فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ دوازدهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۱
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK) Quarterly, Vol. 12, No.2, Serial 44 (Summer 2022)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

Routing disaster relief vehicles in a humanitarian supply chain

M. Poornaser[1], H. Amoozad khalili[2*], E. Momeni[3], M. M. Movahedi[4] & M. Motamedi[5]

1-Ph.D student of industrial management, Faculty of accounting and management, Islamic Azad University Firoozkooh Branch, Firoozkooh, Iran
2- Assistant professor, Industrial engineering department, Islamic Azad University Sari Branch, Sari, Iran. (Corresponding Author)
3- Assistant professor, Industrial engineering department, Islamic Azad University pardis Branch, pardis, Iran
4- Associate professor, Management department, Islamic Azad University Firoozkooh Branch, Firoozkooh, Iran
5- Assistant professor, Management department, Islamic Azad University Nowshahr Branch, Nowshahr, Iran

Abstract

Background and objectives: The decision to allocate the optimal route for ambulances affects the success of disaster response and the safety of victims. In this paper, a multi-objective optimization model is proposed to determine the route of vehicles in response to humanitarian relief supplies.

Method: Two objective functions are formulated to improve efficiency and effectiveness. The first goal is to minimize the total cost of each route. The second goal is to minimize the total time of vehicle repairs to provide limited relief to victims from all injury areas. The Epsilon (EC) constraint method was used to solve the proposed model.

Results: The applicability of the proposed model is demonstrated through a case study. The results obtained from solving the proposed model are compared with the existing routing scheme. Comparisons show that the results obtained from solving the proposed model are better than current routing programs.

Conclusion: In addition, the results of this study can provide an advantage for decision makers in order to consider appropriate strategies for responding to disasters.

Keywords: disasters, allocation, routing, epsilon constraints

▶**Citation (APA 6th ed.):** Poornaser M, Amoozad khalili H, Momeni E, Movahedi M.M, Motamedi M. (2022, Summer). Routing disaster relief vehicles in a humanitarian supply chain. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 12*(2),205-216.

مسیریابی وسایل نقلیه امدادرسان برای مقابله با بلایا در یک زنجیره تأمین بشردوستانه

مسعود پورناصر[۱]، حسین عموزادخلیلی[۲*]، احسان مؤمنی[۳]، محمد مهدی موحدی[۴] و مجید معتمدی[۵]

۱–دانشجوی دکترای تخصصی مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران.mpoornaser@yahoo.com

۲– استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری، ایران (نویسنده مسئول).amoozad92@yahoo.com

۳– استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پردیس، پردیس، ایران. ehs_momeni@yahoo.com

۴– دانشیار، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران.mmmovahedi@gmail.com

۵– استادیار، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نوشهر، نوشهر، ایران.moatamedi.m@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: تصمیم‌گیری به منظور تخصیص بهینه مسیر برای وسایل نقلیه امدادی، بر موفقیت واکنش در بلایا و همچنین، امنیت قربانیان تأثیر می‌گذارد. در این مقاله یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه برای تعیین مسیر وسایل نقلیه در پاسخ به تدارکات امداد بشردوستانه پیشنهاد می‌گردد.

روش: دو تابع هدف برای بهبود کارایی و اثربخشی فرموله شده است. هدف اول، به حداقل رساندن کل هزینه‌های هر مسیر می‌باشد. هدف دوم، به حداقل رساندن کل زمان تعمیرات وسایل نقلیه برای امدادرسانی مجدد به قربانیان از تمام مناطق آسیب می‌باشد. برای حل مدل پیشنهادی از روش محدودیت اپسیلون۱ (EC) استفاده شده است.

یافته‌ها: قابلیت کاربرد مدل پیشنهادی از طریق مطالعه موردی نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از حل مدل پیشنهادی با طرح‌مسیریابی موجود مقایسه می‌شود. مقایسه‌ها نشان می‌دهد که نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل پیشنهادی، مناسب‌تر از برنامه‌های مسیریابی فعلی است.

نتیجه‌گیری: علاوه بر این، نتایج این مطالعه می‌تواند مزیتی برای تصمیم‌گیرندگان به منظور در نظر گرفتن استراتژی‌های مناسب برای واکنش به بلایا فراهم نماید.

واژه‌های کلیدی: بلایا، تخصیص، مسیریابی، اپسیلون محدودیت

◄ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** پورناصر، مسعود؛ عموزادخلیلی، حسین؛ مؤمنی، احسان؛ موحدی، محمدمهدی؛ معتمدی، مجید. (تابستان، ۱۴۰۱)، مسیریابی وسایل نقلیه امدادرسان برای مقابله با بلایا در یک زنجیره تأمین بشردوستانه. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۲* (۲)،۲۰۵-۲۱۶.

1. Epsilon constraint (EC)

مقدمه

تصمیم‌گیری برای تخصیص مکان پناهگاه بر موفقیت واکنش در بلایا و تأمین امنیت لازم برای قربانیان تأثیر می‌گذارد. به عنوان نمونه، بحرانی که اخیراً دنیا را تحت تأثیر قرار داده است و در اواخر سال ۲۰۱۹ – در چین، با نام ویروس جدید کووید-۱۹ منتشر شد–، دنیا را در یک بحران به‌شدت سخت قرار داد و باعث مرگ و میر بیشتر از هر سال نسبت دهه‌های قبل شده است (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، بر اساس داده‌های آماری بلایای طبیعی گزارش شده توسط مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی، بلایای طبیعی و سیل، در کنار تمام بحران‌های ساخته شده توسط انسان، شایع‌ترین فاجعه بوده است که باعث کشته شدن ۵۱۱۰ نفر شده است (کرید، ۲۰۱۹). در این بین، لجستیک بشردوستانه، نقش مهمی در تسهیل فرآیندهای مدیریت بلایا و تخلیه قربانیان از مناطق آسیب دیده به مکان‌های امن و با برنامه‌ریزی، ذخیره و توزیع تجهیزات کمکی برای کمک به قربانیان در زمان، مکان مناسب و هزینه مناسب ایفا می‌نماید (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۱). منابع محدود، چالشی بزرگ در زنجیره تأمین بشردوستانه ایجاد می‌کند. در هنگام وقوع گسترده بحران، بی‌انصافی است که به یک منطقه، اولویت بیشتری داده شود و خدمات بسیار بیشتری دریافت نماید، در همین حال، منطقه دیگری به دلیل کمبود عرضه، کمتر از سهم منصفانه خود دریافت کند (یوفریدو وهارجانا، ۲۰۱۹). بنابراین، تصمیم‌گیری‌های اخلاقی برای تصمیم‌گیرندگان، چالش برانگیز است، لیکن، زمانی که کالاهای امدادی برای ارضای همه تقاضاها کافی نیستند، این شرایط نیازمند رویکرد تخصیصی مناسب است که بتواند اقلام امدادی را به گونه‌ای به مناطق آسیب‌دیده تخصیص دهد که اولویت یکسانی برای برآوردن نیازهای بخش‌های مختلف جمعیت آسیب‌دیده در نظر گرفته شود (گوپتا و رانگانتان، ۲۰۰۶).

