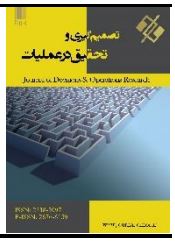
Archive of SID.ir

E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 9, No. 1 (2024) 42–63.



Paper Type: Original-Application Paper

A Multi-Objective Mathematical Model for Optimization Design of Humanitarian Logistics Network using Meta-Heuristic Algorithm: A Model to Enhance Actors' Coordination

Behzad Masoomi[1], Hasanali Aghajani[2,*], Ahmad Jafarnejad[3], Mohammad Mehdi Movahedi[1]

[1] *Department of Industrial Management, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran; masoomibehzad4@gmail.com; mmmovahedi@gmail.com.*

[2] *Department of Industrial Management, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Mazandaran University, Babolsar, Iran; aghajani@umz.ac.ir.*

[3] *Department of Industrial Management, University of Tehran, Tehran, Iran; jafarnjd@ut.ac.ir.*

Citation:

Masoomi, B., Aghajani, H., Jafarnejad, A., & Movahedi, M. M. (2024). A multi-objective mathematical model for optimization design of humanitarian logistics network using meta-heuristic algorithm: a model to enhance actors' coordination. *Journal of decisions and operations research, 9*(1), 42-63.

Received: 20/11/2022 Reviewed: 21/12/2022 Revised: 10/01/2023 Accepted: 22/02/2023

Abstract

Purpose: This research aims to optimize humanitarian logistics to increase coordination between actors in the phase during and after the disaster and aims to minimize the cost of relief, minimize the time of relief and minimize the cost of rebuilding infrastructure and housing for the affected people.

Methodology: This research, in terms of the research direction types, is developmental because it is trying to expand the existing models in the design of the humanitarian logistics network and consider the optimization of two phases during the post-disaster phase. The proposed model has been solved using two metaheuristic algorithms named multi-objective genetic algorithm and multi-objective particle swarm optimization.

Findings: The implementation of this study will lead to a reduction in the costs of locating, routing and reconstruction in the humanitarian supply chain, as well as reducing the time of providing aid to the affected people and increasing their satisfaction. It is also possible to reduce the inventory of relief products with the help of this issue. Appropriate planning in humanitarian logistics processes, especially in the coordination phase of reconstruction, will be done according to the limited budget of governments and the appropriate use of resources.

Originality/Value: One of the innovations of this study is reducing the cost of reconstruction after an earthquake. Several studies were conducted in order to recover from the disaster. Over the past two decades, response phase relief operations have been the focus of a significant number of researchers. However, the issue of post-disaster recovery and reconstruction programs has not been sufficiently discussed in scientific and practical forums.

Keywords: Humanitarian logistics network, Actors coordination, Mathematical model.

Corresponding Author: Aghajani@umz.ac.ir

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات
دوره ۹، شماره (۱)، (۱۴۰۳)، ۶۳-۴۲
www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی-کاربردی

یک مدل ریاضی چندهدفه برای طراحی شبکه لجستیک بشردوستانه با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری: مدلی برای افزایش هماهنگی بازیگران

بهزاد معصومی[۱]، حسنعلی آقاجانی[۲*]، احمد جعفرنژاد[۳]، محمد مهدی موحدی[۱]
[۱]گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.
[۲]گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
[۳]گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

هدف: هدف این پژوهش بهینه‌سازی لجستیک بشردوستانه برای افزایش هماهنگی میان بازیگران در فاز حین و پس از فاجعه است و درصدد تحقق کمینه کردن هزینه‌های امداد رسانی، زمان امداد رسانی و هزینه بازسازی زیرساخت‌ها و مسکن افراد آسیب‌دیده است.

روش‌شناسی پژوهش: این پژوهش ازنظر انواع جهت‌گیری‌های پژوهش، جزو پژوهش‌های توسعه‌ای است؛ چرا که سعی دارد که مدل‌های موجود در طراحی شبکه لجستیک بشردوستانه را گسترش دهد و بهینه‌سازی دو فاز حین و بعد فاجعه را در نظر بگیرد. مدل پیشنهادی این تحقیق با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه حل شده است.

یافته‌ها: اجرای این مطالعه منجر به کاهش هزینه‌های مکان‌یابی-مسیریابی و بازسازی در زنجیره تامین بشردوستانه و هم‌چنین کاهش زمان امداد رسانی به افراد آسیب‌دیده و افزایش رضایت‌مندی آنان خواهد شد. هم‌چنین می‌توان به کمک آن مساله وجودی محصولات امدادی را کاهش داد. برنامه‌ریزی مناسب در فرآیندهای لجستیک بشردوستانه در فاز هماهنگی بازسازی با توجه به بودجه محدود دولت، موجب استفاده مناسب از منابع خواهد شد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: یکی از نوآوری‌های این مطالعه کاهش هزینه بازسازی بعد از وقوع از زلزله است. مطالعات متعددی در راستای بازیابی فاجعه انجام شده است. در طول دو دهه گذشته، عملیات امدادی مرحله پاسخ توسط تعداد قابل‌توجهی از پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، موضوع برنامه‌های بازیابی و بازسازی پس از فاجعه به اندازه کافی در مجامع علمی مورد بحث قرار نگرفته است.

کلیدواژه‌ها: شبکه لجستک بشردوستانه، هماهنگی بازیگران، مدل‌سازی ریاضی.

۱- مقدمه

در طول دهه گذشته، بسیاری از کشورهای جهان فجایع ویرانگری را تجربه کرده‌اند که خسارات جبران‌ناپذیری به جان و دارایی مردم آن‌ها وارد کرده است، مانند زلزله هائیتی در سال ۲۰۱۱، زلزله سیچوان در چین در سال ۲۰۰۸، طوفان کاترینا در ایالات‌متحده در سال ۲۰۰۵، سونامی در سوماترا در سال ۲۰۰۴ و سیل‌های سال ۱۳۹۸ در ایران [1]، [2]. بر طبق گزارشات سازمان ملل، ایران در میان کشورهایی است که ازنظر زلزله در رتبه‌های بالا ازنظر زلزله‌های با شدت بزرگ‌تر از ۵/۵ قرار می‌گیرد. هم‌چنین یکی از کشورهایی محسوب می‌شود که ازنظر آسیب‌پذیری زلزله و تعداد افراد کشته در اثر حادثه در رتبه بالایی قرار می‌گیرد [3]، [4]. امروزه، باوجود پیشرفت‌های چشم‌گیر بشر در علوم مختلف هم‌چنان امکان پیش‌بینی برخی از بلایای طبیعی مانند زلزله وجود ندارد. لذا بایستی قبل از وقوع چنین بحران‌هایی برنامه‌ریزی‌های لازم برای مواجهه با آن‌ها انجام شود. چنانچه

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زلزله‌ها باعث تخریب بناها و آسیب‌های عمده در شهرها شوند، مشکلات اساسی برای افراد حادثه‌دیده و مسئولان ایجاد می‌شوند [5]. هنگامی‌که یک بلای طبیعی رخ می‌دهد، بسیاری از سازمان‌ها برای ارایه اقلام امدادی (مانند چادر، کیت‌های پزشکی، پتو، غذا، آب، سرپناه و ...) به افراد آسیب‌دیده وارد می‌شوند. در چنین شرایطی، هماهنگی بین اعضای مختلف امری حیاتی است و انجام کلیه فعالیت‌های لازم ازجمله تعمیر زیرساخت‌های آسیب‌دیده و تامین تمام اقلام امدادی برای یک سازمان دشوار است. لجستیک بشردوستانه یک شبکه پیچیده با بازیگران مختلف ازجمله سازمان‌های بین‌المللی یا محلی غیردولتی (*NGOs*)، دولت‌ها، کمک‌کنندگان، نیروهای مسلح، سازمان‌های امدادی محلی یا منطقه‌ای و شرکت‌های خصوصی است [6]. هر یک از این بازیگران دارای منافع، تعهدات، ظرفیت‌ها، ساختار تخصیص بودجه و مهارت‌های لجستیکی متفاوت و گاه متضاد هستند. هماهنگی عملیات امدادی ارایه‌شده توسط این اعضای مختلف بسیار چالش‌برانگیز است [7]. هماهنگی به‌عنوان فرآیندی از انسجام بین فعالیت‌ها در ارایه مناسب، موثر و سازگار اقلام امدادی تعریف می‌شود [8]. در سال‌های اخیر رشد چشم‌گیر تعداد فجایع در سراسر ایران مانند زلزله کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ و خسارات شدید آن، بسیاری از محققین را به انجام مطالعاتی درزمینه هماهنگی شبکه لجستیک بشردوستانه در مرحله پس از وقوع حادثه سوق داده است. بسیاری از بلاها به‌ویژه فاجعه زلزله به دلیل سنگین بودن آن، خرابی‌های زیادی را به‌بار می‌آورد. بعد از فاجعه زلزله به دلیل شرایط اضطراری و هرج و مرج فراوان امدادرسانی به‌درستی صورت نمی‌گیرد و عدم هماهنگی در لجستیک بشردوستانه کاملا مشهود است [9]. مهم‌ترین ناهماهنگی در بین بازیگران بشردوستانه مکان‌یابی و مسیریابی وسایل نقلیه و اقلام امدادی است. عدم مکان‌یابی و مسیریابی نادرست موجب افزایش تلفات و افزایش زمان امدادرسانی می‌شود و هم‌چنین موجب افزایش هزینه مکان‌یابی و مسیریابی بازیگران و افزایش زمان بازیابی مکان‌های آسیب‌دیده می‌شود. از سوی دیگر یکی از مراحل اصلی چرخه مدیریت بلایا، مرحله بازیابی است که معمولا پس از پایان عملیات برای مرحله واکنش آغاز می‌شود و اثربخشی آن بر هزینه نهایی بلایا تاثیر بسزایی دارد [10]. بازیابی پس از فاجعه به‌عنوان فرآیندی برای بازسازی جامعه به شرایط/سطح عملکرد عادی، یعنی همان قبل از فاجعه شناخته می‌شود. در این میان، رضایت و منافع بازیگران، هزینه فعالیت بازیگر (کالا، اقلام، مسیریابی، مکان و...) و هم‌چنین زمان رسیدگی به مصدومان و زمان بهبودی مکان‌های آسیب‌دیده و کاهش زمان بازسازی زیرساخت‌های آسیب‌دیده ازجمله سازوکارهای مهم تدارکات بشردوستانه پس از حادثه است که برای دستیابی به این اهداف، هماهنگی همه عوامل امدادی حیاتی است.

مطالعه موردی این پژوهش زلزله استان کرمانشاه می‌باشد. زلزله آبان ۱۳۹۶ کرمانشاه یکی از زلزله‌های ویرانگر بود و خسارات جانی و مالی سنگینی بر جای گذاشت. خسارات مالی این زلزله در حدود بودجه ۱۱ ساله استان کرمانشاه برآورد شده است [11]. استان کرمانشاه یکی از استان‌های نسبتا محروم کشور است که با نرخ بالای بیکاری و فقر ناشی از آن دست‌وپنجه نرم می‌کند. زلزله باعث ویرانی‌های گسترده در این استان شد، این مناطق را فقیرتر از قبل کرد و بسیاری از فرصت‌های شغلی را از بین برد. یکی از مسایلی که در زلزله کرمانشاه مشخص بود، عدم هماهنگی در مسیریابی و مکان‌یابی اقلام امدادی و به دنبال آن افزایش هزینه دولتی و حداکثر سازی زمان امدادرسانی بود. هم‌چنین باگذشت بیش از شش سال از زلزله، روند بازسازی و احیا به‌کندی پیش می‌رود [9]. براین‌اساس این تحقیق به دنبال بهینه‌سازی لجستیک بشردوستانه برای افزایش هماهنگی میان بازیگران در فاز حین و پس از فاجعه است و درصدد تحقق سه هدف زیر می‌باشد:

۱. کمینه کردن هزینه‌های امدادرسانی (مکان‌یابی و مسیریابی) در چرخه عمر حوادث زلزله‌ای در فاز حین حادثه.
۲. کمینه کردن زمان امدادرسانی (بیشینه‌سازی مطلوبیت آسیب‌دیدگان) به‌منظور افزایش هماهنگی در فاز حین حادثه.
۳. کمینه کردن هزینه بازسازی زیرساخت‌ها و مسکن افراد آسیب‌دیده به‌منظور کاهش رنج مردم در فاز پس از حادثه.

