹۱۱۴۸	۹۷۱۷۴۵۰۰۰۰۸۵۵	۰/۰۰۹۴۰۲۹۳	۰/۰۰۳۶۴۲۳۶	۰/۰۰۰۱۱۸۲۱
%۵۰	۲۱۰۹۹۸۴۵	۳۲۷۵۸۵۴۹	۹۷۱۸۷۰۲۰۴۴۵۹۶	۰/۰۰۶۴۵۲۴۶	۰/۰۰۵۱۳۶۳۹	۰/۰۰۰۱۲۸۸۴

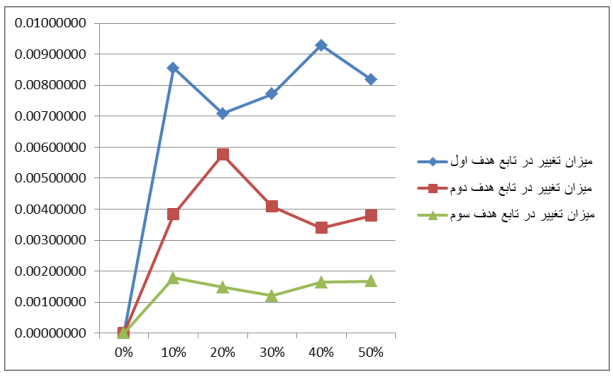


شکل (۷). تحلیل حساسیت هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به مراکز مراقبت موقت

نتایج تحلیل هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا نشان می‌دهد که در صورت افزایش این هزینه نسبت بیماران می‌تواند به‌شکل قابل توجهی افزایش یابد و همچنین کمبود کالا نیز به‌وجود می‌آید به‌عبارت دیگر افزایش هزینه حمل مصدومان می‌تواند منجربه شکل‌گیری کمبود شود اما هزینه کل تأثیر کمتری خواهد دید.

جدول (۷). تحلیل حساسیت هزینه احداث مرکز مراقبت موقت در مکان بالقوه

هزینه احداث مرکز مراقبت موقت در مکان بالقوه	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۵۲۱۴۹۳	۳۲۲۳۴۱۹۱	۹۷۲۸۷۱۸۲۸۵۲۳۷	۰/۰۰۸۵۴۸۱۰	۰/۰۰۳۸۲۸۱۳	۰/۰۰۱۷۷۳۸۶
%۲۰	۲۰۶۶۶۸۱۲	۳۲۴۲۰۰۰۷	۹۷۴۳۰۹۶۰۶۲۷۷۲	۰/۰۰۷۰۸۱۳۱	۰/۰۰۵۷۶۴۵۶	۰/۰۰۱۴۷۷۸۷
%۳۰	۲۰۸۲۶۳۱۱	۳۲۵۵۲۴۷۷	۹۷۵۴۸۲۵۰۴۵۴۷۰	۰/۰۰۷۷۱۷۶۴	۰/۰۰۴۰۸۶۰۶	۰/۰۰۱۲۰۳۸۳
%۴۰	۲۱۰۱۹۵۷۷	۳۲۶۶۳۱۵۳	۹۷۷۰۸۶۷۸۸۵۹۰۸	۰/۰۰۹۲۷۹۹۰	۰/۰۰۳۳۹۹۹۳	۰/۰۰۱۶۴۴۶۱
%۵۰	۲۱۱۹۱۵۴۳	۳۲۷۸۶۷۰۶	۹۷۸۷۲۹۳۸۷۵۳۵۳	۰/۰۰۸۱۸۱۲۳	۰/۰۰۳۷۸۲۶۴	۰/۰۰۱۶۸۱۱۲