با توجه به این واقعیت که مناطق مختلف نیازهای متفاوتی دارند، رفتار منصفانه به عنوان 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 کلیه نقاط بحران، با یک رویه عادلانه توزیع نماید (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۵). در این‌صورت به همان نسبت تقاضا باید اقلام یا کالاهای امدادی به نقاط آسیب‌دیده مورد تقاضا اختصاص یابد. به عبارت دیگر، اگر منابع امدادی محدود باشد، ممکن است بهتر باشد بخشی از نیازهای مناطق آسیب‌دیده به جای برآورده کردن کامل تقاضاهای یک نقطه تقاضا و نادیده گرفتن کامل آن در نقطه دیگر، برطرف گردد (آنایا و همکاران، ۲۰۱۸). بر این اساس، به دلیل محدودیت منابع یا افزایش هزینه، نمی‌توان از نقاط بحران دوردست برای کمک‌رسانی چشم پوشی کرد. با توجه به اهمیت مفهوم فوق، این مطالعه با در نظر گرفتن خرابی تسهیلات حمل و نقل و تعریف تابع هزینه خرابی برای تجهیزات و تلاش برای به حداقل رساندن میزان هزینه تعمیر، مفهوم بشردوستانه را برای مقابله با بحران در نظر گرفته است. علاوه بر این، تدارکات بشردوستانه شامل؛ انتخاب مکان‌های مناسب برای تجهیزات امدادی مانند پناهگاه‌ها، مراکز پزشکی، مراکز توزیع، انبارها، زباله‌ها و غیره می‌باشد. همچنین، برای واکنش مناسب به بلایا، تصمیم‌گیری در مورد تخصیص مکان پناهگاه و تسهیلات امدادرسان، مهم‌تر از تصمیم‌گیری در مورد سایر اجزای زنجیره تأمین بشردوستانه است. بر طبق مفاهیم تدارکات بشردوستانه کالاهای امدادی، وقوع بلایا در مکان‌های متعدد، مستلزم طیف جدیدی از سیاست‌ها برای تخصیص بهینه اقلام امدادی به نقاط تقاضا می‌باشد.

براساس موارد اشاره شده در بالا، این تحقیق به تخصیص ایستگاه‌های امدادی به مراکز بحران و مسیریابی وسایل نقلیه به منظور توزیع اقلام امدادی، به عنوان یکی از موضوعات کلیدی در فاز واکنش مدیریت بلایا، می‌پردازد. برای تحقق این منظور، به طور معمول، محققان، مدل‌های بهینه‌سازی تک هدفه یا روش‌های تعیین جواب مغلوب یا غیرمغلوب برای مسائل چند هدفه را جهت تعیین محل تخصیص تسهیلات در شرایط گوناگون پیشنهاد داده‌اند. در اکثر روش‌های تعیین جواب‌های مغلوب و نامغلوب برای مسائل چند هدفه ارائه شده، معمولاً از روش جمع وزنی (WSM) [1] و برنامه‌ریزی آرمانی وزنی (WGP) [2]، استفاده می‌شوند، که در این روش‌ها تصمیم‌گیرندگان باید یک ضریب وزنی به منظور تعریف

1. Sum weighted method (WSM)
2. Weighted goal programming (WGP)

اهمیت هر یک از اهداف، با استفاده از قضاوت فردی، تعیین نمایند. این عامل سبب می‌شود که تصمیم‌گیرندگان برای بیان اینکه کدام معیار مهم‌تر است، تحت فشار قرار گیرند. راه‌حل‌هایی که وزن را در نظر نمی‌گیرند برای مقابله با چالش‌های تخصیص تسهیلات در این مورد، مناسب‌تر هستند. به منظور غلبه بر این محدودیت، در این تحقیق،روش اپسیلون محدودیت، -که قضاوت‌های ذهنی را در حل مسأله چندهدفه دخالت نمی‌دهند-، مورد استفاده قرار گرفته است.

بنابراین، مهم‌ترین اهدافی که این تحقیق به دنبال تحقق آن است عبارت اند از:

- ارائه مدل برای مسأله زنجیره تأمین بشردوستانه و حل مدل با روش اپسیلون محدودیت،
- برآورد زمان خرابی تسهیلات و عدم قطعیت فازی در مدل.