بر اساس مطالب ذکرشده، در این تحقیق مدل شامل دو قسمت حین و بعد از فاجعه تقسیم می‌باشد. در مرحله حین، بعد از اتفاق افتادن فاجعه، گروه‌های امدادی باید وسایل امدادی مانند غذا، آب و کیت‌های پزشکی را به مناطق آسیب‌دیده تحویل دهند و در فاز پس از فاجعه، در کم‌ترین زمان ممکن به بازسازی مناطق آسیب‌دیده بپردازند. به‌منظور به حداقل رساندن زمان و هزینه عملیات، مساله لجستیک نشان داده‌شده توسط حمل‌ونقل محصولات امدادی، به‌عنوان یک مساله مکان‌یابی-مسیریابی چندمنظوره، چند وسیله نقلیه، در چند سطح مدل‌سازی شد. در قسمت حین فاجعه یک سوال مهم وجود دارد. انبارهای مرکزی در چه مکان‌هایی بهتر است باشند تا هزینه را مینیمم کنند؟ بعد از پاسخ دادن به این سوال باید انبارهای مرکزی با کالاهای مدنظر پر شوند؛ و درنهایت می‌بایست هزینه بازسازی‌ها در جهت افزایش مطلوبیت افراد آسیب‌دیده، حداقل شود. باقی‌مانده مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. بخش ۲ بررسی ادبیات مربوط به مسیریابی-موقعیت و بازیابی در هماهنگی لجستیک بشردوستانه را معرفی می کند. در بخش ۳، ما معیارهایی را برای ارزیابی اهداف تعیین شده و بهینه سازی هماهنگی لجستیک بشردوستانه تعریف

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

می‌کنیم و سپس فرمول ریاضی را برای بهینه‌سازی توسعه می‌دهیم. در بخش ۴، روش شناسی پژوهش و تعاریف روشهای حل بحث می‌شود. در ادامه در بخش ۵ یافته های پژوهش مطابقت با تعاریف سناریو و هم‌چنین مورد مطالعه ارایه می‌شود و در نهایت نتیجه‌گیری و مطالعات آینده در بخش۶ خلاصه شده است.

۲- مروری بر ادبیات تحقیق

بازیابی یک فرآیند پویا است که ازنظر مدت‌زمان و کیفیت متفاوت است [12]، [13]. علاوه بر این، یک فرآیند بازیابی جامع فراتر از بازیابی فیزیکی زیرساخت است و شامل ایجاد مجدد فرآیندهای اجتماعی، اقتصادی و طبیعی محیطی است. ازاین‌رو، بخش‌های متعدد، ادارات دولتی، سیاست‌گذاران و خانوارها را درگیر می‌کند. این امر بازیابی را به یک فرآیند پیچیده تبدیل می‌کند؛ بنابراین، نیاز به نظارت، هماهنگی و ارایه ابزارهایی برای فعالان بشردوستانه برای جمع‌آوری اطلاعات در مورد روند بهبود و درک تاثیر سناریوهای مختلف در پویایی وجود دارد. مطالعات متعددی بر ارزیابی ظرفیت عملکردی باقیمانده محیط ساخته‌شده و به‌ویژه سیستم‌های حیاتی پس از یک فاجعه متمرکز شده‌اند. مطالعات محدودی برای کشف بازیابی مداوم سیستم‌های زیرساخت فیزیکی و بیشتر مسیرهای مدل انجام‌شده است که مدل‌سازی مداخلات در مقاطع مختلف زمان در طول فرآیند بازیابی را دشوار می‌کند. آژانس مدیریت اضطراری فدرال[1] که یک آژانس در وزارت امنیت داخلی ایالات‌متحده است، برای اولین بار چارچوب بازیابی فاجعه ملی را در سال ۲۰۱۱ به‌عنوان راهنمایی پیشنهاد کرد، که در آن توضیح داد که چگونه سازمان‌های دولتی، سازمان‌های غیردولتی[2] و بخش خصوصی می‌تواند (باید) منابع موجود را سازمان‌دهی و استفاده کند تا بهبودی موثر را در مرحله ارتقاء دهد و از کشورهای آسیب‌دیده از فاجعه حمایت کند [5]. در سال‌های اخیر، محققان مدل‌های مرمت جامعی را برای بررسی فرآیند بازسازی خاص سیستم‌های زیرساختی حیاتی مانند ساختمان‌ها [14]، شبکه‌های برق [15]، [16]، آب و فاضلاب، نفت و گاز [17] توسعه داده‌اند و تعامل بین شبکه‌های سیستم‌های زیرساختی، ارزیابی زمان و هزینه بازسازی یا توالی جامعه درگیر با یک فاجعه، هماهنگی عوامل امدادی یکی از کارآمدترین رویکردها برای حل مشکل است [18]. بالسیک و همکاران [19] در تحقیقی جامع چالش‌های هماهنگی در زنجیره امداد را به سه گروه؛ هماهنگی عملیات خرید، هماهنگی انبارداری و هماهنگی حمل‌ونقل تقسیم‌بندی کرده‌اند. بهارمند و همکاران [20] باهدف کاهش عدم هماهنگی ناشی از عدم تعادل عرضه و تقاضا، مکانیزم خوشه‌بندی تامین‌کنندگان را در زنجیره امداد بشردوستانه ارایه دادند. در این مکانیزم تامین‌کنندگان سازمان‌های بشردوستانه بر اساس شاخصه‌ای همکاری مانند انگیزه هم ترازی، اشتراک‌گذاری منابع، اطلاعات و مسیریابی و مکان‌یابی به گروه‌های مختلفی تقسیم‌شده‌اند.

ممشلی و همکاران [21] یک مدل مکان‌یابی برای مراکز مدیریت بحران برای مدیریت تدارکات امدادی پیشنهاد کرد. دامنه تحقیق مربوط به کالاهای غیر مصرفی شامل سیستم تصفیه آب، چادر، تجهیزات پزشکی و ابزارهای اطلاعاتی بود زیرا این کالاها در مراحل اولیه بحران ضروری هستند. در این تحقیق موقعیت جغرافیایی بهینه انبارهای غیر مصرفی برای به حداقل رساندن فاصله تعیین شد. خرسی وهمکاران [22] یک مدل مسیریابی-توزیع یکپارچه برای هماهنگ کردن عملیات لجستیکی و تخلیه در بحران ارایه کردند. هدف، به حداکثر رساندن سطح خدمات از طریق دسترسی سریع به مناطق آسیب‌دیده و مسیریابی واحدهای اورژانس موقت به مناطق مناسب است. مسیریابی شامل تسهیل منابع محدود پزشکی و دستیابی به تعادل در نرخ خدمات در بین مراکز درمانی است. کادر پزشکی می‌توانند بین مراکز توزیع جابه‌جا شوند، اما تعداد کلی این افراد در یک دوره زمانی ثابت باقی می‌ماند. درنظر گرفتن شعاع پوشش کالاهای امدادی در مسیریابی تاسیسات امدادی بشردوستانه یکی از مطالعات انجام‌شده توسط قاسمی و همکاران [23] است. یکی از ویژگی‌های اصلی مدل پیشنهادی، درنظر گرفتن و اعمال محدودیت‌های بودجه قبل و بعد از فاجعه، درنظر گرفتن حد بالا و پایین برای زمان پاسخ‌گویی به تقاضا توسط هر مرکز عرضه بوده و نشان می‌دهد که زمان امداد نمی‌تواند از این حد تجاوز کند. به حداکثر رساندن تقاضای مورد انتظار پوشش کلی توسط مراکز توزیع تاسیس شده تنها تابع هدف این مدل است. ستیاوان و همکاران [24] تحقیقی را به‌عنوان مدل مسیریابی-تخصیص برای توزیع امداد و تخلیه قربانیان انجام دادند. آن‌ها برای توزیع کمک و تخلیه قربانیان، یک مدل تک هدف تعیین‌شده مسیریابی را در مرحله آمادگی و واکنش پیشنهاد کردند. درواقع فاز اول در این مدل مربوط به مسیریابی و تخصیص است و در فاز دوم مشکل مسیریابی درنظر گرفته‌شده است. هدف به حداقل رساندن زمان توزیع امداد و تخلیه قربانیان بود. لی و همکاران [17] یک مدل لجستیکی چند دوره‌ای، چند کالایی و چند ابزاری برای برنامه‌ریزی لجستیکی کالاهای مهم و اولویت‌بندی شده در فاز واکنش به فاجعه پیشنهاد کرد. مدل فوق دو کارکرد هدف داشت. مدل اول تقاضای عدم پاسخگویی را به حداقل می‌رساند و مدل دوم زمان سفر را به حداقل می‌رساند. اسماعیلی و

[1] Federal Emergency Management Agency (FEMA)

[2] Non-Governmental Organization (NGO)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

همکاران [25] موضوع شبکه پوشش را برای مکان‌یابی مراکز توزیع نشان داد. این بیانگر بررسی مکان‌یابی مراکز توزیع برای ارایه خدمات بشردوستانه برای همه افراد گرفتار در مناطق آسیب‌دیده است. برای حل این مشکل از روش اکتشافی *Multi-Start* استفاده شد. نتایج محاسباتی بر روی‌داده‌های تصادفی نشان داد که تنها نمونه‌های کوچک با استفاده از مدل ریاضی کارآمد حل‌شده‌اند [26] و ابتکاری پیشنهادی نمونه‌ها را در اندازه واقعی باکیفیت بالا و در زمان منطقی حل می‌کند. لوری و همکاران [27] هم‌چنین با درنظر گرفتن به حداقل رساندن زمان سفر وسایل نقلیه حامل کالا، یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی انتقال کالا در مرحله پاسخگویی ارایه کرد. با توجه به‌ضرورت احساس‌شده تحقیق حاضر سعی می‌کند که راهکارهای عملی در جهت تصمیم‌سازی استراتژیک هماهنگی لجستیک بشردوستانه در فاز بعد از حادثه ارایه‌شده و ضمن بهره‌گیری از ادبیات موجود تلاش می‌کند نقصان مدل‌های ارایه‌شده در این حوزه را بخصوص درزمینه چندگانگی هدف و با وجود محدودیت‌ها پوشش دهد. مطالعات صورت گرفته به‌صورت **جدول ۱** است.

جدول ۱- خلاصه پیشینه تحقیق.

Table 1- Summarized literature review.

ردیف	پژوهشگر	رویکردهای ارزیابی					مرحله فاجعه			توصیف پژوهش
		تئوری بازی‌ها	مدل‌سازی مفهومی	مدل‌سازی ریاضی	تئوری تصمیم	شبیه‌سازی	قبل حادثه	حین حادثه	پس از حادثه	
1	[28]			✓			✓	✓		این مقاله یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه قوی مبتنی بر سناریو را ارایه می‌کند که مکان تاسیسات پزشکی، حمل‌ونقل مصدوم و تخصیص کالای امدادی را با در نظر گرفتن تریاژ ادغام می‌کند.
2	[12]	✓		✓		✓			✓	این مقاله برای شناسایی بهترین مکان مراکز فوریت‌های پزشکی و اختصاص آمبولانس‌ها به مراکز انتخاب‌شده برای به حداکثر رساندن میزان بقا و به حداقل رساندن هزینه کل سیستم بهره می‌برد.
3	[29]			✓				✓		در این مقاله، یک طراحی شبکه لجستیک بشردوستانه با چندین انبار مرکزی و مراکز توزیع محلی به روشی یکپارچه موردبررسی قرار می‌گیرد.
4	[30]			✓				✓		در این مقاله، با ارایه یک طرح تحقیقاتی ترکیبی سیستماتیک برای مشکل HL در واکنش به بلایا، این شکاف را برطرف کنند.
5	[31]	✓		✓					✓	در این مقاله به چالش‌های ارایه کمک‌های اضطراری به جمعیت‌های گرفتارشده با شبکه‌های زیرساختی خراب، برای مشکل مسیریابی وسایل نقلیه دوطبقه‌ای پیشنهاد می‌شود که از وسایل نقلیه خودران بدون سرنشین یا پهپادها برای تحویل استفاده می‌کنند.
6	[23]			✓					✓	این مقاله یک مدل را برای مکان‌یابی مراکز توزیع، مسیریابی وسایل نقلیه و مشکلات موجودی در شرایط زلزله توصیف می‌کند.
7	[32]					✓			✓	در این مطالعه، مدل مبتنی بر عامل را برای شبیه‌سازی و کاوش فرآیند بازیابی بعد از فاجعه در مناطق شهری تاکلوبان، فیلیپین که توسط طوفان هایان در سال ۲۰۱۳ ویران شده است، توسعه داده شد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continuation.

