Original Paper

مقاله پژوهشی

یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای توزیع اقلام امدادرسانی در یک زنجیره تأمین بشردوستانه

DOR: 20.1001.1.23453915.1403.13.1.4.5

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

رضا نریمانی[۱]، مجید معتمدی[۲*]، حسین عموزادخلیلی[۳]

۱- گروه مدیریت صنعتی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- گروه مدیریت صنعتی، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران (Moatamedi.m@gmail.com)

۳- گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

چکیده

پس از وقوع بلایای طبیعی در مقیاس بزرگ، کمبود عرضه و توزیع ناعادلانه باعث خسارات مختلف می‌شود که مانع عملکرد زنجیره تأمین بشردوستانه می‌شود. برای این منظور، در این مقاله این مسئله را به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی به‌منظور کمینه کردن نرخ تقاضای برآورده نشده، خطرات محیطی بالقوه، هزینه‌های اضطراری در سطح بالایی تصمیم‌گیری زنجیره و همچنین، ماکسیمم کردن رضایت درک شده بازماندگان در سطح پایین تصمیم‌گیری زنجیره مدل‌سازی می‌شود. سلسله‌مراتب تصمیم فرموله می‌کند. برای حل مدل پیشنهادشده از روش اپسیلون محدودیت اصلاح‌شده استفاده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ضریب خطر ضایعات اثر قابل‌توجهی بر روی تابع محیطی تحمیل می‌کند و تأثیری بر روی تقاضای برآورده نشده و هزینه‌های ضروری ندارد. همچنین، با اعمال تغییرات در مقدار اپسیلون فاصله قابل‌قبول برای تعیین راه‌حل‌های نامطلوب مسئله چندهدفه ارائه‌شده است. این تحقیق نتایج ارزشمندی به مدیران و تصمیم گیران برای اخذ تصمیم باارزش بعد از وقوع بحران برای کنترل اوضاع ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: **زنجیره تأمین بشردوستانه، توزیع امدادی، اپسیلون محدودیت**

A Mathematical Programming Model for the Distribution of Relief Items in a Humanitarian Supply Chain

Reza Narimani[1], Majid Motamedi[*2], Hossein Amoozad Khalili[3]

1. Ph.D Student in Industrial Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
2. Dept. of Industrial Management, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran (Moatamedi.m@gmail.com)
3. Dept. of Industrial Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

Abstract

After large-scale natural disasters, supply shortages and inequitable distribution because of various damages that hinder the functioning of the humanitarian supply chain. For this purpose, in this paper, this problem is presented as a two-level planning model to minimize the rate of unmet demand, potential environmental risks, emergency costs at the upper level of the decision chain and, to maximize the perceived satisfaction of the survivors in the lower level of the decision chain is modeled. Formulates a decision hierarchy. To solve the proposed model, the modified epsilon method has been used. According to the obtained results, the risk coefficient of waste γ imposes significant effects on the performance of environmental sustainability. And it has no effect on the weighted total unmet demand rate, total emergency costs. Also, by applying changes in the epsilon value, the acceptable distance for determining the non-dominated solutions of the multi-objective problem is presented. Therefore, this study provides valuable results to managers and decision makers to make valuable decisions after a crisis to control the situation.

Keywords: Disasters, Relief Distribution, Epsilon Constraint.

۱- مقدمه

بسیاری از بلایا غیرقابل پیش‌بینی هستند که باعث تلفات سنگین، خسارات مالی، آسیب به محیط‌زیست و آسیب‌های اجتماعی جدی شده‌اند یا احتمالاً منجر به آن می‌شوند [۱]. تصمیم‌گیری برای تخصیص مکان پناهگاه بر موفقیت واکنش در بلایا و تأمین امنیت لازم برای قربانیان تأثیر می‌گذارد. برای مثال، بحرانی که اخیراً دنیا را تحت شعاع خود قرار داده است و در اواخر سال ۲۰۱۹ که در چین ویروس جدید کووید-۱۹ منتشر شد، دنیا را در یک بحران بشدت سخت قرار داد که باعث مرگ‌ومیر بیشتر از هرسال در دهه‌های قبل شده است [۲].

همچنین، بر اساس داده‌های آماری بلایای طبیعی گزارش‌شده توسط مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی، بلایای طبیعی مانند زلزله و سیل در کنار تمام بحران‌های ساخته‌شده توسط انسان شایع‌ترین فاجعه بوده که باعث شده ۵۱۱۰ نفر کشته شده است [۳]. در این میان، لجستیک بشردوستانه نقش مهمی در تسهیل فرآیندهای مدیریت بلایا و تخلیه قربانیان از مناطق آسیب‌دیده به مکان‌های امن و با برنامه‌ریزی، ذخیره و توزیع تجهیزات کمکی برای کمک به قربانیان در زمان، مکان مناسب و هزینه مناسب ایفا کند [۴ و ۳۶].

این در حالی است که منابع محدود یک مشکل بزرگ در زنجیره تأمین بشردوستانه ایجاد می‌کند. در هنگام وقوع گسترده بحران، بی‌انصافی است که به یک منطقه اولویت بیشتری داده شود و کل تقاضای آن خدمات بیشتر را دریافت کند [۵]. در همین حال، منطقه دیگری به دلیل کمبود عرضه، کمتر از سهم منصفانه خود دریافت نماید [۶]؛ بنابراین، تصمیم‌گیری‌های اخلاقی برای تصمیم‌گیرندگان چالش‌برانگیز است؛ اما زمانی که بسته‌های معیشتی برای ارضای همه تقاضاها کافی نیستند، این شرایط نیازمند رویکرد تخصیصی مناسب است که بتواند اقلام امدادی را به‌گونه‌ای به مناطق آسیب‌دیده تخصیص دهند که اولویت یکسانی برای برآوردن نیازهای بخش‌های مختلف جمعیت آسیب‌دیده در نظر گرفته شود [۷].

با توجه به این واقعیت که مناطق مختلف نیازهای متفاوتی دارند، رفتار منصفانه به‌عنوان برخورد در تحقق میزان تقاضا یا مقابله با میزان کمبود در تقاضا تعریف می‌شود؛ بنابراین، با استفاده از زنجیره تأمین بشردوستانه پس از وقوع یک فاجعه، لجستیک اضطراری لازم است که کالاهای امدادی را در تمام نقاط بحران در یک‌رویه عادلانه توزیع کند [۸]. در این صورت به همان نسبت تقاضا باید اقلام یا کالاهای امدادی به نقاط آسیب‌دیده مورد تقاضا اختصاص یابد. به‌عبارت‌دیگر، اگر منابع امدادی محدود باشد، ممکن است بهتر باشد بخشی از نیازهای مناطق آسیب‌دیده به‌جای برآورده کردن کامل تقاضاهای یک نقطه تقاضا و نادیده گرفتن کامل آن در نقطه دیگر، ارجح باشد [۹ و ۳۴].

وقوع فاجعه‌های طبیعی و انسانی همچون سیلاب‌ها، زلزله، فوران آتش‌فشان سیر صعودی را در جوامع بشری نشان می‌دهند. گستردگی و شدت فاجعه‌ها و اثرات آنها به حدی است که صدمات فراوانی را به جان و مال انسان‌ها وارد می‌کند و این خود باعث توجه فراوانی در سطح جهان برای رویاروی با این فجایع شده است. مدیریت زنجیره تأمین، شامل تمامی فعالیت‌هایی است که برای پیوند بین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان به کار می‌رود تا کالاها به مقدار مناسب و در زمان مناسب با حداقل هزینه‌های سیستم و حداکثر کردن سطح خدمت‌دهی به مشتری، تولید و توزیع شوند. زنجیره تأمین بشردوستانه، نوعی خاص از زنجیره تأمین است با ویژگی‌های منحصربه‌فرد که آن را از زنجیره تأمین‌های

تجاری متمایز می‌سازد [۳۵ و ۳۶].

عملکرد این زنجیره تأمین در فجایع نقش بسیار مهمی در کنترل و کاهش تأثیرات فجایع دارد. عملیات بشردوستانه با حفظ زندگی و کاهش آلام مردم جوامع در بحران‌ها انجام می‌گیرد. این عملیات شامل تهیه مواد و کمک‌های فنی به همراه ارائه خدمات ضروری در موقعیت‌های بحرانی است که توانایی جوامع برای تهیه این اقلام به‌شدت محدود می‌شود. عملیات بشردوستانه با هدف کسب سود نیست [۳۷ و ۳۸]. عملیات بشردوستانه ماهیت موقتی داشته و به هدف بازیابی مجدد و خودکفایی جوامع آسیب‌دیده انجام می‌گیرد [۳۹].

در این تحقیق، به بررسی توزیع پایگاه‌های اضطراری و مسئله توزیع اقلام معیشتی در زمان وقوع بحران می‌پردازد. اقلام معیشتی به معنای کلیه اقدامات لازم اعم از عملیات خرید، آماده‌سازی مواد و منابع که در هنگام، بعد و قبل از وقوع بحران نیاز است در اختیار آسیب دیدگان قرار داده شود. بر این اساس، به دلیل محدودیت منابع یا افزایش هزینه در مدیریت صحیح زنجیره تأمین بشردوستانه، نمی‌توان از نقاط بحران دوردست برای کمک چشم‌پوشی کرد؛ زیرا تقسیم اقلام معیشتی مورد نیاز باید عادلانه صورت بگیرد. با توجه به اهمیت مفهوم فوق، این مطالعه با در نظر گرفتن یک مسئله مکان‌یابی برای توزیع اقلام امدادی به مناطق آسیب‌دیده و تعریف توابع مناسب تلاش برای کمک عادلانه اولاً به مکان‌های آسیب‌دیده و دوماً ارسال و توزیع از طریق تجهیزات جابجایی در مفهوم بشردوستانه برای مقابله با بحران وقوع زلزله در شهر تهران با توجه به زلزله‌خیز بودن کشور و شهر تهران در نظر گرفته است.

