Ind. Manag. Persp. 2024, 14(1), 57-90; doi: 10.48308/JIMP.14.1.57

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Review Article

A Review of Articles on the Location of Humanitarian Logistics Facilities

Karim Arasteh*
Rouzbeh Ghousi**
Ahmad Makui***

Abstract

Introduction: Despite significant technological advancements, today's world still grapples with various natural and man-made disasters, such as earthquakes, floods, hurricanes, avalanches, wars, terrorism, and political unrest. These events not only impede sustainable development but can also cause severe and sometimes irreparable damage to the well-being and prosperity of communities. This necessitates an integrated logistics system, scientifically and comprehensively designed to meet crisis management needs. Such a system must have clear, predefined processes where all components function according to predetermined roles. Providing aid to disaster victims is a crucial stage of crisis management that must be planned before the occurrence of an event. Timely and efficient aid significantly reduces human and financial losses. Therefore, appropriate pre-crisis planning is essential to avoid being caught unprepared during natural disasters. Humanitarian logistics (HL) is one of the most critical issues in disaster operations and management. HL operations must be sustainable enough to function effectively under the uncertain and complex nature of disasters and crises. Many challenges in pre- and post-disaster phases lead to human and economic losses, making efficient design of HL operations essential. This study reviews articles published between 2004 and 2023 to examine optimization models for locating humanitarian logistics facilities and centers. The purpose is to understand current research trends in HL, particularly the optimization methods used for facility location, and to provide directions for future research.

Received: Aug. 18, 2023; Revised: Nov. 13, 2023; Accepted: Feb. 13, 2024; Published Online: Mar. 03, 2024.

* Ph.D. student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

** Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Corresponding author, Email: ghousi@iust.ac.ir

*** Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran .

Ind. Manag. Persp. 2024, 14(1), 57-90; doi: 10.48308/JIMP.14.1.57

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Review Article

Methods: To gain an overview of the research landscape and identify relevant articles and key researchers, the Web of Science database was used to search for pertinent keywords. This study includes all types of facility location problems and classifies the reviewed articles into deterministic and non-deterministic models. In the deterministic models table, the type of objective function, decision variables, model type, and solution methods are detailed. For non-deterministic models, the study focuses on stochastic programming and robust optimization approaches. The non-deterministic models table includes the type of objective function, decision variables, non-deterministic parameters, type of uncertainty, model type, and solution methods.

Results and discussion: The review identified 19 factors contributing to the decline of companies, from the 22 factors previously identified in the literature. Factors such as "market monopoly status," "oversupply," and "lack of cooperation culture among employees and managers" were excluded due to their lower importance, as determined by experts. For these identified factors, 32 localized and new strategies were determined and categorized into six groups: financial and economic strategies; marketing and customer orientation; human resources; knowledge-based strategies; structure and interactions; and production and operations efficiency. The hierarchical interpretive structural model of revitalization strategies indicates that these strategies are interdependent, helping and facilitating each other. Effective implementation should start from the lowest level of the model. Notably, although the strategies are categorized, the model shows that it is unnecessary to focus on all strategies within a single category simultaneously. Instead, the hierarchy clearly demonstrates the priority order from the bottom up and across different categories.

Conclusions: Reviving declining and bankrupt small and medium-sized companies, particularly in the food industry, is not a one-dimensional process and does not have a single strategy. Instead, it requires a combination of six strategy categories: financial and economic; marketing and customer orientation; human resources; knowledge-based strategies; structure and interactions; and production and operations efficiency. The revival process must be systematic, continuous, and gradual. This study can help researchers understand current optimization trends in HL and identify research gaps to contribute to societal well-being through their research.

Keywords: Earthquake; Humanitarian logistics; Location; Location Facility; Transfer Point.

How to Cite: Arasteh, Karim; Ghousi, Roozbeh; Makoie, Ahmad (2024). A Review of Articles on the Location of Humanitarian Logistics Facilities. *Ind. Manag. Persp.*, 14(1), 57-90 *(In Persian)*.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۵۷ – ۹۰، doi: 10.48308/JIMP.14.1.57

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: مروری

مروری بر مقالات مکان‌یابی تسهیلات لجستیک بشردوستانه

کریم آراسته

روزبه قوسی

احمد ماکوئی

چکیده

مقدمه و اهداف: علی‌رغم پیشرفت‌های قابل‌توجه فناوری، دنیای امروز هنوز هم درگیر انواع بلایای طبیعی و انسان‌ساز (مانند زلزله، سیل، طوفان، بهمن، جنگ، تروریسم، ناآرامی‌های سیاسی و غیره) است که نه‌تنها روند توسعه پایدار را کاهش می‌دهد، بلکه در صورت غفلت می‌تواند صدمات فاجعه‌بار و گاه جبران‌ناپذیری به رفاه یک جامعه وارد کند. این موضوع به یک سیستم یکپارچه لجستیک که به‌صورت علمی و جامع طراحی‌شده است، نیاز دارد تا نیازهای مدیریت بحران را برطرف کند؛ سیستمی با فرآیندهای واضح و ازپیش‌تعریف‌شده که در آن همه اجزا دارای عملکردهای ازپیش‌تعیین‌شده هستند. امدادرسانی به آسیب‌دیدگان یکی از مهم‌ترین مراحل مدیریت بحران است که باید پیش از رخداد حادثه برای آن برنامه‌ریزی کرد؛ زیرا امدادرسانی به‌موقع و بهره‌ور خسارات جانی و مالی را به‌شدت کاهش خواهد داد. برای عدم‌غافلگیری در زمان بحران‌های طبیعی، باید برنامه‌ریزی‌های مناسب از قبل و در شرایط معمول انجام گیرد. یکی از مسائل حیاتی در زمان بحران، کمک‌رسانی سریع و به‌موقع است. تدارکات بشردوستانه یکی از مهم‌ترین مسائل عملیات و مدیریت بلایا محسوب می‌شود. این در حالی است که عملیات موردنیاز برای تدارکات بشردوستانه باید به اندازه کافی پایدار باشد تا تحت ماهیت نامشخص و پیچیده فاجعه و بحران به‌خوبی عمل کند. بسیاری از مشکلات در مراحل قبل و بعد از بحران، خسارات انسانی و اقتصادی را به همراه دارد و درعمل اطمینان از طراحی کارآمد عملیات تدارکات بشردوستانه ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی پیش از بحران و همچنین فرآیند بهینه‌سازی ریاضی برای مکان‌یابی تسهیلات و مراکز امداد، مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ برای بررسی مدل‌های بهینه‌سازی در زمینه تدارکات بشردوستانه بررسی شده است. هدف پژوهش آشنایی با روند پژوهش‌های فعلی تدارکات بشردوستانه، به‌ویژه مسئله بهینه‌سازی مورداستفاده برای دستیابی به اهداف مختلف بخش مکان‌یابی تسهیلات تدارکات بشردوستانه و ارائه برای پژوهش‌های آتی است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳.

* دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

** دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: Email: ghousi@iust.ac.ir

*** استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۵۷ – ۹۰، doi: 10.48308/JIMP.14.1.57

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: مروری

روش‌ها: برای دستیابی به یک دید کلی در حوزه‌های پژوهشی و اطلاع از اینکه چه مقالاتی در این زمینه وجود دارد و چه کسانی در این حوزه پژوهش داشته‌اند و اطلاعات جامع‌تر دیگر، با استفاده از سایت Web of Science، کلیدواژه‌هایی که در این پژوهش مدنظر است، جست‌وجو شد. در مورد مسائل مکان‌یابی تسهیلات، تمامی انواع مسئله مکان‌یابی تسهیلات موردمطالعه قرار گرفته و در این مطالعه سعی شده است که مقالات موردبررسی در دو دسته مسائل با مدل‌های قطعی و غیرقطعی طبقه‌بندی شوند.

یافته‌ها: در جدول مدل‌های قطعی، نوع تابع هدف، متغیرهای تصمیم‌گیری، نوع مدل و روش‌های حل گنجاند ه‌شده است. در مدل‌های غیرقطعی، این مطالعه بیشتر رویکردهای برنامه‌ریزی تصادفی و بهینه‌سازی قوی را تحت پوشش قرار می‌دهد؛ همچنین در جدول مدل‌های غیرقطعی، نوع تابع هدف، متغیرهای تصمیم‌گیری، پارامترهای غیرقطعی مدل، نوع عدم‌قطعیت، نوع مدل و روش‌های حل گنجانده شده است. با توجه به مقالات مرورشده و همچنین با مراجعه به جدول مرور مبانی نظری ارائه‌شده می‌توان به نکاتی که به آن‌ها پرداخته نشده یا کمتر پرداخته شده است، دست یافت.

نتیجه‌گیری: درنهایت می‌توان نتیجه گرفت که این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران در درک روند فعلی مسئله بهینه‌سازی در تدارکات بشردوستانه و تکنیک‌های مدل‌سازی مفید باشد. پژوهشگران می‌توانند به‌راحتی خلأ پژوهش را دریابند و از طریق پژوهش‌های خود به جامعه کمک کنند.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی؛ مکان‌یابی تسهیلات؛ نقاط انتقال؛ زلزله؛ تدارکات بشردوستانه.

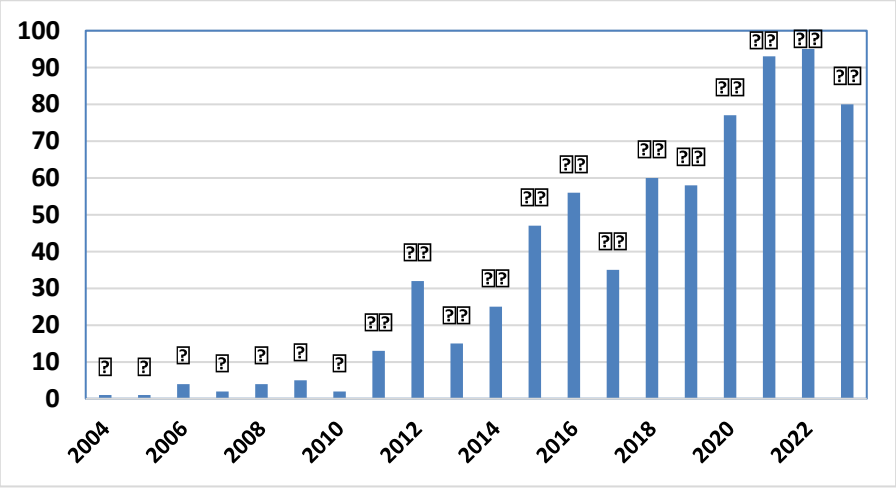
استناددهی: آراسته، کریم؛ روزبه، قوسی؛ ماکوئی، احمد (۱۴۰۳). مروری بر مقالات مکان‌یابی تسهیلات لجستیک بشردوستانه. چشم انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۱)، ۹۰-۵۷.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل‌توجه فناوری، دنیای امروز هنوز هم درگیر انواع بلایای طبیعی و انسان‌ساز (مانند زلزله، سیل، طوفان، بهمن، جنگ، تروریسم، ناآرامی‌های سیاسی و غیره) است که نه‌تنها روند توسعه پایدار را کاهش می‌دهد، بلکه در صورت غفلت می‌تواند صدمات فاجعه‌بار و گاه جبران‌ناپذیری به رفاه یک جامعه وارد کند. این موضوع به یک سیستم یکپارچه لجستیک که به‌صورت علمی و جامع طراحی شده است، نیاز دارد تا نیازهای مدیریت بحران را برطرف کند؛ سیستمی با فرآیندهای واضح و ازپیش‌تعریف‌شده که در آن همه اجزا دارای عملکردهای ازپیش‌تعیین‌شده هستند [۲]. مدیریت بلایا را می‌توان به‌طورکلی به چهار مرحله تقسیم کرد: پیشگیری؛ آمادگی؛ واکنش و بهبود. مرحله پیشگیری شامل اقداماتی است که قبل از رویداد برای کاهش یا حذف احتمال آن یا کاهش اثرات نامطلوب آن انجام می‌شود. مرحله آمادگی شامل گام‌هایی است که قبل از وقوع حادثه (مانند جمع‌آوری داده‌ها، آموزش، پژوهش، برنامه‌ریزی، ایجاد ساختارهای اداری و تأمین مالی) برای افزایش توانایی جامعه و دولت در رابطه با واکنش و بازیابی مؤثر انجام می‌شود. مرحله واکنش شامل تمام اقدامات انجام‌شده برای ارائه خدمات اضطراری پس از یک حادثه برای مهار، کنترل یا به‌حداقل‌رساندن اثرات آن است. مرحله ریکاوری شامل تمام مراحل انجام‌شده برای بازیابی توده‌ها است. ایجاد مراکز امداد موقت بلایا در بحرانی‌ترین مکان‌ها و طراحی شبکه لجستیکی برای ارائه کمک و تدارکات اولیه به آسیب دیدگان دو مورد از مهم‌ترین پیش‌نیازهای یک عملیات امداد موفق است. ادغام هم‌زمان این دو وظیفه مهم در یک طرح می‌تواند تأثیر مثبت زیادی بر عملکرد کلی عملیات امداد داشته باشد. نداشت توجه مناسب به مسائل لجستیکی و مسیریابی در زمان تعیین مکان مراکز امدادی موقت می‌تواند روند تأمین این مراکز را کند کرده و اثربخشی آن‌ها را کاهش دهد.

وقوع ۳۰۲ فاجعه طبیعی در سال ۲۰۱۱ باعث شد تا این سال به‌عنوان سالی با بیشترین خسارت‌های اقتصادی در تاریخ، شناخته شود. از این نظر، مدیریت بلایا می‌تواند نقش اساسی در کاهش هزینه بلایا داشته باشد. قارع آسیا پرحادثه‌ترین در میان چهار قاره دیگر جهان است و ایران در میان ۱۰ کشور پرحادثه در جهان قرار دارد؛ بنابراین مدیریت بحران دارای یک فوریت ویژه در ایران است که مدیریت بلایا به‌عنوان وجه اصلی مدیریت بحران مستثنا نخواهد بود [۸۰]. مطالعات متعددی در دهه گذشته توسط پژوهشگران مختلف با عنوان متفاوت، اما با هدف کاهش آلام مردم در مناطق حادثه‌دیده منتشر شده است [۲۷]. تعداد انتشارات در سال از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ در شکل ۱، نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، روند انتشار مقاله‌ها صعودی بوده است و حتی سال ۲۰۲۳ که نیمی از سال گذشته، هشتاد مقاله در این زمینه به چاپ رسیده است.