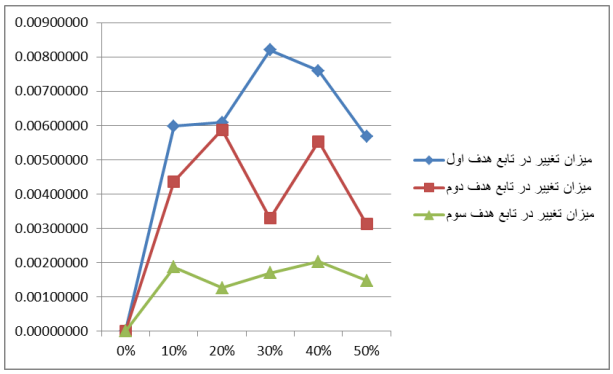


شکل (۸). تحلیل حساسیت هزینه احداث مرکز مراقبت موقت در مکان بالقوه

در این بخش هزینه‌های احداث مراکز مدنظر می‌باشد همچنان دیده می‌شود که افزایش هزینه احداث مراکز موقت می‌تواند تعداد بیمارانی که مورد درمان قرار نگرفته‌اند را افزایش دهد این درحالی است که منجربه کمبود نیز می‌شود اما ظاهراً اثر کمبود کاهشی است. هزینه کل نیز بیش‌از هزینه‌های حمل تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

جدول (۸). تحلیل حساسیت هزینه احداث انبار عبوری در مکان بالقوه

هزینه احداث انبار عبوری در مکان بالقوه	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۴۶۹۲۶۷	۳۲۲۵۱۶۲۹	۹۷۲۹۷۲۷۰۸۸۴۷۴	۰/۰۰۵۹۸۱۴۱	۰/۰۰۴۳۷۱۱۸	۰/۰۰۱۸۷۷۷۳
%۲۰	۲۰۵۹۳۷۸۸	۳۲۴۴۱۰۴۴	۹۷۴۲۰۱۶۹۴۹۴۵۸	۰/۰۰۶۰۸۳۳۲	۰/۰۰۵۸۷۳۰۴	۰/۰۰۱۲۶۳۱۲
%۳۰	۲۰۷۶۲۶۱۳	۳۲۵۴۸۰۱۴	۹۷۵۸۵۸۸۷۷۱۶۶۲	۰/۰۰۸۱۹۷۸۶	۰/۰۰۳۲۹۷۳۷	۰/۰۰۱۷۰۱۰۷
%۴۰	۲۰۹۲۰۴۱۹	۳۲۷۲۸۱۱۳	۹۷۷۸۴۲۹۱۷۴۱۴۱	۰/۰۰۷۶۰۰۴۹	۰/۰۰۵۵۳۳۳۳	۰/۰۰۲۰۳۳۱۲
%۵۰	۲۱۰۳۹۱۹۹	۳۲۸۳۰۵۸۲	۹۷۹۲۹۲۶۰۳۵۰۹۱	۰/۰۰۵۶۷۷۷۱	۰/۰۰۳۱۳۰۹۲	۰/۰۰۱۴۸۲۵۳

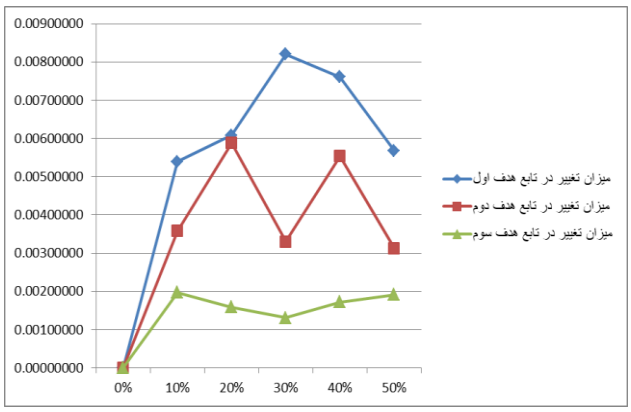


شکل (۹). تحلیل حساسیت هزینه احداث انبار عبوری در مکان بالقوه

درصورتی‌که هزینه‌های احداث انبار عبوری افزایش یابد نیز شاهد خواهیم بود که بر سه تابع هدف اثرگذار بوده و درواقع مقادیر توابع هدف به‌شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد اما این اثرگذاری بیشتر در تابع هدف اول و سپس در توابع هدف دوم و سوم خواهد بود.