برای این منظور، با استفاده از توابع تعریف‌شده، مکان‌ها و اقلام مناسب برحسب تقاضا برای ارسال اقلام امدادی و کمک معیشتی مانند پناهگاه‌ها، مراکز پزشکی، مراکز توزیع، انبارها، تعین می‌شود. سپس، برای واکنش مناسب به بلایا، تصمیم‌گیری در مورد نحوه تجهیز مکان‌ها با استفاده از وسایل نقلیه و از طریق مناسب‌ترین مسیر انجام می‌پذیرد. مکان پناهگاه و تسهیلات امدادرسان مهم‌تر از تصمیم‌گیری در مورد سایر اجزای زنجیره تأمین بشردوستانه است؛ زیرا بر طبق تدارکات بشردوستانه در حین وقوع بلایا، توزیع کالاهای امدادی در مکان‌های متعدد مستلزم طیف جدیدی از سیاست‌ها برای تخصیص بهینه و منصفانه اقلام امدادی به نقاط تقاضا است.

تعیین محل تخصیص تسهیلات برای مقابله با حوادث بلایا به‌دقت توسط تصمیم‌گیرندگان مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات متعددی معمولاً بر روی مدل‌های بهینه‌سازی تک هدفه یا روش‌های محاسباتی مسائل چندهدفه برای تعیین جواب‌های مغلوب و نامطلوب در تلاش برای بهبود کارایی و اثربخشی تدارکات امدادرسانی بشردوستانه پیشنهاد شده است. این امکانات شامل پناهگاه، مراکز پزشکی، انبارها، مراکز توزیع، کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها و دفع ضایعات است [۱۰]. در میان این تحقیقات، برخی از مطالعات شامل قضاوت‌های ذهنی هستند که در آن تصمیم‌گیرندگان ترجیحات خود را تعریف می‌کنند [۱۱].

ادبیات موجود بر اساس فرمول‌بندی مدل، سطوح زنجیره تأمین، تابع هدف، انواع تسهیلات، راه‌حل‌ها و مطالعه موردی بررسی و گروه‌بندی شده است. در این طبقه‌بندی، تابع هدف به سوددهی و غیر سوددهی طبقه‌بندی‌شده است. با توجه به بررسی ادبیات فرمول‌بندی مدل و رویکردهای حل مسئله در جدول ۱ خلاصه‌شده است. اکثر مقالات موجود مدل‌های بهینه‌سازی

تک هدفه را برای بهبود معیارهای سوددهی یا غیر سوددهی، مانند به حداقل رساندن تعداد پناهگاه‌ها و حل مسئله مدل با الگوریتم دقیق توسط اوزبای و همکاران [۱۲] پیشنهاد کردند، به حداقل رساندن هزینه کل مکان‌یابی-تخصیص پناهگاه و استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل این مدل توسط پرانیتفولکرانگ و هوین [۱۳] ارائه‌شده است و به حداکثر رساندن رضایت تصمیم‌گیرندگان و حل مدل فرموله شده با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی وزن‌دار شده توسط کانون و همکاران [۱۴] معرفی‌شده است. اکثر این مطالعات از روش‌های تخصیص وزن (برنامه‌ریزی آرمانی وزن‌دار شده و روش تابع هدف وزن‌دار شده) برای پرداختن به روش‌های محاسباتی مسائل چندهدفه استفاده می‌کنند. این روش‌ها برای استفاده در حوزه لجستیک بشردوستانه مناسب نیست. این باعث می‌شود تصمیم‌گیرندگان در هنگام تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام معیار مهم است، دچار اشتباه شوند. برخی از مهم‌ترین مطالعاتی که اخیراً در این حوزه منتشرشده‌اند را در ادامه به‌طور خلاصه معرفی می‌نماییم.

برای مثال، ماهارجان و هانائوکا [۱۵]، یک مدل تخصیص مکان چندهدفه تحت عدم قطعیت برای عرضه و توزیع بشردوستانه ایجاد کردند. مدل ارائه‌شده، اهداف به حداقل رساندن هزینه کل و حداکثر رساندن پوشش تقاضای کل را در نظر می‌گیرد. برای حل مدل از روش اپسیلون محدودیت استفاده شده است. ما و همکاران [۱۶]، در مطالعه خود، عوامل موفقیت مهم در مدیریت زنجیره تأمین بشردوستانه را با استفاده از رویکرد DEMATELخاکستری، با هدف تثبیت هدف اصلی بررسی عوامل موفقیت مهم برای مدیریت زنجیره تأمین بشردوستانه در هند از طریق مرور سیستماتیک ادبیات بررسی کردند. معتمدی و همکاران [۱۷] یک مدل ریاضی دو هدفه مختلط عدد صحیح برای ماکسیمم کردن سطح قابلیت اطمینان در زنجیره تأمین خون‌رسانی ایجاد کرده‌اند. محمدی و همکاران [۱۸]، در مطالعه خود برنامه‌های بهبود عملیاتی و عملیات بشردوستانه را در مواجهه با پاندمی کرونا ارائه کردند.

میک و همکاران [۱۹]، ارزیابی عوامل مهم تأثیرگذار بر قابلیت اطمینان سیستم‌های لجستیک اضطراری را با استفاده از روش تصمیم‌گیری DEMATEL و ANP انجام دادند. وو و همکاران [۲۰]، در مقاله خودارزیابی راه‌حل‌های غلبه بر موانع مدیریت زنجیره تأمین بشردوستانه را با استفاده از یک روش ترکیبی SWARA فازی WASPAS -فازی، برای مدیریت زنجیره تأمین بشردوستانه ارائه دادند. آقاجانی و همکاران [۲۱]، یک مدل محاسباتی دو هدفه تحت عدم قطعیت برای یک زنجیره تأمین امداد بشردوستانه پیشنهاد کردند. شبکه پیشنهادی به حداقل رساندن هزینه کل و حداکثر رساندن تقاضا در نظر گرفته‌شده است. برای حل مدل از روش اپسیلون محدودیت وزن‌دار شده استفاده شده است.

مغفیرو و همکاران [۲۲]، یک مدل توزیع عرضه بشردوستانه چندوجهی را با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف حمل‌ونقل که تمایل دارند زمان تحویل کل و هزینه کل شبکه را به حداقل برسانند، توسعه دادند. منصوری و همکاران [۲۳] یک مدل دو هدفه برای زنجیره تأمین بشردوستانه پیشنهاد کردند.

در این مطالعه، تدارکات امدادی در شرایط عدم قطعیت با هدف به حداقل رساندن تعداد کل قربانیانی که تخلیه یا به بیمارستان منتقل نمی‌شوند و به حداقل رساندن کل تقاضاهای برآورده نشده انجام می‌شود. پارامترهای زمان سفر و تقاضا تحت عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شوند. سپس مدل ارائه‌شده با استفاده از روش

چبیشف وزن‌دار شده حل‌شده است. صبوحی و همکاران [۲۴]، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای مدیریت زنجیره تأمین بشردوستانه با در نظر گرفتن عدم قطعیت و اختلالات پیشنهاد کردند. تصمیم‌گیری در مورد مکان مراکز توزیع و تصمیم‌گیری در مورد زمان‌بندی و مسیریابی به ترتیب در مرحله اول و دوم رویکرد پیشنهادی اتخاذ می‌شود.

ممشلی و همکاران [۲۵]، در مطالعه خود یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه مبتنی بر سناریو را برای بررسی مسئله تخصیص مسیریابی پایدار-تاب‌آور با در نظر گرفتن مفهوم زنجیره تأمین بشردوستانه پیشنهاد کردند. هدف مدل پیشنهادی به حداقل رساندن کل زمان سفر، اثرات کل زیست‌محیطی و از دست دادن کل تقاضا است. رویکرد بهینه‌سازی تصادفی استوار فازی برای مقابله با داده‌های نامشخص در شرایط فاجعه استفاده می‌شود. جهانگیری و همکاران، [۴]، در مطالعه خود به ارزیابی عناصر زنجیره تأمین بشردوستانه برای پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز آن در بیمارستان‌های ایران از یک روش ترکیبی تصمیم‌گیری مبتنی بر BWM-TOPSIS پرداخته‌اند. در این مطالعه با تعیین اهمیت هر یک از شاخص‌های اثرگذار بر روی منابع با استفاده از روشBWM ، اولویت‌بندی منابع کلیدی با استفاده از روش TOPSIS انجام‌شده است.

رضایی و همکاران [۲۶] در مطالعه خود به یک مسئله مسیریابی وسایل نقلیه امدادرسان برای خون‌رسانی در وقوع فاجعه در زمان بروز زلزله پرداخته‌اند. در این مطالعه یک مسئله چندهدفه به‌منظور کنترل ماکسیمم مقدار خون جمع‌آوری‌شده در کمترین زمان ممکن با استفاده از یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه‌شده است. کائو و همکاران [۲۷]، در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح دوسطحی سه هدفه فازی برای به حداقل رساندن نرخ تقاضای برآورده نشده، خطرات زیست‌محیطی بالقوه، هزینه‌های اضطراری در سطح بالای سلسله‌مراتب و به حداکثر رساندن رضایت درک شده بازماندگان در سطح پایین سلسله‌مراتب را فرموله می‌کند.

یک روش بهینه‌سازی معیار سراسری ترکیبی برای ترکیب یک الگوریتم، به‌منظور محاسبه ارزش مورد انتظار معرفی‌شده است. هارنر و همکاران [۲۸] در مقاله خود عوامل موفقیت مهم برای ابتکارات پایدار در زنجیره تأمین در طول شیوع همه‌گیری COVID-19 در هند را تجزیه‌وتحلیل کردند. تجزیه‌وتحلیل و رتبه‌بندی بر اساس استقرار عملکرد ترکیبی کیفیت -(QFD) بهترین بدترین روش (BWM) استفاده شده است. شائو هانگ و همکاران [۲۹] در مطالعه خود یک الگوریتم مکان‌یابی ایستگاه برای انتقال کالا ارائه می‌دهند. این روش بر اساس الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه معکوس و مشخصه‌های چگالی محلی است. ابتدا مکان ایستگاه انتقال در منطقه را غربال می‌کند تا بر اساس تراکم از فاصله مناسب، مکان و محدوده پوشش آن را تعیین کند. درنهایت با محاسبه شاخص‌های لازم هر ایستگاه در ناحیه توزیع، مرز ناحیه توزیع مجدداً تعریف می‌شود.