ردیف	پژوهشگر	رویکردهای ارزیابی					مرحله فاجعه			توصیف پژوهش
		تئوری بازی‌ها	مدل‌سازی		تئوری تصمیم	شبیه‌سازی	قبل حادثه	حین حادثه	پس از حادثه	
			مفهومی	ریاضی						
8	[21]			✓				✓		مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی مکان پناهگاه‌های اضطراری (انبارها) و هماهنگ کردن حرکت وسایل نقلیه امدادی بین محل حادثه و پناهگاه‌های اضطراری ایجاد شده است.
9	[33]	✓		✓					✓	در این مقاله یک محیط بشردوستانه متشکل از اهداکنندگان و سازمان‌های غیردولتی درنظر گرفته شده است. در این مقاله فرض بر این است که دولت با اعمال یکی از دو سیاست خود حداکثر رفاه اجتماعی یا به حداقل رساندن مصرف بودجه در عملیات امدادرسانی مداخله می‌کند.
10	[34]	✓								هدف از این مطالعه هماهنگی، مدل‌سازی و سنجش تاثیر تصمیمات ذینفع غیر هماهنگ بر نتایج سیستم و شناسایی راهه‌ای تغییر پارامترهای سیستم است تا تصمیمات غیرمتمرکز را با دقت بیشتر از یک سیستم هماهنگ برآورد کنیم.
12	[35]		✓		✓					هدف از این مطالعه نقش اعتماد سریع به‌عنوان متغیر میانجی برای دستیابی به هماهنگی زنجیره تامین مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تئوری تعهد و اعتماد، عوامل توانمند اعتماد و چگونگی تبدیل سریع اعتماد به هماهنگی از طریق تعهد، بررسی می‌شود.
13	[36]			✓	✓		✓			در این مطالعه، با بررسی ادبیات موجود در HSC و مصاحبه با افراد مختلف در فعالیت‌های امدادی که در جریان سیل چنای انجام‌شده است، عوامل موثر بر هماهنگی زنجیره تامین بشردوستانه شناسایی می‌شود. این عوامل به چهار دسته تقسیم می‌شوند: اشتراک اطلاعات، تنوع (آژانس‌های بشردوستانه)، فرامین سازمانی و همگرایی مادی.
14	[17]	✓								این مقاله با هدف کشف مکانیسم هماهنگی در لجستیک بشردوستانه در مورد اینکه چه زمانی استراتژی هماهنگ بهینه را اتخاذ می‌کنیم و چگونه چنین استراتژی می‌تواند عملکرد خوبی داشته باشد. هم‌چنین در این مقاله تصمیمات هماهنگ با اتخاذ استراتژی های پایدار تکاملی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continuation.

ردیف	پژوهشگر	رویکردهای ارزیابی					مرحله فاجعه			توصیف پژوهش
		تئوری بازی‌ها	مدل‌سازی		تئوری تصمیم	شبیه‌سازی	قبل حادثه	حین حادثه	پس از حادثه	
			مفهومی	ریاضی						
15	[37]			✓			✓			این مقاله یک مکانیسم دومرحله‌ای را برای هماهنگی چندین سازمان امدادی ناهمگن در یک شبکه لجستیکی غیرمتمرکز HRO ارایه می‌دهد. برای پرداختن به چنین مشکلی، ابتدا یک مدل خطی عدد صحیح مخلوط دوسطحی، تحت عدم قطعیت تقاضا و عرضه ایجاد می‌شود و سپس یک مکانیسم هماهنگی مبتنی بر تقسیم ظرفیت ارایه می‌شود.
16	[38]	✓		✓			✓	✓		هدف از این مطالعه ارایه یک مدل مفهومی برای هماهنگی خرید و توزیع در یک زنجیره امداد بشردوستانه با استفاده از مکانیسم تبادل اطلاعات موردبررسی قرار گرفته است. برای این منظور، سه حالت تصمیم‌گیری، ازجمله عدم تمرکز، متمرکز و هماهنگ، تدوین شده است.
17	[39]	✓				✓				هدف از این مطالعه ارایه یک مدل مفهومی از یک شبیه‌ساز سازمانی برای تجزیه‌وتحلیل تصمیمات لجستیک است و هم‌چنین یک بازی لجستیکی بشردوستانه را با استفاده از این مدل پیشنهاد کرده است که به مدیران و دانشجویان امدادی بشردوستانه امکان مشاهده سناریوهای فاجعه را می‌دهد.
18	[40]		✓							هدف از این مطالعه درک این موضوع است که چگونه داده‌های بزرگ و تجزیه‌وتحلیل‌های پیش‌بینی کننده (BDPA)، به‌عنوان یک توانایی سازمانی، می‌توانند دید و هماهنگی را در زنجیره‌های تامین بشردوستانه بهبود ببخشند.
19	[27]									این مقاله یک مدل ریاضی برای تعیین مکان نقاط توزیع (POD) و تخصیص موجودی در تدارکات بشردوستانه پس از فاجعه (PD-HL) درنظر دارد. این مدل هزینه‌های استقرار، تدارکات و محرومیت (به‌عنوان‌مثال هزینه تحمیل‌شده به بازماندگان به دلیل عدم دسترسی به منابع مهم) را به حداقل می‌رساند.
20	[41]		✓							درک بهتر هماهنگی پس از فاجعه به ما کمک می‌کند تا تئوری را در مورد اینکه چگونه هماهنگی بر بهبود تاثیر می‌گذارد تقویت کنیم.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continuation.

ردیف	پژوهشگر	رویکردهای ارزیابی			مرحله فاجعه					توصیف پژوهش
		تئوری بازی‌ها	مدل‌سازی مفهومی	مدل‌سازی ریاضی	تئوری تصمیم	شبیه سازی	قبل حادثه	حین حادثه	پس‌از حادثه	
21	[42]					✓				هدف از این مقاله زمان پاسخ اضطراری را به حداقل برسانیم.
22	[43]		✓							این مطالعه به مساله همگرایی مواد و لجستیک بشردوستانه با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل تمرکز می‌کند، که در آن تاثیر جریان‌ها، بازیگران و روابط آن‌ها بر عملکرد لجستیک سیستم اندازه‌گیری شده است .درنهایت، پس از شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل نتایج، یک سناریو که هماهنگی بین بازیگران را درجایی که شاخصه‌ای عملکرد لجستیک نتایج بهتری در رابطه با سرعت پاسخگویی نشان می‌دهد، پیشنهاد شده است.
23	[44]		✓							هدف از این مقاله برطرف کردن مشکل امدادی بشردوستانه پس از فاجعه که نیاز به هماهنگی چندین وسیله نقلیه ناهمگن است، می‌باشد. برای سه عملیات لجستیکی، ازجمله تحویل کالا، تخلیه مجروحان و انتقال نیروی کار هماهنگی لازم است.
24	[45]									این مقاله به دنبال افزایش بقای شبکه تحت یک فاجعه و کاهش زمان پاسخ مورد انتظار پس از فاجعه برای شبکه‌های حمل‌ونقل از طریق تصمیمات سرمایه‌گذاری قبل از فاجعه است.
25	[46]		✓							این مقاله استدلال می‌کند که اصول اقتصادی رفاه باید در مدل‌های لجستیکی بشردوستانه پس از فاجعه گنجانده شود تا از استراتژی های تحویل که منجر به بیشترین رفاه برای بیش‌ترین تعداد افراد می‌شود، استفاده شود.
26	[47]									در این مقاله، برخی چالش‌های مهم بازسازی مناطق زلزله زده استان کرمانشاه تحلیل می‌شود. تاکید مقاله بر مستندسازی دیدگاه‌های ساکنان مناطق زلزله‌زده و مسئولان بازسازی است.
27	تحقیق حاضر	✓	✓	✓				✓	✓	

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

یکی از نوآوری‌های این مطالعه کاهش هزینه بازسازی بعد از وقوع زلزله از زلزله می‌باشد. مطالعات متعددی در راستای بازیابی فاجعه انجام شد. در طول دو دهه گذشته، عملیات امدادی مرحله پاسخ توسط تعداد قابل‌توجهی از محققان موردتوجه قرار گرفته است. بااین‌حال، موضوع برنامه‌های بازیابی و بازسازی پس از فاجعه به‌اندازه کافی در مجامع علمی و عملی موردبحث قرار نگرفته است. این در حالی است که پروژه‌های بازسازی مسکن پس از فاجعه یکی از مهم‌ترین وظایف چالش‌برانگیز برای تصمیم‌گیرندگان و متخصصان بازیابی در مناطق آسیب‌دیده از بلایا است. به‌عنوان نمونه، اگرچه بسیاری از شهرها و روستاهای ایران در معرض مخاطرات طبیعی ویرانگر (مانند زلزله به دلیل گسل‌های متعدد) هستند، اما اتفاقات گذشته ناتوانی و ناتوانی مدیران بلایای طبیعی را در تامین بودجه کافی، حمایت باکیفیت و مناسب نشان داده است. برنامه‌ریزی، که کلیدهای اساسی برای دستیابی به یک محیط تاب آور ساخته‌شده پس از بحران هستند.

هم‌چنین این مطالعه به دنبال بهینه‌سازی شبکه لجستیک بشردوستانه به‌منظور افزایش هماهنگی در مرحله پس از حادثه است. در این راستا این مقاله، اهداف کاهش زمان امدادرسانی، کاهش هزینه مکان‌یابی و هم‌چنین کاهش هزینه بازیابی مکان فاجعه درنظر دارد. با توجه به بررسی محققان این تحقیق، مطالعات کمی در این زمینه و با این رویکرد اهدافی صورت گرفت. اکثر مطالعات قبلی درزمینه مدیریت بحران عمدتا بر مراحل کاهش و واکنش متمرکز بوده‌اند، درحالی‌که واکنش بعد از زلزله و بهبود حیاتی‌ترین مرحله در مدیریت بحران است. در طول دو دهه گذشته، عملیات امدادی مرحله پاسخ توسط تعداد قابل‌توجهی از محققان موردتوجه قرار گرفته است. بااین‌حال، موضوع اقدامات هماهنگ در بین بازیگران بعد از فاجعه و هم‌چنین بازیابی و بازسازی پس از فاجعه به‌اندازه کافی در مجامع علمی و عملی موردبحث قرار نگرفته است.

۳- مدل‌سازی ریاضی مساله

در این قسمت، مدل ریاضی مساله ارایه شده است. برای طرح بهتر مدل ریاضی، پس از بیان فرضیات مدل، به تعریف علایم، مولفه‌ها و متغیرها پرداخته و سپس تابع هدف و محدودیت‌های آن ارایه شدند. در توابع هدف، از اندیس‌ها و پارامترهایی استفاده شده است که در ادامه به تعریف آن‌ها پرداخته می‌شود. فرضیات مدل به شرح ذیل می‌باشد:

۱. فضای حل به‌صورت شبکه درنظر گرفته‌شده است (مکان بهینه مراکز امداد دریکی از نقاط کاندیدا (گره) صورت گرفته و تخصیص مقادیر تقاضای متفاوت به مراکز امداد متفاوت، به‌صورت کمان نشان داده می‌شوند).
۲. تقاضا به‌صورت نقطه‌ای درنظر گرفته‌شده است.
۳. مسیرهای حمل‌ونقل به‌صورت خط مستقیم درنظر گرفته‌شده‌اند.
٤. مکان‌یابی تسهیلات قبل از وقوع حادثه می‌باشد.
٥. هر نوع کالای امدادی برای هر نقطه تقاضا تنها توسط یک مرکز امداد تهیه می‌شود.
٦. فرض بر این است کالاها فاسدشدنی نمی‌باشند.
۷. سه سطح بحران‌زدگی درنظر گرفته‌شده است.
۸. امدادرسانی تنها از مراکز هم‌سطح با نقطه تقاضا (ازنظر ریسک) و یا مراکز امداد سطوح پایین‌تر (با ریسک کمتر) می‌تواند صورت گیرد.
۹. مساله به‌صورت چند هدفه، شامل حداقل سازی هزینه مکان‌یابی مسیریابی، حداقل سازی زمان امدادرسانی و حداقل سازی هزینه بازسازی‌ها مدل‌سازی می‌شود.
۱۰. توابع هدف آورده شده در هر سطح مانند توابع هدف سایر سطوح می‌باشند.
۱۱. هزینه‌های حمل‌ونقل یک واحد تقاضا به ازای یک واحد مسافت در نظر گرفته‌شده‌اند.
۱۲. مراکز امداد با ظرفیت محدود درنظر گرفته‌شده‌اند.
۱۳. متغیرهای تصمیم مدل ترکیبی از نوع صفر و یک و نوع پیوسته می‌باشند.
۱٤. منابع مالی بازیگران جهت بازسازی مناطق آسیب‌دیده دارای محدودیت بودجه‌ای می‌باشد.
۱٥. هر فرد آسیب‌دیده تنها یک‌بار از منابع دولتی (وام) برای بازسازی می‌تواند استفاده کند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

دوره ۲، شماره ۲، (۱۳۹۱)
صفحه:۶۳-۴۲

مجموعه‌ها

I	مجموعه نقاط تقاضا که به‌عنوان مراکز نواحی تحت ریسک بحران شناخته‌شده و با اندیس $i \in I$ نشان داده می‌شوند.
J	مجموعه نقاط کاندیدا جهت احداث مراکز امداد که با اندیس $j \in J$ نشان داده می‌شوند.
K	مجموعه کالاها و تجهیزات امداد که با اندیس $k \in K$ نشان داده می‌شوند.
Ω	مجموعه سناریوهای بحران که با اندیس $w \in \Omega$ نشان داده می‌شوند.
N	مجموعه گزینه‌های تامین مالی جهت بازسازی که با اندیس $n \in N = \{1,2,3\}$ نشان داده می‌شوند.
T	زمان رخ دادن زلزله (از زمان حال) که با اندیس $t \in T$ نشان داده می‌شوند.