شکل ۱. تعداد انتشارات مقالات بر اساس سال

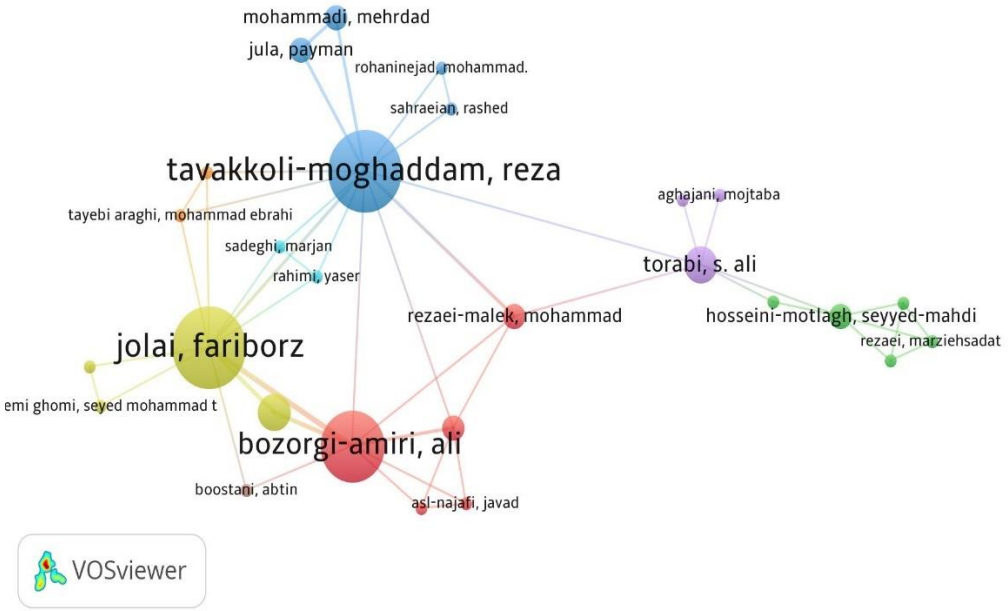
زلزله یکی از حوادث طبیعی است که به‌دلیل قرارگرفتن در منطقه زلزله‌خیز به‌طور مکرر در ایران رخ می‌دهد؛ ازاین‌رو امدادرسانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امدادرسانی به آسیب‌دیدگان یکی از مهم‌ترین مراحل مدیریت بحران به‌شمار می‌رود که باید پیش از رخداد حادثه برای آن برنامه‌ریزی کرد؛ زیرا امدادرسانی به‌موقع و بهره‌ور خسارات جانی و مالی را به‌شدت کاهش خواهد داد. رشد سوانحی نظیر زلزله در سال‌های اخیر به افزایش خسارت وارده به انسان‌ها و جوامع بشری منجر شده است؛ به‌طوری‌که امروزه این نوع حوادث در هر

سال به ده‌ها میلیون انسان خسارت وارد کرده و منجر به کشته شدن ده‌ها هزار نفر شده است. از طرفی پیچیدگی بعضی از این سوانح طبیعی تا حدی است که باوجود استقرار هزاران ایستگاه به‌صورت شبکه‌ای در سرتاسر جهان و تحلیل پیوسته داده‌ها با استفاده از رایانه‌های قدرتمند، بشر هنوز قادر نیست پیش‌بینی کند چه زمانی و در کجا چه حادثه‌ای رخ خواهد داد. این ماهیت تصادفی و غیرقابل‌پیش‌بینی، خود مزیدی بر علت شده و خسارات جانی و مالی وارده به جوامع بشری را در سال‌های اخیر افزایش داده است. تجربیات گذشته در کشور ایران نشان می‌دهد که مقابله با حوادث غیرمترقبه و تبعات و عوارض آن به‌منزله یک چالش بزرگ فرا روی مسئولان قرار دارد و مدیریت بحران در هنگام بروز حوادث همواره با مشکلات جدی روبه‌رو بوده است [۴]. برای عدم‌غافلگیری در زمان بحران‌های طبیعی باید برنامه‌ریزی‌های مناسب از قبل و در شرایط معمول انجام گیرد. یکی از مسائل حیاتی در زمان بحران، کمک‌رسانی سریع و به‌موقع است.

در نخستین لحظات وقوع فاجعه، زمان عاملی کلیدی در کاهش خسارات و تلفات است و شبکه‌های جاده‌ای احتمالاً آسیب خواهند دید و هیچ تضمینی برای دسترسی زمینی به بسیاری از مناطق آسیب‌دیده وجود ندارد که این موضوع تأثیری مستقیم بر زمان جابه‌جایی مجروحان در مسئله بحران دارد که در طراحی سیستم‌ها باید به آن توجه داشت؛ همچنین اطلاعاتی در مورد تعداد مناطق آسیب‌دیده، نیازهای امدادی و غیره احتمالاً در ابتدا نادقیق خواهند بود و در جریان عملیات امداد جمع‌آوری و بهبود می‌یابد [۲۵].

علم‌سنجی. برای دستیابی به یک دید کلی در حوزه‌های پژوهشی و اطلاع از اینکه چه مقالاتی در این زمینه وجود دارد و چه کسانی در این حوزه پژوهش داشته‌اند و اطلاعات جامع‌تر دیگر، با استفاده از سایت Web of Science، کلیدواژه‌هایی که در این پژوهش مدنظر است (مکان‌یابی تسهیلات، تدارکات بشردوستانه، زلزله و نقطه انتقال)، جست‌وجو شد. خروجی آن ۲۵۰ مقاله مرتبط با این کلیدواژه‌ها بود. گراف‌های ترسیم‌شده در این بخش به کمک نرم‌افزار VOSviewer رسم شده است.

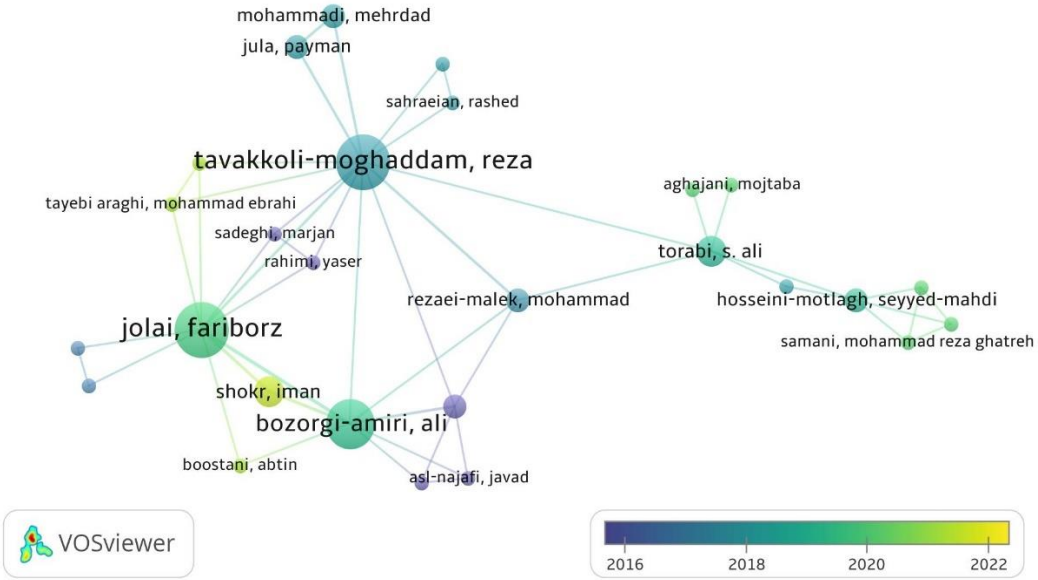
پژوهشگران برتر. با استفاده از نرم‌افزار، پژوهشگران برتر در میان ۲۵۰ مقاله، تفکیک شده‌اند. طبق خروجی نرم‌افزار، شکل ۲، شبکه نام پژوهش مطرح در موضوع موردپژوهش و ارتباط بین پژوهشگران را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار ارتباطی پژوهشگران برتر

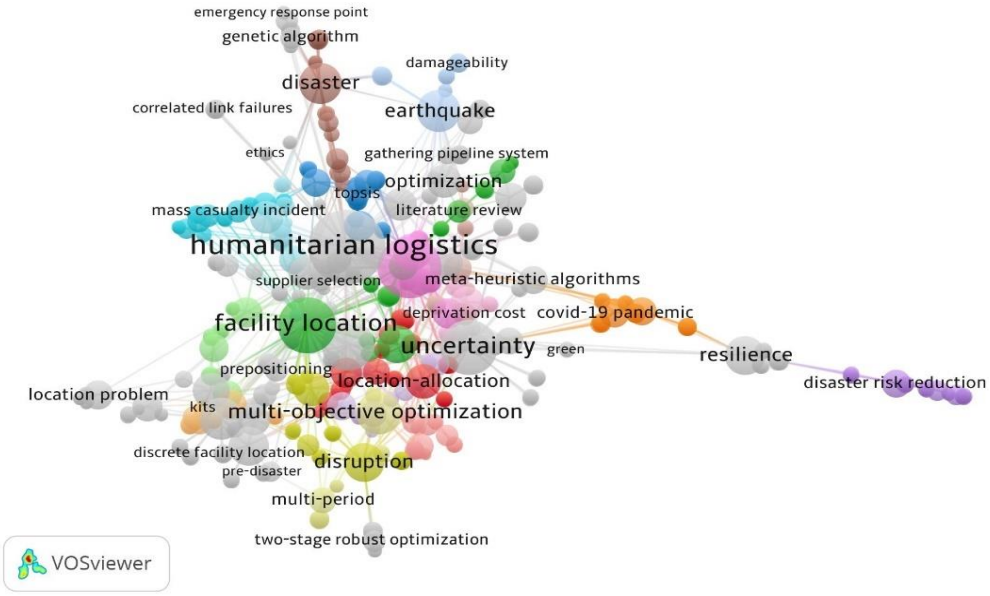
شکل ۲، ارتباطی نشان می‌دهد که هر نویسنده با چه تعداد از نویسندگان دیگر مشارکت داشته‌اند. برای رسم این شبکه، حداقل تعداد مقاله هر نویسنده ۲ عدد و تعداد ارجاع به آن‌ها حداقل ۱ عدد در نظر گرفته شده است؛ همچنین شکل ۳ معرف پژوهشگرانی همانند

توکلی‌مقدم است که قبل از سال ۲۰۱۶ در این زمینه فعالیت داشته‌اند و پژوهش‌هایی را انجام می‌دادند و با گذر زمان پژوهشگران جدیدی همچون بزرگی امیری، جولای، ترابی و چند تُن از نویسندگان دیگر فعالیتشان از سال ۲۰۱۸ به بعد گسترش یافته است.



شکل ۳. نمودار زمانی پژوهشگران برتر

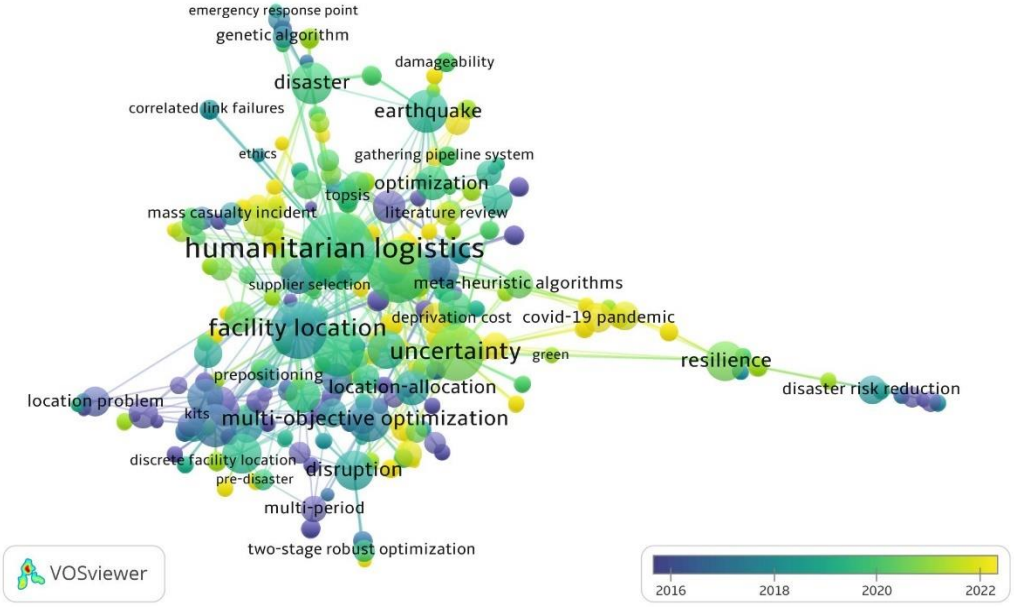
شکل ۴، شبکه ارتباط بین کلیدواژه‌های این حوزه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مهم‌ترین کلیدواژه‌های این حوزه شامل مکان‌یابی تسهیلات، فاجعه و تدارکات بشردوستانه است. تعداد دسته‌های کلیدواژه‌ها برای شبکه ۴، ۶ عدد است که بارنگ‌های مختلف نشان داده شده است. هر چه حجم دایره در تصویر بزرگ‌تر باشد، کاربرد آن کلیدواژه در این حوزه بیشتر است.



شکل ۴. نمودار هم رخدادی کلمات کلیدی

با توجه به شکل ۵، می‌توان دریافت که شروع ارائه نخستین مقالات در این حوزه با استفاده از کلیدواژه‌هایی همچون زنجیره تأمین، مدیریت بلایا، واکنش‌های اضطراری و کلماتی دیگر که قبل از سال ۲۰۱۶ انجام شده است. با گذر زمان و پیشرفت فناوری و گسترش

حجم داده‌ها، پژوهش‌های انجام‌شده به سمت کلیدواژه‌هایی همچون بهینه‌سازی پایدار، برنامه‌نویسی احتمالی، همه‌گیری، کووید ۱۹ و دیگر کلمات راه یافته که از سال ۲۰۲۰ به بعد، این پژوهش‌ها رونق پیدا کرده است.



شکل ۵. نمودار هم رخدادی کلمات کلیدی

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در مدیریت بلایا[1]، شناسایی مکان مناسب پناهگاه‌ها، مراکز درمانی، انبارها، مراکز توزیع، مکان‌های آواربرداری و سایر موارد برای کاهش رنج انسان بسیار مهم است. برای یافتن مراکز ذکرشده، مطالعه مسائل مکان‌یابی تسهیلات در مدیریت بلایا نقش حیاتی دارد. به گفته عربانی و فراهانی (۲۰۱۲)، مسائل مکان‌یابی تسهیلات را می‌توان با توجه به دو سؤال تعریف کرد: کدام منطقه باید برای مکان‌یابی تسهیلات انتخاب شود؟ و چه زمانی باید تسهیلات جدید ایجاد شوند، یا امکانات موجود اصلاح شود؟ [۶]. کونیه و همکاران[2] (۲۰۱۲)، بیشتر مدل‌های بهینه‌سازی مربوط به مسائل مکان‌یابی تسهیلات در تدارکات بشردوستانه را بررسی کردند [۱۶]. مقالاتی که آن‌ها بررسی کردند شامل تصمیم انتخاب مکان‌های جدید تسهیلات یا انتخاب مکان‌ها از میان امکانات موجود برای توزیع امداد، تخلیه مردم و ذخیره اقلام امدادی قبل از فاجعه است. جیا و همکاران[3] (۲۰۰۷)، مقالات پژوهشی را بررسی کردند که فقط شامل مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات بودند. چالش اصلی مسائل مکان‌یابی تسهیلات، یافتن مکان بهینه برای تسهیلات است تا با برآوردن تقاضای مردم و درعین‌حال حداقل‌نگه‌داشتن هزینه مربوطه، رنج مردم را به حداقل برساند. از بررسی مسائل مکان‌یابی تسهیلات در مدیریت بلایا مشخص شده است که بیشتر مقالات مبتنی بر یک هدف واحد بوده و مقالات کمی مبتنی بر چند هدف هستند [۳۴،۳۵]. از مقالات بررسی‌شده، مسائل مکان‌یابی تسهیلات به دو مدل قطعی و غیرقطعی تقسیم می‌شوند. مدل‌های قطعی و غیرقطعی مسائل مکان‌یابی تسهیلات به‌ترتیب توضیح داده خواهد شد که در آن هدف هر مسئله، تصمیم‌گیری‌ها، روش حل و نوع مسئله ذکرشده است.