پنگ و همکاران [۳۰] یک مدل مکان‌یابی مراکز منابع اضطراری با هدف فاصله وزنی کل ایجاد می‌کنند. سپس یک بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته جدید چندهدفه را برای آن طراحی کرده‌اند. درنهایت، آزمایش‌های عددی الگوریتم‌های مقایسه و آزمایش‌های فرسایشی بر روی ۲۶ مجموعه داده انجام می‌شود تا اثربخشی و سراسری بودن الگوریتم پیشنهادی را نشان دهد. پور ناصر و همکاران [۳۱] یک مدل

بهینه‌سازی چندهدفه برای مسیریابی در حین وقوع بحران ارائه داده‌اند. در این مطالعه یک تابع هدف در راستای کاهش هزینه‌ها و تابع هدف دیگر در راستای کاهش مدت‌زمان تعمیر وسایل نقلیه در نظر گرفته‌شده است. مسئله چندهدفه توسعه‌یافته با استفاده از روش اپسیلون محدودیت حل‌شده است.

در جدول ۱، مقالات مربوطه بر اساس نوع مدل، سطح زنجیره تأمین، نوع تابع هدف، روش حل و نوع بلا طبقه‌بندی‌شده‌اند.

به‌طورکلی بر اساس مطالعات بررسی‌شده که در جدول ۱ نشان داده‌شده است، بیشتر مطالعات بر روی زنجیره تأمین بشردوستانه سنتی یا زنجیره تأمین تجاری متمرکز هستند که در این صورت جوانب مختلف تأثیرگذار مانند توزیع منصفانه در هنگام بروز بلایا مغفول واقع‌شده است. مطالعات موجود در زنجیره‌های تأمین بشردوستانه علاقه‌مند به بررسی مناطق آسیب‌دیده در طول مرحله بازیابی بودند. بااین‌وجود، به‌ندرت هیچ مطالعه‌ای بر فرآیند نجات منصفانه در توزیع امداد پس از فاجعه در طول مرحله واکنش متمرکزشده است؛ بنابراین، مهم‌ترین اقدامات تحقیق حاضر عبارت‌اند از:

- ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مناسب برای یک زنجیره تأمین بشردوستانه چند سطحی و چندهدفه برای توزیع عادلانه بسته‌های معیشتی برای مقابله با بحران ناشی از زلزله،
- تعریف مفهوم توزیع عادلانه (منصفانه) برای توزیع بسته‌های معیشتی (اقلام امدادی) به افراد آسیب‌دیده
- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی و بررسی نتایج محاسباتی حاصل‌شده از مدل

۲- روش تحقیق و ابزارها

در این بخش از تحقیق مدل‌سازی مربوط به مسئله مورد نظر از طریق برنامه‌ریزی ریاضی برای توزیع اقلام معیشتی گوناگون امدادی به پایگاه‌های توزیع معرفی می‌شود. برای این منظور، کلیه موارد اعم از متغیرها، پارامترها، توابع و محدودیت‌های مدل ریاضی قطعی توسعه داده‌شده برای زنجیره تأمین بشردوستانه که قادر خواهد بود، مدل برای مسئله زنجیره تأمین بشردوستانه و حل آن با روش مجموع وزن‌دار شده ارائه دهد.

این مقاله به ارائه یک مدل ریاضی برای طراحی توزیع عادلانه اقلام امدادی برای بازماندگان در بلایا در یک زنجیره تأمین بشردوستانه می‌پردازد. مدل ارائه‌شده مشتمل بر دو سطح برنامه‌ریزی است که در هر دو سطح یک مدل ریاضی خطی ارائه می‌شود. المان‌های اصلی زنجیره تأمین بشردوستانه عبارت‌اند از مراکز توزیع اقلام امدادی۱(RDC) ، نقاط تقاضای اورژانسی۲ (EDP) و مناطق خاص تحت تأثیر بحران۳ .(ASA) با توجه به شکل ۱، RDCها (لایه ۱) با هدف ذخیره کمک‌های دریافتی از تأمین‌کنندگان خارجی مانند شرکت‌ها هستند .

به‌طورکلی، RDCهای مستقر در مناطق غیر آسیب‌دیده، از محل فاجعه دور هستند و توسط عوامل تصمیم‌گیری در مراکز فرماندهی بحران کنترل می‌شوند EDP .ها (لایه دوم) که عموماً در مناطق آسیب‌دیده قرار دارند از RDC ها امداد دریافت می‌کنند و اقلامی را در صورت درخواست امداد ارسال می‌کنند. هر EDP را می‌توان به سه نوعASA ، ازجمله مناطق جستجو-نجات۴ (SRA)، مناطق درمان موقت۵ (TTA) و صدمات جزئی یا بدون آسیب در مناطق اسکان موقت۶ (TSA)طبقه‌بندی کرد. به‌ویژه، ASAها (لایه سوم) نشان‌دهنده یک خوشه از انواع مختلف بازماندگان به ترتیب درSRA ، TTAو TSA ها هستند. این بازماندگان استراتژی‌های توزیع امداد پس از فاجعه را که توسط عوامل تصمیم‌گیری

جدول ۱- طبقه‌بندی مطالعات

نویسنده	مدل	سطوح زنجیره تأمین	تابع هدف		روش حل	نوع بلا	پارامتر عدم قطعیت
			سوددهی	غیر سوددهی			
[۳۱]	مسیریابی	-	حداقل کردن هزینه	• کاهش زمان تعمیر وسایل نقلیه	اپسیلون محدودیت	زلزله	-
[۲۹]	مکان‌یابی	-	-	• مکان‌یابی انتقال کالا	نزدیک‌ترین همسایگی	-	-
[۳۰]	مکان‌یابی	-	-	• مکان‌یابی منابع اضطراری	PSO	-	-
[۲۸]	تصمیم‌گیری	چندگانه	-	• موفقیت پایدار زنجیره تأمین بشردوستانه	QFD-BWM	کووید-۱۹	-
[۲۵]	چندهدفه	چندگانه	-	•ماکسیمم خون جمع‌آوری‌شده حداقل زمان جمع‌آوری خون	CPLEX	زلزله	-
[۲۷]	چندهدفه	چندگانه	حداقل کردن هزینه	• حداقل رساندن زمان	PSO-VNS	زلزله	هزینه زمانی
[۲۸]	چندهدفه	چندگانه	هزینه‌های اضطراری	• حداقل کردن تقاضای برآورده نشده • حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی	ابتکاری	زلزله	تقاضای برآورده نشده
[۲۲]	چندهدفه	چندگانه	-	• حداقل رساندن تعداد کل قربانیان • حداقل رساندن تقاضاهای پوشش داده نشده	چپیشف وزن‌دار شده	-	زمان سفر و تقاضا
[۱۹]	تصمیم‌گیری	چندگانه	-	• ارزیابی موانع زنجیره تأمین بشردوستانه	WASPAS-SWARA	-	فازی
[۱۷]	چندهدفه	چندگانه	حداقل کردن هزینه	حداکثر کردن قابلیت اطمینان	CPLEX	بحران	تقاضا
[۱۶]	تصمیم‌گیری	چندگانه	-	• موفقیت زنجیره تأمین بشردوستانه	DEMATEL	-	خاکستری
[۱۲]	تک هدفه	چندگانه	-	• حداقل تعداد پناهگاه	روش دقیق	زلزله	-
[۱۳]	تک هدفه	چندگانه	حداقل هزینه کل	• حداقل فاصله	MO-PSO	زلزله	-
[۲۳]	چندهدفه	تک سطحی	حداقل هزینه	• ماکسیمم تقاضای پوشش داده‌شده، • ماکسیمم تعداد تسهیلات	MO-PSO	زلزله	-
[۲۴]	تک هدفه	تک سطحی	حداقل هزینه کل	-	روش دقیق	طوفان	-
این تحقیق	چندهدفه	چند سطحی	-	• مکان‌یابی پایگاه • توزیع عادلانه بسته معیشتی	فازی-دقیق-فرا ابتکاری	زلزله	تقاضای منابع

توسعه داده‌شده است، ارزیابی می‌کنند.

انواع مختلف ASA ها را می‌توان به‌عنوان انواع مختلف وظایف اضطراری در نظر گرفت. علاوه بر این، تعداد RDC ها و مکان آنها در نظر گرفته‌شده است. چنین اطلاعاتی را می‌توان در برنامه‌ریزی استراتژیک مربوطه مدیریت بلایا از پیش تعیین کرد. در همین حال، تعداد EDP ها و ASA های کنترل‌شده توسط مسئولین محلی و مکان آنها توسط فناوری‌های پیشرفته برای ساده‌سازی تجزیه‌وتحلیل شناخته‌شده است. شرح فوق همچنین نشان می‌دهد که ذینفعان مانند عوامل تصمیم‌گیری و بازماندگان دارای روابط سلسله‌مراتبی هستند. درنتیجه، توزیع امداد پس از فاجعه در زنجیره تأمین بشردوستانه را می‌توان به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی معمولی رهبر-پیرو تعریف کرد.

به‌طور خاص، عوامل تصمیم‌گیری با اختیارات بالاتر، مقادیر کمک‌های انتقال‌یافته به EDP را برای هر دوره تعیین می‌کنند و بر کاهش نرخ تقاضای برآورده نشده، خطرات زیست‌محیطی بالقوه و هزینه‌های اضطراری برای همه دوره‌ها در سطح بالای سلسله‌مراتب تصمیم تمرکز می‌کنند. در سطح پایین‌تر سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری، عوامل تصمیم‌گیری با اختیارات پایین‌تر بر کاهش درد و رنج بازماندگان با بهینه‌سازی مقادیر کمک‌های توزیع‌شده به ASA برای همه دوره‌ها تمرکز می‌کنند تا به کمک بازماندگان دست یابند.