تعیین محل تخصیص تسهیلات برای مقابله با حوادث بلایا به دقت، توسط تصمیم‌گیرندگان مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات متعددی، مدل‌های بهینه‌سازی تک هدفه یا روش‌های محاسباتی مسائل چند هدفه را برای تعیین جواب‌های مغلوب و نامغلوب، به منظور بهبود کارایی و اثربخشی تدارکات امدادرسانی بشردوستانه، پیشنهاد کرده‌اند. این امکانات شامل پناهگاه، مراکز پزشکی، انبارها، مراکز توزیع، کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها و دفع ضایعات می‌باشد (بونمی و همکاران، ۲۰۱۷). در بین این تحقیقات، برخی از مطالعات، شامل قضاوت‌های ذهنی هستند که در آن، تصمیم‌گیرندگان ترجیحات خود را تعریف می‌کنند (رو و همکاران، ۲۰۱۸؛ رو و همکاران ۲۰۱۳). ادبیات موجود بر اساس فرمول‌بندی مدل، سطوح زنجیره تأمین، تابع هدف، انواع تسهیلات، راه‌حل‌ها و مطالعه موردی، بررسی و گروه‌بندی شده است. در این طبقه بندی، تابع هدف به سوددهی و غیر سوددهی طبقه‌بندی شده است. با توجه به بررسی ادبیات، فرمول‌بندی مدل و رویکردهای حل مسأله در جدول ۱ خلاصه شده است. اکثر مقالات موجود، مدل‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه را برای بهبود معیارهای سوددهی یا غیرسوددهی، مانند به حداقل رساندن تعداد پناهگاه‌ها و حل مسأله مدل با الگوریتم دقیق توسط اوزبای و همکاران، ۲۰۱۹ پیشنهاد کرده‌اند. به حداقل رساندن هزینه کل مکان‌یابی-تخصیص پناهگاه و استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل این مدل توسط پرانیتفولکرانگ و هوین (۲۰۲۰)، به حداکثر رساندن رضایت تصمیم‌گیرندگان و حل مدل فرموله شده با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی وزن‌دار شده (کانون و همکاران، ۲۰۱۰)، نمونه‌هایی از این موضوع می‌باشند. اکثر این مطالعات، از روش‌های تخصیص وزن (یعنی برنامه‌ریزی آرمانی وزن‌دار شده و روش تابع هدف وزن‌دار شده) به منظور پرداختن به روش‌های محاسباتی مسائل چند هدفه استفاده می‌کنند. این روش‌ها برای استفاده در حوزه لجستیک بشردوستانه مناسب نمی‌باشند. این باعث می‌شود تصمیم‌گیرندگان در هنگام تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام معیار مهم است، دچار اشتباه شوند. برخی از مهم‌ترین مطالعاتی که اخیرا در این حوزه منتشر شده‌اند را در ادامه به طور خلاصه معرفی می‌نماییم. به عنوان نمونه، ماهارجان و هانائوکا (۲۰۱۹)، یک مدل تخصیص مکان چند هدفه تحت عدم قطعیت برای عرضه و توزیع بشردوستانه ایجاد کردند. مدل ارائه شده، 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. آقاجانی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل محاسباتی دوهدفه تحت عدم قطعیت برای یک زنجیره تأمین امداد بشردوستانه پیشنهاد کردند. شبکه پیشنهادی به منظور به حداقل رساندن هزینه کل و حداکثر رساندن تقاضا در نظر گرفته شده است. برای حل مدل از روش اپسیلون محدودیت وزن‌دار شده استفاده شده است. مغفیرو و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل توزیع عرضه بشردوستانه چندوجهی را با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف حمل و نقل -که تمایل دارند زمان تحویل کل و هزینه کل شبکه را به حداقل برسانند-، توسعه دادند. منصوری و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل دوهدفه 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 ارائه شده با استفاده از روش چبیشف وزن‌دار شده، حل شده است. صبوحی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای 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 (۲۰۲۱)، در مطالعه خود، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه مبتنی بر سناریو را برای بررسی مسأله 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 زیست محیطی و از دست دادن کل تقاضا می‌باشد. رویکرد بهینه‌سازی تصادفی استوار فازی برای مقابله با داده‌های نامشخص در شرایط فاجعه استفاده می‌شود. جهانگیری و همکاران، (۲۰۲۱)، در مطالعه خود، به منظور ارزیابی عناصر زنجیره تأمین بشردوستانه برای پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز آن در بیمارستان‌های ایران، به 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 روش BWM[1]، اولویت‌بندی منابع کلیدی با استفاده از روش TOPSIS انجام شده است. رضایی و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود به مسأله مسیریابی وسایل نقلیه امدادرسان برای خون‌رسانی در وقوع فاجعه در زمان بروز زلزله پرداخته‌اند. در این مطالعه، یک مسأله چندهدفه به منظور کنترل ماکزیمم مقدار خون جمع‌آوری شده در کمترین زمان ممکن با استفاده از یک مسأله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. آل هاشم و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه خود یک مدل ریاضی برای زمان‌بندی برداشت و تحویل اعضای پیوندی و مسیریابی آمبولانس‌های حامل اعضاء و بیماران پیوندی، به‌عنوان حلقه پایانی زنجیره تأمین پیوند اعضاء در شهر تهران ارائه داده‌اند. مسأله در قالب یک برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط، فرموله شده است و در ادامه، با استفاده از روش‌های دقیق، به یک مدل ریاضی خطی معادل تبدیل شده است. مدل ارائه شده به دنبال یافتن زمان‌بندی و توالی بهینه برداشت و تحویل اعضا و بیماران، با توجه به محدودیت‌های عملیاتی نظیر زمان ایسکمی سرد، ترافیک شهری و نیز محدود بودن ناوگان حمل می‌باشد. مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار CPLEX 12.8 به‌صورت بهینه حل شده است و نتایج محاسباتی بر کاربردپذیری آن صحه می‌گذارد. در جدول ۱، مقالات مربوطه براساس نوع مدل، سطح زنجیره تأمین، نوع تابع هدف، روش حل و نوع بلا طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۱. طبقه‌بندی مطالعات

نویسنده	مدل	سطوح زنجیره تأمین	تابع هدف		روش حل	نوع بلا
			سوددهی	غیرسوددهی		
اوزبای و همکاران ۲۰۱۹	تک هدفه	چندگانه	-	حداقل تعداد پناهگاه	روش دقیق	زلزله
ما و همکاران ۲۰۱۹	تک هدفه	چندگانه	حداقل هزینه کل	حداقل فاصله	MO-PSO	زلزله
میچ و کوینوچو ۲۰۱۹	چندهدفه	تک سطحی	حداقل هزینه	• ماکزیمم تقاضای پوشش داده شده، • ماکزیمم تعداد تسهیلات	MO-PSO	زلزله
هورنر و همکاران ۲۰۱۸	تک هدفه	تک سطحی	حداقل هزینه کل	-	روش دقیق	طوفان
آمچیا و آرگوئتا، ۲۰۱۸	چندهدفه	تک سطحی	حداقل هزینه کل	-	مجموع وزن‌دار شده	سیل
کین و همکاران، ۲۰۱۸	چندهدفه	تک سطحی	-	• کاهش فاصله • کاهش، فاصله وزن دار شده تقاضا، • حداقل تعداد پناهگاه.	روش دقیق	سیل

با توجه به مرور ادبیات انجام شده در بخش پیشین که از طریق بررسی در میان منابع مطالعاتی موجود انجام شده است، ملاحظه می‌شود که مطالعات پیرامون موضوع مسیریابی وسایل نقلیه امدادرسان در مواجهه با بلایا در زنجیره تأمین بشردوستانه، حول تعیین تعداد پناهگاه، حداقل هزینه، حداقل فاصله، پوشش تقاضا و استفاده بیشتر از امکانات می‌باشد که به طور معمول، از روش‌هایی استفاده شده است که از قبل، برای اجرای آن نیاز به قضاوت‌های ذهنی افراد نیازمند است که بالطبع با اضافه شدن قضاوت‌های ذهنی، در صورت تغییر نظر، پاسخ تغییر می‌یابد. براساس اهداف

1. Best-worst method (BWM)

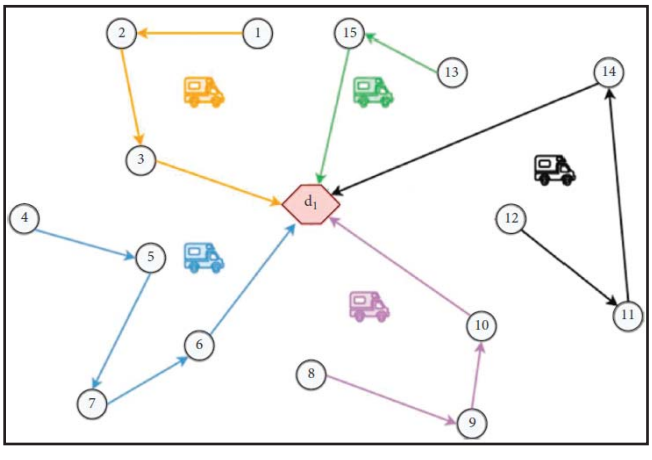
متصور از اجرای این تحقیق، مهم‌ترین سهم مشارکت این تحقیق عبارت است از:

- ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی که قادر است به طور هم‌زمان، چندین هدف را در نظر بگیرد و جواب‌های موجه مغلوب و نامغلوب را مشخص نماید،
- تعریف تابع مدت زمان خرابی برای تجهیزات و تلاش برای به حداقل رساندن زمان تعمیر،
- چون مقدار تقاضای مورد نیاز برای نجات از پیش تعیین شده نیست، لذا مقدار تقاضا برای اینکه مدل به دنیای واقعی نزدیک‌تر شود به صورت فازی در نظر گرفته شده است،
- به منظور غلبه بر ضعف مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مبتنی قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرندگان، برای حل مدل پیشنهادی از روش محدودیت اپسیلون (EC) استفاده می‌شود،
- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی و بررسی نتایج محاسباتی حاصل شده از مدل.

روش

در این بخش، کلیه موارد اعم از متغیرها، پارامترها، توابع و محدودیت‌های مدل ریاضی قطعی توسعه داده شده برای زنجیره تأمین بشر دوستانه که قادر خواهد بود، مدلی برای مسأله زنجیره تأمین بشردوستانه و حل آن با روش اپسیلون محدودیت ارائه دهد و همچنین، زمان خرابی تسهیلات و عدم قطعیت فازی را در مدل اعمال نماید، توضیح داده می‌شود. خدمات امدادی را در مدل ارائه شده برای ۵ شهر با چهار وسیله امداد رسان می‌خواهیم انجام دهیم.

این مقاله به ارائه یک مدل ریاضی برای طراحی مسیریابی دقیق وسایل نقلیه امدادرسان برای مقابله با بلایا در یک زنجیره تأمین بشردوستانه می‌پردازد. مدل ارائه شده یک مدل برنامه‌ریزی مختلط خطی عدد صحیح[1]، مشتمل بر دو تابع هدف به منظور کمینه کردن مقدار هزینه جابجایی و کمینه‌سازی مدت زمان تعمیر وسایل نقلیه، می‌باشد. زنجیره تأمین طراحی شده شامل چند شهر، وسایل نقلیه و مسیرهای امدادی است که خدمات امدادی را از شهرهای معین به محل وقوع بلا از بهترین مسیرها انتقال می‌دهد. ارسال خدمات امدادی از طریق فقط یک نوع وسیله نقلیه با کمترین هزینه و کمترین زمان تعمیر انجام می‌شود. مدل چندهدفه با استفاده از روش اپسیلون محدودیت به مدل LP[2] تکهدفه تک دوره‌ای تبدیل می‌شود. با توجه به تک دوره‌ای بودن زنجیره تأمین بشردوستانه، کلیه هزینه‌های حمل و نقل و مدت زمان‌های تعمیر برای یک دوره محاسبه می‌شوند. در شکل ۱، سازوکار کلی مدل پیشنهادی برای تعدادی شهر و مسیر نشان داده شده است.



شکل ۱. سازوکار کلی زنجیره تأمین بشردوستانه

نمادگذاری پارامترها:

K: تعداد کل وسایل نقلیه امداد رسان،

N: تعداد مددجویان،

L: تعداد سرویسکار،

c_{ij}: هزینه جاری در مسیر i به j،

t_{ij}: مدت زمان جابجایی در مسیر i به j،

m_i: تقاضا در گره i،

q_k: ظرفیت وسیله نقلیه امدادگر k،

e_i: زودترین زمان رسیدن ممکن در گره i،

l_i: دیرترین زمان در گره i،

f_i: زمان تعمیر وسیله نقلیه در گره i،

r_k: ماکزیمم زمان مسیری که وسیله نقلیه k مجاز به جابجایی است،

cr_i: تعداد دفعات خرابی وسیله نقلیه در گره i،

c'_{ij}: هزینه سرویس در مسیر i به j،

1. Mixed integer linear programming (MILP)

2. Linear programming (LP)

متغیرها

متغیرها در این تحقیق در دو دسته متغیرهای پیوسته و عدد صحیح طبقه بندی می‌شوند.

متغیرهای پیوسته عبارت اند از:

T_i: زمان ورود به گره i،

w_i : زمان انتظار برای تعمیر وسیله نقلیه در گره i می‌باشد. متغیر w_i از آن جهت برای ما اهمیت دارد که در این تحقیق می‌خواهیم ریسک خرابی تسهیلات را در نظر بگیرد.

متغیر باینری عبارت‌اند از:

x_{ijk}: یک متغیر باینری است که می‌توان به آن، مقدار صفر یا یک اختصاص داد. در صورتی که x_{ijk} برابر با یک باشد، مسیر از گره i به گره j با وسیله نقلیه k برای امدادرسانی وجود دارد. در غیر این‌صورت، مقدار آن برابر با صفر می‌باشد.

x_{ijkl}: یک متغیر باینری است که می‌توان به آن مقدار صفر یا یک اختصاص داد. در صورتی که x_{ijkl} برابر با یک باشد، در مسیر گره i به گره j، وسیله نقلیه k نیازمند تعمیر است. در غیراینصورت مقدار آن برابر با صفر می‌باشد.

توابع هدف

در این بخش از مدل‌سازی ریاضی، اجزای مسأله برنامه‌ریزی دو هدفه که دارای دو تابع هدف است، معرفی می‌شود. توابع هدف در این تحقیق عبارت‌اند از: کمینه کردن مقدار هزینه جابجایی در هر مسیر و کمینه کردن مدت زمان تعمیر وسیله نقلیه در طول امدادرسانی در زنجیره تأمین بشردوستانه. جزئیات این توابع هدف در معادلات (۱) و (۲) نشان داده شده‌اند.

$$\min \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} c_{ij}x_{ijk} + c'_{ij}x_{ijkl} \qquad (۱)$$

تابع اول تضمین می‌کند که هزینه تخصیص مسیر i به j با وسیله نقلیه k کمینه گردد.

$$\min \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} w_i cr_i x_{ijk} \qquad (۲)$$

تابع دوم تضمین می‌کند که زمان تعمیر هر وسیله نقلیه k که با خرابی در مسیر i به j روبرو می‌شود، کمینه گردد. در این تحقیق، به منظور حل مسأله دو هدفه، روش اپسیلون محدودیت در نظر گرفته شده است. براساس این روش، یکی از توابع هدف با در نظر گرفتن یک کران بالا به عنوان محدودیت در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق، تابع هدف دوم $\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} w_i cr_i x_{ijk}$ با در نظر گرفتن کران بالای f_i به عنوان محدودیت به صورت $\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} w_i cr_i x_{ijk} \le f_i$ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، این محدودیت با اضافه شدن به مجموعه قیود محدودیت‌ها تضمین می‌کند که کل زمان تعمیر هر وسیله نقلیه از زمان تعمیر وسیله نقلیه در گره i تجاوز نمی‌نماید.