پارامترها

X_j^n	متغیر صفر و یک می‌باشد. اگر در نقطه j منابع مالی از نوع n تخصیص داده شود برابر یک بوده و در غیر این صورت برابر صفر است.
$q_{ijk}(w)$	کسری از نیاز نقطه تقاضای j به کالای k که توسط مرکز امداد j در سناریوی w تامین می‌شود $(0 \le q_{ik}(w) \le 1)$.
S_{jk}	میزان کالای نوع k که در مرکز امداد j نگهداری می‌شود.

متغیرهای تصمیم

$P(w)$	احتمال رخ دادن سناریو w بحران.
p_k	درجه اهمیت کالای نوع k $0 \le k \le 1$.
$P(T)$	تابع توزیع احتمال زمان رخداد بحران.
$D_{ik}(w)$	میزان تقاضای گره i از کالای k در صورت وقوع سناریوی w.
Q	حداکثر ظرفیت حجمی هر یک از مراکز امداد.
C_j^n	هزینه ثابت احداث تسهیل سطح n در مکان j.
d_{ij}	فاصله میان نقطه تقاضای i و مرکز امداد j.
L	حداکثر فاصله ممکن برای خدمت‌رسانی از هر یک از مراکز امداد به هر یک از نقاط تقاضا.
a_{ij}	متغیر صفر و یک که اگر $d_{ij} \le L$ باشد برابر با یک است و در غیر این صورت برابر صفر است.
e_k^n	جریمه به ازای هر واحد کمبود عدم تخصیص صحیح منابع مالی به افراد آسیب‌دیده.
o_k	جریمه به ازای هر واحد اضافی کالای نوع k.
h_k	هزینه نگهداری هر واحد تجهیز k.
f_k^n	هزینه تامین مالی نوع N برای نقطه تقاضا به ازای افراد آسیب‌دیده.
a_k'	هزینه حمل‌ونقل هر واحد کالای نوع k به ازای هر واحد مسافت.
V_k	فضای لازم برای هر واحد کالا نوع k.

تعاریف ساده کننده

FC_n	هزینه ثابت مربوط به احداث مراکز امداد سطح n.
SC_n	جریمه کل ناشی از کمبود کالا و تجهیز کالا در نقاط تقاضا.
SPC_n	جریمه کل ناشی از اضافات کالا و تخصیص مازاد منابع مالی به نقاط تقاضا.
IC_n	هزینه کل بازسازی در هر نقطه تقاضا.
PC_n	جریمه کل ناشی از استفاده گره تقاضا از مراکز امداد سطحی.

$$FC_N = \sum_{j \in J} C_j^n \times X_j^n. \qquad (۱)$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$SC_n = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{k\in K'} \sum_{i\in I} [1 - \sum_{j\in J} q_{ijk}(w)] \times D_{ik}(w) \times e_k^n. \quad (۲)$$

$$SPC_n = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{k\in K'} \sum_{j\in J'} X_J^n \times [S_{jk} - \sum_{j\in J} q_{ijk}(w) \times D_{ik}(w)] \times o_k. \quad (۳)$$

$$IC_N = \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} X_J^n \times S_{jk} \times h_k . \quad (۴)$$

$$PC_1 = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{i\in I^1} \sum_{j\in J'} \sum_{k\in K'} f_k^1 \times [X_J^2 + X_J^3] \times q_{ijk}(W) \times D_{ik}. \quad (۵)$$

$$PC_2 = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{i\in I^2} \sum_{j\in J'} \sum_{k\in K'} f_k^2 \times X_J^3 \times q_{ijk}\ W) \times D_{ik}. \quad (۶)$$

$$min\ f_{11} = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{i\in I^1} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} p_k \times q_{ijk}\ w) \times D_{ik}. \quad (۷)$$

$$min\ f_{11} = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{i\in I^1} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} p_k \times q_{ijk}\ w) \times D_{ik}. \quad (۸)$$

$$min\ \ f_{12} = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{i\in I^1} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} a'_k \times d_{ij} \times q_{ijk}\ w) \times D_{ik}\ w) \times V_k. \quad (۹)$$

$$min\ \ f_{13} = FC_1 + SC_1 + SPC_1 + IC_1 + PC_1. \quad (۱۰)$$

$$min\ \ f_{21} = \sum_{w\in\Omega} P\ w) \sum_{i\in I^2} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} p_k \times q_{ijk}\ w) \times D_{ik}\ \ w). \quad (۱۱)$$

$$min\ \ f_{22} = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{i\in I^2} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} a'_k \times d_{ij} \times q_{ijk}(w) \times D_{ik}(w) \times V_k. \quad (۱۲)$$

$$min\ \ f_{23} = FC_2 + SC_2 + SPC_2 + IC_2 + PC_2. \quad (۱۳)$$

$$min\ \ f_{31} = \sum_{w\in\Omega} P\ w) \sum_{i\in I^3} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} p_k \times q_{ijk}\ w) \times D_{ik}\ \ w). \quad (۱۴)$$

$$min\ \ f_{32} = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{i\in I^3} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} a'_k \times d_{ij} \times q_{ijk}(w) \times D_{ik}(w) \times V_k. \quad (۱۵)$$

$$min\ \ f_{33} = FC_3 + SC_3 + SPC_3 + IC_3 + PC_3. \quad (۱۶)$$

$$\sum_{j\in J} a_{ij} \times [X_j^1 + X_j^2 + X_j^3] \geq 1;\ for\ all\ i \in I. \quad (۱۷)$$

$$q_{ijk}\ w) \leq a_{ij} \times \left[X_j^1 + X_j^2 + X_j^3\right];\ \ for\ all\ w \in \Omega, i \in I, k \in K. \quad (۱۸)$$

$$\sum_{j\in J} q_{ijk}(w) \leq 1;\ \ for\ all\ w \in \Omega, i \in I, k \in K. \quad (۱۹)$$

$$q_{ijk}\ w) \leq X_j^3;\ \ for\ all\ w \in \Omega, i \in I^3(w)\ , j \in J, k \in K. \quad (۲۰)$$

$$q_{ijk}\ w) \leq X_j^2 + X_j^3;\ \ for\ all\ w \in \Omega, i \in I^2(w)\ , j \in J, k \in K. \quad (۲۱)$$

$$q_{ijk}\ w) \leq X_j^1 + X_j^2 + X_j^3;\ \ for\ all\ w \in \Omega, i \in I^1(w)\ , j \in J, k \in K. \quad (۲۲)$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$\sum_{i\in I} q_{ijk}(w) \times D_{ik}\ w) \le S_{jk};\ \ for\ all\ w \in \Omega, j \in J, k \in K. \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{i\in I} S_{jk} \times V_k \le Q \times \left[X_j^1 + X_j^2 + X_j^3\right];\ for\ all\ \ j \in J. \qquad (۲۴)$$

$$X_j^n \in \{0,1\};\ for\ all\ \ j \in J, n \in \{1,2,3\}. \qquad (۲۴)$$

$$q_{ijk}\ w) \ge 0;\ for\ all\ w \in \Omega, j \in J, k \in K. \qquad (۲۶)$$

$$LS_{jk}=integer;\ for\ all\ \ j \in J, k \in K. \qquad (۲۷)$$

اولین تابع هدف در هر یک از سطوح (سناریو) مدل شامل توابع **رابطه‌های (۷)**، **(۱۰)** و **(۱۳)** که برای حداقل سازی هزینه‌های مسیریابی و مکان‌یابی و تامین اقلام امدادی می‌باشد. تابع هدف دوم هر سطح هم که در **رابطه‌های (۸)**، **(۱۱)** و **(۱٤)** نشان داده‌شده‌اند، به کمینه کردن مجموع فواصل امدادرسانی و درنتیجه کمینه کردن زمان امدادرسانی می‌پردازد. تابع هدف سوم هر سطح نیز که در **رابطه‌های (۹)**، **(۱۲)** و **(۱۵)** آورده شده‌اند، کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های بازسازی ناشی از استفاده از گره تقاضای سطح n با رویکرد مدنظر تامین مالی می‌باشد. **رابطه (۱٦)** نشان‌دهنده این است که در مساله تنها یک سطح‌فعال می‌گردد. **رابطه (۱۷)** نیز محدودیت پوشش را متذکر می‌شود، به این معنی که هر نقطه تقاضا باید در شعاع پوشش حداقل یک تسهیل قرار گیرد. **محدودیت (۱۸)** نیز بیانگر این است که مراکز امداد تنها به نقاط تقاضایی تخصیص می‌یابند که در شعاع پوشش آن‌ها قرار دارند. **محدودیت (۱۹)** بیان می‌کند که کسر تقاضای برآورد شده از یک نقاط تقاضای مشخص بیشتر از کل تقاضای آن نقطه بیشتر نمی‌گردد. **رابطه (۲۰)** نشان می‌دهد که کسر تقاضای سطح سه تنها می‌توانند از مراکز امداد سطح سه خدمت دریافت نمایند. هم چنین **محدودیت (۲۱)** بیانگر آن است که نقاط تقاضای سطح دو می‌توانند از مراکز امداد سطوح دو و سه منابع مالی جهت بازسازی خدمت دریافت کنند. درنهایت نیز در **رابطه (۲۲)** بیان می‌شود که نقاط تقاضای سطح یک می‌توانند از انواع تسهیلات امدادی کالا و خدمات مالی دریافت نمایند. **محدودیت (۲۳)** نیز بیان می‌کند که مجموع منابع مالی جهت بازسازی در تخصیص‌های صورت گرفته باید کمتر از بودجه در دسترس باشد. محدودیت ذخیره‌سازی کالا در هر مرکز نیز در **رابطه (۲٤)** نشان داده‌شده است. **رابطه (۲۵)** صفر و یک بودن متغیر مکان‌یابی را بیان می‌کند. **رابطه (۲٦)** بیان می‌کند که متغیر $qij(w)$ یک متغیر پیوسته بزرگ‌تر از صفر می‌باشد. عدد صحیح بودن متغیر Sjk نیز در **محدودیت (۲۷)** نشان داده‌شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل ارایه‌شده برای مساله موردنظر به‌صورت برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح می‌باشد. $MINLP$ ازجمله مسایل تحقیق در عملیات محسوب می‌شود که در آن ترکیبی از متغیرهای صحیح و پیوسته باشند و هم‌چنین در برخی از معادله‌های آن متغیرها در یکدیگر ضرب شده و یا به توان رسیده‌اند. این‌گونه مسایل در حالت عادی از پیچیدگی بسیار بالایی در حل برخوردار می‌باشند. برای حل این مدل‌ها روش‌های خاصی نیز شامل روش‌های برشی و تجسسی به‌صورت ترکیبی با روش‌های حل مسایل پیوسته وجود دارند؛ اما اغلب قبل از اقدام به استفاده ازاین‌گونه روش‌های حل سعی می‌شود تا حد امکان فرم مساله به‌صورت خطی درآمده و درنتیجه از پیچیدگی آن کاسته شود.

$$\beta_{jk}^n = X_j^n \times S_{jk};\ for\ all\ j \in J, k \in K, n \in \{1,2,3\}. \qquad (۲۸)$$

$$\varphi_{ijk}^n\ w) = X_j^n \times q_{ijk}\ w);\ for\ all\ w \in \Omega, i \in I, j \in J, k \in K, n \in \{2,3\}. \qquad (۲۹)$$

$$SPC_n = \sum_{w\in\Omega} P(w) \sum_{k\in K} \sum_{j\in J} [\beta_{jk}^n - \sum_{i\in I} \varphi_{ijk}^n(w) \times D_{ik}(w)] \times o_k. \qquad (۳۰)$$

$$IC_n = \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} \beta_{jk}^n \times h_k;\ for\ all\ n \in \{1,2,3\}. \qquad (۳۱)$$

$$PC_1 = \sum_{w\in\Omega} P\ w) \sum_{i\in I^1\ w)} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} f_k^1 \times [\varphi_{ijk}^3(w) + \varphi_{ijk}^2(w)] \times D_{ik}. \qquad (۳۲)$$

$$PC_2 = \sum_{w\in\Omega} P\ w) \sum_{i\in I^2\ w)} \sum_{j\in J} \sum_{k\in K} f_k^2 \times \varphi_{ijk}^3\ w) \times D_{ik}. \qquad (۳۳)$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