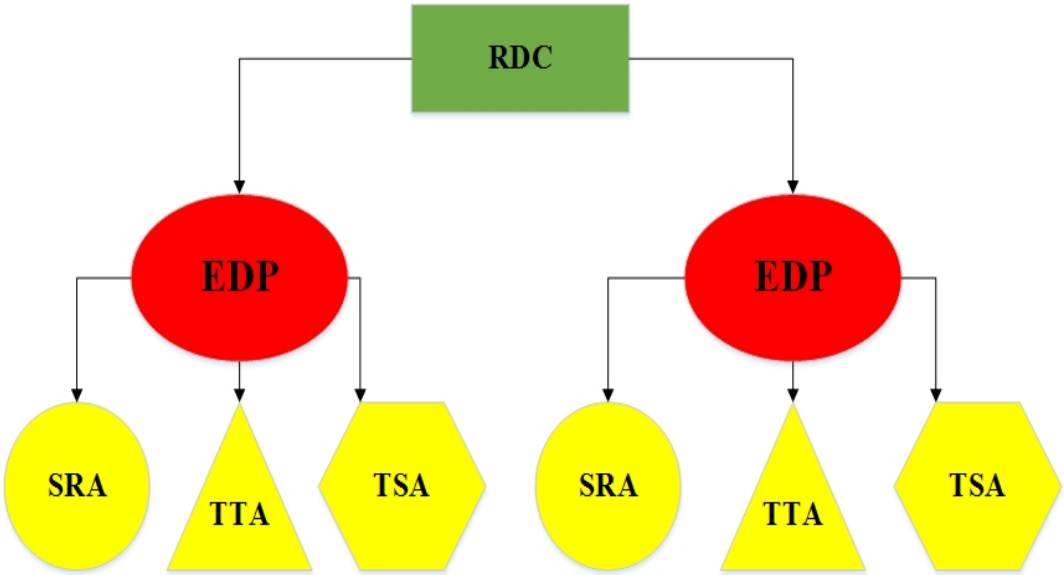
۲-۱- فرضیات مدل ریاضی

فرض اول: امدادی رسانی کامل در ASA ها و RDCها مدیریت و توزیع می‌شوند و از بلایای ثانویه بعد از وقوع بحران چشم‌پوشی می‌شود.

فرض دوم: امدادرسانی با نسبت عادلانه‌ای از موارد امدادی مشابه همراه است. بدین ترتیب فرض می‌کنیم که ره هر بازمانده، یک کیت مشابه اختصاص داده می‌شود.

فرض سوم: امدادرسانی به هر EDP و ASA بر اساس تقاضای مورد نیاز از طریق چند منبع انجام می‌پذیرد.

فرض چهارم: مد حمل‌ونقل از طریق زمین، هوا و خطوط ریلی انجام می‌پذیرد و کمبودی در هنگام استفاده از آنها وجود ندارد.



شکل ۱- سازوکار کلی زنجیره تأمین بشردوستانه

۲-۲- نمادگذاری

اندیس‌ها:

S: مجموعه دوره‌های امدادرسانی S={1,2,3}،

I: مجموعه i امین مرکز توزیع اقلام امدادی i∈I،

J: مجموعه jامین نقطه با تقاضای اورژانسی j∈J،

K: مجموعه kامین منطقه خاص که تحت تأثیر بحران قرار گرفته است k∈K،

M: مجموعه mامین مد حمل‌ونقل که از طریق زمین، هوا و خطوط ریلی است پس m∈{1,2,3}،

پارامترها:

t_ijms: میانگین زمان صرف شد برای تحویل هر هزار کیت امدادی با استفاده از مد m از RDC_ به EDP_jدردوره s.

t_jkms: میانگین زمان صرف شد برای تحویل هر هزار کیت امدادی با استفاده از مد m از EDP_j به ASA_k در دوره s.

A_1ijm: انتشار گاز کربن در هر ساعت صرف شده برای تحویل هر هزار کیت امدادی با استفاده از مد m از RDC_i به EDP_j.

A_2jkm: انتشار گاز کربن در هر ساعت صرف شده برای تحویل هر هزار کیت امدادی با استفاده از مد m از EDP_j به ASA_k.

a_1ijm: هزینه تحویل هر هزار کیت امدادی با استفاده از مد m از RDC_i به EDP_j.

a_2jkm: هزینه تحویل هر هزار کیت امدادی با استفاده از مد m از EDP_j به ASA_k.

Q_is: مقادیر موجودی اقلام امدادی در RDC_i در دوره s.

D_js: مقادیر انتظاری اقلام امدادی در EDP_j در دوره s.

D_ks: مقادیر انتظاری اقلام امدادی در ASA_k در دوره s.

w_js: اوزان EDP_j که بر اساس سطح آسیب بازماندگان در دوره s تعیین می‌شود.

w_ks: اوزان ASA_k که بر اساس شدت آسیب بازماندگان در دوره s تعیین می‌شود.

η _js : سطح امدادی رسانی به بازماندگان واقع در EDP_j در دوره s.

η _ks : سطح امدادی رسانی به بازماندگان واقع در ASA_k در دوره s.

γ k : ضریب خطر ضایعات بلایا در هر هزار واحد بر محیط‌زیست در ASA_k.

k: ضریب خطر انتشار کربن به ازای هر کیلوگرم در محیط‌زیست.

متغیرها:

x_{ijms}: مقادیر واقعی امدادرسانی ارائه‌شده با استفاده از مد حمل‌ونقل m از RDC_i به EDP_j در دوره s، (برنامه‌ریزی سطح پایین زنجیره). این متغیر یک متغیر پیوسته مثبت است.

y_{jkms}: مقادیر واقعی امدادرسانی ارائه‌شده با استفاده از مد حمل‌ونقل m از EDP_j به ASA_k در دوره s، (برنامه‌ریزی سطح بالا زنجیره). این متغیر یک متغیر پیوسته مثبت است.

توابع هدف و محدودیت‌ها:

- مسئله سطح بالا زنجیره تأمین

(۱)

$$\min\left(\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{m\in M} w_{js}x_{ijms}/D_{js}\right) + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M} w_{ks}y_{jkms}/D_{ks}\right)$$

(۲)

$$\min\left(\sum_{s\in S}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{m\in M} A_{1ijm}t_{ijms}x_{ijms}\right) + \left(\sum_{s\in S}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M} kA_{2jkm}t_{jkms}y_{jkms}\right) + \left(\sum_{s\in S}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M}\gamma_k y_{jkms}\right)$$

(۳)

$$\min\left(\sum_{s\in S}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{m\in M} a_{1ijm}x_{ijms}\right) + \left(\sum_{s\in S}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M} a_{2jkm}y_{jkms}\right)$$

$$S.t.$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{m\in M} x_{ijm} = Q_{is} \quad (۴)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{m\in M} x_{ijms} \le D_{js} \quad (۵)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{m\in M} x_{ijms} \ge \eta_{js} D_{js} \quad (۶)$$

$$x_{ijm} \ge 0$$

- مسئله سطح پایین زنجیره تأمین

(۷)

$$\min\left(\sum_{s\in S}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J}\sum_{m\in M} w_{ks} y_{jkm} / D_{ks} t_{jkms}\right)$$

$$S.t.$$

(۸)

$$\sum_{k\in k}\sum_{m\in M} y_{jkms} = \sum_{i\in I}\sum_{m\in M} x_{ijms}$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{m\in M} y_{jkms} \le D_{ks} \quad (۹)$$

(۱۰)

$$\sum_{j\in J}\sum_{m\in M} y_{jkms} \ge \eta_{js} D_{js}$$

$$y_{jkm} \ge 0$$

در مجموعه معادلات بالا، معادلات (۱) تا (۷) به‌عنوان مدل بهینه‌سازی مسئله در سطح بالا تعریف می‌شود. سه معادله اول توابع هدف مسئله در سطح هستند. معادله (۱) کل نرخ تقاضای برآورده نشده وزنی RDC ها و ASA ها را برای همه دوره‌ها به حداقل می‌رساند. معادله (۲) کل خطرات زیست‌محیطی بالقوه ناشی از انتشار کربن مربوط به حمل‌ونقل، زباله‌ها یا زباله‌های بلایای طبیعی را برای همه دوره‌ها به حداقل برساند. معادله (۳) کل هزینه‌های اضطراری برای همه دوره‌ها را حداقل می‌کند. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که مجموع امداد حمل شده واقعی با موجودی برای هر RDC در هر دوره برابری می‌کند که نشان می‌دهد تمام کمک‌های موجود در هر دوره به EDP ها تحویل داده می‌شود. محدودیت (۵) موارد عرضه تقاضای برآورده نشده را فرموله می‌کند و نشان می‌دهد که همه تقاضاها برای EDP ها نمی‌توانند به‌طور کامل در هر دوره برآورده شوند. محدودیت (۶) نشان می‌دهد که همه بازماندگان واقع در هر EDP می‌توانند در هر دوره اقلام امدادی دریافت کنند و اصل منصفانه بودن را اندازه‌گیری می‌کند. مسئله بهینه‌سازی سطح پایین زنجیره در معادلات (۷) تا (۱۰) تعریف‌شده است. به‌طور خاص، معادله (۷) تابع هدف مسئله سطح پایین را به‌عنوان به حداکثر رساندن رضایت کل بازماندگان۷ برای همه دوره‌ها در کل سیستم تصمیم‌گیری واکنش به بلایا را توصیف می‌کند. محدودیت (۸) تعادل تقاضای کمک برای هر EDP را در هر دوره اندازه‌گیری می‌کند و نشان می‌دهد که امداد دریافتی و توزیع‌شده برای هر EDP در هر دوره برابر است. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب عرضه ناکافی و اصل منصفانه بودن را برحسب هر ASA در هر دوره مشخص می‌کنند.