محدودیت‌ها

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \le K \qquad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} = 1 \qquad i = 0; k = 1, \dots, k \qquad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{jik} = 1 \qquad i = 0; k = 1, \dots, k \qquad (۵)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{N} x_{ijk} = 1 \qquad j \neq i \qquad (۶)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{N} x_{ijk} = 1 \qquad i \neq j \qquad (۷)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\left(t_{ij} + f_i + w_i\right) \le r_k \qquad j \neq i \qquad (۸)$$

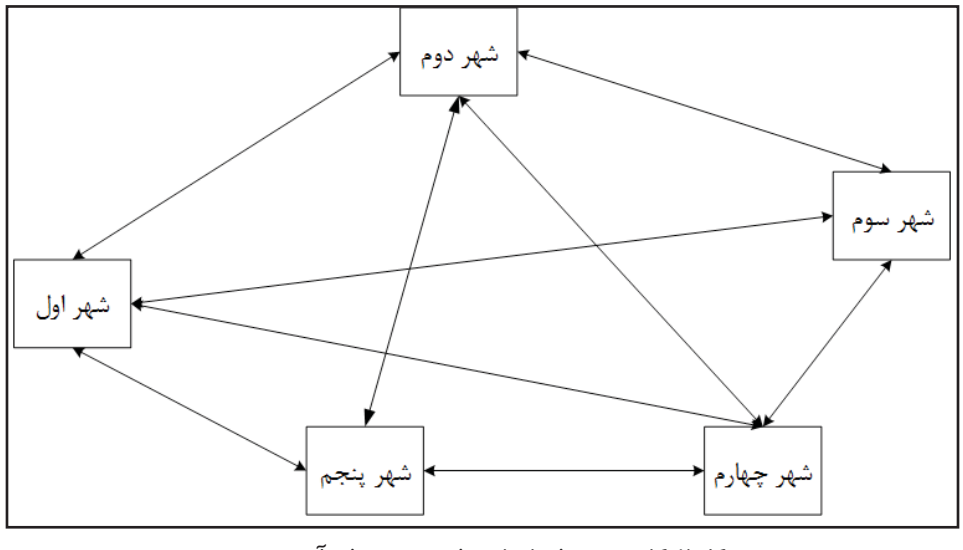
$$T_0 = W_0 = f_0 = 0 \qquad (۹)$$

$$e_i \le \left(T_i + w_i\right) \le l_i \qquad (۱۰)$$

معادله (۳)، تضمین می‌کند که مسیرهای انتخاب شده همواره باید از تعداد وسایل نقلیه تجاوز نکند. برای پوشش حداکثری، وجود این قید در مجموعه معادلات ضروری است. در غیر این‌صورت،

بخشی از مسیر پوشش داده نخواهد شد. معادله (۴) تضمین می‌کند که شروع مسیر برای امدادرسانی با وسیله k از گره صفر (مبدأ) آغاز می‌شود. همچنین، معادله (۵) تضمین می‌کند که مسیر رفت و برگشتی بین دو گره وجود دارد. در مجموع، معادلات (۶) و (۷) تضمین می‌کند که مسیرهای انتخابی i به j از مبدأ صفر شروع می‌شوند. همچنین، تضمین می‌کند که هیچ مسیری برای شروع از هر گره و خاتمه به همان گره وجود ندارد. معادله (۸) تضمین می‌کند که مجموع زمان سفر بین دو گره؛ زمان تعمیر وسیله نقلیه در هر گره و زمان انتظار برای دریافت سرویس برای انجام تعمیرات، از ماکزیمم زمانی که وسیله نقلیه، مجاز به جابجایی در مسیر i به j است؛ تجاوز نکند. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که مجموع زمان سفر بین دو گره با شروع از گره مبدأ، زمان تعمیر وسیله نقلیه در گره مبدأ و زمان انتظار برای دریافت سرویس برای انجام تعمیرات در گره مبدأ برابر با صفر است. با ملحوظ دانستن $t_{ij} + f_i = T_i$، سرانجام، محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که مدت زمان جابه‌جایی، تعمیر و زمان انتظار برای دریافت خدمات تعمیر وسایل نقلیه از زودترین زمان و دیرترین زمان، تجاوز ننماید.

معادلات فوق برای به‌کارگرفتن در شرایطی که افراد در ۵ شهر بحران زده نیازمند دریافت امدادرسانی می‌باشند، در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است؛ جریان امدادرسانی از طریق مسیرهای دو طرفه بین هر دو شهر با یکدیگر برقرار است. با ملحوظ دانستن مجموعه معادلات فوق می‌خواهیم مسیرهای امدادرسانی، زمان ورود به هر یک از شهرها و مدت زمان انتظار را مشخص نماییم.



شکل ۲. کلیه مسیرهای امدادرسانی به شهرهای آسیب دیده

روش حل مسأله

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 مسأله به یک مدل برنامه‌ریزی خطی یک هدفه تبدیل می‌شود و به طریقه معمول برنامه‌ریزی خطی حل می‌گردد. یکی از روش‌های دقیق به‌دست آوردن راه‌حل‌های پارتوی بهینه، استفاده از روش اپسیلون محدودیت است که اولین بار توسط آلجدان ارائه شده است. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌ها، بهینه‌سازی چند هدفه کاربرد آن برای فضاهای حل غیر محدب است؛ زیرا روش‌هایی از قبیل ترکیب وزنی اهداف در فضای نامحدب، کارایی خود را از دست می‌دهند. زمان محاسباتی یک الگوریتم از ویژگی‌های مهم هر الگوریتم جهت ارزیابی آن می‌باشد. از آن‌جایی که یکی از ضعف‌های اساسی الگوریتم‌های مبتنی بر جستجوی دقیق از جمله روش اپسیلون محدودیت، بالا بودن زمان محاسباتی آن‌هاست، بدیهی است که به‌کارگیری الگوریتم فراابتکاری موجب کاهش شدید زمان محاسباتی خواهد شد. یکی از نسخه‌های اصلاح شده روش اپسلیون محدودیت، چارچوبی است که پیروز و خرم (۲۰۱۶) ارائه دادند و ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۰) 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 می‌باشد. یکی دیگر از مزایای این روش، زمان اجرای کمتر آن در مقایسه با روش اصلی است. برابر این روش، ابتدا مسأله بهینه‌سازی تک هدفه را برای هر هدف حل می‌کنیم. سپس طول گام را تعیین می‌نماییم. سپس مجموعه نقاط مناسب را تولید می‌کنیم و در نهایت، بهینه سازی تک هدفه را حل کرده و مرز پارتو را تخمین می‌زنیم.