مدل‌های قطعی. در مسئله مکان‌یابی قطعی تسهیلات، پارامترهای ورودی شناخته شده است و در طول زمان نه لزوماً ثابت هستند. پارامترهای ورودی می‌تواند شامل هزینه حمل‌ونقل، هزینه تأسیس تسهیلات، هزینه ثابت، ظرفیت پناهگاه و تعداد افراد آسیب‌دیده باشد. در مسائل مکان‌یابی قطعی، تسهیلات برای انتخاب یا مکان‌یابی مکان‌های أمن برای افراد آسیب‌دیده، مراکز توزیع موقت یا موجود برای توزیع کالا، انبارها برای پیش استقرار انبارها، مراکز درمانی برای درمان مجروحان و نقاط آواربرداری استفاده می‌شوند. در بیشتر موارد،

1. Disaster Management
2. Caunhye et al.
3 . Jia et al.

تقاضا در گره در نظر گرفته می‌شود و به همین دلیل است که مسائل قطعی مکان‌یابی تسهیل در تدارکات بشردوستانه را می‌توان مسائل مکان‌یابی تسهیلات شبکه نامید. بااین‌حال، برخی پژوهش‌ها در مواردی انجام شده است که در آن تقاضاها بر روی پیوندها و گره‌ها ایجاد می‌شود [۳۱]. مدل‌های قطعی مسئله مکان‌یابی تسهیلات شبکه در تدارکات بشردوستانه را می‌توان به سه دسته اصلی طبقه‌بندی کرد: مسئله میانه؛ مسئله مرکز و مسئله پوشش.

مسئله میانه. هدف این نوع مسئله، حداقل‌سازی هزینه کل شامل زمان، مسافت، هزینه احداث و غیرع برای خدمت‌رسانی به نقاط تقاضا توسط تعداد P محور است. برای نخستین بار کمپل[1] (۲۰۰۲)، این مدل را با فرموله‌بندی مدل کلاسیک P محور میانه ارائه کرد [۱۵]؛ همچنین اگر هر نقطه تقاضا بتواند به چند محور متصل شود، مسئله به P محور میانه چندتخصیصه تبدیل می‌شود. برمن و همکاران[2] (۲۰۰۵)، مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال را پیشنهاد کردند که مکان‌یابی از چندین نقطه انتقال به‌عنوان توسعه مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال مجاز بود [۹]. آن‌ها روش‌های P محور میانه و P محور مرکز را برای چندین تسهیل ثابت در نظر گرفتند. لین و همکاران[3] (۲۰۱۲)، یک مدل ریاضی برای یافتن مکان انبارهای موقت در اطراف منطقه آسیب‌دیده از فاجعه پیشنهاد دادند [۴۴].

یکی از اهداف آن‌ها به‌حداقل‌رساندن فاصله سفر وسیله نقلیه بین گره تقاضا و انبار مرکزی است که نقطه‌ضعف مقاله پژوهشی قبلی منتشرشده توسط فلانیگان[4] (۲۰۱۱) است. هدف از مدل آن‌ها به‌حداقل‌رساندن هزینه جریمه و هزینه حمل‌ونقل بود. این مدل برای سناریوی پس از فاجعه (مرحله پاسخگویی) با درنظرگرفتن محدودیت‌های ظرفیت تأسیسات (دپو)، ظرفیت خودرو و رابطه بین انبارها و نقاط تقاضا است که تخصیص نقاط تقاضا را فقط به انبار انتخاب‌شده تضمین می‌کند [۲۲]. برای مقابله با مدل چندهدفه یا چندمعیاره، با درنظرگرفتن مسئله میانه، ابوناصر و همکاران[5] (۲۰۱۴)، یک مدل چندهدفه برای تعیین مکان مراکز توزیع امداد و یک طرح حمل‌ونقل برای توزیع امداد پیشنهاد کردند. به‌عنوان یک روش حل، نویسنده از روش محدودیت اپسیلون به‌دلیل چندهدفه‌بودن مدل استفاده کرده است [۱].

برای برنامه‌ریزی تخلیه سیل، یک مدل بهینه‌سازی چندسطحی ارائه شد. نویسندگان مسئله خود را به یک مسئله سطح بالا و یک مسئله سطح پایین تقسیم کردند. در مسئله سطح بالا، به‌حداقل‌رساندن زمان تخلیه کل پرداخته می‌شود و انتخاب پناهگاه و مسیر برای تخلیه‌کننده در مسئله سطح پایین بررسی می‌شود [۴۰].

مسئله مرکز. مدل مکان‌یابی مرکز حداکثر فاصله، هزینه یا زمان را در شبکه حداقل می‌کند. این مدل در سه حالت ارائه شده است:

- حداکثر هزینه بین تقاضا و محور حداقل شود؛

ـ حداکثر هزینه از ابتدا تا انتهای مسیر یک جریان حداقل شود. برای مثال مسیر تقاضا به محور اول، به محور دوم و به مقصد؛

ـ حداکثر هزینه بین دو زوج مبدأ و مقصد حداقل شود. برای مثال تقاضا به محور یا محور به محور و یا محور به مقصد [۱۵].

ساساکی و همکاران[6] (۲۰۰۸)، مسئله مکان‌یابی چندگانه تسهیل و نقطه انتقال را که در آن p نقطه انتقال و q تسهیل وجود دارد، ارائه دادند [۶۸]. آن‌ها برای ارائه راه‌حل بهینه حالت حداقل مجموع، مسئله را به‌صورت یک مسئله $P-$ میانه فرموله‌بندی کرده و برای حل بهینه حالت کمّینه بیشینه مسئله را به‌صورت یک مسئله $P-$ مرکز فرموله بندی کردند. درنهایت یک روش مبتنی بر شمارش را نیز برای حل مسئله ارائه دادند که این روش در حالت‌های $q > 2$ کارایی لازم را ندارد؛ ازاین‌رو روش‌های پیچیده‌تری برای یافتن کران‌های بالا و پایین بهتر موردنیاز است.

یی و همکاران[7] (۲۰۱۵)، یک مدل $P-$ مرکز را برای مسئله مکان‌یابی انبار اضطراری پیشنهاد کردند [۷۹]. هدف اصلی این مدل تعیین محل انباری است که به نقاط تقاضا اختصاص می‌یابد و در طول عملیات توزیع امداد اضطراری موردبهره‌برداری قرار می‌گیرد تا تعداد انبار به حداقل برسد. محدودیت‌های درنظرگرفته‌شده تضمین می‌کند که تعداد انبار برای تأمین مواد اضطراری کافی خواهد بود و

1. Campbell
2. Berman et al.
3. Lin, et al.
4. Flanigan, et al.
5. Abounacer, et al.
6. Sasaki, et al.
7. Ye, et al.

طولانی‌ترین مسافت (طولانی‌ترین فاصله باید کمتر از حد مجاز باشد) نیز از انبار پوشش داده می‌شود. الگوریتم VNS (جست‌وجوی همسایگی متغیر) برای حل مسئله به‌عنوان یک مسئله غیرخطی استفاده می‌شود؛ همچنین برای حل، بخشی از مدل از نرم‌افزار بهینه‌سازی CPLEX استفاده شده است.

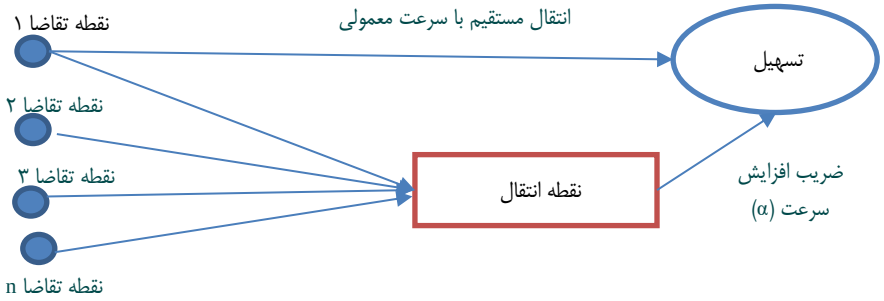
مسئله پوشش. در مسائل پوشش، به گفته عربانی و فراهانی (۲۰۱۲)، یک فاصله پوششی بین هر گره تقاضا و تسهیلاتی که در آن هر گره تقاضا توسط هر تسهیلات ارائه می‌شود، دنبال می‌شود. به‌طور معمول، مسائل پوشش برای مسائل مکان‌یابی تسهیلاتی مناسب است که در آن نیاز به یافتن موقعیت بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و مکان‌های پناهگاه است [۶].
مسائل پوشش را می‌توان به مسائل پوشش مجموعه و مسائل حداکثر پوشش طبقه‌بندی کرد.
مسئله پوشش مجموعه. هدف از مسئله پوشش مجموعه این است که تعداد کل تسهیلات حداقل شده و درعین‌حال تمام نقاط تقاضا برآورده شود؛ همچنین به انتخاب مکان و به‌حداقل‌رساندن هزینه ثابت تسهیلات باز می‌پردازد. برای مسئله مکان‌یابی انبار و مسیریابی، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه توسط راث و همکاران[1] (۲۰۱۴)، اتخاذ شد که دارای سه هدف بود. یکی از آن‌ها یک مسئله پوشش مجموعه‌ای است که سعی در به‌حداقل‌رساندن هزینه افتتاحیه تأسیسات داشت [۶۳]. به غیر از این تابع هدف، سایر توابع هدف مربوط به حداقل‌کردن هزینه‌های حمل‌ونقل و به‌حداکثررساندن پوشش تقاضا است. دو روش حل برای این مشکل پیشنهاد شد که روش نخست یک روش دقیق برای حل نمونه‌های کوچک و روش دوم یک تکنیک ریاضی ـ ابتکاری است. هم در روش دقیق و هم در روش اکتشافی، نویسندگان از الگوریتم محدودیت اپسیلون تطبیقی استفاده کردند.

مطابق با مقاله ژو و همکاران[2] (۲۰۱۶)، مطالعات موجود در مورد مسائل مکان‌یابی تسهیلات به اندازه کافی برای مرحله پاسخ تدارکات بشردوستانه مناسب نیست؛ به‌ویژه برای یک زلزله به‌دلیل اجتناب از چشم‌انداز برنامه‌ریزی شهری [۷۰]. برای فائق‌آمدن بر این مشکل نادیده‌گرفته‌شده مدل مکان‌یابی تسهیلات، پژوهشگران هفت اصل را برای مکان‌یابی پناهگاه‌های تخلیه زلزله موردمطالعه قرار دادند و با پیروی از این اصول، یک مدل مکان‌یابی با محدودیت چندمعیاره را پیشنهاد کردند. این مدل از یک مدل مسئله $P-$ میانه و یک مدل پوشش مجموعه گرفته شده است که در آن اهداف به‌حداقل‌رساندن فاصله کل، به‌حداکثررساندن پوشش همه پناهگاه‌ها و به‌حداکثررساندن پوشش افراد آسیب‌دیده است. هدف دوم مربوط به مسئله پوشش مجموعه است که در آن پژوهشگران سعی کردند تعداد پناهگاه‌ها را برای صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری دولت بهینه کنند. تصمیم اصلی این مدل انتخاب مکان پناهگاه تخلیه است و مدل توسط الگوریتم اکتشافی لاگرانژ حل می‌شود.

مسئله حداکثر پوشش. هدف مسئله حداکثر پوشش برای p تسهیل به‌حداکثررساندن پوشش جمعیت در یک فاصله خدماتی یا زمان مشخص‌شده با توجه به تعداد محدودی از امکانات است. برزین پور و اسماعیلی (۲۰۱۴)، مدلی چندهدفه برای مرحله آماده‌سازی مدیریت بلایا برای تعیین محل سرپناه اضطراری، تخصیص افراد آسیب‌دیده به پناهگاه، افزایش پوشش کل مردم یک منطقه خاص، ذخیره کالاهای موجود در تسهیلات و انتقال به نقاط تقاضا پیشنهاد کردند [۷]. این مدل چندهدفه از سه هدف تشکیل شده است: به‌حداکثررساندن پوشش تجمعی جمعیت برحسب پیکسل منطقه؛ به‌حداقل‌رساندن کل هزینه راه‌اندازی تسهیلات؛ به‌حداقل‌رساندن هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری تجهیزات و هزینه کمبود. ازآنجاکه این یک مدل چندهدفه است، پژوهشگران از رویکرد برنامه‌نویسی هدف برای اولویت‌بندی اهداف استفاده کردند و از نرم‌افزار بهینه‌سازی لینگو برای حل این مدل بهره گرفتند.

هاشمی و همکاران (۲۰۲۲)، مسئله مکان‌یابی بهینه مراکز فوریت‌های پزشکی به‌منظور ارائه مراقبت‌های سریع‌تر و کارآمدتر را بررسی کردند. هدف از این مطالعه، ارائه یک مدل ریاضی برای مکان‌یابی مراکز فوریت‌های پزشکی با هدف افزایش کمّیت و کیفیت پوشش تقاضا بود [۲۶]. مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال از سال ۲۰۰۵ به مبانی نظری علمی وارد شده است.

1. Rath, et al.
2. Xu, et al.



شکل ۶. مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال [۹].

مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال در ساده‌ترین حالت (شکل۶)، انتخاب یک نقطه انتقال برای خدمت‌دهی به نقاط تقاضا زمانی که مکان تسهیل مشخص است، ارائه شده است. این مدل به مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال شناخته می‌شود. برمن و همکاران [1](۲۰۰۵)، نخستین مدل از مکان‌یابی نقطه انتقال را ارائه کردند و عنوان مکان‌یابی نقطه انتقال وارد مبانی نظری علمی شد. در این مقاله، مسئله مکان‌یابی تسهیل و نقطه انتقال دو تابع هدف ارائه شده است. تابع هدف مدل اول با رویکرد حداقل مجموع و تابع هدف مدل دوم با رویکرد کمّینه بیشینه[2] به‌دست می‌آید. مسئله مکان‌یابی در شبکه فرموله‌بندی می‌شود و درنهایت برای حل مدل از سه رویکرد حرکت نزولی، شبیه‌سازی تبرید و جست‌وجوی ممنوعه استفاده شده و نتایج این سه روش با یکدیگر مقایسه می‌شود.
مدل ارائه‌شده مربوط به مکان‌یابی نقطه انتقال و تسهیل برمن و همکاران (۲۰۰۵) در ادامه آورده شده است [۹].