۲-۳- روش حل مسئله

در روش اپسیلون محدودیت از بین توابع هدف مختلف، یکی انتخاب و سایر توابع هدف با در نظر گرفتن یک کران بالا به محدودیت تبدیل می‌شوند و مسئله به یک مدل برنامه‌ریزی خطی یک هدفه تبدیل می‌شود و به طریقه معمول برنامه‌ریزی خطی حل می‌شود. یکی از روش‌های دقیق به دست آوردن راه‌حل‌های پارتوی بهینه استفاده از روش اپسیلون محدودیت است که اولین بار توسط آلجدان ارائه‌شده است. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌ها بهینه‌سازی چندهدفه کاربرد آن برای فضاهای حل غیر محدب است زیرا روش‌هایی از قبیل ترکیب وزنی اهداف در فضای نا محدب کارایی خود را از دست می‌دهند.

جدول ۲- تنظیم پارامترهای مدل

شماره	Q_{is}	D_{js}	η_{js}	η_{ks}	a_{1ijm}	a_{2jkm}	A_{1ijm}	A_{2jkm}	t_{ijms}	t_{jkms}	γ_k
۱	۶۰	۱۱۰	۰,۳	۰,۳	۲	۲	۱,۵	۱,۵	۲,۵	۲,۵	۰,۴
۲	۷۰	۱۱۰	۰,۳	۰,۳	۲	۲	۱,۵	۱,۵	۲,۵	۲,۵	۰,۶
۳	۶۵	۱۱۰	۰,۳	۰,۳	۲	۲	۱,۵	۱,۵	۲,۵	۲,۵	۰,۶
۴	۶۰	۱۱۵	۰,۳	۰,۳	۲	۲	۱,۵	۱,۵	۲,۵	۲,۵	۰,۶
۵	۶۰	۸۰	۰,۳	۰,۳	۲	۲	۱,۵	۱,۵	۲,۵	۲,۵	۰,۶

زمان محاسباتی یک الگوریتم از ویژگی‌های مهم هر الگوریتم برای ارزیابی آن است. ازآنجایی‌که یکی از ضعف‌های اساسی الگوریتم‌های مبتنی بر جستجوی دقیق ازجمله روش اپسیلون محدودیت بالا بودن زمان محاسباتی آنهاست، بدیهی است که به‌کارگیری الگوریتم فرا ابتکاری موجب کاهش شدید زمان محاسباتی خواهد شد. یکی از نسخه‌های اصلاح‌شده روش پسلیون محدودیت، چارچوبی است که پیروز و خرم]۳۲[ارائه دادند و ابوالقاسمیان و همکاران]۳۳[استفاده از آن را به دلیل داشتن دو مزیت عمده توصیه کرده‌اند. یکی از مزایای این روش کاهش فضای جستجو برای یافتن نقاط غیر غالب است. یکی دیگر از مزایای این روش زمان اجرا کمتر آن در مقایسه با روش اصلی است. طبق این روش ابتدا مسئله بهینه‌سازی تک هدفه برای هر هدف را حل می‌کنیم. سپس طول گام را تعیین می‌کنیم. سپس مجموعه نقاط مناسب را تولید می‌کنیم و درنهایت بهینه‌سازی تک هدفه را حل کرده و مرز پارتو را تخمین می‌زنیم.

در این روش همواره به بهینه‌سازی یکی از اهداف می‌پردازیم به شرطی که بالاترین حد قابل‌قبول را برای سایر اهداف در غالب محدودیت‌ها تعریف کنیم. برای یک مسئله دو هدفه نمایش ریاضی طبق معادله ۱۱ را خواهیم داشت:

(۱۱)

$$\min f_1(x)$$
$$\text{s.t}$$
$$f_2(x) \le \varepsilon_2$$
$$x \in s$$

با تغییر مقادیر سمت راست محدودیت‌های جدید ε ها، لبه پارتوی مسئله به دست خواهد آمد

۳- تئوری و محاسبات

در این بخش نتایج محاسباتی از مدل پیشنهادی نشان داده‌شده است. برای اجرای مدل از نرم‌افزار LINGO استفاده شده است. برای حل مسئله مطابق با جدول ۲، پنج نمونه عددی در نظر گرفته‌شده است. بر اساس این نمونه‌ها پارامترهای مدل مطابق با آن تنظیم می‌شوند.

با توجه به اینکه در این تحقیق دیدگاه تصمیم‌گیری رهبر-پیرو از طریق مدل‌سازی در دو سطح بالا و پایین برای زنجیره تأمین در نظر گرفته‌شده است، مدل ریاضی تک سطحی در رابطه با دیدگاه رهبر با معادلات (۱) تا (۶) تعریف‌شده است. همچنین، دیدگاه پیرو با معادلات (۷) تا (۱۰) در نظر گرفته‌شده است. برای این منظور، تمام نتایج در حالت‌های تصمیم‌گیری مختلف برای مرحله پاسخ به بحران در جدول ۳ نشان داده‌شده است.

نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که طرح زنجیره تأمین پیشنهادی می‌تواند طرح توزیع

جدول ۳- نتایج محاسباتی تحت حالات مختلف تصمیم‌گیری

نمونه	اهداف	دوره			میانگین
		S_3	S_2	S_1	
اول	F_1	۰,۸۹	۱,۵	۲,۲۵	۱,۵۵
	F_2	۷۰۸	۴۸۲	۵۵۷	۵۸۲,۳
	F_3	۶۲۵	۵۶۲	۴۰۹	۵۳۲
	f	۰,۳۲۵	۰,۴۲۱	۰,۳۰۷	۰,۳۵۱
دوم	F_1	۰,۷۸	۱,۵	۳,۵	۱,۹۳
	F_2	۷۲۵	۴۷۵	۵۷۱	۵۹۰,۳
	F_3	۶۸۷	۵۷۶	۳۹۹	۵۵۴
	f	۰,۴۲۵	۰,۶۶۸	۰,۴۵۶	۱,۵۴۹
سوم	F_1	۰,۶۲	۱,۲۵	۳,۱۲	۱,۶۶۳
	F_2	۷۱۰	۳۹۵	۵۷۸	۵۶۱
	F_3	۶۵۰	۵۴۲	۶۴۷	۶۱۳
	f	۰,۴۴۲	۰,۵۶۱	۰,۴۷۸	۰,۴۹۳
چهارم	F_1	۰,۸۹	۱,۵	۲,۲۵	۱,۵۴
	F_2	۷۰۸	۴۸۲	۵۵۷	۵۸۲,۳
	F_3	۶۲۵	۵۶۲	۴۰۹	۵۳۲
	f	۰,۳۲۵	۰,۴۲۱	۰,۳۰۷	۰,۳۵۱
پنجم	F_1	۰,۷۹	۲,۵	۲,۲۵	۱,۸۴۶
	F_2	۶۲۸	۵۴۸	۴۴۶	۵۴۰,۶۶۶
	F_3	۵۸۹	۵۶۲	۵۸۶	۵۷۹
	f	۰,۲۳۵	۰,۵۶۸	۰,۴۶۹	۰,۴۲۴

بهینه امداد پس از فاجعه را برای همه موارد در یک‌زمان معقول (حدود ۳۰ ثانیه) به دست آورد؛ بنابراین، اثربخشی و امکان‌سنجی مدل و روش‌ها تائید می‌شود. ثانیاً، مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از دیدگاه ادغام رهبر و پیرو نشان می‌دهد که مدل برنامه‌ریزی دوسطحی پیشنهادی به‌طور قابل‌توجهی نرخ کل تقاضای برآورده نشده از طریق تابع F_1، کل خطرات بالقوه زیست‌محیطی از طریق تابع F_2 و کل هزینه‌های اضطراری از طریق تابع F_3 را کاهش می‌دهد. همچنین، کل رضایت بازماندگان از طریق تابع f ماکسیمم می‌شود. نتایج اجرای مدل در جدول ۳ نشان داده‌شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، افزایش مقدار موجودی‌ها تأثیرات مطلوبی بر دستیابی به پایداری اجتماعی در توزیع امداد از طریق افزایش میزان رضایت از طریق تابع f دارند، درحالی‌که این افزایش تأثیرات نامطلوبی بر عملکرد پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی از طریق تابع F_2 تحمیل می‌کنند. بااین‌وجود، به دنبال افزایش تقاضای کمک، نرخ کل تقاضای برآورده نشده، کل خطرات زیست‌محیطی بالقوه و کل هزینه‌های اضطراری به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. برای این منظور، در جدول ۴، مقادیر x_ijms و y_jkms برای صحت نتایج فوق نشان داده‌شده است.

جدول ۴- مقدار بهینه متغیرهای تصمیم مدل

شماره نمونه	x_{ijm}			y_{jkm}			Q_1	f	F_2	F_3
	m_3	m_2	m_1	m_3	m_2	m_1				
اول	۲۴۰۶	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۴۷۹	۱۴۷۸	۱۵۰۶	۶۰	۰,۳۵۱	۵۸۲,۳	۵۳۲
دوم	۲۶۵۰	۱۳۵۶	۱۶۴۵	۲۰۰۶	۱۶۳۹	۱۷۵۲	۷۰	۱,۵۴۹	۵۹۰,۳	۵۵۴
سوم	۲۵۵۰	۱۱۵۲	۱۷۸۹	۲۱۴۷	۱۲۵۸	۱۸۹۶	۶۵	۰,۴۹۳	۶۱۳	۵۶۱
چهارم	۲۴۷۸	۱۱۸۹	۱۶۷۸	۲۳۱۴	۱۱۶۴	۱۶۴۷	۶۰	۰,۳۵۱	۵۸۲,۳	۵۳۲
پنجم	۲۶۱۸	۱۲۳۶	۱۴۷۹	۲۵۶۹	۱۴۷۹	۱۵۶۳	۶۰	۰,۴۲۴	۵۴۰,۶۶۶	۵۷۹

۴- بحث و نتایج

در این بخش حساسیت مقادیر ε بر روی مقدار توابع هدف سنجیده خواهد شد و نتایج حاصل شامل مقادیر قابل‌اطمینان با تعیین فاصله ε برای توابع هدف گزارش می‌شود. برای این منظور، در جدول ۵ مقادیر مختلفی برای ε تعریف‌شده و توابع هدف با آنها حل‌شده است. همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، مقادیر تابع هدف با افزایش ε تا مقدار مشخصی، تغییر قابل‌توجهی از خود نشان نمی‌دهند، اما از جایی به بعد (برای مثال تابع هدف دوم) افزایش در مقدار ε، افزایش و با شیب قابل ملاحظه‌ای در مقادیر توابع هدف را گزارش می‌کند (تغییر اپسیلون از ۶۰۰ تا ۹۰۰).