در این روش، همواره به بهینه‌سازی یکی از اهداف می پردازیم؛ به شرطی که بالاترین حد قابل قبول را برای سایر اهداف در غالب محدودیت‌ها تعریف کنیم. برای یک مسأله دو هدفه، نمایش ریاضی طبق معادله ۱۱ را خواهیم داشت:

$$\min f_1(x) \qquad (11)$$
$$s.t$$
$$f_2(x) \le \varepsilon_2$$
$$x \in s$$

با تغییر مقادیر سمت راست محدودیت‌های جدید εها، لبه پارتوی مسأله بدست خواهد آمد.

یافته‌ها

در این بخش، نتایج محاسباتی از مدل پیشنهادی نشان داده شده است. برای اجرای مدل، از نرم افزار LINGO استفاده شده است. مدل پیشنهادی قادر است مسیرهای امدادرسانی را مشخص نماید. همچنین، زمان ورود هر وسیله نقلیه و مدت زمان انتظار برای دریافت سرویس لازم تعمیرات را مشخص می‌نماید. در جدول ۲، مسیر خدمت‌رسانی از هر شهر به شهر مجاور دیگر با استفاده از حل مسأله از طریق برنامه‌ریزی صفر و یک نشان داده شده است. در این جدول، برای اجرای محاسبات تابع هدف اول، مقدار هزینه جابه‌جایی به عنوان تابع هدف مسأله در نظر گرفته شده است و تابع هدف دوم به عنوان یک قید در محدودیت‌ها اضافه شده است. پر واضح است، در صورتی‌که مسیر برای انجام عملیات امدادرسانی انتخاب شود مقدار یک و در غیر این‌صورت، مقدار صفر به آن اختصاص یافته است.

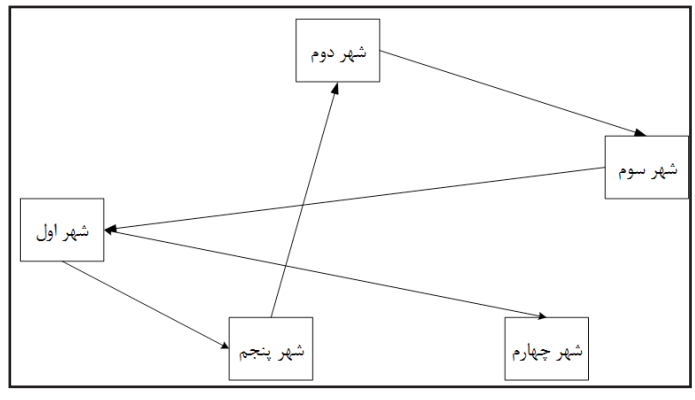
جدول ۲. تخصیص مسیر برای امدادرسانی براساس تابع هدف اول

تابع هدف (واحد پولی)	X_{ij}	مقصد	وضعیت
$f_1^* = 1505$	شهر اول	شهر اول	۰
		شهر دوم	۰
		شهر سوم	۰
		شهر چهارم	۱
		شهر پنجم	۱
	شهر دوم	شهر اول	۰
		شهر دوم	۰
		شهر سوم	۱
		شهر چهارم	۰
		شهر پنجم	۰
	شهر سوم	شهر اول	۱
		شهر دوم	۰
		شهر سوم	۰
		شهر چهارم	۰
		شهر پنجم	۰
	شهر چهارم	شهر اول	۱
		شهر دوم	۰
		شهر سوم	۰
		شهر چهارم	۰
		شهر پنجم	۰
	شهر پنجم	شهر اول	۰
		شهر دوم	۱
		شهر سوم	۰
		شهر چهارم	۰
		شهر پنجم	۰

همان‌طور که در نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود، امدادرسانی از هر شهر به خود همان شهر امکان پذیر نمی‌باشد. علاوه بر این، امدادرسانی به شهر ۴ و ۵، فقط و فقط از طریق شهر ۱ امکان پذیر است. شهر ۲، فقط به شهر ۳ خدمت امدادی ارسال می‌کند و به طور کامل آن را پوشش می‌دهد. بخشی از امدادرسانی به شهر ۱ از طریق شهر ۳ و بخش دیگر از طریق شهر ۴ انجام می‌شود. سرانجام، شهر ۵ فقط به شهر ۲ خدمت رسانی ارائه می‌دهد. در جدول ۳، شهرهای ارائه دهنده و دریافت کننده خدمت نشان داده شده است. همچنین، در شکل ۳، مسیر بهینه برای ارائه خدمت توسط وسائل نقلیه امدادی تحت وضعیتی که تابع هدف اول به عنوان هدف مسأله در روش اپسیلون محدودیت در نظر گرفته شود، ارائه شده است.

جدول ۳. جزئیات دریافت و ارائه خدمت براساس تابع هدف اول

شهر ارائه خدمت امدادی	شهر گیرنده خدمت امدادی
شهر اول	شهر ۴ و ۵
شهر دوم	شهر ۳
شهر سوم	شهر ۱
شهر چهارم	شهر ۱
شهر پنجم	شهر ۲



شکل ۳. مسیر بهینه امداد رسانی به شهرهای آسیب دیده براساس تابع هدف اول

همچنین، در جدول ۴، به منظور اجرای محاسبات، تابع هدف دوم یعنی مدت زمان تعمیر وسایل نقلیه، به عنوان تابع هدف مسأله در نظر گرفته شده است و تابع هدف اول به عنوان یک قید در محدودیت‌ها اضافه شده است. پر واضح است، در صورتی که وسیله نقلیه در مسیری نیازمند انجام سرویس برای ادامه عملیات امدادرسانی باشد، مقدار یک و در غیر این‌صورت، مقدار صفر به آن اختصاص می‌یابد.