همان‌طور که در **رابطه (۳)** تا **رابطه (٦)** نشان داده‌شده است، متغیر صفر و یک X_j^n در متغیر پیوسته S_{jk} ضرب شده است. هم‌چنین در **رابطه‌های (۳)**، **(۵)** و **(٦)** دو متغیر X_j^n و $q_{ijk}(w)$ در یکدیگر ضرب شده‌اند. این عبارات ضربی توسط متغیرهای جدید جایگزین شده‌اند که به ترتیب در **رابطه‌های (۲۸)** و **(۲۹)** آورده شده‌اند. معادله‌های جایگزین نیز برای **رابطه (۳)** تا **رابطه (٦)** نیز در ادامه آورده شده‌اند که شامل **رابطه (۳۰)** تا **رابطه (۳۳)** می‌شوند. محدودیت‌های اضافی موردنیاز نیز در **رابطه (۳٤)** تا **رابطه (٤۱)** آورده شده‌اند.

$$\beta_{jk}^n \le S_{ik};\ for\ all\ j \in J, k \in K, n \in \{1,2,3\}. \quad (۳۴)$$

$$\beta_{jk}^n \le M \times X_j^n;\ for\ all\ j \in J, k \in K, n \in \{1,2,3\}. \quad (۳۵)$$

$$\varphi_{ijk}^n\ w) \ge q_{ijk}\ w) - M \times \left[1 - X_j^n\right];\ for\ all\ w \in \Omega, i \in I, j \in J, k \in K, n \in \{2,3\}. \quad (۳۶)$$

$$\varphi_{ijk}^n\ w) \le q_{ijk}\ w);\ for\ all\ w \in \Omega, i \in I, j \in J, k \in K, n \in \{2,3\}. \quad (۳۷)$$

$$Q_{ijk}^n \le M \times X_j^n;\ for\ all w \in \Omega, i \in I, j \in J, k \in K, n \in \{2,3\}. \quad (۳۸)$$

$$\varphi_{ijk}^n\ w) \ge q_{ijk}\ w) - M \times \left[1 - X_j^n\right];\ for\ all\ w \in \Omega, i \in I, j \in J, k \in K, n \in \{3\}. \quad (۳۹)$$

$$\beta_{jk}^n = integer;\ for\ all\ j \in J, k \in K, n \in \{1,2,3\}. \quad (۴۰)$$

$$\varphi_{ijk}^n\ w) \ge 0;\ for\ all\ \ w \in \Omega, i \in I, j \in J, k \in K, n \in \{2,3\}. \quad (۴۱)$$

۴- روش شناسی تحقیق

این پژوهش ازنظر انواع جهت‌گیری‌های پژوهش، جزو پژوهش‌های توسعه‌ای است؛ چون سعی دارد که مدل‌های موجود در طراحی شبکه لجستیک بشردوستانه را گسترش دهد و بهینه‌سازی دو فاز حین و بعد فاجعه را که در پژوهش‌های قبلی کمتر به آن اشاره شده بود، درنظر بگیرد؛ بنابراین، کار پژوهشگر در مقایسه با پژوهشگران قبلی، توسعه‌یافته‌تر و عمیق‌تر است. هم‌چنین، ازنظر ماهیت و چگونگی، جزو پژوهش‌های اکتشافی است. مراحل اجرای این پژوهش در **شکل ۱** نشان داده شده است.

شکل ۱- مراحل انجام پژوهش.
Figure 1- Steps of research.

در دنیای واقعی، مسایل بهینه‌سازی اغلب باوجود چندین هدف ناسازگار همراه هستند. بهینه‌سازی چندهدفه به جست‌وجوی نقاط بهینه با درنظر گرفتن توازن بین اهداف موجود می‌پردازد. به‌طورکلی یک مساله بهینه‌سازی چند هدفه[1] می‌تواند به‌صورت زیر تعریف شود:

[1] Multi-objective optimization problem

Archive of SID.ir

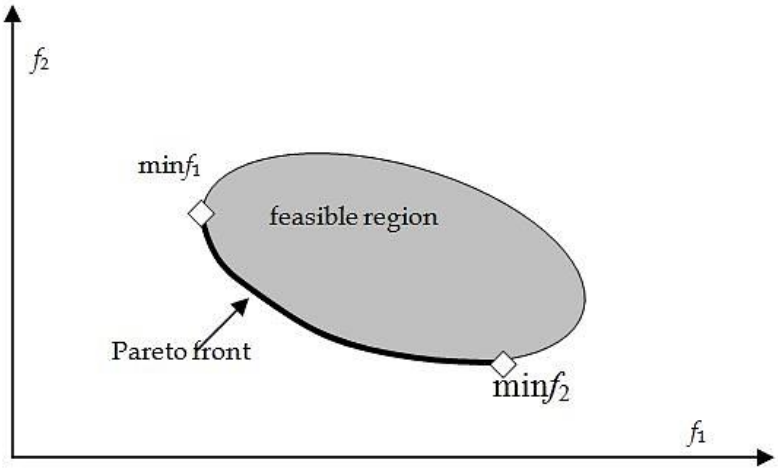
Archive of SID.ir

$$\min F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)]. \quad (۴۲)$$

$$\text{subject to}: \quad X = (x_1, \dots, x_n) \in S, \quad (۴۳)$$

که در آن $X = (x_1, \dots, x_n)$ بردار متغیرهای تصمیم و متعلق به فضای شدنی و غیرتهی S است. هم‌چنین بردار تابع هدف $F: S \to R^m$ که شامل $m(\geq 2)$ تابع هدف است. اگر $m=2$ باشد مساله دو هدفه[1] و اگر $m \geq 3$ مساله را چندهدفه گویند. در مسایل چندهدفه، مجموعه پاسخ‌های بهینه نامغلوب یا پارتو جایگزین پاسخ بهینه در مساله تک هدفه شده‌اند [26].

دو مفهوم اساسی چیرگی (مغلوب) پارتو[2] و مجموعه‌ی ناچیره[3] (نامغلوب) ازجمله‌ی مهم‌ترین مفاهیم در مباحث مربوط به بهینه‌سازی چندهدفه هستند. اگر x و y را دو راه‌حل در ناحیه شدنی S با توابع هدف $f(x)$ و $f(y)$ بنامیم، آنگاه x بر y غلبه می‌کند اگر و تنها اگر $f_i(x) \geq f_i(y); \text{for all } i = 1, \dots, m$ و $f_j(x) > f_j(y); \text{exists there } j = 1, \dots, m$ [48]. در یک مجموعه‌ی شدنی مجموعه جواب‌های ناچیره شامل نقاطی است که مورد چیرگی هیچ‌یک از نقاط دیگر قرار نمی‌گیرند. به این مجموعه از نقاط مرز پارتو[4] گفته می‌شود [48]. **شکل ۲** نمونه‌ای از مجموعه پارتو مربوط به یک مساله بهینه‌سازی دو هدفه را نشان می‌دهد. در این شکل هر دو تابع هدف از نوع حداقل سازی هستند.



شکل ۲- مجموعه‌ی پارتو مربوط به یک مساله بهینه‌سازی دو هدفه [48].

Figure 2- The Pareto set related to a two-objective optimization problem [48].

چندین چالش در برخورد با مسایل *MOPs* وجود دارد؛ زمانی که تعداد اهداف افزایش می‌یابد، تعداد پاسخ‌های نامغلوب در فضای هدف افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر، بیشتر راه‌حل‌های تولیدشده نامغلوب‌اند. این امر ممکن است سرعت جستجو در فضای جواب را آهسته کند؛ بنابراین تجسم جبهه پارتو و تصمیم‌گیری برای انتخاب راه‌حل مناسب دشوار است. درنهایت، در مسایل چندهدفه، به دنبال راه‌حل‌هایی هستیم که در جبهه پارتو تنوع و پراکندگی مناسبی داشته باشند. تعریف فاصله بین راه‌حل‌های نامغلوب در مسایلی با بیش از دو هدف دشوار است. از این‌رو چند الگوریتم تکاملی چندهدفه برای پرداختن به این چالش‌ها طراحی شده است.

۱-۴- الگوریتم NSGA-II

الگوریتم *NSGA-II* به‌منظور حل مسایل بهینه‌سازی چند هدفه توسط دب و همکاران [49] مطرح گردید. ویژگی‌های عمده این الگوریتم عبارت‌اند از:

۱. تعریف فاصله ازدحامی[5] به‌عنوان ویژگی جایگزین برای شیوه‌هایی مانند اشتراک برازندگی[6].
۲. استفاده از عملگر انتخاب تورنمنت دودویی[7].

[1] Bi-objective optimization problem
[2] Pareto dominance
[3] Non- dominance
[4] Pareto front
[5] Crowding distance
[6] Fitness sharing
[7] Binary tournament

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۳. ذخیره و بایگانی کردن جواب‌های نامغلوب که در مراحل قبلی الگوریتم به‌دست‌آمده‌اند. جواب‌های نامغلوب به‌دست‌آمده از حل مساله بهینه‌سازی چند هدفه، به نام جبهه پارتو شناخته می‌شوند.

در این مقاله از عملگرهای تقاطع باینری شبیه‌سازی‌شده[1] جهت ترکیب دو کروموزوم (کروموزوم‌های والد) و ایجاد دو کروموزوم جدید (کروموزوم های فرزند) استفاده‌شده است. *SBX* اصول کاری عملگر تقاطع تک نقطه‌ای در رشته‌های باینری را شبیه‌سازی می‌کند [49]. تابع توزیع احتمال در این روش به‌صورت زیر است:

$$p(\beta_i) = \begin{cases} 0.5\ \eta_c + 1)\beta_i^{\eta_c}, & if \quad 0 \le \beta_i \le 1, \\ 0.5\ \eta_c + 1)\dfrac{1}{\beta_i^{\eta_c+2}}, & if \quad \beta_i \ge 1. \end{cases} \qquad (۴۴)$$

$$\beta_i = \begin{cases} (2u_i)^{\frac{1}{\eta_c+1}}, & if \quad u_i \le 0.5, \\ \left(\dfrac{1}{2(1-u_i)}\right)^{\frac{1}{\eta_c+1}}, & if \quad otherwise, \end{cases} \qquad (۴۵)$$

که در آن $p(\beta_i)$ احتمال تقاطع، β_i تفاوت بین توابع هدف والدها و فرزندان، η_c یک عدد ثابت که نشان دهنده تفاوت بین توابع هدف والد و فرزندان است (مقادیر بالاتر η_c احتمال ساختن جواب‌های نزدیک والد را نشان می‌دهد)، u_i یک عدد تصادفی بین [۱و۰] می‌باشد. تفاوت ذکرشده بین والدین و فرزندان توسط **رابطه (۴۶)** محاسبه می‌شود و مقادیر فرزندان توسط **رابطه (۴۷)** محاسبه می‌شود.

$$\beta_i = \left| \frac{x_1^{child} - x_2^{child}}{x_1^{parent} - x_2^{parent}} \right|. \qquad (۴۶)$$

$$\begin{aligned} x_1^{child} &= 0.5[\ 1 + \beta_i)x_1^{parent} + \ 1 - \beta_i)x_2^{parent}. \\ x_2^{child} &= 0.\ \ 1 - \beta_i)x_1^{parent} + \ 1 + \beta_i)x_2^{parent}. \\ x_2^{child} &= 0.5[\ 1 - \beta_i)x_1^{parent} + \ 1 + \beta_i)x_2^{parent}. \end{aligned} \qquad (۴۷)$$

به‌طوری‌که x_1^{child} و x_2^{child}، ارزش کروموزوم‌های فرزند اول و دوم و هم‌چنین x_1^{parent} و x_2^{parent}، ارزش کروموزوم‌های والد اول و دوم است.

به علت بزرگی فضای جستجو و برای فرار از بهینه‌های محلی از عملگر چندجمله‌ای جهش در این مقاله به‌صورت زیر استفاده‌شده است:

$$\delta_i = \begin{cases} (2r_i)^{\frac{1}{\eta_m+1}} - 1, & if \quad r_i < 0.5, \\ 1 - [2(1-r_i)^{\frac{1}{\eta_m+1}}], & if \quad r_i > 0.5. \end{cases} \qquad (۴۸)$$

به‌طوری‌که δ_i ارزش جهش، r_i یک عدد تصادفی بین [۱و۰] و η_m ثابت توزیع جهش است. پارامتر به‌صورت **رابطه (۴۹)** به ارزش ژن‌های والد اضافه می‌شود.

$$x^{child} = x^{parent} + \delta. \qquad (۴۹)$$

فاصله ازدحام برای هر یک از نقاط پارتو با رتبه r معادل با متوسط اضلاع مستطیل ایجاد شده به‌وسیله عضو قبلی و عضو بعدی است (در فضای دوبعدی تابع هدف).