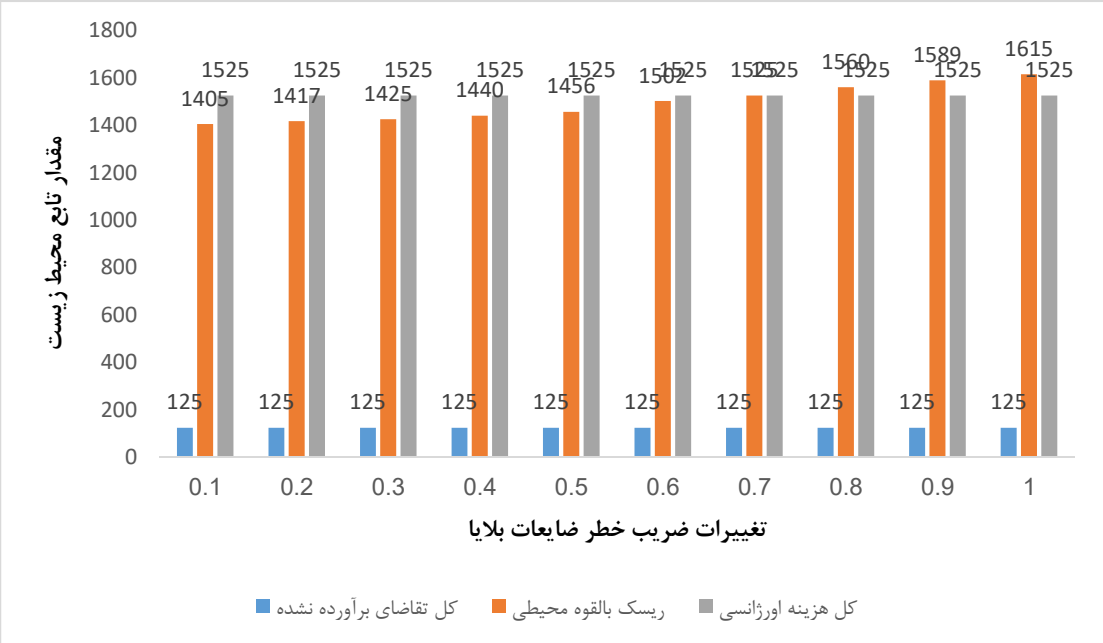
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، به ازای آزمایش مقادیر مختلف اپسیلون، ناحیه شدنی و بردار بهبوددهنده توابع هدف نشان ایجادشده است. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده سطح تغییرات معنی‌دار اپسیلون بین ۵۰ تا ۹۰۰ به‌عنوان اپراتور بهبوددهنده تعیین‌شده است. تعیین این بازه مشخص می‌کند که اگر چنانچه مقدار اپسیلون کمتر از ۵۰ و بیشتر از ۹۰۰ در نظر گرفته شود پاسخ مسئله خارج از ناحیه شدنی قرار می‌گیرد؛ بنابراین، دامنه تغییرات اپسیلون برای جستجوی جواب بهینه محلی برای تابع هدف اول ۶۵۰ قرار دارد زیرا در روی این نقطه جواب بهینه برای تابع هدف اول رخ می‌دهد.

وضعیت بهینه برای تابع هدف دوم در اپسیلون ۶۰۰ به دست می‌آید. وضعیت بهینه برای تابع هدف سوم در مقدار اپسیلون ۷۵۰ و سرانجام، مقدار بهینه برای تابع هدف چهارم در اپسیلون ۷۵۰ به دست می‌آید؛ بنابراین، در صورت انتخاب اپسیلون بین ۶۰۰ تا ۷۵۰ جواب‌های نامطلوب برای مسئله به دست می‌آید و در غیر این صورت جواب‌های نامطلوب بشمار می‌روند؛ بنابراین، با استفاده از تغییر طول گام در مقدار پارامتر اپسیلون مقادیر مختلف برای توابع هدف به‌صورت جداگانه به دست آوردیم که تأثیر این تغییر را بر روی تابع هدف بررسی کردیم. در جدول ۵ نتایج حل مدل با طول گام برابر با ۵۰ نشان داده‌شده است.

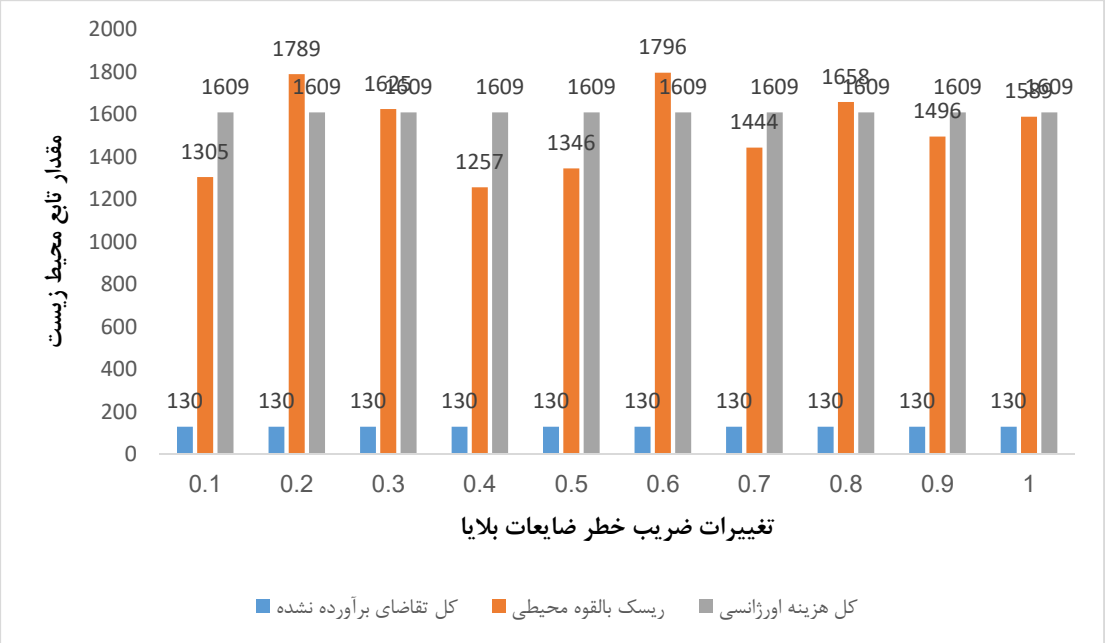
همچنین، در این بخش تأثیر ضریب خطر ضایعات بلایا بر محیط‌زیست مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج محاسباتی بر اساس نمونه اول تا پنجم تحت مقدارهای مختلف به ازای γ در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۳ تا ۷ ارائه‌شده است، بدیهی است که ضریب γ تأثیر قابل‌توجهی بر هدف پایداری محیطی دارد. همچنین، به‌طور قابل‌توجهی، افزایش مقدار در این ضریب منجر به افزایش کل ریسک‌های زیست‌محیطی بالقوه می‌شود که سازگاری با موارد عملی و فرض موجود در این مقاله را تائید می‌کند. بااین‌حال، همچنین گزارش‌شده است که ضریب γ نقش

جدول ۵- نتایج حل مدل با روش ε- محدودیت

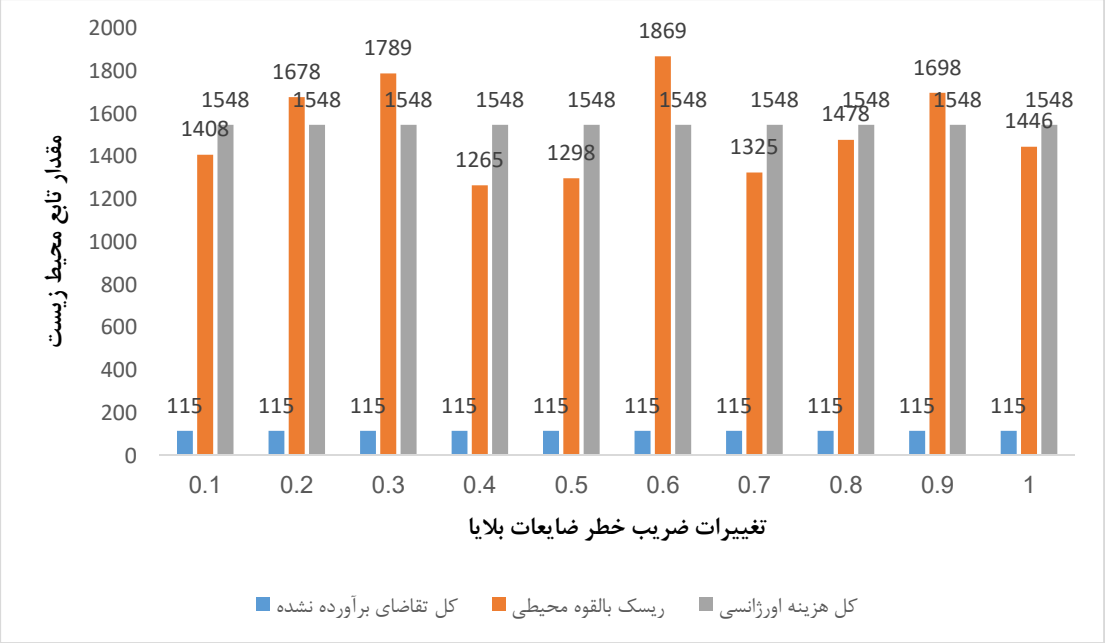
ε	F_1	F_2	F_3	f
۵۰	۱,۳۵	۵۷۱	۶۶۳	۰,۲۵
۱۰۰	۱,۳۶	۵۵۳	۵۸۹	۰,۳۲
۱۵۰	۱,۲۵	۶۲۵	۳۲۵	۰,۴۶
۲۰۰	۱,۱۵	۵۷۱	۴۷۸	۰,۳۸
۲۵۰	۱,۳۶	۶۸۴	۶۲۳	۰,۴۲
۳۰۰	۱,۴۷	۷۵۲	۵۸۹	۰,۳۹
۳۵۰	۱,۶۸	۵۸۳	۸۷۴	۰,۴۱
۴۰۰	۱,۴۵	۵۴۹	۵۷۴	۰,۵۸
۴۵۰	۱,۵۷	۵۶۸	۶۴۱	۰,۴۲
۵۰۰	۱,۴۲	۵۸۸	۶۲۸	۰,۳۷
۵۵۰	۱,۳۶	۵۲۷	۴۵۶	۰,۵۶
۶۰۰	۱,۴۹	۵۰۶	۵۴۷	۰,۵۵
۶۵۰	۱,۱۲۵	۷۲۸	۵۶۹	۰,۴۷
۷۰۰	۱,۵۲	۹۸۷	۵۴۷	۰,۴۴
۷۵۰	۱,۳۳	۷۸۹	۴۴۲	۰,۶۲
۸۰۰	۱,۵۶	۸۱۴	۵۹۶	۰,۵۶
۸۵۰	۱,۵۸	۸۲۹	۶۲۵	۰,۴۲
۹۰۰	۱,۶۰	۷۰۷	۶۵۴	۰,۴۸
مقدار بهینه	۱,۱۲۵	۵۰۶	۴۴۲	۰,۶۲