همان‌طور که در نتایج جدول ۴ مشاهده می‌شود، ارسال سرویس‌کار برای ادامه عملیات امدادرسانی به شرح زیر می‌باشد:

- در صورتی‌که وسایل نقلیه در شهر ۱ نیازمند تعمیر شوند، از شهرهای سوم، چهارم و پنجم، سرویس‌کار مراجعه نماید؛
- در صورتی‌که وسایل نقلیه در شهر ۲ نیازمند سرویس شوند، از شهرهای سوم و چهارم، سرویس‌کار مراجعه نماید؛
- در صورتی‌که وسیله نقلیه در شهر ۳ نیازمند سرویس شوند، از شهرهای اول، چهارم و پنجم سرویس‌کار مراجعه نماید؛
- در صورتی‌که وسیله نقلیه در شهر ۴ نیازمند سرویس شوند، از شهرهای اول و دوم سرویس‌کار مراجعه نماید؛
- در صورتی‌که وسایل نقلیه در شهر ۵ نیازمند سرویس شوند، از

جدول ۴. تخصیص سرویس‌کار برای ادامه عملیات امدادرسانی براساس تابع هدف دوم

تابع هدف (دقیقه)	X_{ij}	مقصد	وضعیت
$f_2^* = 50$	شهر اول	شهر اول	۰
		شهر دوم	۰
		شهر سوم	۱
		شهر چهارم	۱
		شهر پنجم	۱
	شهر دوم	شهر اول	۰
		شهر دوم	۰
		شهر سوم	۱
		شهر چهارم	۱
		شهر پنجم	۰
$f_2^* = 50$	شهر سوم	شهر اول	۱
		شهر دوم	۰
		شهر سوم	۰
		شهر چهارم	۱
		شهر پنجم	۱
	شهر چهارم	شهر اول	۱
		شهر دوم	۱
		شهر سوم	۰
		شهر چهارم	۰
		شهر پنجم	۰
	شهر پنجم	شهر اول	۰
		شهر دوم	۱
		شهر سوم	۱
		شهر چهارم	۰
		شهر پنجم	۰

شهرهای دوم و سوم سرویس‌کار مراجعه نماید.

در جدول ۵، جزئیات دریافت و ارائه خدمت براساس تابع هدف دوم نشان داده شده است.

جدول ۵. جزئیات دریافت و ارائه خدمت براساس تابع هدف دوم

شهر ارائه خدمت امدادی	شهر گیرنده خدمت امدادی
شهر اول	شهر ۳ و ۴
شهر دوم	شهر ۴ و ۵
شهر سوم	شهر ۱، ۲ و ۵
شهر چهارم	شهر ا، ۲ و ۳
شهر پنجم	شهر ۱ و ۳

همچنین، مدت زمان بهینه برای ورود به هر شهر برای ارائه

امدادرسانی و زمان انتظار برای تعمیر وسیله نقلیه در جدول ۶ نشان داده شده است. براساس جلوبری زمان محاسبه شده مشخص می‌شود که ماکزیمم زمان ممکن برای ارائه خدمت امدادرسانی و تعمیرات وسایل نقلیه، ۱۹ دقیقه می‌باشد. در جدول ۶، زمان مربوط به ورود وسایل نقلیه و مدت زمان تعمیر هر یک از آن‌ها در صورت نیاز و جلوبری زمان نشان داده شده است.

جدول ۶. زمان بهینه ورود و تعمیرات وسایل نقلیه

شهر	زمان ورود	زمان تعمیرات	جلوبری زمان
شهر اول	۰	۰	۰
شهر سوم	۳	۱۶	۱۹
شهر دوم	۶	۱۳	۱۹
شهر چهارم	۷	۷	۱۴
شهر پنجم	۷	۷	۱۴

براساس جلوبری زمان محاسبه شده، وسایل نقلیه مراجعه کننده به شهرهای ۳ و ۲ در زمان ۱۹ دقیقه، علاوه بر ارائه خدمت امدادی بعد از دریافت سرویس تعمیرات، شهر مورد نظر را ترک می‌کنند. این وضعیت برای وسایل نقلیه مراجعه کننده به شهرهای ۴ و ۵ در زمان ۱۴ دقیقه بعد از شروع فرآیند رخ می‌دهد. علاوه بر این، با مرتب کردن صعودی زمان ورود به هر یک از شهرهای بحران‌زده، می‌توانیم ترتیب اولویت امدادرسانی را مشخص نماییم. با توجه به اولویت مشخص شده، ابتدا فرآیند در شهر اول آغاز می‌شود، سپس شهر سوم و دوم و سرانجام با مراجعه به شهرهای چهارم و پنجم فرآیند امدادرسانی به اتمام می‌رسد.

تحلیل حساسیت

در این بخش، حساسیت مقادیر ε بر روی مقدار توابع هدف سنجیده خواهد شد و نتایج حاصل، شامل مقادیر قابل اطمینان با تعیین فاصله ε برای توابع هدف گزارش می‌شود. برای این منظور، در جدول ۷ مقادیر مختلفی برای ε تعریف شده و توابع هدف با آنها حل شده است. همانطور که در جدول ۷ مشخص است، مقادیر تابع هدف با افزایش ε تا مقدار مشخص، تغییر قابل توجهی از خود نشان نمی‌دهند، اما از جایی به بعد (به عنوان نمونه 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). براساس نتایج به‌دست آمده، به ازای آزمایش مقادیر مختلف اپسیلون، ناحیه شدنی و بُردار بهبود دهنده توابع هدف نشان، ایجاد شده است. برابر نتایج به‌دست آمده، سطح تغییرات معنی‌دار اپسیلون، بین ۵۰ تا ۹۰۰ به عنوان اپراتور بهبود دهنده تعیین شده است. تعیین این بازه مشخص می‌کند که اگر چنانچه مقدار اپسیلون کمتر از ۵۰ و بیشتر از ۹۰۰ در نظر گرفته شود پاسخ مسأله 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 به‌دست می‌آید. بنابراین، در صورت انتخاب اپسلیون بین ۶۰۰ تا ۶۵۰، جواب‌های نامغلوب برای مسأله به‌دست می‌آید و در غیر این‌صورت، جواب‌ها نامغلوب به‌شمار می‌روند. در جدول ۷، نتایج حل مدل با طول گام برابر با ۵۰، نشان داده شده است.