جدول (۹). تحلیل حساسیت هزینه احداث مرکز توزیع در مکان بالقوه

هزینه احداث مرکز توزیع در مکان بالقوه	حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	حداقل ساختن کمبود	حداقل ساختن هزینه	میزان تغییر در تابع هدف اول	میزان تغییر در تابع هدف دوم	میزان تغییر در تابع هدف سوم
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۹۷۱۱۴۹۱۵۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰
%۱۰	۲۰۴۵۷۳۲۶	۳۲۲۲۶۲۲۰	۹۷۳۰۶۳۹۷۱۹۵۸۰	۰/۰۰۵۳۹۴۵۵	۰/۰۰۳۵۷۹۹۰	۰/۰۰۱۹۷۱۷۱
%۲۰	۲۰۵۸۱۸۴۷	۳۲۴۱۵۶۳۵	۹۷۴۶۰۴۰۹۲۰۱۶۹	۰/۰۰۶۰۸۶۸۷	۰/۰۰۵۸۷۷۶۷	۰/۰۰۱۵۸۲۷۵
%۳۰	۲۰۷۵۰۶۷۲	۳۲۵۲۲۶۰۵	۹۷۵۸۷۹۷۱۴۱۱۴۶	۰/۰۰۸۲۰۲۶۲	۰/۰۰۳۲۹۹۹۵	۰/۰۰۱۳۰۸۸۶
%۴۰	۲۰۹۰۸۴۷۸	۳۲۷۰۲۷۰۴	۹۷۷۵۵۴۶۳۹۶۳۴۷	۰/۰۰۷۶۰۴۸۶	۰/۰۰۵۵۳۷۶۶	۰/۰۰۱۷۱۶۳۲
%۵۰	۲۱۰۲۷۲۵۸	۳۲۸۰۵۱۷۳	۹۷۹۴۲۸۱۷۹۷۱۰۱	۰/۰۰۵۶۸۰۹۵	۰/۰۰۳۱۳۳۳۵	۰/۰۰۱۹۱۶۵۶



شکل (۱۰). تحلیل حساسیت هزینه احداث مرکز توزیع در مکان بالقوه

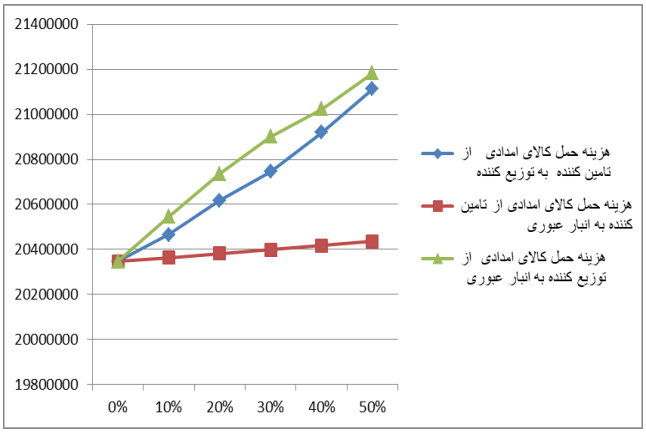
درخصوص هزینه احداث مراکز توزیع نیز درصورت افزایش، تفاوت چندانی مشاهده نشده و همین میزان اثرگذاری که درخصوص پارامترهای دیگر مشاهده شد درخصوص این پارامتر نیز قابل مشاهده می‌باشد.

۳-۴. تعیین تأثیرگذارترین هزینه

در این بخش، بررسی می‌شود که کدام هدف از کدام نوع هزینه بیشتر اثر پذیرفته است نتایج در قالب جداول و نمودارهای ذیل ارائه می‌شود.