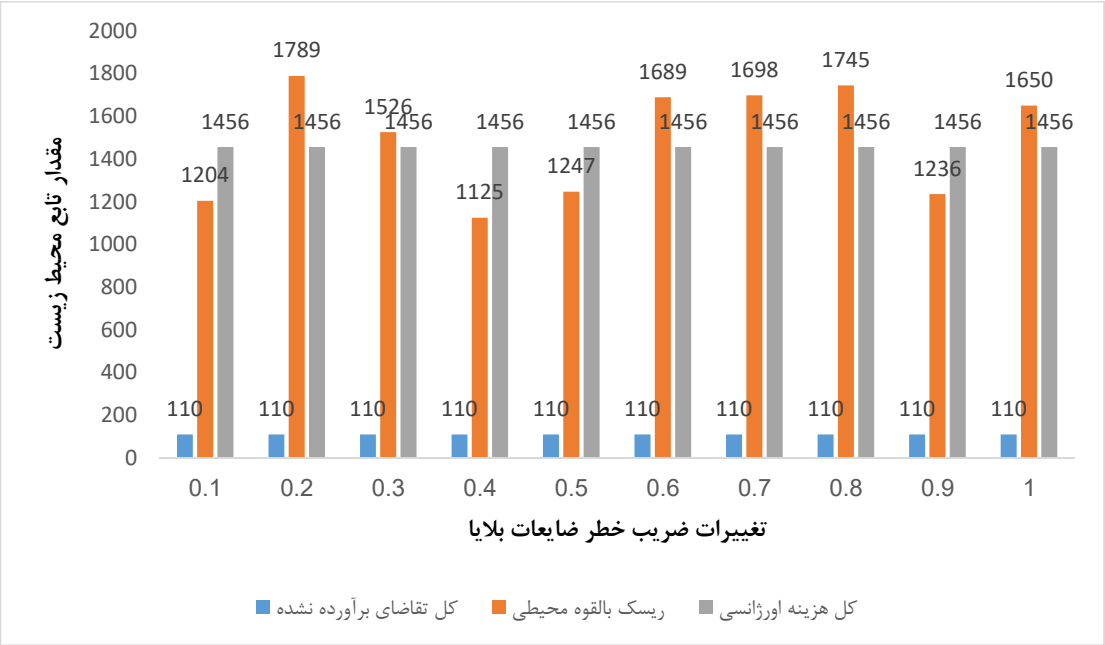
شکل ۳- نتایج محاسباتی نمونه اول بر اساس تغییر در ضریب γ



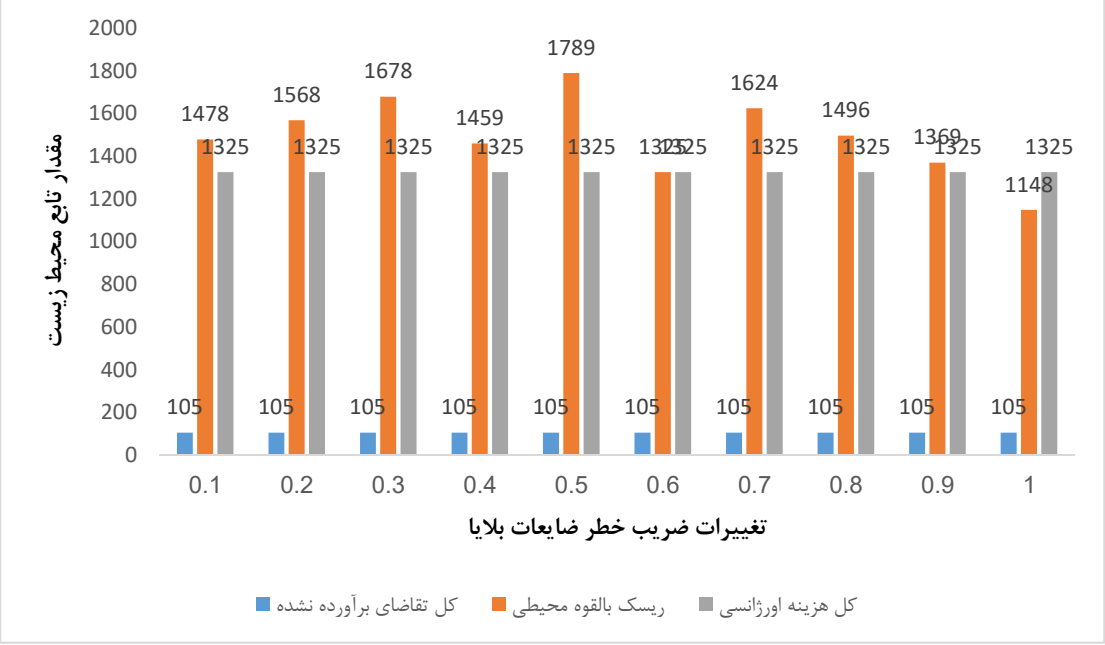
شکل ۴- نتایج محاسباتی نمونه دوم بر اساس تغییر در ضریب γ



شکل ۵- نتایج محاسباتی نمونه سوم بر اساس تغییر در ضریب γ



شکل ۶- نتایج محاسباتی نمونه چهارم بر اساس تغییر در ضریب γ



شکل ۷- نتایج محاسباتی نمونه پنجم بر اساس تغییر در ضریب γ

مهمی در کل نرخ تقاضای برآورده نشده وزنی، کل هزینه‌های اضطراری بازی نمی‌کند. دلیل اصلی این است که ضریب γ به دلیل فرمول‌بندی توابع هدف، صرفاً به‌طور مستقیم بر عملکرد پایداری محیطی تأثیر می‌گذارد.

بر اساس موارد اشاره‌شده در بالا بر طبق نتایج به‌دست‌آمده در طول این تحقیق به بررسی توزیع اقلام معیشتی گوناگون امدادی به پایگاه‌های امدادی در زمان وقوع بحران پرداخته‌شده است. در گذشته در مطالعاتی مانند میک و همکاران [۱۹]، وو و همکاران [۲۰] و جهانگیری و همکاران [۴] به اولویت‌بندی اقلام برای توزیع منصفانه پرداخته‌شده است؛ اما در این تحقیق میزان توزیع منصفانه هر قلم در شرایط امدادی

تعیین‌شده است. توجه به خطرات ناشی از وقوع بحران بر روی محیط‌زیست در مطالعات گذشته بچشم نمی‌خورد؛ اما در این تحقیق با تعریف تابع هدف کل خطرات ناشی از انتشار گاز کربن مربوط به وسایل حمل‌ونقل یا نخاله‌های بلایای طبیعی را به حداقل می‌رسانیم. سرانجام، در این تحقیق مانند مطالعات منصوری و همکاران [۲۳]، صبوحی و همکاران [۲۴]، پرانتوکگارگ و همکاران [۱۳]، معتمدی و همکاران [۱۷]، هورنر و همکاران [۲۸]، کائو و همکاران [۲۷] و پورناصر و همکاران [۳۱] کاهش هزینه‌های اضطراری در زنجیره تأمین بشردوستانه در نظر گرفته‌شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای توزیع اقلام امدادرسانی در یک زنجیره تأمین بشردوستانه در دو سطح بالا و پایین ارائه‌شده است؛ بنابراین، این مقاله در راستای تحقق اهداف ارائه یک مدل بهینه‌سازی برای توزیع بسته‌های معیشتی در زنجیره تأمین بشردوستانه برای مقابله با بحران است. برای این منظور، یک زنجیره تأمین بشردوستانه چندهدفه و چند سطحی برای توزیع عادلانه بسته‌های معیشتی برای مقابله با بحران توسعه داده‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده نشان داده‌شده است که افزایش در مقدار موجودی بر روی پایداری اجتماعی از طریق افزایش در میزان رضایت بازماندگان تأثیر مثبتی می‌گذارد. این در حالی است که افزایش در مقدار موجودی به دلیل افزایش حمل‌ونقل‌ها تأثیر سویی بر روی عملکرد پایداری زیست‌محیطی تحمیل می‌کند. همچنین، به دنبال افزایش موجودی، نرخ کل تقاضای برآورده نشده، کل خطرات زیست‌محیطی بالقوه و کل هزینه‌های اضطراری به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج مطالعه، ضریب خط ضایعات γاثرات چشمگیری بر عملکرد پایداری محیطی تحمیل می‌کند؛ و تأثیری در کل نرخ تقاضای برآورده نشده وزنی، کل هزینه‌های اضطراری نمی‌گذارد.