پارامترهای مدل

n: تعداد نقاط تقاضا

p : تعداد نقاط انتقال ایجادشده

α: فاکتوری که به‌وسیله آن حرکت به نقطه انتقال افزایش می‌یابد.

f : مکان نامعلوم تسهیل

h_j: مکان نقطه انتقال j ، $j = 1,2, \dots \dots, p$

w_i: وزن تخصیص‌داده‌شده به نقطه تقاضا i ، $I = 1,2, \dots \dots, n$

(h_j, f): زمان سفر (حرکت) میان نقطه انتقال j و تسهیل

D_i: زمان سفر بین نقطه تقاضای i و تسهیل

D_{ij}: زمان سفر بین نقطه تقاضا i و نقطه انتقال j

d_{ij}: زمان سفر بین نقاط تقاضای i و j

متغیرهای مدل

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{تقاضا از گره i به یک تسهیل در گره k از طریق یک نقطه انتقال از گره j اختصاص داده شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{اگر تقاضا از گره } i \text{ به‌طور مستقیم به یک تسهیل در گره } k \text{ اختصاص داده شود.} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$z_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر تسهیل در گره } k \text{ قرار داشته باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

1. Berman, Drezner & Wesolowsky
2. Mini Max

$$y_j=\begin{cases}1 & \text{اگر نقطه انتقال در گره } j \text{ قرار داشته باشد}\\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$$

$$C_{ijk} = d(I,j) + \alpha d(j,k)$$
$$C_{ik} = d(I,k)$$

مسئله حداقل مجموع به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

رابطه (۱)
$$Sum = \min_{h_j j=1,2,\ldots..p;f}\left\{\sum_{i=1}^{n} w_i * min\{D_i, [D_{ij} + \alpha d(h_j,f)], j = 1,2,\ldots\ldots,p\}\right\}$$

رابطه ۱، حداقل زمان ارسال تقاضا به تسهیل به‌صورت مستقیم (D_i) و یا ارسال به نقطه انتقال و سپس ارسال تقاضا از نقطه انتقال به تسهیل (با ضریب کاهنده آلفا) $D_{ij} + \alpha * d(h_j,f)$ محاسبه شده و سپس مقدار کمینه در وزن نقطه تقاضا w_i ضرب می‌شود. مجموع این حداقل‌ها، زمان کل را تشکیل می‌دهد که هدف مسئله حداقل‌کردن این زمان است. مسئله حداقل بیشینه به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

رابطه (۲)
$$Max = \min_{h_j, j=1,2,\ldots\ldots\ldots,p;f}\left\{\max_{i=1,2,\ldots\ldots,n}\left\{\min\left\{D_i,\left[D_{ij} + \alpha d(h_j,f)\right], j = 1,2,\ldots\ldots,p\right\}\right\}\right\}$$

مدل ریاضی حداقل مجموع برای مسئله مکان‌یابی نقاط انتقال و تسهیلات به‌صورت زیر ارائه شده است:

رابطه (۳)
$$\min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} C_{ijk} X_{ijk} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} C_{ik} X_{ik}$$

$$s.t.$$

رابطه (۴)
$$X_{ijk} \le y_j \quad i,j,k = 1,\ldots\ldots,n$$

رابطه (۵)
$$X_{ijk} \le Z_k \quad i,j,k = 1,\ldots\ldots,n$$

رابطه (۶)
$$X_{ik} \le Z_k \quad i,k = 1,\ldots\ldots,n$$

رابطه (۷)
$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} X_{ijk} + \sum_{k=1}^{n} X_{ik} = 1 \quad ,i = 1,\ldots\ldots,n$$

رابطه (۸)
$$\sum_{j=1}^{n} y_j = p$$

رابطه (۹)
$$\sum_{k=1}^{n} Z_k = 1$$

رابطه (۱۰)
$$X_{ijk}, X_{ik}, y_j, Z_k = 0,1 \quad i,j,k = 1,\ldots\ldots,n$$

رابطه ۳، تابع هدف مسئله است که مجموع زمان سفر نقاط تقاضا را نشان می‌دهد و سعی در حداقل‌کردن آن می‌شود. مجموع روابط ۴ و ۵ به گره اجازه نمی‌دهد تا به تسهیل در گره k از طریق نقطه انتقال در گره j اختصاص داده شود؛ مگر اینکه تسهیل در گره k و یک نقطه انتقال در گره j وجود داشته باشد. مجموع روابط ۶، به گره i اجازه نمی‌دهد تا به‌طور مستقیم به تسهیل در گره k اختصاص داده

شود؛ مگر این‌که یک تسهیل در گره k وجود داشته باشد. محدودیت ۷، تضمین می‌کند که تقاضای i به یک تسهیل یا به‌وسیله نقطه انتقال و یا به‌طور مستقیم اختصاص یابد. محدودیت ۸، یک انتخاب برای p نقطه انتقال را تضمین می‌کند و محدودیت ۹، تعداد تسهیلات را به ۱ عدد محدود می‌کند.
مدل ریاضی حداقل بیشینه برای مسئله مکان‌یابی نقاط انتقال و تسهیلات به‌صورت زیر ارائه شده است:

$$\min \nu$$

$$s.t.$$ رابطه (۱۱)

$$c_{ijk} x_{ijk} - \nu \le 0 \quad i,j,k = 1,\ldots\ldots,n$$ رابطه (۱۲)

$$c_{ik} x_{ik} - \nu \le 0 \quad i,k = 1,\ldots\ldots,n$$ رابطه (۱۳)

$$x_{ijk} \le y_j \quad i,j,k = 1,\ldots\ldots,n$$ رابطه (۱۴)

$$x_{ijk} \le z_k \quad i,j,k = 1,\ldots\ldots,n$$ رابطه (۱۵)

$$x_{ik} \le z_k \quad i,k = 1,\ldots\ldots,n$$ رابطه (۱۶)

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} x_{ijk} + \sum_{k=1}^{n} x_{ik} = 1 \quad , i = 1,\ldots\ldots,n$$ رابطه (۱۷)

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = p$$ رابطه (۱۸)

$$\sum_{k=1}^{n} z_k = 1$$ رابطه (۱۹)

$$x_{ijk}, x_{ik}, y_j, z_k = 0,1 \quad i,j,k = 1,\ldots\ldots,n$$ رابطه (۲۰)

برمن و همکاران (۲۰۰۸)، در ادامه مقاله قبل این بار مسئله مکان‌یابی چندگانه نقطه انتقال با فرض مشخص‌بودن مکان تسهیل را در سطح و شبکه موردمطالعه قرار دادند و حل تحلیلی این مسائل را بررسی کردند و بر روی مقدار آلفا تحلیل حساسیت انجام دادند. در این پژوهش برای حل مسائل دوسطحی یک الگوریتم بهینه معرفی شد. آن‌ها برای تشریح مسئله یک فضای مربعی در نظر گرفتند که دارای ۸ نقطه تقاضا و یک تسهیل در مرکز مربع بود. در این پژوهش با فرض مقادیر مختلف آلفا، مکان به‌دست‌آمده برای نقطه انتقال بررسی شد [۱۰].

ساساکی و همکاران (۲۰۰۸)، در ادامه مقاله‌های برمن و درزنر (۲۰۰۸)، یک روش حل دقیق بهینه را برای حالت حداقل مجموع مکان‌یابی نقاط انتقال و تسهیلات در شبکه پیشنهاد دادند [۶۸]. آن‌ها ابتدا مسئله حداقل مجموع را به‌صورت یک مسئله $P-$ میانه و حالت کمینه بیشینه، مسئله را به‌صورت یک مسئله $P-$ مرکز فرموله کردند؛ همچنین یک رویکرد جدید مبتنی بر شمارش را برای حل مسئله به‌کار بردند. آن‌ها حالت حداقل مجموع را به‌درستی با استفاده از فرمول پیشنهادشده و با استفاده از رویکرد مبتنی بر شمارش حل کردند. ازآنجاکه رویکرد مبتنی بر شمارش، رویکردی آسان است، ممکن است در مسائل بزرگ به‌خوبی کار نکند. روش‌های پیچیده برای پیداکردن کران‌های بالا و پایین بهتر، برای حل مسائل بزرگ موردنیاز خواهد بود. مدل ارائه‌شده توسط ساساکی و همکاران (۲۰۰۸) در ادامه آورده شده است:

$$minmize \sum_{i\in N}\sum_{j\in N} t_{ij}\phi_{ij} + \alpha \sum_{j\in N}\sum_{k\in N} t_{jk}\psi_{jk}$$ رابطه (۲۱)

$$s.t \sum_{i\in N} \phi_{ij} = \sum_{k\in N} \psi_{jk} \qquad j \in N$$ رابطه (۲۲)

$$\sum_{j\in N}\phi_{ij}=d_i \qquad i\in N$$ رابطه (۲۳)

$$\sum_{i\in N}\phi_{ij}\le MZ_j \qquad j\in N$$ رابطه (۲۴)

$$\sum_{k\in N}\psi_{jk}\le MZ_j \qquad j\in N$$ رابطه (۲۵)

$$\sum_{k\in N}\psi_{jk}\le MW_k \qquad j\in N$$ رابطه (۲۶)

$$W_j\le Z_j \qquad j\in N$$ رابطه (۲۷)

$$\sum_{j\in N}Z_j=p+q$$ رابطه (۲۸)

$$\sum_{k\in N}W_k=q$$ رابطه (۲۹)

$$\phi_{ij}\ge 0 \qquad i\in N, j\in N$$ رابطه (۳۰)

$$\psi_{jk}\ge 0 \qquad k\in N, j\in N$$ رابطه (۳۱)

$$Z_j\in\{0,1\} \qquad j\in N$$ رابطه (۳۲)

$$W_k\in\{0,1\} \qquad k\in N$$ رابطه (۳۳)

رابطه ۲۱، مجموع کل زمان سفر است. رابطه ۲۲، محدودیت‌های تعادل جریان در گره $j\epsilon N$ را نشان می‌دهد. رابطه ۲۳، نمایانگر این است که تمام تقاضا ارضا می‌شود. رابطه ۲۴، نشان می‌دهد که هیچ مشتری به مکان‌های دیگری از نقاط انتقال و تسهیل سفر نمی‌کند و روابط ۲۵ و ۲۶ نمایانگر ساختار شبکه سلسله‌مراتبی هستند که در آن مشتریان باید از مبدأشان به یکی از تسهیلات به‌طور مستقیم یا از طریق نقطه انتقال سفر کنند. روابط ۲۸ و ۲۹، الزام می‌کنند که دقیقاً p نقطه انتقال و q تسهیل باید انتخاب شود. توجه داشته باشید که M به‌اندازه کافی برای حل مسئله، بزرگ است

محمودیان و همکاران (۲۰۱۰)، دو الگوریتم تکراری را برای حل مسئله مکان‌یابی چندگانه نقطه انتقال توسعه دادند [۴۶]. دو الگوریتم فرض‌شده با یکدیگر مقایسه شده و تأثیر ضریب α بررسی شد. دو الگوریتم عبارت‌اند از:

الف) الگوریتم اول با دسته‌بندی نقاط تقاضا شروع می‌شود؛ سپس مکان نقاط انتقال تعیین می‌شوند؛

ب) الگوریتم دوم با مشخص‌کردن نقاط انتقال شروع می‌شود و سپس نقاط تقاضا دسته‌بندی می‌شوند.

جبل عاملی و همکاران (۲۰۱۳)، یک مدل جدید برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسئله مکان‌یابی چندگانه تسهیلات و نقاط انتقال با فرض محدودیت در ظرفیت تسهیلات ارائه دادند. تابع هدف مدل پیشنهادی به‌صورت چندهدفه بوده که در سال‌های قبل ارائه نشده بود [۳۲].

$$min\,Z_1=\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}t_{ij}\phi_{ij}+\alpha\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}t_{jk}\psi_{jk}+\sum_{i\in I}\sum_{k\in K}t_{ik}\delta_{ik}$$ رابطه (۳۴)

$$min\,Z_2=\beta\Big(\sum_{i\in I}\pi_iB_i+\sum_{j\in J}h_jS_j\Big)$$ رابطه (۳۵)

$$\sum_{i\in I}\phi_{ij}=\sum_{k\in K}\psi_{jk}+S_j \qquad j\in J$$ رابطه (۳۶)

$$\sum_{j\in J}\phi_{ij}+\sum_{k\in K}\delta_{ik}+B_i=d_i \qquad i\in I$$ رابطه (۳۷)

$$\sum_{i\in I}\phi_{ij}\le Cap_jZ_j \qquad j\in J$$ رابطه (۳۸)

$$\sum_{k\in K}\psi_{jk} \le MZ_j \qquad j \in J$$ رابطه (۳۹)

$$\sum_{j\in J}\psi_{jk} + \sum_{i\in I}\delta_{ik} \le Cap_k W_k \qquad k \in K$$ رابطه (۴۰)

$$\sum_{j\in J} Z_j = p$$ رابطه (۴۱)

$$\sum_{k\in K} W_k = q$$ رابطه (۴۲)

$$\phi_{ij} \ge 0 \qquad i \in I, j \in J$$ رابطه (۴۳)

$$\psi_{jk} \ge 0 \qquad j \in J, k \in K$$ رابطه (۴۴)

$$S_j \ge 0, \qquad j \in J$$ رابطه (۴۵)

$$B_i \ge 0, \qquad i \in I$$ رابطه (۴۶)

$$Z_j \in \{0,1\} \qquad j \in J$$ رابطه (۴۷)

$$W_k \in \{0,1\} \qquad k \in K$$ رابطه (۴۸)

خیال[1] (۲۰۱۵)، مدلی را برای مکان تسهیلات موقت پیشنهاد کرد که یک مدل مکان‌یابی پویای تسهیلات است [۳۸]. هدف این مدل به‌حداقل‌رساندن هزینه لجستیک و جریمه برای تعیین مکان مرکز توزیع موقت، محل نقاط عرضه و مقدار تخصیص منابع است. ظرفیت تسهیلات، ظرفیت عرضه، جریان کالا و رضایت تقاضا به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته شده و مدل با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی CPLEX حل شده است. تحت مسئله مکان‌یابی پویای تسهیلات، Wapee Manopiniwe و Tabana هر دو، مسئله مکان‌یابی را با مسئله مسیریابی که به‌ندرت در مسائل مکان‌یابی دیده می‌شد، یکپارچه کردند. برای مدل مکان‌یابی تسهیلات ظرفیت‌دار، چن و همکاران[2] (۲۰۱۶)، یک فرمول برنامه‌ریزی عدد صحیح را برای بهبود اثربخشی خدمات فوریت‌های پزشکی پیشنهاد کردند [۱۸]. برای بهبود عملیات خدمات پزشکی پس از فاجعه، برنامه‌ریزی برای ارائه خدمات پزشکی اورژانس مهم است. با توجه به این اهمیت، پژوهشگران با استفاده از بخش‌بندی مبتنی بر شبکه در مدل خود، مکان‌های موقتی را برای امکانات خدمات پزشکی اورژانس تعیین کردند. الگوریتم آرامش لاگرانژی کاهش‌یافته، الگوریتم حریصانه و الگوریتم $K-medoids$ به‌عنوان یک روش حل استفاده شد.

کوتس و کانتیلو[3] (۲۰۱۹)، مدلی از مکان‌یابی تسهیلات با ظرفیت را پیشنهاد کردند [۲۰]. آن‌ها تلاش کردند تا هزینه‌های اجتماعی جهانی را که مجموع هزینه‌های خصوصی (هزینه حمل‌ونقل، هزینه‌های موجودی، هزینه ثابت تسهیلات) و هزینه‌های محرومیت، تعیین مقدار برای هر نوع محصول برای خدمت به مناطق آسیب‌دیده از یک فاجعه است را به‌حداقل برسانند. این مدل در نرم‌افزار گمز با استفاده از حل‌کننده CPLEX حل شد.