جدول (۱۰). مقایسه اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر تابع هدف اول

حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده	هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری	هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۲۰۳۴۷۵۶۰
%۱۰	۲۰۴۶۵۹۸۹	۲۰۳۶۴۱۴۴	۲۰۵۴۴۶۹۰
%۲۰	۲۰۶۱۷۶۹۶	۲۰۳۸۱۱۹۲	۲۰۷۳۵۴۷۲
%۳۰	۲۰۷۴۴۵۰۹	۲۰۳۹۸۲۹۵	۲۰۹۰۰۲۲۹
%۴۰	۲۰۹۱۹۹۶۹	۲۰۴۱۶۹۰۸	۲۱۰۲۲۴۳۱
%۵۰	۲۱۱۱۳۰۹۶	۲۰۴۳۶۴۸۹	۲۱۱۸۲۰۷۱

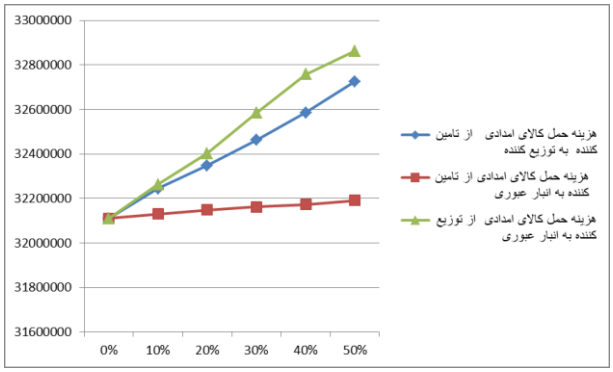


شکل (۱۱). مقایسه اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر تابع هدف اول

همان‌گونه که در نمودار فوق مشاهده می‌شود، هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری نسبت‌به دو پارامتر هزینه حمل دیگر اثر بسیار کمتری داشته و دارای شیب ملایم می‌باشد این درحالی است که هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری دارای بیشترین اثرگذاری وپس‌از آن هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده قرار دارد.

جدول (۱۱). مقایسه اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر حداقل ساختن کمبود

حداقل ساختن کمبود	هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده	هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری	هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری
%۰	۳۲۱۱۱۲۶۵	۳۲۱۱۱۲۶۵	۳۲۱۱۱۲۶۵
%۱۰	۳۲۲۴۴۳۱۰	۳۲۱۳۰۷۴۲	۳۲۲۶۳۲۵۳
%۲۰	۳۲۳۴۷۸۱۲	۳۲۱۴۸۰۳۳	۳۲۴۰۳۲۹۶
%۳۰	۳۲۴۶۲۲۴۶	۳۲۱۶۲۴۷۵	۳۲۵۸۴۱۹۱
%۴۰	۳۲۵۸۵۵۳۰	۳۲۱۷۳۴۵۱	۳۲۷۵۷۴۲۰
%۵۰	۳۲۷۲۴۸۸۵	۳۲۱۹۱۲۰۴	۳۲۸۶۳۱۳۷

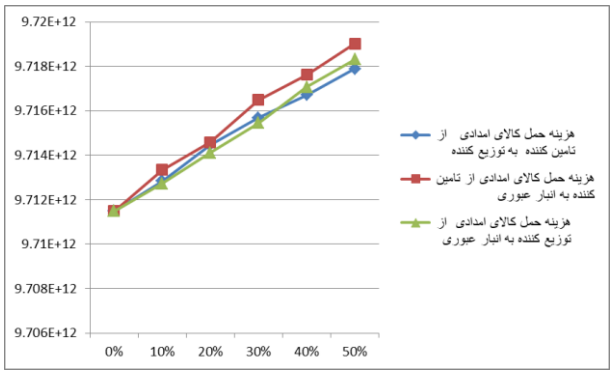


شکل (۱۲). مقایسه اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر حداقل ساختن کمبود

همان‌گونه که دیده می‌شود همچنان سه پارامتر حمل منجربه افزایش کمبود می شوند اما اثر هزینه کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری کمتر از دو پارامتر دیگر می‌باشد و همچنان هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری دارای بیشترین شیب و اثر می‌باشد.