۲-۴- الگوریتم MOPSO

الگوریتم *PSO*[2] در آغاز توسط ابرهارت و کندی [50] براساس الگوریتم‌هایی که رفتار دسته‌جمعی در آن‌ها مانند پرندگان مشاهده گردید، توسعه شد. در دنیای واقعی، حرکت پرندگان و جستجوی غذا یک سیستم منظم را نشان می‌دهد که در آن هر پرنده موقعیت خود را در بعد زمان بهبود می‌بخشد؛ بنابراین، در یک مساله بهینه‌سازی، موقعیت ذره *ith* (x_i) می‌تواند توسط یک بردار D بعدی نشان داده شده است:

[1] Simulated Binary Crossover (SBX)

[2] Particle Swarm Optimization (PSO)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$x_i[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}] \qquad for \quad i = 1, \dots, N. \tag{۵۰}$$

به‌طوری‌که D تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری و N اندازه دسته می‌باشد. به‌علاوه، بهترین پرنده (با کم‌ترین فاصله از غذا) g_{best} نامیده شده و بهترین موقعیتی که یک پرنده در جهت پیدا کردن غذا پیدا کرده، p_{best} نامیده می‌شود. در گام اول الگوریتم *PSO*، جواب‌های تصادفی x_i با تابع توزیع نرمال، متغیرهای تصمیم‌گیری تولید می‌شود. در مرحله دوم، مقدار تابع هدف برای هر ذره محاسبه‌شده و در حافظه الگوریتم باقی می‌ماند. در مرحله بعد p_{best} و g_{best} با توجه به بهترین موقعیت ذرات و دسته که تاکنون یافت شده است، تخصیص داده می‌شود. در مرحله چهارم، شتاب هر ذره با استفاده

از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$v_{id}^{t+1} = \alpha\left(\omega^t . v_{id}^t + c_1 r_1^t\left(p_{bestj} - x_{id}^t\right) + c_2 r_2^t\ g_{best}\ t) - x_{id}^t)\right) \qquad for \quad i = 1, \dots, N \ \ , d = 1, \dots, D. \tag{۵۱}$$

$$\omega^t = \omega_{\ max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min})t}{iter_{max}}, \tag{۵۲}$$

که در آن v_{id}^{t+1} شناب ذر *ith* برای بعد *dth* در تکرار *t+1th*، α فاکتور انقباض و یک ضریب از پیش تعیین‌شده است و شتاب ذرات را کنترل می‌کند؛ ω^t پارامتر وزن اینرسی در تکرار *tth* می‌باشد. این پارامتر از بیشترین مقدار (ω_{max}) در تکرار اول شروع کرده و با کم‌ترین مقدار در تکرار آخر $iter_{max}$ پیش می‌رود. درواقع، در ابتدای فرآیند، اثر شتاب بیش از تکرارهای بعدی است. c_1 پارامتر فردی و c_2 پارامتر جمعی بوده که سهم p_{best} و g_{best} را مشخص می‌کند و r_1^t و r_2^t اعداد تصادفی بین [۱و۰] در تکرار *tth* است. بنابراین، هر ذره در فضای تصمیم با بردار شتاب حرکت می‌کند. p_{best} عبارت است از بهترین موقعیت ذره *ith* برای بعد *dth* که تاکنون یافت شده و g_{best} عبارت است از بهترین موقعیت دسته برای بعد *dth* که تاکنون یافت شده است. در مرحله بعد، شتاب‌های به‌دست‌آمده توسط حدود پایین (v_{min}) و بالای (v_{max}) شتاب کنترل می‌شوند.

$$v_{min} \le v_{id}^{t+1} \le v_{max}. \tag{۵۳}$$

درنهایت موقعیت ذره توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1}. \tag{۵۴}$$

موقعیت جدید ذره‌ها به‌عنوان ورودی‌های جدید مدل شبیه‌سازی حرکت ذره‌ها در تکرار دوم استفاده‌شده و تابع هدف مجددا محاسبه می‌شود. این فرآیند تا ماکزیمم تعداد تکرارها ادامه می‌یابد. در *PSO* تک هدفه، هر ذره تابع هدف خود را دنبال می‌کند اما در الگوریتم *MOPSO*، باید با حرکت در جهت هر تابع هدف تطبیق پیدا کند. بنابراین، هر ذره در هر دسته p_{best} خود را داشته، اما g_{best} هر دسته توسط g_{best} دسته‌های دیگر برای تکرارهای بعدی جایگزین می‌شود. بنابراین یک آرشیو پویا برای تبادل ذرات تولیدشده در هر تکرار ساخته می‌شود و ذرات با یکدیگر مقایسه شده و جواب‌های غیرمغلوب نگهداری شده و بقیه جواب‌ها در پایان تکرار حذف می‌شوند. با این مکانیزم، در هر تکرار می‌توان به اعضای آرشیو خارجی[1] دسترسی داشت و هم‌چنین سایز آرشیو خارجی به‌صورت پویا تغییر می‌کند. بعد از تکرار *kth*، مقدار تابع برازندگی موقعیت ذره *ith* از **رابطه (۵۵)** حاصل می‌شود.

$$fit\ i,k) = \frac{H(i,k)}{density(i,k)}, \tag{۵۵}$$

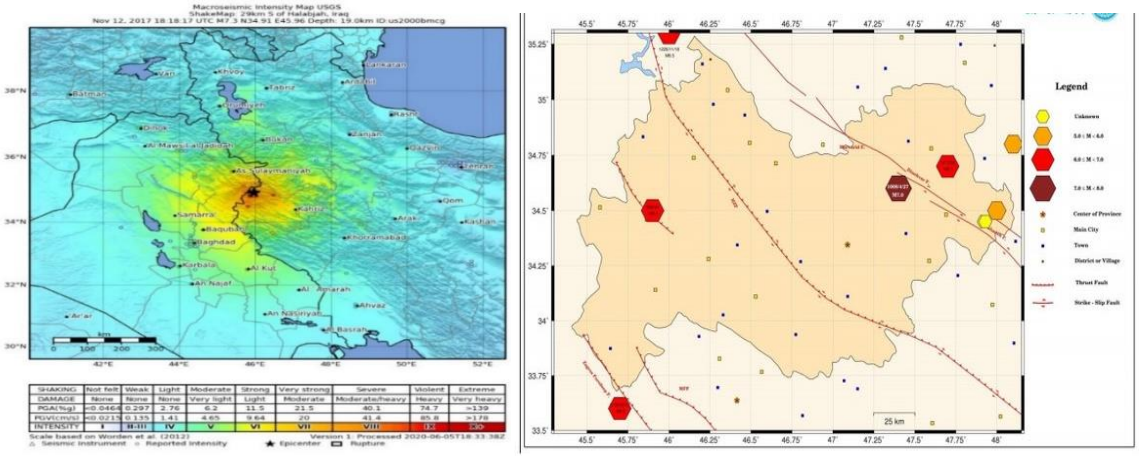
که در آن $H(I, k)$ تعداد ذرات مغلوب شده توسط ذره *ith* در تکرار *kth* $density(i, k)$ تعداد ذرات مشابه با ذره iام در تکرار *kth* می‌باشد. معمولا بیشترین مقدار تابع برازندگی، نشان دهنده موقعیت بهتر ذره است. در ابتدا، موقعیت اولیه هر ذره را به‌عنوان p_{best} تنظیم می‌شود. در تکرارهای بعدی، اگر موقعیت فعلی ذره *i* بر p_{best} غلبه کند، موقعیت فعلی جایگزین می‌گردد؛ در غیر این صورت، p_{best} ذره *i* بدون تغییر باقی می‌ماند. اگر ارتباط غلبه بودن جود نداشته باشد، مقادیر تابع برازندگی آن‌ها محاسبه می‌شود و موقعیت با مقدار بیشتر به‌عنوان p_{best} انتخاب خواهد شد. درنهایت اگر مقادیر برازندگی نیز برابر شد، به‌طور تصادفی یکی از آن‌ها به‌عنوان p_{best} انتخاب می‌شود. برای تولید راه‌حل اولیه الگوریتم *MOPSO* و *NSGA-II* از مطالعات و قرایی و همکاران [51] بهره گرفته شده است.

[1] External Archive (EA)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی تشریح شد، مطالعه موردی این پژوهش زلزله کرمانشاه می‌باشد. زمین‌لرزه ۱۳۹۶ ایران-عراق به بزرگی ۷٫۳ در مقیاس بزرگای گشتاوری شامگاه یکشنبه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ در نزدیکی ازگله، استان کرمانشاه در نزدیکی مرز ایران و عراق، در ۳۲ کیلومتری جنوب غربی شهر حلبچه عراق رخ داد. تعداد کشته‌ها در ایران به ۶۲۰ نفر رسیده است. بنا بر گزارش‌ها ۹٬۳۸۸ نفر نیز مصدوم شده‌اند. بیشترین آمار کشته‌ها و زخمی‌ها از شهرهای قصر شیرین، سرپل ذهاب و ثلاث باباجانی گزارش شده‌اند. براثر این زلزله برخی از منازل دچار خسارت‌های مالی شده‌اند. مرکز درمانی سرپل ذهاب نیز تخریب شد. در **شکل ۳** نقشه گسل‌های منطقه موردمطالعه و هم‌چنین کانون زلزله موردبررسی به تصویر کشیده شده است.



شکل ۳- نقشه منطقه موردمطالعه.

Figure 3- Map of the studied area.

۵- یافته‌ها

در این تحقیق، چهار سناریو تعریف شده است که در **جدول ۲** مشاهده می‌شود. احتمال سناریوهایی که در عدم قطعیت رخ می‌دهند، برای حالت زلزله بر اساس مقاله صالحی و همکاران [52] که طول گسل را مبنای محاسبه احتمال می‌دانند، درصد احتمال‌ها محاسبه گردید. به‌عبارت‌دیگر هر سناریو بیانگر درجه وقوع زلزله با فعال شدن هریک از گسل‌های موردبررسی در استان کرمانشاه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- سناریوها و احتمال وقوع آن‌ها.

Table 2- Scenarios and their probability of occurrence.

شماره سناریو	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم
شرایط	گسل زاگرس	گسل پیشانی	گسل صحنه	گسل مروارید
احتمال وقوع	29.3%	20.3%	11.3%	6.4%

مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه، حل‌شده است. در الگوریتم ژنتیک چندهدفه، تعداد تکرار ۲۵۰، تعداد جمعیت اولیه (در این الگوریتم تعداد اعضای پارتو فرانت اول) ٦۰، مقدار تقاطع برابر با ۰/۳ و میزان جهش برابر با ۰/۱ درنظر گرفته‌شده است. در الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه، مقدار جمعیت اولیه و مقدار اعضای موجود در خزانه نامغلوب ٦۰، تعداد تکرار ۲۵۰، ضریب اینرسی درحرکت ذرات ۰/٤، ضریب یادگیری جمعی ۲ و ضریب یادگیری فردی ۱ درنظر گرفته‌شده است. مقادیر توابع هدف برای مطالعه موردی پژوهش، با استفاده از دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه در **جدول ۳** ارایه شده است. گفتنی است، از آن‌جاکه در مدل قطعی، مقادیر مختلف رخداد سناریوها محاسبه شده است، مقادیر توابع هدف به ازای هر یک از این مقادیر در جدول درج‌شده است.

مقادیر توابع هدف (**جدول ۳**) درواقع یکی از دسته جواب‌های پارتو است که با استفاده از الگوریتم‌های یادشده به‌دست آمده است. توضیح اینکه جواب به‌دست‌آمده، نزدیک‌ترین جواب به جواب بهینه است. هم‌چنین **جدول ٤**، مقادیر سه تابع هدف را به ازای مقادیر مختلف سناریوها نشان داده است. این مقادیر با استفاده از روش محدودیت اپسیلون به‌دست آمده‌اند. **شکل ٤** نیز بیانگر نمایش گرافیکی جواب‌های کارای مساله حل‌شده به روش محدودیت اپسیلون می‌باشد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

دوره ۱۰، شماره ۱، (۱۳۹۳)
صفحه:۶۳-۴۲

جدول ۳- مقادیر توابع هدف به ازای حل با الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه.