پرز- گلارک[4](۲۰۱۷)، مدل خود را برای مکان‌یابی و اختصاص مراکز پناهندگی برای ارائه سرپناه، کمک‌های پزشکی و روان‌درمانی به قربانیان پیشنهاد کرد و هدف از این مدل به‌حداقل‌رساندن کل مسافت طی‌شده توسط قربانیان بود [۶۰]. چو و چن[5] (۲۰۲۱)، یک الگوریتم ترکیبی جدید ارائه کردند که مزایای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید را برای حل مسئله مکان‌یابی- تخصیص چندهدفه در تدارکات اضطراری ترکیب می‌کند [۱۹]. الگوریتم پیشنهادی در یک مطالعه موردی در دنیای واقعی تدارکات اضطراری در چین آزمایش شد. زارع‌پور و همکاران (۲۰۲۱)، از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ برای حل مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص استفاده کردند [۷۱]. الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ یک الگوریتم اکتشافی مبتنی بر ذرات بوده که برای حل مسائل سخت مناسب است. نوآوری اصلی این الگوریتم، اصلاح عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ برای مسئله و طراحی روشی جدید برای ایجاد نهنگ به‌منظور کاهش زمان رسیدن به راه‌حل معقول است.

1. Khayal
2. Chen, et al.
3. Cotes & Cantillo
4. Pérez-Galarce
5. Chu & Chen

ربانی و همکاران (۲۰۲۲)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای یافتن بهترین توالی مسیرها برای هر آمبولانس و به‌حداقل‌رساندن آخرین زمان تکمیل خدمات و همچنین تعداد بیمارانی که وضعیتشان به‌دلیل دریافت خدمات پزشکی نابهنگام بدتر می‌شود، پیشنهاد دادند [۶۲]. برای حل مسئله از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمسلط و بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه به‌منظور یافتن راه‌حل‌های باکیفیت بالا در مدت‌زمان کوتاه استفاده شده است.

پنجه‌آیین و همکاران (۲۰۲۳)، یک رویکرد دومرحله‌ای را برای طراحی شبکه حمل‌ونقل بهینه کارکنان در نیروگاه بیستون ارائه کردند [۵۹]. در مرحله نخست، یک مدل ریاضی مکان‌یابی ـ تخصیص برای مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس و تخصیص کارکنان به ایستگاه‌های اتوبوس با هدف به‌حداقل‌رساندن کل مسافت پیاده‌روی کارکنان فرموله شد. در مرحله دوم، یک مدل ریاضی مکان‌یابی ـ تخصیص ـ مسیریابی با پنجره زمانی برای انتخاب وسایل نقلیه با ظرفیت مناسب برای هر مسیر، مکان‌یابی مکان‌های پارک (گره‌های شروع)، مسیریابی خودرو و برنامه‌ریزی سفر با دو هدف موردبررسی قرار گرفت. به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های حمل‌ونقل و به‌حداقل‌رساندن حداکثر زمان سفر کارکنان برای اطمینان از عدالت در میان کارکنان. یکی از ویژگی‌های این مطالعه، درنظرگرفتن فاصله بین محل‌های پارک خودرو و نخستین گره‌های تقاضا در هر مسیر به‌منظور مکان‌یابی مکان‌های پارکینگ است. از دیگر مزایای جانبی موردانتظار اجرای این پژوهش، کاهش کل مسافت سفر، تراکم ترافیک و آلودگی هوا است. با وجود تعداد زیاد گره‌ها و داده‌های مطالعه موردی، مدل‌های ریاضی پیشنهادی با روش حل دقیق حل می‌شوند. به‌منظور حل مدل دوهدفه از روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده برای یافتن مجموعه راه‌حل پارتو استفاده شده است. پرانیت فولکرانگ و همکاران[1] (۲۰۲۱)، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای مکان‌یابی پناهگاه در پاسخ به تدارکات امداد بشردوستانه ارائه دادند [۶۱]. در این پژوهش یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه را برای تعیین مکان ـ تخصیص پناهگاه در پاسخ به تدارکات امداد بشردوستانه پیشنهاد شده است. سه تابع هدف برای بهبود کارایی و اثربخشی فرموله شده است. هدف نخست به‌حداقل‌رساندن کل هزینه‌ها ازجمله هزینه‌های ثابت برای استقرار پناهگاه‌ها، هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های خدمات است. هدف دوم به‌حداقل‌رساندن کل زمان برای تخلیه قربانیان از تمام مناطق آسیب‌دیده به پناهگاه‌های اختصاص‌داده‌شده است. هدف سوم به‌حداقل‌رساندن تعداد پناهگاه‌های موردنیاز برای ارائه خدمات کامل به قربانیان است. برای حل مدل پیشنهادی از روش محدودیت اپسیلون و برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است. کاربرد مدل پیشنهادی از طریق مطالعه موردی سیل در سورات تانی، تایلند تأیید شد. کارایی پارتو به‌دست‌آمده از حل مدل پیشنهادی با طرح‌های مکان‌یابی ـ تخصیص پناهگاه وقت که توسط بخش دولتی تعیین شده بود، مقایسه شد. مقایسه‌ها نشان داد که نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی بهتر از برنامه‌های مکان ـ تخصیص پناهگاه فعلی است؛ همچنین نتایج این مطالعه می‌تواند مزیتی برای تصمیم‌گیرندگان در نظر گرفتن استراتژی‌های مناسب برای واکنش به بلایا فراهم کند.

ارکان و همکاران[2] (۲۰۱۹)، مسئله مسیریابی و تکمیل وسایل نقلیه چنددوره‌ای ایستگاه‌های محلی فاجعه برای لجستیک امداد بشردوستانه قبل از فاجعه را بررسی کردند [۲۴]. این مطالعه در مورد یکی از فعالیت‌های پیش از فاجعه است. در فرآیند مدیریت پیش از فاجعه، فعالیت جدیدی موردآزمایش قرار گرفت؛ کانتینرهایی که «ایستگاه‌های محلی بلایا» نامیده می‌شوند. یک مدل جدید برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط برای حل این مسئله پیشنهاد شد. مدل پیشنهادی سیاست تکمیل مجدد را برای هر کالا در کانتینرها تعیین کرده و مسیر هر وسیله نقلیه را در یک افق برنامه‌ریزی مشخص ایجاد می‌کند. هدف این پژوهش به‌حداکثررساندن سود کل بود که تفاوت بین درآمد موردانتظار از فروش مجدد و هزینه حمل‌ونقل برای کل هزینه‌های مسیریابی برای دوره‌های زمانی در افق برنامه‌ریزی است. مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط پیشنهادی به‌طور بهینه برای یک نمونه کوچک حل شده است.

وانگ و همکاران[3] (۲۰۲۳)، یک نوع جدید از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت‌های سفر در مناطق بسته را معرفی کردند که «مسئله مسیریابی خودروی اضطراری دوطبقه با تخصیص پنجره زمانی» نامیده می‌شود [۷۴]. مسئله مسیریابی خودروی اضطراری دوطبقه با تخصیص پنجره زمانی شامل حمل‌ونقل کالا از مراکز توزیع به ماهواره‌ها در مناطق پرخطر در طبقه اول و تحویل کالا از مراکز توزیع یا ماهواره‌ها به مشتریان در طبقه دوم است. استراتژی‌های اشتراک‌گذاری خودرو و تعیین پنجره زمانی برای بهینه‌سازی پیکربندی منابع حمل‌ونقل و بهبود کارایی عملیاتی شبکه تدارکات اضطراری اعمال می‌شود. یک مدل ریاضی سه‌هدفه برای این مسئله نیز ساخته شده است تا کل هزینه عملیاتی، زمان تحویل کل و تعداد وسایل نقلیه را به حداقل برساند. یک جست‌وجوی همسایگی بزرگ تطبیقی

1. Praneetpholkrang, et al.
2. Ercan, et al.
3. Wang, et al.

چندهدفه با الگوریتم تقسیم به‌منظور به‌دست‌آوردن راه‌حل بهینه پارتو برای مسئله پیشنهاد شده است. الگوریتم تقسیم (SA) مقادیر هدف مرتبط با هر راه‌حل را محاسبه می‌کند و چندین سفر را به وسایل نقلیه مشترک اختصاص می‌دهد. این مطالعه به دولت و شرکت‌های لجستیک کمک می‌کند تا یک شبکه لجستیکی کارآمد، مشارکتی و اضطراری طراحی کنند و توسعه سالم و پایدار شهرها را ارتقا دهند. وانگ و همکاران (۲۰۲۳)، مدل تخصیص مواد اضطراری چنددوره‌ای برای بلایای طبیعی ناگهانی در مقیاس بزرگ در لجستیک بشردوستانه: کارایی، اثربخشی و عدالت را ارائه دادند و متفاوت از مدل تخصیص سنتی با اهداف بهینه‌سازی منفرد یا دوگانه در یک دوره، بر اهداف سه‌بعدی در لجستیک بشردوستانه تمرکز کردند [۷۵]. این مدل به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا بین کارایی، اثربخشی و عدالت (برابری) توازن ایجاد کنند. آزمایش‌های عددی و موارد واقعی نشان می‌دهند که این مدل می‌تواند با توزیع مواد اضطراری در مقیاس بزرگ سازگار شود [۷۵]. وانگ و همکاران (۲۰۲۳)، یک مدل مکان‌یابی ـ موجودی ـ مسیریابی برای توزیع تدارکات اضطراری ارائه دادند [۷۶]. توزیع پویای آخرین مایل تدارکات اضطراری به افراد آسیب‌دیده در موقعیت‌های پس از فاجعه، یک وظیفه کلیدی واکنش اضطراری است؛ اما به‌ندرت در مبانی نظری به آن پرداخته شده است. در این مطالعه یک مدل مبتنی بر مسیر برای توسعه یک طرح توزیع اضطراری پویا آخرین مایل شامل مرکز توزیع محلی، نقاط توزیع و نقاط تقاضا ارائه شده است. این مدل را می‌توان برای موقعیت‌های درحال‌تغییر پس از طوفان، که در آن نقطه نامزد سایت‌های توزیع و تقاضاها به‌صورت پویا تغییر می‌کنند، اعمال کرد. برای اطمینان از اینکه توزیع منابع اضطراری مقرون‌به‌صرفه و منصفانه است، هم هزینه و هم ارزش ویژه در هدف برنامه‌ریزی گنجانده شده است.

مدل‌های غیرقطعی. دو رویکرد، یعنی بهینه‌سازی تصادفی و بهینه‌سازی قوی بیشتر برای مدل غیرقطعی در مسائل مکان‌یابی تسهیلات موردمطالعه قرار می‌گیرند.

رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی. در بهینه‌سازی تصادفی، پارامترهای غیرقطعی به‌صورت یک توزیع احتمال داده می‌شوند و پارامترها معمولاً از طریق مجموعه‌ای از سناریوهای گسسته با احتمالات شناخته‌شده مدل‌سازی می‌شوند. در بیشتر مقالات از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده شده و در تعداد کمی از مقالات از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی تک‌مرحله‌ای یا سه‌مرحله‌ای استفاده شده است. در برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای، متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله بهینه‌سازی در شرایط عدم‌اطمینان، به دو مجموعه تقسیم می‌شوند. متغیرهای مرحله نخست، متغیرهایی هستند که باید قبل از وقوع و محقق‌شدن پارامترهای غیرقطعی در مورد آن‌ها تصمیم‌گیری شود. هنگام تصمیم‌گیری و حل مدل، این تصمیمات در حضور عدم‌اطمینان در مورد رخدادهای آتی گرفته می‌شود. در مرحله دوم که در مورد متغیرهای مرحله دوم تصمیم‌گیری می‌شود، مقدار واقعی پارامترهای غیرقطعی مشخص می‌شوند و تصمیمات بازگشتی یا اقدامات اصلاحی صورت می‌گیرد. به‌دلیل این عدم‌اطمینان، هزینه مرحله دوم، خود یک متغیر تصادفی خواهد بود. هدف بهینه‌سازی، انتخاب متغیرهای مرحله اول است؛ به طریقی که جمع هزینه‌های مرحله اول و متوسط هزینه‌های احتمالی مرحله دوم حداقل شود.

برای مثال، حسینی جو و بشیری (۲۰۰۹)، در «کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و کامپیوتر در فرانسه»، مدل تصادفی حالت کمّینه بیشینه مکان‌یابی نقطه انتقال را ارائه دادند [۲۹]. در این مقاله بر خلاف مقالات قبل، نقاط تقاضا وزن داده شده و مختصات نقاط تقاضا دارای تابع تصادفی یکنواخت در نظر گرفته شده است. در این پژوهش با فرض توزیع تقاضا به‌صورت یکنواخت در فضای مربعی مسئله را مدل‌سازی شده و توسط روش ارزش انتظاری از حالت احتمالی به حالت قطعی تبدیل شده است. درنهایت به‌دلیل محدب‌بودن مدل ارائه‌شده، حل بهینه و تحلیل مدل ارائه شد.

n: تعداد نقاط تقاضا

α: فاکتوری که به‌وسیله آن سفر به نقطه انتقال در آن ضرب می‌شود.

(x_0, y_0): مکان تسهیل

(x, y): مکان نقطه انتقال

$d(x, y)$: فاصله بین نقطه انتقال و تسهیل

D_i: فاصله بین نقطه تقاضا i و تسهیل

$d_i(x,y)$: فاصله بین نقطه تقاضا i $(i = 0,1, \dots\dots\dots, n)$ و نقطه انتقال

این نمادگذاری شبیه نمادگذاری برمن و همکاران (۲۰۰۵) است [۹]؛ به استثنای این‌که موقعیت(مکان) تسهیل به‌وسیله (x_0, y_0) مشخص‌شده است. پارامتر α سرعت‌های متفاوت در دو بخش از مسیر از نقاط تقاضا به تسهیل را نشان می‌دهد.