جدول (۱۲). مقایسه اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر حداقل ساختن هزینه

حداقل ساختن هزینه	هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده	هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری	هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری
%۰	9.71E+12	9.71E+12	9.71E+12
%۱۰	9.71E+12	9.71E+12	9.71E+12
%۲۰	9.71E+12	9.71E+12	9.71E+12
%۳۰	9.72E+12	9.72E+12	9.72E+12
%۴۰	9.72E+12	9.72E+12	9.72E+12
%۵۰	9.72E+12	9.72E+12	9.72E+12

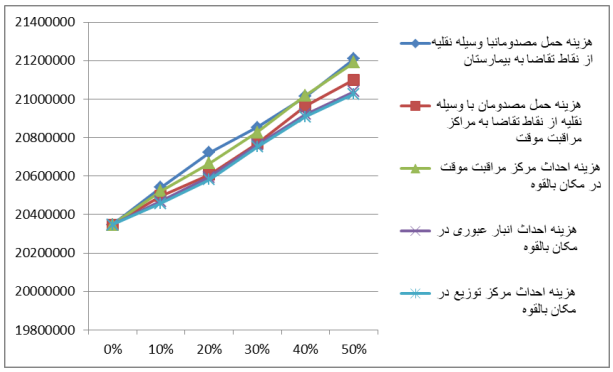


شکل (۱۳). مقایسه اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر حداقل ساختن هزینه

براساس نمودار فوق می‌توان مشاهده کرد که اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر حداقل ساختن هزینه تقریباً مشابه بوده اما هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری بیش از دو پارامتر دیگر می‌باشد.

جدول (۱۳). مقایسه هزینه‌های حمل مصدومان و هزینه‌های احداث و اثر آن‌ها بر نسبت وزنی بیماران

حداقل ساختن نسبت وزنی بیماران	هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان	هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به مراکز مراقبت موقت	هزینه احداث مرکز مراقبت موقت در مکان بالقوه	هزینه احداث انبار عبوری در مکان بالقوه	هزینه احداث مرکز توزیع در مکان بالقوه
%۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۲۰۳۴۷۵۶۰	۲۰۳۴۷۵۶۰
%۱۰	۲۰۵۴۰۴۶۸	۲۰۴۹۶۴۰۴	۲۰۵۲۱۴۹۳	۲۰۴۶۹۲۶۷	۲۰۴۵۷۳۲۶
%۲۰	۲۰۷۲۱۴۷۱	۲۰۶۰۷۶۴۵	۲۰۶۶۶۸۱۲	۲۰۵۹۳۷۸۸	۲۰۵۸۱۸۴۷
%۳۰	۲۰۸۵۲۳۵۷	۲۰۷۶۹۲۸۰	۲۰۸۲۶۳۱۱	۲۰۷۶۲۶۱۳	۲۰۷۵۰۶۷۲
%۴۰	۲۱۰۱۳۶۷۱	۲۰۹۶۴۵۷۲	۲۱۰۱۹۵۷۷	۲۰۹۲۰۴۱۹	۲۰۹۰۸۴۷۸
%۵۰	۲۱۲۰۹۶۵۶	۲۱۰۹۹۸۴۵	۲۱۱۹۱۵۴۳	۲۱۰۳۹۱۹۹	۲۱۰۲۷۲۵۸



شکل (۱۴). مقایسه هزینه های حمل مصدومان و هزینه های احداث و اثر آن ها بر نسبت وزنی بیماران

براساس نمودار فوق می‌توان مشاهده کرد که هزینه احداث مرکز مراقبت موقت و هزینه احداث مراکز توزیع در مکان بالقوه بیشترین اثر را بر افزایش نسبت وزنی بیماران و بدتر شدن تابع هدف اول دارد اما این اثر درخصوص هزینه حمل مصدومان با وسایل نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان‌ها در کمترین میزان قرار داشته و لذا می‌توان گفت دو پارامتر در حالت میانه قرار دارند.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به‌منظور طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین امداد بشردوستانه، مسیریابی وسیله نقلیه با اتصال متقاطع، مدلی ارائه گردید که با استفاده از الگوریتم فرابتکاری NSGAIII به حل مدل در ابعاد بزرگ پرداخته شد. باتوجه به اینکه مسأله در ابعاد بزرگ حل شده است به‌دنبال تحلیل حساسیت مسأله با استفاده از پارامترهای بیشتری بودیم.