جدول ۷. نتایج حل مدل با روش ε- محدودیت

زمان تعمیر (دقیقه)	هزینه (واحد پولی)	ε
۵۷	۱۵۱۲	۵۰
۵۵	۱۵۶۳	۱۰۰
۶۲	۱۵۸۲	۱۵۰
۵۷	۱۵۵۰	۲۰۰
۶۸	۱۵۳۰	۲۵۰
۷۵	۱۵۱۳	۳۰۰
۵۸	۱۵۹۸	۳۵۰
۵۴	۱۵۶۵	۴۰۰
۵۶	۱۵۴۸	۴۵۰
۵۸	۱۵۰۷	۵۰۰
۵۲	۱۵۸۰	۵۵۰
۵۰	۱۵۱۲	۶۰۰
۷۲	۱۵۰۵	۶۵۰
۹۸	۱۵۵۰	۷۰۰
۷۸	۱۵۶۰	۷۵۰
۸۱	۱۵۱۳	۸۰۰
۸۲	۱۵۱۵	۸۵۰
۷۰	۱۵۹۸	۹۰۰
۵۰	۱۵۰۵	مقدار بهینه

نتیجه‌گیری

این مطالعه مدل بهینه‌سازی چند هدفه را برای تخصیص مسیر بهینه امدادرسانی وسایل نقلیه به منظور بهبود تدارکات امدادی بشردوستانه پیشنهاد می‌کند. دو تابع هدف در نظر گرفته شده است: به حداقل رساندن هزینه کل و مدت زمان تعمیر وسایل نقلیه. برای حل مدل ریاضی پیشنهادی از روش اپسیلون محدودیت استفاده شده است. این روش قادر است جواب‌های مغلوب و نامغلوب را به دور از قضاوت‌های ذهنی خبرگان تعیین نماید. کاربرد مدل پیشنهادی از طریق مطالعه موردی محل تخصیص مسیر بهینه برای تدارک امدادرسانی در پاسخ به بحران روی داده در یک منطقه، به‌کارگرفته شده است که نتایج حاصل شده قابلیت به‌کارگیری مدل ریاضی را تأیید می‌کند. نتایج آزمایش عددی، از نظر تخصیص بهینه مسیر با حل مدل پیشنهادی، به وضوح از طرح تخصیص مسیر جاری بهتر عمل می‌کند و بهترین مسیرها را برای تدارک امدادرسانی بشردوستانه تعیین می‌نماید.

به طور معمول، تصمیم‌گیری در مورد مسیر تسهیلات در پاسخ به بلایا، بر اساس تجربه تصمیم‌گیرندگان یا تصمیم‌گیری موقت انجام می‌شود، بنابراین مدل پیشنهادی هم کارایی و هم اثربخشی تدارکات امدادی بشردوستانه را بهبود می‌بخشد و هم، یافته‌های این مطالعه، راهنمایی برای بهبود تصمیم‌گیری به منظور تخصیص مسیر در زمینه تدارکات بشردوستانه ارائه می‌نماید و برای طراحی استراتژی مناسب واکنش به بلایا در آینده سودمند خواهد بود.

منابع

میرزاپورآل هاشم، سیدمحمدجواد؛ عموزادخلیلی، حسین؛ خزایی کوه پر، روح الله (۱۴۰۱). ارائه یک مدل ریاضی برای مسیریابی آمبولانس‌های انتقال اعضای پیوندی و بیماران با درنظرگرفتن ترافیک شهری. چشم‌انداز مدیریت صنعتی .۱۲(۱): ۲۶۱-۲۹۱
https://jimp.sbu.ac.ir/article_101545.html

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. https://ijms.ut.ac.ir/article_76005_6ba53b1f68a31cf943d79e04ebfc9a9f.pdf?lang=fa

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. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012119300527

Anaya-Arenas, A. M., Ruiz, A., & Renaud, J. (2018). Importance of fairness in humanitarian relief distribution. Production Planning & Control, 29(14), 1145-1157. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2018.1542157

Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. International Journal of Disaster Risk Reduction, 24, 485-498. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420916302576

CRED. (2019). Natural Disasters 2019. Tech. rep. https://www.emdat.be/publications

Gupta, U., & Ranganathan, N. (2006, June). Social fairness in multi-emergency resource management. In 2006 IEEE international symposium on technology and society (pp. 1-9). IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4375884

Horner, M. W., Ozguven, E. E., Marcelin, J. M., & Kocatepe, A. (2018). Special needs hurricane shelters and the ageing population: development of a methodology and a case study application. Disasters, 42(1), 169-186. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/disa.12233

Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Pourghader Chobar, A., Nadaffard, A., Mottaghi, V. (2021). Ranking of key resources 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. doi: 10.22105/jarie.2021.275255.1263, http://www.journal-aprie.com/article_140086.html

Jahangiri, Sh., Abolghasemian, M., Ghasemi, P., & Pourghader Chobar, A. (2021). Simulation-based optimization: analysis of the emergency department resources under COVID-19 conditions. International journal of industrial and systems engineering, 1(1). 1504/IJISE.2021.10037641

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. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3138/infor.48.3.143

Ma, Y., Xu, W., Qin, L., Zhao, X., & Du, J. (2019). Hierarchical supplement location-allocation optimization for disaster supply warehouses in the Beijing–Tianjin–Hebei region of China. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10(1), 102-117. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2018.1508077

Maghfiroh, M. F., & Hanaoka, S. (2020). Multi-modal relief distribution model for disaster response operations. Progress in Disaster Science, 6, 100095. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590061720300326

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. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012118301940

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, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-44783-0_30

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. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2018.1470114

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. https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/7217182/

Roh, S. Y., Jang, H. M., & Han, C. H. (2013). Warehouse location decision factors in humanitarian relief logistics. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 29(1), 103-120. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2092521213000266

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. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2092521218300762

Sabouhi, F., Bozorgi-Amiri, A., & Vaez, P. (2020). Stochastic optimization for transportation planning in disaster relief under disruption and uncertainty. Kybernetes. https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/K-10-2020-0632/full/html?utm_source=rss&utm_medium=feed&utm_campaign=rss_journalLatest

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. https://www.e-journal.unair.ac.id/IJAR/article/view/12845

Zheng, Y. J., Chen, S. Y., & Ling, H. F. (2015). Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. Applied Soft Computing, 27, 553-566. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494614004943

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. https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-021-06074-8

Manopiniwes, W., & Irohara, T. (2014). A review of relief supply chain optimization. Industrial Engineering and Management Systems, 13(1), 1-14. https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201411560023616.page

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. https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-019-04193-x

Mejia-Argueta, C., Gaytan, J., Caballero, R., Molina, J., & Vitoriano, B. (2018). Multicriteria optimization approach to deploy humanitarian logistic operations integrally during floods. International Transactions in Operational Research, 25(3), 1053-1079. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/itor.12508

Miç, P., Koyuncu, M., & Hallak, J. (2019). 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. https://www.mdpi.com/1660-4601/16/5/811

Ozbay, E., Çavuş, Ö, & Kara, B. Y. (2019). Shelter site location under multi-hazard scenarios. Computers & Operations Research, 106, 102-118. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054819300474

Pirouz, B., & Khorram, E. (2016). A computational approach based on the ε-constraint method in multi-objective optimization problems. Adv. Appl. Stat, 49, 453. https://www.researchgate.net/profile/Behzad-Pirouz 2/publication/311550947_A_Computational_Approach_Based_on_the_epsilon-Constraint_Method_in_Multi-Objective_Optimization_Problems/links/5b89883492851c1e123f8d42/A-Computational-Approach-Based-on-the-epsilon-Constraint-Method-in-Multi-Objective-Optimization-Problems.pdf