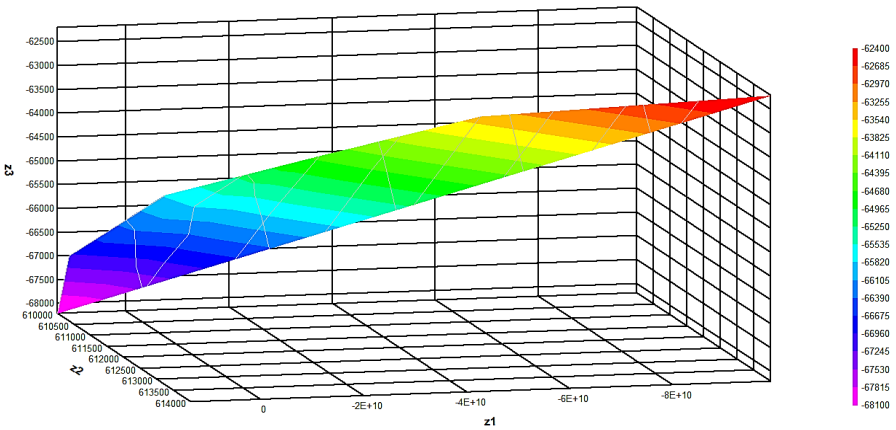
Table 3- Values of objective functions for solving with multi-objective genetic algorithm and multi-objective particle swarm.

الگوریتم	شماره سناریو	تابع هدف اول (ریال)	تابع هدف دوم (روز)	تابع هدف سوم (ریال)
الگوریتم ژنتیک	سناریو اول	425437059304	21	1022147410
چندهدفه	سناریو دوم	419885057746	18	1019635474
	سناریو سوم	418392209557	14	1017496583
	سناریو چهارم	4067140733666	10	1003967851
ازدحام ذرات	سناریو اول	429717075309	22	10356998454
چندهدفه	سناریو دوم	429037435022	17	1023785965
	سناریو سوم	419295189757	11	1014789652
	سناریو چهارم	4036496485566	9	100098556324

جدول ۴- مقادیر توابع هدف مقادیر با استفاده از روش محدودیت اپسیلون.

Table 4- Values of the objective functions using the epsilon constraint method.

شماره سناریو	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم
سناریو اول	442517075148	19	993564182
سناریو دوم	435695435086	15	964157486
سناریو سوم	425869189714	14	953698423
سناریو چهارم	41525448028	10	947863954



شکل ۴- نمایش گرافیکی جواب‌های کارای مساله.

Figure 4- Graphic representation of efficient solutions to the problem.

جدول ۴- نتایج حل مدل با تابع هدف سوم.

Table 4- The results of solving the model with the third objective function.

سناریو	وضعیت بازسازی منازل	درصد خانه‌های بازسازی‌شده	تسهیلات اعطایی
		واحد	میلیون ریال
اول	تکمیل‌شده	64	963
	تکمیل‌نشده	36	252
دوم	تکمیل‌شده	67	963
	تکمیل‌نشده	33	525
سوم	تکمیل‌شده	58	963
	تکمیل‌نشده	42	252
چهارم	تکمیل‌شده	61	963
	تکمیل‌نشده	39	252

Archive of SID.ir

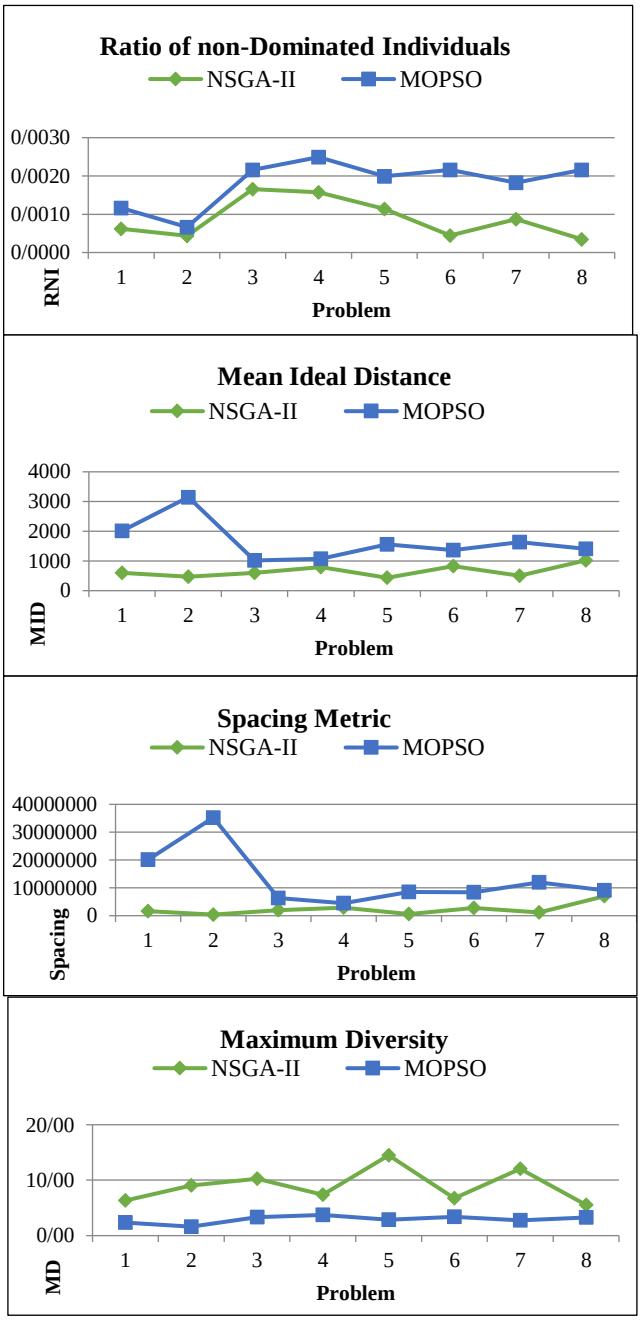
Archive of SID.ir

در ادامه برای بررسی کارایی الگوریتم‌های مورد استفاده، مقایسه نتایج برای دو الگوریتم فوق اعمال می‌شود و نتایج در **جدول ۵** و **شکل ۵** ارایه شده است. بر اساس شاخص *RNI*، الگوریتم *MOPSO* عملکرد بهتری در اندازه‌های مختلف دارد. ازلحاظ معیار *MID*، الگوریتم *NSGA-II* به طور نسبی راه‌حل قابل قبولی نسبت به *MOPSO* ارایه داده است. برحسب معیار فاصله *SP*، الگوریتم با مقادیر کوچک‌تر پراکندگی بهتری روی جبهه پارتو دارد، ازاین‌رو *NSGA-II* عملکرد بهتری دارد اما در حضور جستجوی محلی، این معیار برای الگوریتم *MOPSO* بهبودیافته است. درنهایت *MOPSO* قادر به تولید راه‌حل بهتر از الگوریتم *NSGAII* در رابطه با معیار *MD* است که گستره پاسخ‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها.

Table 5- Algorithm performance comparison.

سناریو	MOPSO				NSGA-II			
	RNI	MID	SP	MD	RNI	MID	SP	MD
S1	0.0011	2008	3.173	2.56	0.0005	547	16758	6.30
S2	0.0006	3145	41237	1.74	0.0003	548	39556	9.00
S3	0.0021	1014	58988	3.28	0.0016	596	25928	10.25
S4	0.0024	1054	52823	3.86	0.0015	625	27467	7.35



شکل ۵- نمودار معیارهای عملکردی هر یک از الگوریتم‌ها.

Figure 5- Performance criteria diagram of each algorithm.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، مدل ارایه‌شده برای طراحی شبکه لجستیک بشردوستانه جهت افزایش هماهنگی با سه هدف متفاوت مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. اجرای این مطالعه منجر به کاهش هزینه‌های مکان‌یابی-مسیریابی و بازسازی در زنجیره تامین بشردوستانه و هم‌چنین کاهش زمان امدادرسانی به افراد آسیب‌دیده و افزایش رضایت‌مندی آنان خواهد شد. هم‌چنین می‌توان به کمک این مساله موجودی محصولات امدادی را کاهش داد. برنامه‌ریزی مناسب در فرایندهای لجستیک بشردوستانه به‌خصوص در فاز بازسازی با توجه به بودجه محدود دولت‌ها و استفاده مناسب از منابع خواهد شد. هم‌چنین جریان اقلام امدادی در میان منابع و بازیگران سیستم مانند افراد آسیب دیده، امدادگران و ناوگان حمل متعادل خواهد شد. در دنیای واقعی، عوامل مختلف مانند افراد آسیب دیده، دولت‌ها، خیرین و سازمان‌های امداد رسان ممکن است اهداف متضاد مختلفی داشته باشند و منافع همه اعضای زنجیره‌تامین باید موردتوجه قرار گیرد. به‌عنوان‌مثال، در این مطالعه، کاهش کل زمان امدادرسانی منجر به افزایش هزینه توزیع اقلام امدادی و بالعکس می‌شود، و یا افزایش درصد مسکن‌های بازسازی‌شده منجر به افزایش هزینه‌های دولت خواهد شد، بنابراین تعادل بین اهداف موردنیاز است. لذا بازیگران اصلی سیستم‌های بشردوستانه به‌خصوص دولت‌ها می‌توانند یک هدف از اهداف سه‌گانه تدوین‌شده را به‌عنوان هدف اصلی انتخاب کنند و اهداف دیگر را به‌عنوان محدودیت در نظر بگیرند.

به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی مدل ریاضی، الگوریتم *MOPSO* با الگوریتم *NSGA-II* در آزمایش‌های عددی مقایسه و برای ارزیابی راه‌حل‌ها، برخی از معیارهای عملکرد برای مسایل چندهدفه استفاده شد. نتایج نشان داد عملکرد *NSGA-II* بالاتر است. هم‌چنین برای حل مدل توسعه داده شده، از روش اپسیلون محدودیت استفاده شده است که یکی از روش‌های حل مسایل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه بوده و قادر است در تعامل با تصمیم‌گیرنده، ترجیحات او را در انتخاب جواب نهایی درنظر بگیرد. خروجی این روش، به‌جای یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌های کارا خواهد بود که تصمیم‌گیرنده را قادر خواهد ساخت تا با درنظرگیری اولویت‌های خود در خصوص توابع هدف مختلف و درنظرگیری شرایط حاکم بر سازمان در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی، یکی از مجموعه جواب‌های ممکن را انتخاب نماید. به‌عنوان‌مثال، مدیران سازمان‌های امدادرسان متوجه خواهند شد که تا چه اندازه از مقدار بهینه هزینه‌های امدادرسانی و مسیریابی-مکان‌یابی فاصله بگیرند تا در مقابل ترجیحات افراد آسیب‌دیده جهت بازسازی زیرساخت‌های آسیب‌دیده را بیش‌تر تامین نمایند و یا زمان امدادرسانی را کاهش دهند. پس از انتخاب جواب مربوطه (مقادیر توابع هدف)، مجموعه‌جواب‌های بهینه برای هریک از متغیرهای تصمیم که مقدار تابع هدف مربوطه را شکل داده‌اند، قابل استحصال و استفاده خواهند بود.

با توجه به نتایج درج‌شده در **جدول‌های ۲** و **۳**، در میان سه تابع هدف درنظر گرفته‌شده، تابع هدف اول کم‌ترین حساسیت را نسبت به تغییرات سایر توابع هدف نشان داده است اما تابع هدف سوم (هزینه بازسازی) شدیدا تحت تاثیر این تغییرات بوده است به‌طوری‌که در طیف سوددهی تا زیانکاهی دولت متغیر بوده است. این موضوع پیشرانه‌ای برای تعریف تحقیقات آتی به شمار می‌رود تا ضمن درنظرگیری عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مدل، به بررسی حالات مختلف و توصیه به مدیران سازمان‌های امدادرسان در فاز بعد از حادثه ازجمله بنیاد مسکن، بانک‌های اعطاکننده تسهیلات بازسازی و دولت در خصوص انتخاب جواب‌های ممکن بر اساس ریسک ضرر دهی یا شانس سوددهی جهت بازسازی در مقادیر مختلف بپردازد. از آن‌جاکه مسایل مربوط به تصمیم‌گیری یکپارچه مسیریابی-مکان‌یابی زنجیره‌بافی بشردوستانه و مدل‌های مربوط به آن از تنوع بالایی برخوردار است. ازاین‌رو با به‌کارگیری فرضیات جدید می‌توان مدل‌های پیشین را توسعه داد و به دنیای واقعی نزدیک‌تر کرد. به‌منظور بهبود این تحقیق می‌توان موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. تمام پارامترهای مدل این پژوهش، قطعی درنظر گرفته‌شده‌اند، این در حالی است که در عمل برخی از پارامتر (ازجمله زمان امدادرسانی و ماهیت بازسازی از منظر زمانی) ماهیت غیرقطعی دارند. لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی با رویکردهای بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت (مثل برنامه‌ریزی استوار) این مهم درنظر گرفته شود.
۲. استفاده از سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری جهت حل مدل ارایه‌شده و مقایسه با روش پیشنهادی.
۳. درنظر گرفتن چندین دوره زمانی برای مساله بازسازی زیرساخت‌های آسیب‌دیده.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سردبیر و داورهای محترم برای مطالعه و کمک به پروراندن مقاله تشکر کنند. نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی که بر نتیجه پژوهش و تفسیر یافته‌ها تاثیرگذار بوده، وجود نداشته است. داده‌های مقاله نیز در صورت نیاز تقدیم خواهد گردید.