همان‌طوری برمن و همکاران (۲۰۰۵) ذکر کردند [۹]، واضح است زمانی که α=۱ است، نیازی به یک نقطه انتقال نیست و مکان نقطه انتقال در تسهیل است. مکان تسهیل و مجموعه‌ای از نقاط تقاضا مشخص هستند. هیچ وزنی در مدل جای داده نشده است. فرض می‌شود که نقاط تقاضا باید از نقطه انتقال استفاده کنند. برخی فرضیات درباره این مدل وجود دارد: ابتدا هیچ وزنی در مدل جای داده نشده است؛ یعنی (به‌عبارت‌دیگر) تمام نقاط تقاضا با اهمیت یکسان بررسی می‌شوند. دوم، مکان تمام نقاط تقاضا مشخص هستند. سوم، اندازه فاصله یکسان در دو قسمت از مسیر استفاده می‌شود (فاصله اقلیدسی). چهارم، برمن و همکاران (۲۰۰۵)، توضیح کافی برای توجیه و پشتیبانی کاربرد مدل فراهم نکردند. این موضوعات مدل‌هایی با قابلیت اجرایی کمتر در وضعیت‌های جهان واقعی ایجاد می‌کرد؛ یعنی بسیاری از حالت‌های مختلف تقاضا اهمیت متفاوتی داشتند؛ به‌طوری‌که منطقی است وزن‌هایی به تقاضاها اختصاص داده شود. درحقیقت، مکان‌یابی تقاضاها کاملاً مشخص نیست و عدم‌قطعیت در مختصات نقاط تقاضا وجود دارد؛ همچنین روش‌های حمل‌ونقل در دو قسمت مسیر شبیه هم نیستند. برای مثال، در حالت خدمات بیمارستانی، بیماران به‌وسیله آمبولانس با یک سرعت معمولی به یک نقطه پرواز منتقل شده و از آنجا با سرعت خیلی بیشتر به بیمارستان فرستاده می‌شوند. واضح است که در قسمت نخست از مسیر، فاصله مستقیم خطی، منطقی‌تر است و در قسمت دوم از مسیر، فاصله اقلیدسی مناسب‌تر است؛ بنابراین در چنین وضعیت‌هایی استفاده از فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار فاصله در کل مسیر مناسب نیست. مسئله کمّینه بیشینه وزن‌داده‌شده احتمالی مکان‌یابی نقطه انتقال با بررسی این موضوع به‌صورت زیر فرموله شد:

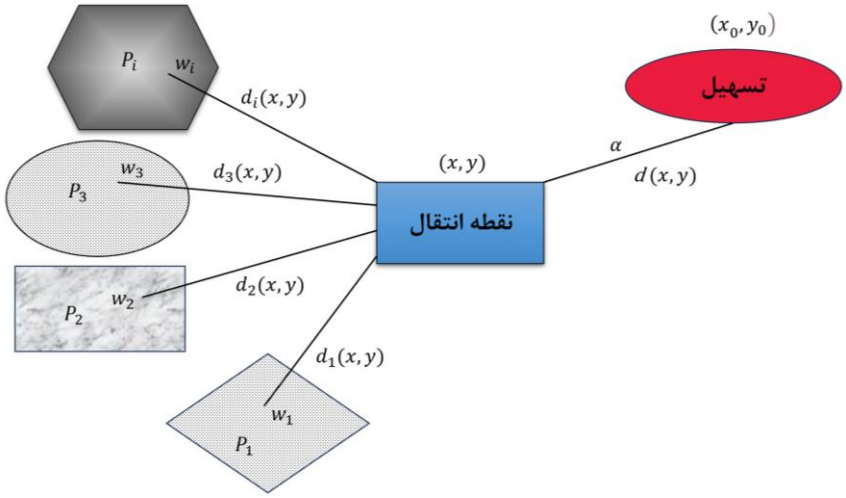
D_i: وزن اختصاص‌داده‌شده به نقطه تقاضای i $(i = 0,1,2, \dots\dots, n)$

$P_i(U_i, V_i)$: مختصات نقطه تقاضای i

فرض کنید که مکان تسهیل، مشخص است و هر نقطه تقاضا i مختصات $P_i(U_i, V_i)$ دارد که U_i و V_i، متغیرهای تصادفی هستند. از رویکرد ارزش انتظاری (متوسط ارزش) برای فرموله‌کردن مسئله استفاده می‌شود؛ بنابراین مسئله، پیداکردن مکان بهینه نقطه انتقال (x^*, y^*) است که متوسط حداکثر فاصله وزنی از تسهیل به تمام نقاط از طریق نقطه انتقال $EF(x,y)$، حداقل شود؛ بنابراین مسئله به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\min_{x,y} EF(x,y) = \max_{1\le i\le n}\{w_i E[d_i(x,y)] + \alpha d(x,y)\}$$ رابطه (۴۹)

قابل ذکر است که $E[.]$ عملگر ارزش انتظاری است و یک فرمول‌بندی عمومی (جامع) است که هیچ توزیع احتمال معین برای U_i و V_i و هیچ معیار فاصله معین در آن فرض نمی‌شود. شکل ۷، نمایش هندسی مدل عمومی بالا را نشان می‌دهد. هر تقاضا یک توزیع جغرافیایی در یک منطقه دارد و احتمال وقوع نیازهای اورژانسی در هر نقطه از منطقه مشخص است. توزیع احتمال برای U_i و V_i احتمالاً برای نقاط تقاضای مختلف، متفاوت است؛ همچنین هر تقاضا وزن خودش را دارد.



شکل ۷. نمایش هندسی مسئله کمّینه بیشینه مکان‌یابی نقطه انتقال با وزن احتمالی [۹]

حسینی‌جو و بشیری (۲۰۱۱)، مدل پیشین را با درنظرگرفتن چند نقطه تقاضا گسترش دادند. آن‌ها در این پژوهش با درنظرگرفتن بیش از ۲ نقطه تقاضا که همه این نقاط دارای توزیع‌های یکنواخت با مشخصات متفاوت هستند، مدل مقاله قبلی خود را گسترش دادند. مسئله با یک نقطه تقاضا با روش‌های تحلیلی قابل‌حل بود. با افزایش تعداد نقاط تقاضا، هرچند تابع هدف همچنان محدب است، اما با روش‌های تحلیلی قابل‌حل نیست؛ ازاین‌رو از روش‌های عددی برای پیداکردن نقطه بهینه تابع استفاده کردند [۳۰].

چانگ و همکاران[1] (۲۰۰۷)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای تدارکات اضطراری سیل به‌منظور تعیین مکان انبارهای نجات و تخصیص منابع نجات، با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت تقاضا پیشنهاد کردند [۱۷]. یک مشکل کلیدی در بهینه‌سازی تصادفی، ارزیابی هدف موردانتظار است. تخمین تقاضای تجهیزات نجات برای شرایط مختلف بارندگی دشوار است. سناریوهای سیلابی بسیار زیادی وجود دارد که رویکردهای برنامه‌نویسی تصادفی موجود، قابل‌رسیدگی است. هدف برنامه‌ریزی سناریو، مشخص‌کردن مجموعه‌ای از سناریوها است که نشان‌دهنده تحقق احتمالی پارامترهای ناشناخته مسئله و درنظرگرفتن دامنه سناریوها در تعیین یک راه‌حل قوی است؛ بنابراین با استفاده از طرح تقریب میانگین نمونه این مشکلات را بررسی کردند. آن‌ها مکان نقاط تقاضا و مقدار تجهیزات نجات موردنیاز در شرایط مختلف بارندگی را از طریق تابع تجزیه‌وتحلیل GIS تخمین زدند و مدل توسط نرم‌افزار LINGO حل شد؛ سپس مقدار تخمینی مربوط به تجهیزات نجات موردنیاز به‌منظور تعیین مقدار تجهیزات نجات موردنیاز برای نقاط تقاضا تحت سناریوهای مختلف سیل استفاده شد. دو هدف این مدل به‌حداقل‌رساندن فاصله حمل‌ونقل موردانتظار تجهیزات نجات و به‌حداقل‌رساندن هزینه (مجموع هزینه راه‌اندازی تسهیلات و میانگین هزینه تمام تجهیزات نجات) بود.

اوکسوز و همکاران[2] (۲۰۲۱)، مطالعه‌ای برای انتخاب مکان مراکز پزشکی موقت انجام دادند [۵۸]. آن‌ها یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را برای به‌حداقل‌رساندن هزینه حمل‌ونقل و هزینه راه‌اندازی مراکز پزشکی موقت پیشنهاد دادند.

رالز و ترنکوئیست[3] (۲۰۱۲)، یک طرح اضافه برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت با درنظرگرفتن تقاضا به‌عنوان یک جزء نامطمئن پیشنهاد کردند [۶۴]. هدف آن‌ها به‌حداقل‌رساندن هزینه بود و محدودیت‌های درنظرگرفته‌شده ظرفیت تسهیلات و برخی الزامات و محدودیت‌ها مانند محدودیت در حمل‌ونقل مواد اضافی برای به‌حداقل‌رساندن هزینه نگهداری در انبارهای بلااستفاده، محدودیت در تعداد تسهیلات باز و محدودیت در مقدار ذخیره‌سازی در پناهگاه‌ها است. یک مطالعه موردی با استفاده از این مدل برای پاسخگویی به تقاضای کالاهای مصرفی و غیرمصرفی در پناهگاه‌ها برای رویدادهای طوفانی که کارولینای شمالی ساحلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تجزیه‌وتحلیل شد. درنهایت پژوهشگران مدل خود را با استفاده از CPLEX حل کردند.

در اغلب موارد، پس از فاجعه در مقیاس بزرگ، وضعیت شبکه حمل‌ونقل غیرقابل‌دسترس می‌شود و با درک این مسئله، مونزون و لیبراتوره[4] (۲۰۲۰)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را پیشنهاد کردند که در آن دردسترس‌نبودن شبکه حمل‌ونقل در نظر گرفته می‌شود [۵۲].

در مقابل، بزرگی امیری و خرسی (۲۰۱۸)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی پویا چندهدفه را برای ادغام تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی پیشنهاد کردند [۱۳]. پژوهشگران با درک رابطه بین مکان تسهیلات، تخصیص تأمین‌کنندگان، وسایل نقلیه و امکانات مشتریان، این مدل را پیشنهاد کردند و قصد داشتند حداکثر کمبود را در بین کالاهای امدادی در تمام دوره‌ها، کل زمان سفر و مجموع هزینه‌های قبل و بعد از فاجعه را حداقل کنند. جزء نامشخص این مدل تقاضا، هزینه و زمان سفر است. نویسندگان از روش محدودیت اپسیلون استفاده کردند تا مدل چندهدفه خود را به یک مدل تک‌هدفه تبدیل کنند و مدل را در CPLEX اجرا کردند.

مورنو[5] (۲۰۱۸)، برای پاسخگویی مؤثر در عواقب یک فاجعه، مدلی را برای بهینه‌سازی مکان، حمل‌ونقل و تصمیم‌گیری در مورد اندازه ناوگان با هدف به‌حداقل‌رساندن هزینه لجستیک موردانتظار و هزینه رنج انسان پیشنهاد کرد [۵۳]. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای محافظت در برابر عدم‌قطعیت در مورد تقاضا، عرضه ورودی و دردسترس‌بودن مسیرها ارائه شد. پژوهشگر سه روش اکتشافی مبتنی بر تجزیه و تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی، یعنی یک اکتشافی ثابت و بهینه، یک اکتشافی دومرحله‌ای و یک اکتشافی ترکیبی ابداع کرد.

1. Chang, et al.
2. Oksuz, et al.
3. Rawls & Turnquist
4. Monzón & Liberatore
5. Moreno

آن و شی[1] (۲۰۱۵)، برای افزایش قابلیت اطمینان خدمات اضطراری، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط تصادفی مبتنی بر سناریو با ادغام خطر اختلال در تسهیلات، تراکم ترافیک در مسیر و تأخیر صف در تسهیل در یک مسئله مکان‌یابی یکپارچه تسهیلات پیشنهاد کردند [۵]. هدف این مدل به‌حداقل‌رساندن هزینه سیستم موردانتظار با درنظرگرفتن محدودیت‌های تخصیص جریان ترافیک به هر جفت مبدأ و مقصد، زمان استقرار تسهیلات اضطراری (یک مرکز خدمات اضطراری باید قبل از اختصاص به یک گروه قربانی ساخته شود)، تخصیص قربانی به یک مرکز اضطراری و ظرفیت انبار است. درنهایت پژوهشگران یک الگوریتم آرامش لاگرانژی را برای یافتن راه‌حل تقریباً بهینه برای مدل خود پیشنهاد کردند.

مختارزاده و همکاران (۲۰۲۱)، یک مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص $p-$ محور سیار را توسعه دادند [۵۱]. امکانات محور را می‌توان برای دوره بعدی به محورهای دیگر منتقل کرد. اجرای محورهای سیار می‌تواند هزینه‌های باز و بسته شدن محورها را کاهش دهد؛ به‌ویژه در محیطی که تقاضاها به‌سرعت در حال تغییر است. یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط چندهدفه توسعه یافته است. برای حل مدل پیشنهادی، چهار الگوریتم فراابتکاری، یعنی بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه، یک الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمسلط– II ، KNSGA-II، KMOPSO اجرا می‌شود.

کونگ و همکاران[2] (۲۰۲۱)، یک چارچوب بهینه‌سازی مکان‌یابی ـ تخصیص به‌منظور کمک به تصمیم‌گیری در مورد تعداد بهینه تیم‌های بازیابی مراقبت‌های ویژه کودکان ایجاد کردند. آنها از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص غیرخطی برای آمبولانس‌های تخصصی کودکان به‌منظور انتقال کودکان بیمار از بیمارستان‌های عمومی منطقه به یکی از ۲۴ بخش مراقبت‌های ویژه کودکان در انگلستان و ولز استفاده کردند [۴۲]. در این پژوهش از یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مکان‌یابی– تخصیص غیرخطی برای آمبولانس‌های تخصصی کودکان استفاده شده است. در این الگوریتم برای تعیین تعداد بهینه تیم‌های بازیابی مراقبت‌های ویژه کودکان موردنیاز، به‌منظور به‌حداقل‌رساندن کل زمان سفر برای همه بیماران استفاده شده و درعین‌حال اطمینان حاصل می‌شود که هر بیمار توسط نزدیک‌ترین گروه بازیابی مراقبت‌های ویژه کودکان موجود منتقل می‌شود. نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای حل مسائل مکان‌یابی ـ تخصیص غیرخطی در خدمات فوریت‌های پزشکی استفاده شود.

ژانگ و همکاران[3] (۲۰۱۸)، مسئله طراحی یک سیستم لجستیک اضطراری کارآمد را با درنظرگرفتن استراتژی انتقال جانبی بررسی کردند [۷۲]. در مرحله نخست، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای توصیف مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص در یک سیستم لجستیک اضطراری با هدف به‌حداقل‌رساندن هزینه کل پیشنهاد شد. به‌منظور کاهش تأثیر آسیب‌رسانی به تأسیسات و شبکه‌های لجستیکی، در این مقاله استراتژی انتقال جانبی در نظر گرفته شده است. در مرحله دوم، یک چارچوب تجزیه بندرز بهبودیافته برای حل مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط پیشنهاد شد. نتایج عددی نشان داد که الگوریتم مورداستفاده می‌تواند راه‌حل بهینه را به‌طور مؤثر برای نمونه‌های در مقیاس بزرگ پیدا کند.

لی و همکاران[4] (۲۰۲۲)، به‌منظور مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی– تخصیص تسهیلات اضطراری با پارامترهای نامشخص، یک مدل چندهدفه نامشخص را در چارچوب نظریه عدم قطعیت توسعه داده‌اند[۴۳]. مدل پیشنهادی هزینه جریمه زمانی، هزینه توزیع و انتشار دی‌اکسید کربن را به حداقل می‌رساند. معادل‌های مدل از طریق قوانین عملیاتی توزیع عدم قطعیت موردبحث قرار می‌گیرند و با استفاده از تکنیک دستیابی به هدف، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های پارتو بهینه تولید می‌شوند که می‌تواند برای تصمیم‌گیری استفاده شود.

دانشور و همکاران (۲۰۲۲)، مسئله برنامه‌ریزی طراحی و راه‌اندازی شبکه‌های زنجیره تأمین بشردوستانه را پس از بلایای طبیعی در نظر گرفتند [۴۵]. آن‌ها یک مدل تصادفی دومرحله‌ای پیشنهاد دادند که عدم‌قطعیت مربوط به تقاضا را همراه با ظرفیت‌های حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی شبکه‌های زنجیره تأمین بشردوستانه حفظ می‌کند. مدل با استفاده از داده‌های دنیای واقعی از زلزله ۲۰۱۸ اندونزی در یک مطالعه موردی حل شد. جنبه‌های مختلفی از مسئله در مجموعه‌ای از آزمایش‌ها، از جمله اهمیت مدل‌سازی عدم‌قطعیت، تأثیر بودجه بر عملکرد راه‌حل و نقش عامل گسترش در درک دقیق بحران موردمطالعه قرار گرفت. هدف طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین بشردوستانه به‌حداقل‌رساندن آسیب کلی موردانتظار ناشی از تقاضاهای برآورده‌نشده برای منابع حیاتی درنظرگرفته‌شده در افق برنامه‌ریزی است.