دلیل اصلی این ویژگی این است که ضریب γ به دلیل فرمول‌بندی توابع هدف، صرفاً به‌طور مستقیم بر عملکرد پایداری محیطی تأثیر می‌گذارد. سرانجام، با اعمال برخی تغییرات بر روی مقدار اپسیلون مقادیر مختلف توابع هدف به‌منظور تعیین راه‌حل‌های نامطلوب سنجیده شده است؛ بنابراین، در صورت انتخاب اپسیلون بین ۶۰۰ تا ۷۵۰ جواب‌های نامطلوب برای مسئله به دست می‌آید و در غیر این صورت جواب‌های مغلوب بشمار می‌روند که لازم است مورد بررسی قرار نگیرند؛ بنابراین، با استفاده از تغییر طول گام در مقدار پارامتر اپسیلون مقادیر مختلف برای توابع هدف به‌صورت جداگانه به دست آورده شده است که تأثیر این تغییر را بر روی توابع هدف بررسی‌شده است. موضوعات ارزشمندی که برای مطالعه آینده پیشنهاد می‌شوند عبارت‌اند از: اولاً، گسترش مسئله به مسائل با اندازه بزرگ و استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل مدل با ابعاد بزرگ. ثانیاً، در این مقاله توزیع امداد پس از فاجعه چند دوره‌ای در زنجیره تأمین بشردوستانه مدل‌سازی شده است؛ بنابراین، اینکه کدام جنبه‌های پایداری باید در مراحل مختلف دیگر مانند قبل از فاجعه و حین فاجعه مورد توجه قرار گیرد هنوز مغفول واقع‌شده است.

۶- منابع

1. Wang, B. C., Qian, Q. Y., Gao, J. J., Tan, Z. Y., & Zhou, Y. (2021). The optimization of warehouse location and resources distribution for emergency rescue under uncertainty. Advanced Engineering Informatics, 48, 101278.
2. Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Pourghader Chobar, A., Nadaffard, A., Mottaghi, V. (2021). Ranking of key resources

allocation optimization for disaster supply warehouses in the Beijing–Tianjin–Hebei region of China. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10(1), 102-117.
17. Motamedi, M., and Movahedi, M., and Rezaian, J., and Rashidi Komijani, A. (2019). Designing a Non-Linear Mixed Integer Two-objective Math Model to Maximize the Reliability of Blood Supply Chain. Engineering and Quality Management, 8 (4), 259-274, [In Persian].
18. Mohammadi, S., Darestani, S. A., Vahdani, B., & Alinezhad, A. (2020). A robust neutrosophic fuzzy-based approach to integrate reliable facility location and routing decisions for disaster relief under fairness and aftershocks concerns. Computers & Industrial Engineering, 148, 106734.
19. Miç, P., Koyuncu, M., & Hallak, J. (2020). Primary health care center (PHCC) location-allocation with multi-objective modelling: a case study in Idleb, Syria. International journal of environmental research and public health, 16(5), 811.
20.Wu, G. H., Chang, C. K., & Hsu, L. M. (2020). Comparisons of interactive fuzzy programming approaches for closed-loop supply chain network design under uncertainty. Computers & Industrial Engineering, 125, 500-513.
21. Aghajani, M., Torabi, S. 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.
22. Maghfiroh, M. F., & Hanaoka, S. (2020). Multi-modal relief distribution model for disaster response operations. Progress in Disaster Science, 6, 100095.
23. Mansoori, S., Bozorgi-Amiri, A., & Pishvaee, M. S. (2020). A robust multi-objective humanitarian relief chain network design for earthquake response, with evacuation assumption under uncertainties. Neural Computing and Applications, 32(7), 2183-2203.
24. Sabouhi, F., Bozorgi-Amiri, A., & Vaez, P. (2020). Stochastic optimization for transportation planning in disaster relief under disruption and uncertainty. Kybernetes.
25. Mamashli, Z., Bozorgi-Amiri, A., Dadashpour, I., Nayeri, S., & Heydari, J. (2021). A heuristic-based multi-choice goal programming for the stochastic sustainable-resilient routing-allocation problem in relief logistics. Neural Computing and Applications, 1-27.
26. Rezaei Kallaj, M., Abolghasemian, M., Moradi Pirbalouti, S., Sabk Ara, M., & Pourghader Chobar, A. (2021). Vehicle Routing Problem in Relief Supply under a Crisis Condition considering Blood Types. Mathematical Problems in Engineering, 2021.
27. Cao, C., Liu, Y., Tang, O., & Gao, X. (2021). A fuzzy bi-level optimization model for multi-period post-disaster relief distribution in sustainable humanitarian supply chains. International Journal of Production Economics, 235, 108081.
28.Horner, M. W., Ozguven, E. E., Marcelin, J. M., & Kocatepe, A. (2021). Special needs in the humanitarian supply chain in the emergency department of iranian hospital: a real case study in COVID-19 conditions. Journal of Applied Research on Industrial Engineering, 8(Special Issue), 1-10.
3. CRED. (2019). Natural Disasters 2019. Tech. rep.
4. Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Ghasemi, P., & Chobar, A. P. (2023). Simulation-based optimisation: analysis of the emergency department resources under COVID-19 conditions. International journal of industrial and systems engineering, 43(1), 1-19.
5. Chobar, A. P., Adibi, M. A., & Kazemi, A. (2022). Multi-objective hub-spoke network design of perishable tourism products using combination machine learning and meta-heuristic algorithms. Environment, Development and Sustainability, 1-28.
6. Yofrido, F. M., & Harjana, L. T. (2019). Social-fairness perception in natural disaster, learn from Lombok: a phenomenological report. Indonesian Journal of Anesthesiology and Reanimation, 1(1), 1-7.
7. Qin, W., Zhao, X., Ma, Y., Li, Y., Qin, L., Wang, Y., & Du, J. (2018). A multi-objective optimization based method for evaluating earthquake shelter location–allocation. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 9(1), 662-677.
8. Zheng, Y. J., Chen, S. Y., & Ling, H. F. (2015). Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. Applied Soft Computing, 27, 553-566.
9. Anaya-Arenas, A. M., Ruiz, A., & Renaud, J. (2018). Importance of fairness in humanitarian relief distribution. Production Planning & Control, 29(14), 1145-1157.
10. Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. International Journal of Disaster Risk Reduction, 24, 485-498.
11. Roh, S. Y., Shin, Y. R., & Seo, Y. J. (2018). The Pre-positioned warehouse location selection for international humanitarian relief logistics. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 34(4), 297-307.
12. Ozbay, E., Çavuş, Ö, & Kara, B. Y. (2019). Shelter site location under multi-hazard scenarios. Computers & Operations Research, 106, 102-118.
13. Praneetpholkrang, P., & Huynh, V. N. (2020, February). Shelter Site Selection and Allocation Model for Efficient Response to Humanitarian Relief Logistics. In International Conference on Dynamics in Logistics (pp. 309-318). Springer, Cham.
14. Kanoun, I., Chabchoub, H., & Aouni, B. (2010). Goal programming model for fire and emergency service facilities site selection. INFOR: Information Systems and Operational Research, 48(3), 143-153.
15. Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2020). A credibility-based multi-objective temporary logistics hub location-allocation model for relief supply and distribution under uncertainty. Socio-Economic Planning Sciences, 70, 100727.
16. Ma, Y., Xu, W., Qin, L., Zhao, X., & Du, J. (2019). Hierarchical supplement location-

hurricane shelters and the ageing population: development of a methodology and a case study application. Disasters, 42(1), 169-186.
29. Shao-hong, Y., Jia-yang, N., Tai-long, C., Qiu-tong, L., Cen, Y., Jia-qing, C. & Jie, L. (2022). Location algorithm of transfer stations based on density peak and outlier detection. Applied Intelligence, 1-13.
30. Peng, D., Ye, C., & Wan, M. (2022). A multi-objective improved novel discrete particle swarm optimization for emergency resource center location problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 111, 104725.
31. Poornaser, M., Amoozadkhalili, H., & Motamedi, M. (2022). Routing disaster relief vehicles in a humanitarian supply chain. Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly), 12(2), 205-216.
32. Pirouz, B., & Khorram, E. (2016). A computational approach based on the ε-constraint method in multi-objective optimization problems. Adv. Appl. Stat, 49, 453.
33.Abolghasemian, M., Kanai, A. G., & Daneshmandmehr, M. (2020). A two-phase simulation-based optimization of hauling system in open-pit mine. Iranian journal of management studies, 13(4), 705-732.
34. Modarresi, S. A., & Maleki, M. R. (2023). Integrating pre and post-disaster activities for designing an equitable humanitarian relief supply chain. Computers & Industrial Engineering, 181, 109342.
35. Jafarzadeh-Ghoushchi, S., Asghari, M., Mardani, A., Simic, V., & Tirkolaee, E. B. (2023). Designing an efficient humanitarian supply chain network during an emergency: A scenario-based multi-objective model. Socio-Economic Planning Sciences, 90, 101716.
36. Eligüzel, İ. M., Özceylan, E., & Weber, G. W. (2023). Location-allocation analysis of humanitarian distribution plans: a case of United Nations Humanitarian Response Depots. Annals of Operations Research, 324(1-2), 825-854.
37. Narimani R, Motamedi M, Amoozad khalili H. (2023). Applying a Mathematical Model for the Distribution of Earthquake Relief Items to the Affected Areas of Tehran. Disaster Prevention and Management Knowledge. 13(2), 184-203.
38. Goudarzi, H. M., Lim, G., Grosshans, D., Mohan, R., & Cao, W. (2024). Incorporating variable RBE in IMPT optimization for ependymoma. Journal of applied clinical medical physics, 25(1), e14207.
39. Abolghasemian, M., Pourghader Chobar, A., AliBakhshi, M., Fakhr, A., & Moradi Pirbalouti, S. (2021). Delay scheduling based on discrete-event simulation for construction projects. Iranian Journal of Operations Research, 12(1), 49-63.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License