- هزینه بیشترین اثر را بر تابع هدف اول که نسبت بیماران به کل مجروحین می باشد ایجاد کرده و سپس بر تابع هدف دوم که کمبود می‌باشد اثرگذاری خود را نشان داده است. اثرگذاری بر تابع هزینه ظاهراً در کمترین میزان بوده و نسبت‌به دو هدف دیگر تأثیرگذاری کمتری را نشان می‌دهد.
- درخصوص اثر هزینه حمل کالای امدادی ازتأمین‌کننده به انبار نیز مشاهده می‌شود که بیشترین اثر بر تابع هدف اول مشاهده می‌شود اما همچنان اثر بعدی بر تابع هدف دوم است درحالی‌که میزان اثرگذاری هزینه حمل از تأمین‌کننده به انبار عبوری بر هزینه بیش‌از میزان اثرگذاری هزینه حمل از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده است و واکنش مدل نسبت‌به هزینه نسبت‌به تحلیل حساسیت پارامتر قبلی بیشتر می‌باشد.

درخصوص هزینه حمل از توزیع‌کننده به انبار عبوری مشاهده می‌شود که اثرگذاری بر هزینه نسبت‌به هزینه حمل از تأمین‌کننده به انبار عبوری کمتر می باشد اما همچنان مشاهده می‌شود که این افزایش می‌تواند منجربه افزایش زیاد در نسبت بیماران به کل مجروحین و همچنین کمبود شود به‌عبارت دیگر منجربه بدتر شدن جواب شده و به اصطلاح مدل نسبت‌به افزایش این پارامتر واکنش منفی نشان می‌دهد.

در ادامه حمل کالا به حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان پرداخته شد که نتیجه تحلیل بیان نشان داد که هزینه حمل مصدومان منجربه افزایش تابع هدف اول و دوم و درواقع بدتر شدن جواب می‌شود درحالی‌که اثر کمتری بر هزینه داشته و هزینه نسبت‌به این افزایش واکنش ضعیف‌تری نشان می‌دهد. نتایج تحلیل هزینه حمل مصدومان با وسیله نقلیه از نقاط تقاضا نشان داد که درصورت افزایش این هزینه نسبت بیماران می‌تواند به‌شکل قابل

توجهی افزایش یابد و همچنین کمبود کالا نیز به‌وجود می‌آید به‌عبارت دیگر افزایش هزینه حمل مصدومان می‌تواند منجربه شکل‌گیری کمبود شود اما هزینه کل تأثیر کمتری خواهد دید. در مورد هزینه‌های احداث مراکز همچنان دیده شد که افزایش هزینه احداث مراکز موقت می‌تواند تعداد بیمارانی که مورد درمان قرار نگرفته‌اند را افزایش دهد این درحالی است که منجربه کمبود نیز می‌شود اما ظاهراً اثر کمبود کاهشی است. هزینه کل نیز بیش‌از هزینه‌های حمل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. درصورتی‌که هزینه‌های احداث انبار عبوری افزایش یابد نیز شاهد بودیم که بر سه تابع هدف اثرگذار بود و درواقع مقادیر توابع هدف به‌شکل قابل توجهی افزایش یافت اما این اثرگذاری بیشتر در تابع هدف اول و سپس در توابع هدف دوم و سوم بود. درخصوص هزینه احداث مراکز توزیع نیز درصورت افزایش، تفاوت چندانی مشاهده نشد و همین میزان اثرگذاری که درخصوص پارامترهای دیگر مشاهده شد، درخصوص این پارامتر نیز قابل مشاهده می‌باشد. هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری نسبت‌به دو پارامتر هزینه حمل دیگر اثر بسیار کمتری داشت و دارای شیب ملایم بود این درحالی است که هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری دارای بیشترین اثرگذاری و پس‌از آن هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به توزیع‌کننده قرار داشت. همچنان سه پارامتر حمل منجربه افزایش کمبود شدند اما اثر هزینه کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری کمتر از دو پارامتر دیگر بود و همچنان هزینه حمل کالای امدادی از توزیع‌کننده به انبار عبوری دارای بیشترین شیب و اثر می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که اثر پارامترهای مختلف هزینه حمل بر حداقل ساختن هزینه تقریباً مشابه بوده اما هزینه حمل کالای امدادی از تأمین‌کننده به انبار عبوری بیش‌از دو پارامتر دیگر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که هزینه احداث مرکز مراقبت موقت و هزینه احداث مراکز توزیع در مکان بالقوه بیشترین اثر را بر افزایش نسبت وزنی بیماران و بدتر شدن تابع هدف اول دارد اما این اثر درخصوص هزینه حمل مصدومان با وسایل نقلیه از نقاط تقاضا به بیمارستان‌ها در کمترین میزان قرار داشته و لذا می‌توان گفت دو پارامتر در حالت میانه قرار دارند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده پارامترهای تاثیرگذار روی اهداف به‌دست آمد. داشتن بینش کلی برای بهینه‌سازی تصمیم‌ها در سطوح عملیاتی مدیریت بحران و برنامه‌ریزی پیش‌از بروز فاجعه از اهداف این تحقیق بود که سعی شد از طریق ارائه و حل مدلی برای مسأله بتوان به برنامه‌ریزی کارا و مؤثر کمک کرد همچنین کارایی کاربرد انبارهای محلی عبوری در توزیع اقلام امداد باتوجه به اولویت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴-۲. پیشنهادها