منابع

[1] Yadav, D. K., & Barve, A. (2018). Segmenting critical success factors of humanitarian supply chains using fuzzy DEMATEL. *Benchmarking*, *25*(2), 400–425. DOI:10.1108/BIJ-10-2016-0154

[2] Moghadam, M. R. S., Sahebi, I. G., Masoomi, B., Azzavi, M., Anjomshoae, A., Banomyong, R., & Ractham, P. (2022). Modeling IoT enablers for humanitarian supply chains coordination. *Proceedings of the international conference on electronic business (iceb)*, *22*, 315–322.

[3] Mozaffari, M. M., & Ajalli, M. (2018). Critical success factors for information technology implementation in humanitarian supply chain management. *Business intelligence management studies*, *6*(23), 5–32.

[4] Sahebi, I. G., Masoomi, B., & Ghorbani, S. (2020). Expert oriented approach for analyzing the blockchain adoption barriers in humanitarian supply chain. *Technology in society*, *63*, 101427. DOI:10.1016/j.techsoc.2020.101427

[5] Damoah, I. S. (2022). Exploring critical success factors (CSFs) of humanitarian supply chain management (HSCM) in flood disaster management (FDM). *Journal of humanitarian logistics and supply chain management*, *12*(1), 129–153. DOI:10.1108/JHLSCM-01-2021-0003

[6] Thomas, A., & Kopczak, L. R. (2007). Life-saving supply chains: Challenges and the path forward. In *Building supply chain excellence in emerging economies* (pp. 93–111). Springer.

[7] Vahanvati, M., & Mulligan, M. (2017). A new model for effective post-disaster housing reconstruction: Lessons from Gujarat and Bihar in India. *International journal of project management*, *35*(5), 802–817. DOI:10.1016/j.ijproman.2017.02.002

[8] Peyravi, M., & Ahmadi Marzaleh, M. (2020). The effect of the US Sanctions on humanitarian Aids during the great flood of Iran in 2019. *Prehospital and disaster medicine*, *35*(2), 233–234. DOI:10.1017/S1049023X20000242

[9] Farahani, H., Hajipoor, M., & others. (2012). Evolution of the process of the rural settlement recovery damaged of the Silakhor in the province of the Lorestan. *Rural research*, *3*(9), 93–117.

[10] Menth, M., & Stamm, J. L. H. (2015). An agent-based modeling approach to improve coordination between humanitarian relief providers. *2015 winter simulation conference (wsc)* (pp. 3116–3117). IEEE.

[11] Jalali, R., Balouei Jamkhaneh, H., & Shahin, R. (2021). Analyzing the barriers and coordination enablers of logistics operations in the humanitarian supply chain. *Production and operations management*, *12*(4), 41–62.

[12] Hatami-Marbini, A., Varzgani, N., Sajadi, S. M., & Kamali, A. (2022). An emergency medical services system design using mathematical modeling and simulation-based optimization approaches. *Decision analytics journal*, *3*, 100059.

[13] Ghasemian Sahebi, I., Toufighi, S. P., Azzavi, M., Masoomi, B., & Maleki, M. H. (2023). Fuzzy ISM–dematel modeling for the sustainable development hindrances in the renewable energy supply chain. *International journal of energy sector management*, *18*(1), 43-70. DOI:10.1108/ijesm-05-2022-0024

[14] Zhang, W., & Wang, N. (2016). Resilience-based risk mitigation for road networks. *Structural safety*, *62*, 57–65. DOI:10.1016/j.strusafe.2016.06.003

[15] Frangopol, D. M., & Bocchini, P. (2011). Resilience as optimization criterion for the rehabilitation of bridges belonging to a transportation network subject to earthquake. In *Structures congress 2011* (pp. 2044-2055). American society of civil engineers. https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41171(401)178

[16] Sahebi, I. G., Mosayebi, A., Masoomi, B., & Marandi, F. (2022). Modeling the enablers for blockchain technology adoption in renewable energy supply chain. *Technology in society*, *68*, 101871. DOI:10.1016/j.techsoc.2022.101871

[17] Li, C., Zhang, F., Cao, C., Liu, Y., & Qu, T. (2019). Organizational coordination in sustainable humanitarian supply chain: An evolutionary game approach. *Journal of cleaner production*, *219*, 291–303. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.01.233

[18] Bocchini, P., Frangopol, D. M., Ummenhofer, T., & Zinke, T. (2014). Resilience and sustainability of civil infrastructure: Toward a unified approach. *Journal of infrastructure systems*, *20*(2), 4014004.

[19] Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., & Ramirez, M. (2010). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International journal of production economics*, *126*(1), 22–34.

[20] Baharmand, H., Saeed, N., Comes, T., & Lauras, M. (2021). Developing a framework for designing humanitarian blockchain projects. *Computers in industry*, *131*, 103487.

[21] 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*, *33*(21), 14283–14309. DOI:10.1007/s00521-021-06074-8

[22] Khorsi, M., Chaharsooghi, S. K., Bozorgi-Amiri, A., & Kashan, A. H. (2020). A multi-objective multi-period model for humanitarian relief logistics with split delivery and multiple uses of vehicles. *Journal of systems science and systems engineering*, *29*(3), 360–378. DOI:10.1007/s11518-019-5444-6

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[23] Ghasemi, P., Goodarzian, F., Muñuzuri, J., & Abraham, A. (2022). A cooperative game theory approach for location-routing-inventory decisions in humanitarian relief chain incorporating stochastic planning. *Applied mathematical modelling*, *104*, 750–781. DOI:10.1016/j.apm.2021.12.023

[24] Setiawan, E., Liu, J., & French, A. (2019). Resource location for relief distribution and victim evacuation after a sudden-onset disaster. *IISE transactions*, *51*(8), 830–846. DOI:10.1080/24725854.2018.1517284

[25] Esmaeeli Kakhaki, F., Naji Azimi, Z., Pooya, A., & Tavakoli, A. (2020). A new stochastic model for emergency location problem with minimax regret model (Case Study: Mashhad). *Journal of industrial management perspective*, *10*(2), 161–191.

[26] Sahebi, I. G., Masoomi, B., Ghorbani, S., & Uslu, T. (2019). Scenario-based designing of closed-loop supply chain with uncertainty in returned products. *Decision science letters*, *8*(4), 505–518. DOI:10.5267/j.dsl.2019.4.003

[27] Loree, N., & Aros-Vera, F. (2018). Points of distribution location and inventory management model for post-disaster humanitarian logistics. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, *116*, 1–24. DOI:10.1016/j.tre.2018.05.003

[28] Sun, H., Li, J., Wang, T., & Xue, Y. (2022). A novel scenario-based robust bi-objective optimization model for humanitarian logistics network under risk of disruptions. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, *157*, 102578.

[29] Nezhadroshan, A. M., Fathollahi-Fard, A. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2021). A scenario-based possibilistic-stochastic programming approach to address resilient humanitarian logistics considering travel time and resilience levels of facilities. *International journal of systems science: operations & logistics*, *8*(4), 321–347.

[30] Baharmand, H., Vega, D., Lauras, M., & Comes, T. (2022). A methodology for developing evidence-based optimization models in humanitarian logistics. *Annals of operations research*, *319*, 1197–1229. https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-022-04762-9

[31] Faiz, T. I., & Vogiatzis, C. (2022). *A robust optimization framework for two-echelon vehicle and UAV routing for post-disaster humanitarian logistics operations.* https://arxiv.org/pdf/2207.11879

[32] Ghaffarian, S., Roy, D., Filatova, T., & Kerle, N. (2021). Agent-based modelling of post-disaster recovery with remote sensing data. *International journal of disaster risk reduction*, *60*, 102285. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102285

[33] Fathalikhani, S., Hafezalkotob, A., & Soltani, R. (2020). Government intervention on cooperation, competition, and coopetition of humanitarian supply chains. *Socio-economic planning sciences*, *69*, 100715.

[34] Muggy, L., & Stamm, J. L. H. (2020). Decentralized beneficiary behavior in humanitarian supply chains: Models, performance bounds, and coordination mechanisms. *Annals of operations research*, *284*(1), 333–365.

[35] Dubey, R., Altay, N., & Blome, C. (2019). Swift trust and commitment: The missing links for humanitarian supply chain coordination? *Annals of operations research*, *283*(1), 159–177.

[36] John, L., Gurumurthy, A., Soni, G., & Jain, V. (2019). Modelling the inter-relationship between factors affecting coordination in a humanitarian supply chain: a case of Chennai flood relief. *Annals of operations research*, *283*(1), 1227–1258.

[37] Kamyabniya, A., Lotfi, M. M., Cai, H., Hosseininasab, H., Yaghoubi, S., & Yih, Y. (2019). A two-phase coordinated logistics planning approach to platelets provision in humanitarian relief operations. *IISE transactions*, *51*(1), 1–21.

[38] Nikkhoo, F., & Bozorgi-Amiri, A. (2018). A procurement-distribution coordination model in humanitarian supply Chain using the information-sharing mechanism. *International journal of engineering*, *31*(7), 1057–1065.

[39] Bertazzo, T. R., Leiras, A., Yoshizaki, H. T. Y., & Sauaia, A. C. A. (2018). Coordination mechanisms in humanitarian operations management: a conceptual model of a simulator and a proposal for a humanitarian logistics game. *Management & production*, *25*, 219–232.

[40] Dubey, R., Luo, Z., Gunasekaran, A., Akter, S., Hazen, B. T., & Douglas, M. A. (2018). Big data and predictive analytics in humanitarian supply chains: enabling visibility and coordination in the presence of swift trust. *The international journal of logistics management*, *29*(2), 485-512. https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2017-0039

[41] Opdyke, A., Lepropre, F., Javernick-Will, A., & Koschmann, M. (2017). Inter-organizational resource coordination in post-disaster infrastructure recovery. *Construction management and economics*, *35*(8–9), 514–530.

[42] Octavia, T., Halim, C., A Widyadana, I. G., & Palit, H. (2016). Coordination of humanitarian logistic model plan for natural disaster in East Java, Indonesia. *International journal of supply chain management*, *5*(4), 52–60.

[43] Suárez-Moreno, J. D., Osorio-Ramírez, C., & Adarme-Jaimes, W. (2016). Agent-based model for material convergence in humanitarian logistics. *Revista facultad de ingeniería universidad de antioquia*, (81), 24–34. https://www.redalyc.org/pdf/430/43048640002.pdf

[44] Al Theeb, N., & Murray, C. (2017). Vehicle routing and resource distribution in postdisaster humanitarian relief operations. *International transactions in operational research*, *24*(6), 1253–1284.

[45] Du, L., & Peeta, S. (2014). A stochastic optimization model to reduce expected post-disaster response time through pre-disaster investment decisions. *Networks and spatial economics*, *14*(2), 271–295.

[46] Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of operations management*, *31*(5), 262–280.

[47] Alaedini, P., Farzizadeh, Z., Azizimehr, K., & Yeganeh, N. (2021). Post-disaster reconstruction and local development: some challenges in earthquake-stricken areas of Iran's Kermanshah province. *Community development (rural and urban communities)*, *12*(2), 619–642.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[48] Agapitos, A., & Lucas, S. M. (2007). Evolving modular recursive sorting algorithms. In *Genetic programming* (pp. 301–310). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-71605-1_28#citeas

[49] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, *6*(2), 182–197. DOI:10.1109/4235.996017

[50] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - international conference on neural networks* (pp. 1942–1948). IEEE. DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968

[51] Gharaei, A., Pasandideh, S. H. R., & Akhavan Niaki, S. T. (2018). An optimal integrated lot sizing policy of inventory in a bi-objective multi-level supply chain with stochastic constraints and imperfect products. *Journal of industrial and production engineering*, *35*(1), 6–20. DOI:10.1080/21681015.2017.1374308

[52] Salehi, F., Mahootchi, M., & Husseini, S. M. M. (2019). Developing a robust stochastic model for designing a blood supply chain network in a crisis: a possible earthquake in Tehran. *Annals of operations research*, *283*(1–2), 679–703. DOI:10.1007/s10479-017-2533-0

Archive of SID.ir