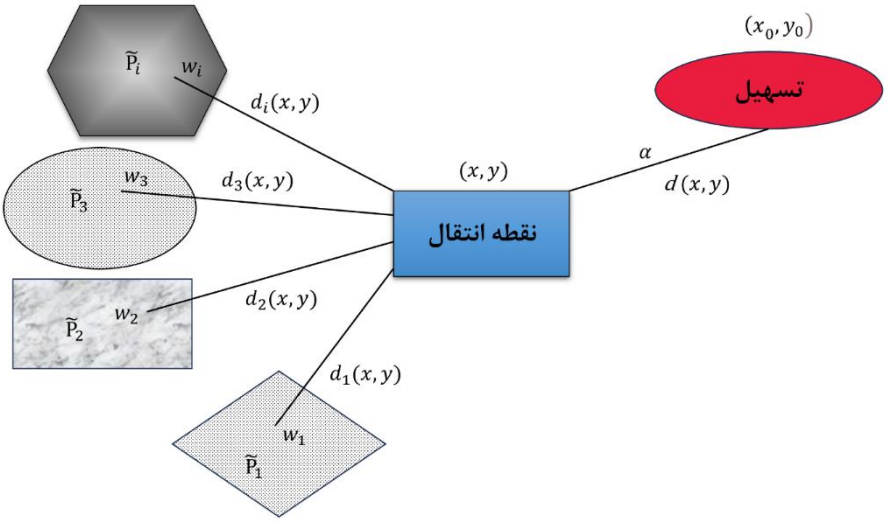
1. An & Cui
2. Kung, et al.
3. Zhang, et al.
4. Li, et al.

لی یو و همکاران[1] (۲۰۲۳)، یک مسئله زمان‌بندی امداد پس از فاجعه را در زنجیره‌های تأمین بشردوستانه پایدار با درنظرگرفتن منابع و تقاضاهای امدادی نامشخص به‌طور هم‌زمان موردمطالعه قرار دادند [۴۵]. هدف، به‌حداقل‌رساندن نرخ کل تقاضای برآورده‌نشده موردانتظار، اثرات نامطلوب محیطی و هزینه اقتصادی در تصمیم سطح بالا و به‌حداکثررساندن رضایت درک‌شده کل بازماندگان از تصمیم سطح پایین‌تر بود. برای این مسئله، ابتدا یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی تصادفی جدید ارائه و سپس یک روش حل ترکیبی شامل یک روش تقریب میانگین نمونه، یک الگوریتم اولیه ـ دوگانه، یک تکنیک خطی‌سازی و یک روش معیار جهانی پیشنهاد شد.

بهینه‌سازی قوی. یکی از مهم‌ترین مشکلات مدل‌های بهینه‌سازی کلاسیک، فرض قطعی‌بودن داده‌ها در مسائل بهینه‌سازی است. بااین‌حال در گستره وسیعی از مسائل دنیای واقعی، داده‌های موجود، غیرقطعی و نادقیق هستند. روش‌های متعددی برای به‌کارگیری داده‌های نادقیق در مبانی نظری بهینه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی وجود دارند. یکی از جدیدترین و عملیاتی‌ترین آن‌ها، بهینه‌سازی مقاوم است که در دهه‌های اخیر موردتوجه و مطالعه پژوهشگران سرشناسی قرار گرفته است. بهینه‌سازی مقاوم، زمانی به‌کار می‌آید که پارامترهای غیرقطعی مقادیر خود را از مجموعه‌های شامل سناریوها (حالت‌های ممکن) که از پیش توسط کاربر تعیین شده است، اختیار کنند. این مجموعه سناریوها را «مجموعه عدم‌قطعیت» می‌نامند. رویکرد بهینه‌سازی استوار، یافتن جوابی با لحاظ‌کردن تمام حالت‌های ممکن است تا جواب به‌دست‌آمده در مقابل تغییر در پارامترها و شرایط مسئله مقاوم باشد.

در بهینه‌سازی قوی، عدم‌قطعیت به دو صورت مدیریت می‌شود: مدل‌های قوی با سناریوهای گسسته و مدل‌های قوی با عدم‌قطعیت بازه. کلانتری و همکاران (۲۰۱۳)، مدل مکان‌یابی فازی نقطه انتقال را ارائه دادند [۳۶]. آن‌ها با این فرض که مدل تصادفی در زمان بحران به‌دلیل عدم‌شناخت پارامترهای تأثیرگذار بر مسئله کارایی لازم را ندارد، مدل فازی غیرخطی بدون محدودیت مکان‌یابی نقطه انتقال و حل تحلیلی مسئله را ارائه دادند؛ البته درنظرنگرفتن هیچ‌گونه محدودیتی برای مدل خود می‌تواند دلیلی بر عدم‌کارایی مدل ارائه‌شده باشد.

نمایش هندسی کلی مدل پیشنهادی در شکل ۸، نشان داده‌شده است. در این مدل، محل هر نقطه تقاضا دارای توزیع احتمال منطقه‌ای است؛ به‌طوری‌که هر نقطه در منطقه مربوطه می‌تواند یک نقطه تقاضا با درجه امکان $\alpha \in [0,1]$ باشد. توزیع احتمال $\tilde{x}_i$ و $\tilde{y}_i$ ممکن است برای مناطق مختلف تقاضا متفاوت باشد؛ همچنین هر نقطه تقاضا یک‌وزنی دارد. نمادها و مفروضات مسئله به‌صورت زیر است:



شکل ۸. نمایش هندسی مدل فازی حداقل مجموع مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال

1. Liu, et al.

نمادها

n: تعداد نقاط تقاضا

α: وزن اختصاص‌داده‌شده به تسهیل

(x_0, y_0) : مکان تسهیل

w_i : وزن اختصاص داده‌شده به نقطه تقاضای i

$(\tilde{x}, \tilde{y})$: مکان فازی نقطه انتقال

$(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$: مختصات احتمال ی نقطه تقاضای i $(\tilde{P}_i)$

$d(x, y)$: فاصله میان نقطه انتقال و تسهیل

$d_i(x, y)$: فاصله میان نقطه تقاضای i و نقطه انتقال

مفروضات

الف) مختصات نقاط تقاضا نامشخص است و به‌صورت اعداد فازی مثلثی نشان داده می‌شود.

رابطه (۵۰) $$(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i) = ((x_i^L, x_i^M, x_i^R), (y_i^L, y_i^M, y_i^R))$$

ب) فاصله بین نقطه تقاضا i و نقطه انتقال و همچنین بین نقطه انتقال و تسهیلات به ترتیب با روابط ۵۱ و ۵۲ اندازه‌گیری می‌شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، مختصات نقاط تقاضا ماهیت فازی دارند.

رابطه (۵۱) $$d_i(x, y) = (\tilde{x}_i - \tilde{x})^2 + (\tilde{y}_i - \tilde{y})^2$$

رابطه (۵۲) $$d(x, y) = (\tilde{x} - \tilde{x}_0)^2 + (\tilde{y} - \tilde{y}_0)^2$$

بنابراین متغیرهای تصمیم $\tilde{x}$ و $\tilde{y}$ باید به شکل اعداد فازی مشتق شوند. تعیین توزیع احتمال بهینه متغیرهای تصمیم $(\tilde{x}, \tilde{y})$ از طریق رابطه ۵۳، صورت گرفت تا تابع هدف حداقل شود.

رابطه (۵۳)
$$F = \min_{x,y} \left\{ \sum_{i=1}^{n} w_i d_i^2(x, y) + \alpha d^2(x, y) \right\}$$
$$= \min_{x,y} \left\{ \sum_{i=1}^{n} w_i [(\tilde{x}_i - \tilde{x})^2 + (\tilde{y}_i - \tilde{y})^2] + \alpha [(\tilde{x} - x_0)^2 + (\tilde{y} - y_0)^2] \right\}$$

رابطه ۵۳، یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی محدب است؛ بنابراین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم را می‌توان با استفاده از معادلات زیر به‌دست آورد:

رابطه (۵۴) $$\tilde{x}^* = \frac{\alpha x_0 + \sum_{i=1}^{n} w_i \tilde{x}_i}{\alpha + \sum_{i=1}^{n} w_i}$$

رابطه (۵۵) $$\tilde{y}^* = \frac{\alpha y_0 + \sum_{i=1}^{n} w_i \tilde{y}_i}{\alpha + \sum_{i=1}^{n} w_i}$$

کلانتری و همکاران (۲۰۱۴)، مدل قبل را با درنظرگرفتن وزن فازی برای نقاط تقاضا توسعه دادند و حل ابتکاری خود را توسط کنترلر فازی با رویکرد ممدانی ارائه کردند [۳۷]. مدل ارائه‌شده در این مقاله نیز همانند مقاله قبل فازی غیرخطی بدون محدودیت است و

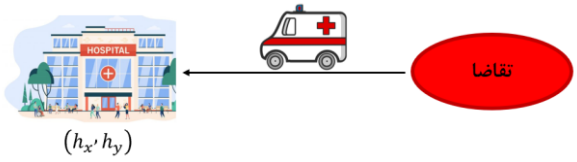
نوآوری اصلی آن نسبت به مقاله قبل درنظرگرفتن اوزان فازی و تکمیل راه‌حل ابتکاری بر اساس کنترلر فازی طراحی‌شده در مقاله قبل است.

طاهر کوچکی تاجانی و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط شامل مراحل جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون و محصولات خونی را با درنظر گرفتن طول عمر و سن تقاضا ارائه دادند که هدف مدل کاهش هزینه‌های متحمل بر زنجیره تأمین و نیز کاهش کمبود محصولات خونی بود [۴۱]. ازآنجاکه همواره احتمال تغییرات ذاتی در بسیاری از پارامترهای مسئله از جمله عرضه و تقاضا وجود دارد، از روش بهینه‌سازی استوار به منظور مقابله با این عدم‌اطمینان در زنجیره تأمین بهره گرفتند. مدل ارائه‌شده ابتدا با مثال عددی و در اندازه‌های کوچک به صورت حل دقیق و در اندازه بزرگ توسط الگوریتم‌های فراابتکاری وال و رقابت استعماری حل شد.

مراکل و یامن[1] (۲۰۱۶)، مدل پایداری را برای مکان‌یابی نقطه انتقال تحت تقاضای غیرقطعی گسترش دادند [۴۸]. در مقالات قبل تنها برای تقاضا یک حد بالا در نظر گرفته می‌شد؛ اما در این مقاله برای تقاضا یک حد پایین و یک حد بالا در نظر گرفته شده است که هر دو غیرقطعی هستند. در این مقاله با رویکرد مدل‌سازی خطی عدد صحیح و با تابع هدف کمّینه بیشینه، تابع ریاضی فرموله می‌شود. نویسندگان برای حل مدل از روش تجزیه‌وتحلیل گوشه استفاده کردند تا مسئله به یک مسئله کوچک‌تر تبدیل شود. در این مدل ارتباط مستقیم بین تقاضا و تسهیلات وجود ندارد، تعداد نقاط تقاضا مشخص است و تعداد نقاط احتمالی برای راه‌اندازی محور مشخص است. مسئله با توجه به غیرقطعی‌بودن تقاضا و ضریب شکست برای وسیله نقلیه حل می‌شود.

محمدی و یعقوبی (۲۰۱۷)، یک مدل دوهدفه احتمالی را برای طراحی شبکه خدمت‌رسانی در زمان بحران با ارائه خدمات پشتیبان ارائه دادند [۴۹]. در این پژوهش یک مدل دوهدفه احتمالی برای مکان‌یابی نقاط انتقال و مراکز توزیع اقلام درمانی توسعه داده شده است. هدف نخست، حداقل‌کردن هزینه ثابت راه‌اندازی انبارهای رهایی و انبارهای پشتیبان است؛ به‌طوری‌که احتمال عدم‌خدمت‌رسانی به یک نقطه از یک میزان بحرانی مشخص‌شده کمتر نشود و هدف دوم حداقل‌کردن فاصله بین بیمارستان و انبارهای رهایی است. در مرحله نخست، مدل مکان تسهیلات را شناسایی می‌کند و در مرحله بعد مسیریابی بین شبکه صورت می‌گیرد؛ به‌طوری‌که زمان انتقال مجروحان (مسیر) حداقل شود؛ به‌عبارتی در اینجا زمان تابعی از مسیر در نظر گرفته شده است.

بزرگی امیری و همکاران (۲۰۱۷)، مکان‌یابی ایستگاه بالگرد و محل فرود آن را برای خدمت‌رسانی به مجروحان در شرایط عدم‌قطعیت ارائه دادند [۱۴]. در این پژوهش یک مدل عدد صحیح غیرخطی با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت در تقاضا ارائه شد. در این مقاله نیز سه سناریو برای انتقال مجروحان در نظر گرفته شده است: انتقال مستقیم مجروح به بیمارستان با آمبولانس، انتقال مجروح به ایستگاه بالگرد و سپس انتقال به بیمارستان با بالگرد، انتقال مجروح با آمبولانس به محل فرود بالگرد و آمدن بالگرد از ایستگاه به محل فرود، سپس انتقال بیمار با بالگرد به بیمارستان که در شکل‌های ۹ تا ۱۱، نشان داده شده است.



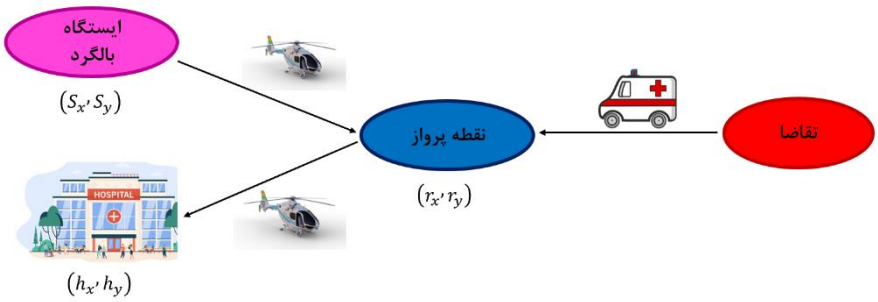
شکل ۹. سناریوی اول انتقال مجروحان از مکان تقاضا به بیمارستان [۱۴]

با توجه به شکل ۹، مجروحان به‌صورت مستقیم از نقاط تقاضا به بیمارستان منتقل می‌شوند.

شکل ۱۰. سناریوی دوم انتقال مجروحان از مکان تقاضا به بیمارستان [۱۴]

1. Merakl & Yaman

در شکل۱۰، نیز مجروحین به‌صورت غیرمستقیم و با استفاده از ایستگاه‌های بالگرد که تجهیزات حمل‌ونقل در این ایستگاه‌ها مستقر هستند به بیمارستان منتقل می‌شوند.



شکل۱۱. سناریوی سوم انتقال مجروحان از مکان تقاضا به بیمارستان [۱۴]

در شکل ۱۱، نیز مجروحان به‌صورت غیرمستقیم و با استفاده از آمبولانس به نقاط پرواز منتقل شده و در این نقاط با استفاده از بالگردهایی که از ایستگاه‌های بالگرد در این نقاط فرود می‌آیند به بیمارستان منتقل می‌شوند. در این مدل مسیر آمبولانس به‌صورت محاسبه فاصله مسیر و مسیر بالگرد مسیر مستقیم در نظر گرفته شده است. مولوی و همکاران[1] (۲۰۰۴)، مفهوم بهینه‌سازی قوی را پیشنهاد کردند. آن‌ها عدم‌قطعیت را از طریق مجموعه‌ای از سناریوهای گسسته در نظر گرفتند [۵۵].