براساس نتایج به‌دست آمده ازاین مطالعه می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه نمود:

باتوجه به نتایج حاصل از پژوهش یکی از مفیدترین توسعه‌ها برای مدل می‌تواند درنظر گرفتن اختلال مسیر در شبکه امدادرسانی، مدیریت موجودی در مراکز توزیع و زمان‌بندی انبارهای عبوری اشاره کرد.

ازآنجایی که الگوریتم ژنتیک عملکرد مناسبی ازمنظر زمان محاسبه داشت، بنابراین پیشنهاد می‌شود که ازاین الگوریتم برای مواردی که زمان حل مسأله از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، استفاده شود.

از مفیدترین توسعه‌ها برای حل مدل ،الگوریتم ژنتیک و درنظر گرفتن مرتب‌سازی سریع نخبه‌گرا می‌باشد.

مراجع

[1] Agarwal S, Kant R, Shankar R. (2020). Evaluating solutions to overcome humanitarian supply chain management barriers: A hybrid fuzzy SWARA – Fuzzy WASPAS approach. International Journal of Disaster Risk Reduction, (51(101838)), 34-42. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101838.

[2] Aghajani M, Torabi A, Heydari J. (2020). A novel option contract integrated with supplier selection and inventory prepositioning for humanitarian relief supply chains. Socio-Economic Planning Sciences, (71(100780)), 1-21. doi: https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.100780

[3] Escribano Macias J, Angeloudis P, Ochieng W. (2020). Optimal hub selection for rapid medical deliveries using unmanned aerial vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, (110(14784)),56-80.

[4] Fatemi M, Ghodratnama A, Tavakkoli-Moghaddam R, Kaboli A. A multi-functional tri-objective mathematical model for the pharmaceutical supply chain considering congestion of drugs in factories. Research in Transportation Economics, (90(101094)).

[5] García-Alviz J, Galindo G, Arellana J, Yie-Pinedo R. (2021). Planning road network restoration and relief distribution under heterogeneous road disruptions. Mathematics Industrial, (43(00644)),941-981.

[6] Ghasemi P, Khalili-Damghani K, Hafezalkotob A, Raissi S. Uncertain multi-objective multi-commodity multi-period multi-vehicle location-allocation model for earthquake evacuation planning, Applied Mathematics and Computation 2019; 350:105–132.

[7] Ghasemi P, Khalili-Damghani K, Hafezalkotob A, Raissi S. Stochastic optimization model for distribution and evacuation planning (A case study of Tehran earthquake). Socio-Economic Planning Sciences 2019; Available online 4 October, 100745.

[۸] غایب‌لو، سیما، فتحی‌پور، فریبا، ترکمانی، نگار، (۱۳۹۹)، ارائه یک مدل ریاضی استوار امکانی به‌منظور مسیریابی، زمان‌بندی و توزیع منابع در عملیات کمک‌رسانی پس‌از زلزله با درنظر گرفتن اختلال توزیع در شرایط عدم قطعیت، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۸ (۱۷): ۲۹۳-۲۷۵. DOI: 10.22084/IER.2021.22420.1985

[9] Hashemi Petrudi H, Tavana M, Abdi M. (2020). A comprehensive framework for analyzing challenges in humanitarian supply chain management: A case study of the Iranian Red Crescent Society. International Journal of Disaster Risk Reduction, (42(101340)), 1-60.dio: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101340.

[10] 10. Kyriakakis N, Sevastopoulos L, Marinaki M,

Marinakis Y, (2022). A hybrid Tabu search-Variable neighborhood descent algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem with time windows in humanitarian applications. Computers & Industrial Engineering, (164(107868)),1–21–80.

[11] 11. Oksuz M. K, Satoglu S.l. A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. International Journal of Disaster Risk Reduction 2019.

[12] 12. Tavana M, Abtahi A.R, DiCaprio D, Hashemi R, Yousefi-Zenouz R. An integrated location-inventoryrouting humanitarian supply chain network with pre- and post-disaster management considerations. Socio-Economic Planning Sciences 2018; 64: 21-37.

[13] 13. Timperio G, et al. (2020). Integrated decision support framework for enhancing disaster preparedness: A pilot application in Indonesia. International Journal of Disaster Risk Reduction, (51(101773)), 1–16.doi: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101773.

[۱۴] رجب‌زاده، محسن، موسوی، سید میثم، (۱۴۰۱)، یک مدل برنامه‌ریزی امکانی دوهدفه برای زمان‌بندی کامیون در یک سیستم انبار متقاطع با درهای مختلف با درنظر گرفتن زمان حمل‌ونقل درون انبار، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱۰ (۲۱): ۱۳۳-۱۱۹. DOI: 10.22084/IER.2023.27388.2115

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2023, Volume 11., No. 23., pp. 139-159
www.ier.basu.ac.ir

DOI: https://dx.doi.org/10.22084/IER.2024.5570

Designing a Humanitarian Supply Chain Network Considering Cross-Docking

Hoda Akbari[1], Ali Mohtashami[2*], Mehdi Yazdani[3]

[1.] PhD student in Industrial Management, Department of Management and Accounting, Faculty of Management, Accounting and Human Sciences, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
[2.] Associate Professor, Department of Management and Accounting, Faculty of Management, Accounting and Human Sciences, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
[3.] Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industries, Mechanics, Civil and Food Industries, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 18 June 2022
Accepted 3 October 2022

***Keywords*:**

Supply Chain Network
Humanitarian Relief
Vehicle Routing Problem
Cross-Docking
NSGA (III)

ABSTRACT

Efficiency is a key success factor in complex supply chain networks. It is imperative to ensure proper flow of goods and services in humanitarian supply chains in response to a disaster. In this work, a mathematical model for designing a humanitarian supply chain network and vehicle routing problem considering cross-dock is proposed where a Non-dominated sorting genetic algorithm (III) has been used for implementing the proposed model in a large-scale problem. Since the model has been implemented in a large-scale case, various sensitivity analyses are performed to extract more interesting results. Accordingly, the results have shown that the costs have more effect on the first objective function (patients compared to total injuries) and the second one (shortage), respectively. Compared to the other two objective functions, the impact on the cost function is negligible. The effect of transportation cost of relief goods/ supplies from the supplier to the warehouse on the first objective function is higher than the others; however, the effect of this cost is further than that of the cost from the supplier to the distributor, accordingly, in comparison to the previous cost, the output has been more reacted to this cost. The transportation cost from the distributor to the warehouse (cross-docking) has less effect on the cost function unlike the transportation cost from the supplier to the warehouse. Nevertheless, as the result shows an increase in the cost can lead to a considerable increase in the ratio of patients to total injuries as well as shortage. In other words, the objective functions would deteriorate when this parameter tends to be increased.

[*] Corresponding author. A. Mohtashami
E-mail address: mohtashami07@gmail.com