برتسیماس و سیم[2] (۲۰۰۴)، یک رویکرد بهینه‌سازی قوی برای عدم‌قطعیت پارامتر پیشنهاد کردند. هر دو نوع رویکرد برای بهینه‌سازی قوی در مسائل مکان‌یابی تسهیلات در تدارکات بشردوستانه موردمطالعه قرار می‌گیرند [۱۱].

رضایی ملک و همکاران (۲۰۱۶)، یک تکنیک مدل‌سازی بهینه‌سازی تصادفی قوی به‌منظور طراحی یک شبکه لجستیک امدادی برای مرحله آماده‌سازی و پاسخ به یک فاجعه پیشنهاد کردند [۶۶]. هدف مدل آن‌ها به‌حداقل‌رساندن هزینه در هر دو مرحله قبل و بعد از فاجعه بود. ازآنجاکه مدل آن‌ها چندهدفه است، آن‌ها رویکرد مبتنی بر متریک چبی‌شف را اعمال کردند.

ساجدی و همکاران (۲۰۲۱)، به مکان‌یابی اجزای یک زنجیره تأمین سه‌هدفه، حلقه‌بسته پایدار، چندکالایی و چنددوره‌ای با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت و سناریوهای بازار با رویکرد ریسک پرداختند [۶۷]. نوآوری‌های پژوهش آن‌ها عبارتند از: درنظر گرفتن ریسک در زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار به‌عنوان بخشی از تابع هدف؛ درنظرگرفتن عدم‌قطعیت تقاضا در زنجیره تأمین با استفاده از سناریوهای تعریف‌شده؛ توجه به کیفیت محصولات بازگشتی؛ چنددوره‌ای‌بودن و چندمحصولی‌بودن مدل و سفارشی‌کردن مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی واقعی. با توجه به NP-Hardبودن مسئله، مدل پیشنهادی با استفاده از رویکرد فرابتکاری ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II حل شده است.

یکی دیگر از رویکردهای بهینه‌سازی تصادفی قوی توسط ماگی و همکاران[3] (۲۰۱۷)، برای مشکل مکان‌یابی مرکز مراقبت‌های بهداشتی پس از فاجعه پیشنهاد شده است[۵۴]. برای دسترسی به افرادی که ممکن است نیاز به دریافت خدمات از مراکز مراقبت بهداشتی داشته باشند و برای اینکه عدالت در میان افراد متأثر از بلایا تأثیر منفی کمتری داشته باشد، نویسندگان بر سیستم هماهنگی بین تصمیمات مکان تأسیسات و سازمان‌های پاسخگوی ارائه‌دهندگان تسهیلات بهداشتی تأکید کردند. آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی قوی و پویا مبتنی بر سناریو را برای تعیین کمّیت تأثیر بر دسترسی و برابری ناشی از ناهماهنگی در مکان‌یابی امکانات خدمات بهداشتی پس از فاجعه معرفی کردند.

نی و همکاران[4] (۲۰۱۸)، یک مدل قوی حداقل حداکثر برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های مکان تأسیسات، پیش‌موقعیت موجودی، و عملیات تحویل امداد پیشنهاد کردند [۵۶]. از سوی دیگر، محمدی و همکاران (۲۰۱۸)، مدلی را برای مکان‌یابی تأسیسات و مسیریابی آسیب‌دیدگان به امن‌ترین مکان که پژوهشگران پس‌لرزه زلزله را در نظر گرفته‌اند، پیشنهاد کردند [۵۰]. یحیایی و بزرگی امیری (۲۰۱۸)، از روش عدم‌قطعیت فاصله‌ای برای طراحی یک شبکه امداد بشردوستانه قابل‌اعتماد استفاده کردند [۷۷]. آن‌ها سناریوی اختلال در مراکز

1. Mulvey, et al.
2. Bertsimas & Sim
3. Muggy, et al.
4. Ni, et al.

توزیع را در نظر گرفته و برای حمایت از مراکز مختل، سرویس اشتراک‌گذاری خوب را از مرکز بدون اختلال در نظر گرفتند. استفاده از امکانات هواپزشکی پس از فاجعه تا سال ۲۰۱۹ اغلب موردمطالعه قرار نگرفت. برای تعیین مکان تأسیسات هواپزشکی، عدد بهینه برای استفاده در یک موقعیت خاص توسط جنکینز[1] (۲۰۱۹) بررسی شده است[۳۳].

گائو و همکاران[2] (۲۰۱۹)، یک مدل ریاضی قوی را پیشنهاد کردند که تخلیه در مقیاس بزرگ را مدیریت می‌کند [۲۳]. مسئله به دو مرحله تقسیم شد: مرحله شناسایی سایت مونتاژ که به‌عنوان یک مدل غیرخطی فرموله شد و فاز دوم که در آن زمان‌بندی و مسیریابی خودرو با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شد. برخی از مدل‌های احتمالی بررسی شدند که در آن پژوهشگران از روش محدود شانس در مدل خود استفاده کردند. رنکلی و دوران[3] (۲۰۱۵)، به‌عنوان برنامه‌ریزی قبل از فاجعه بر کاهش زمان رسیدن اقلام امدادی به مناطق آسیب‌دیده و تخصیص کارآمد اقلام امدادی تأکید کردند [۶۵]. آن‌ها یک مدل برنامه‌نویسی اعداد صحیح مختلط برای موقعیت‌یابی پیش از انبارها در سراسر یک منطقه بالقوه ایجاد کردند؛ همچنین از محدودیت‌های احتمالی برای اطمینان از رسیدن اقلام امدادی در یک پنجره زمانی خاص بهره گرفتند.

کینای و همکاران[4] (۲۰۱۷)، یک چارچوب مدل‌سازی برای یافتن مکان پناهگاه تحت عدم‌قطعیت تقاضا ایجاد کردند. در مدل احتمالی آن‌ها، نرخ بهره‌برداری از پناهگاه‌ها و ظرفیت آن‌ها به‌عنوان محدودیت احتمالی در نظر گرفته شده است [۳۹].

نیکجو و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل ریاضی چندهدفه تحت شرایط عدم‌قطعیت ارائه دادند که به دنبال پیداکردن مکانی بهینه برای استقرار تسهیلات و سپس میزان تخصیص بهینه کالا میان این تسهیلات و تخصیص مصدوم به بیمارستان و همچنین یافتن مسیری بهینه برای رساندن نیروهای انسانی به مناطق آسیب‌دیده برای رسیدن به اهدافی چون کاهش هزینه، توزیع کالا و امداد پزشکی عادلانه میان مناطق و کاهش زمان رسیدن نیروهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده بود [۵۷]. مدل موجود به عدم‌قطعیت شدت حادثه توجه دارد و این عدم‌قطعیت در شدت حادثه که موجب عدم‌قطعیت در میزان تقاضای کالا و نیروی انسانی و میزان خسارت و مصدومان خواهد شد، با استفاده از روش استوارسازی در مدل لحاظ شده است. به‌علت چندهدفه‌بودن مدل به کمک یکی از روش‌های تک‌هدفه سازی، مدل تک‌هدفه شده و در نهایت در یک مطالعه موردی برای اثبات صحت و کارایی موردبررسی قرار گرفته است.

علیزاده و همکاران (۲۰۲۰)، یک مسئله مکان‌یابی مجموعه نقاط تصادفات را به‌عنوان یک مدل بهینه‌سازی تصادفی پایدار دومرحله‌ای در یک محیط نامشخص فرموله کردند [۳]. در این رویکرد مدل‌سازی، تصمیمات طراحی شبکه با تصمیمات عملیاتی پاسخ‌دهی چنددوره‌ای تلفیق می‌شود که در آن تعداد تلفات با سطوح مختلف صدمات ناشی از مناطق آسیب‌دیده نامشخص است؛ همچنین ظرفیت حمل‌ونقل برای تخلیه تلفات به مجموعه نقاط تصادفات و بیمارستان‌ها نیز نامشخص است. برای حل این مسئله پیچیده، یک روش تقریب میانگین نمونه‌ای قوی با روش ترمیم امکان‌سنجی پیشنهادشده است و کارایی آن از طریق یک روش اعتبارسنجی آماری بررسی می‌شود.

بوستانی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مسئله زنجیره امداد سه‌سطحی در مراحل قبل و بعد از فاجعه به‌منظور حمایت از پایداری در زمینه عملیات امداد بشردوستانه پیشنهاد کردند [۱۲]. آن‌ها یک شبکه جامع لجستیک امداد با درنظرگرفتن مسائل برنامه‌ریزی استراتژیک و تاکتیکی در مورد مکان تسهیلات، تدارکات و تخصیص منابع توسعه دادند و شامل مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمنظوره مختلط عدد صحیح است که هزینه‌های کل زنجیره تأمین امداد بشردوستانه (هزینه‌های مراحل آمادگی و واکنش) را حداقل، رفاه اجتماعی را حداکثر (از طریق به‌حداکثررساندن حداقل نرخ رضایت در میان مناطق فاجعه) و اثرات زیست‌محیطی (اثرات زیست‌محیطی مراحل امداد، و انتقال پیشنهادشده در شبکه) را حداقل می‌کند. مسئله لجستیک بشردوستانه پایدار چندهدفه پیشنهادی با استفاده از روش برنامه‌نویسی توافقی[5] و روش بهینه‌سازی لکسیکوگرافیک[6] حل شد.

هوک و همکاران[7] (۲۰۲۱)، پژوهشی با هدف توسعه یک رویکرد مدل‌سازی فاصله‌ای برای بررسی مکان‌یابی بهینه و اثرات اقتصادی جمع‌آوری، انتقال و حمل‌ونقل پسماندهای جامد شهری ایستگاه‌های انتقال انجام دادند [۲۸]. یک تحلیل مناسب مبتنی بر سیستم

1. F.R Jenkins
2. GAO, et al.
3. Renkli & Duran
4. Kınay, et al.
1. Compromise Programing
2. Lexicographic Optimization Method
7. Hoke, et al.

اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی مکان‌های بالقوه ایستگاه انتقال و سپس یک تحلیل سناریو برای تعیین مکان‌های بهینه ایستگاه انتقال و مسیرهای جمع‌آوری زباله برای ظرفیت‌های مختلف خودروی جمع‌آوری از طریق مدل‌سازی مسئله مسیریابی خودرو انجام شد.

معماری و همکاران (۲۰۲۳)، مکان‌یابی برخی از ایستگاه‌های اورژانس موقت در سراسر منطقه با پوشش حداکثری پس از یک فاجعه را بررسی کردند[۷۳]؛ همچنین یک ناوگان چندحالته برای انتقال بیماران با استفاده از روش‌های مختلف حمل‌ونقل (برای مثال، آمبولانس بالگردی و آمبولانس اتوبوس) استفاده شد. ازآنجاکه نوع بیماران ممکن است در طول دوره‌ها تغییر کند، سرورهای پزشکی می‌توانند بر اساس شدت فاجعه به‌صورت پویا بین ایستگاه‌های اورژانس موقت جابه‌جا شوند. برای این منظور، یک مدل مکان‌یابی پویا دوهدفه ـ بالگرد تخصیص آمبولانس ـ مدل مسیریابی آمبولانس با سرورهای چند پزشکی ارائه شد. تابع هدف اول هزینه‌های عملیاتی مربوط به خدمات فوریت‌های پزشکی جدید طراحی‌شده همراه با میزان تلفات انسانی را به حداقل می‌رساند. تابع هدف دوم زمان بحرانی صرف‌شده قبل از درمان پزشکی را به حداقل می‌رساند. برای اعتبارسنجی مدل توسعه‌یافته از روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده برای شهر تهران استفاده شد که کاربرد مدل را نشان می‌دهد. درنهایت دو الگوریتم فراابتکاری برای مسائل با اندازه بزرگ پیشنهاد شد و نتایج مرتبط بر اساس معیارهای مقایسه عملکرد الگوریتم‌های چندهدفه برای یافتن الگوریتم کارآمدتر مقایسه شدند.

ژانگ و همکاران[1] (۲۰۲۳)، طراحی شبکه تدارکات اضطراری قابل‌اعتماد برای کووید ۱۹ را با توجه به تقاضاهای نامشخص و متغیر زمان پیشنهاد دادند [۷۳]. این مقاله بر طراحی یک شبکه لجستیک اضطراری، از جمله استقرار امکانات اضطراری و تخصیص منابع برای برآوردن نیازهای متغیر با زمان تمرکز دارد. یک چارچوب پیش‌بینی تقاضا ـ بهینه‌سازی شبکه ـ تصمیم برای طراحی شبکه لجستیک اضطراری پیشنهاد شده است. در این پژوهش با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت تقاضاهای برآوردشده، یک مدل بهینه‌سازی قوی استقرار تسهیلات چندمرحله‌ای و تخصیص منابع با ظرفیت چنددوره‌ای برای بهبود قابلیت اطمینان تصمیمات ارائه شده است. برای حل مدل از الگوریتم افق غلطان[2] استفاده شد. نتایج مطالعه موردی نشان داد که ۱. روش پیش‌بینی کوتاه‌مدت دقت بالاتری دارد و دقت با مقدار داده‌های مشاهده‌شده افزایش می‌یابد. ۲. با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت تقاضا، مدل بهینه‌سازی قوی پیشنهادی همراه با استراتژی تعدیل عدم‌قطعیت بودجه می‌تواند عملکرد شبکه لجستیک اضطراری را بهبود بخشد. ۳. روش راه‌حل پیشنهادی کارآمدتر است؛ به‌ویژه برای موارد در مقیاس بزرگ. همچنین برخی از بینش‌های مدیریتی مرتبط با مسئله طراحی شبکه لجستیک اضطراری ارائه شده است. سان و همکاران[3] (۲۰۲۲)، یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه قوی مبتنی بر سناریو ارائه دادند که مکان تأسیسات پزشکی، حمل‌ونقل مصدوم و تخصیص کالای امدادی را با درنظرگرفتن تریاژ ادغام کرده است [۶۹]. هدف مدل پیشنهادی به‌حداقل‌رساندن مجموع هزینه محرومیت مصدومان به‌دلیل تأخیر در دسترسی به خدمات پزشکی و هزینه کل عملیات است. با درنظرگرفتن تعداد نامشخص تلفات تحت هر سناریو، روش قوی که عدم‌قطعیت را به‌عنوان داده‌های بازه‌ای نشان می‌دهد، ارائه شده است. از روش محدودیت اپسیلون برای مقابله با مدل دوهدفه استفاده شده است. یانگ و همکاران[4] (۲۰۲۳)، مدل تخصیص مکان چنددوره‌ای قوی با منابع و سطوح ظرفیت متعدد در تدارکات بشردوستانه را ارائه دادند [۷۸]. یک مدل قوی توزیعی برای مسئله تخصیص مکان چنددوره‌ای با منابع و سطوح ظرفیت متعدد تحت تقاضای اضطراری نامشخص و زمان تکمیل منابع با تنها اطلاعات توزیع محدودی که در تدارکات بشردوستانه دردسترس است، توسعه داده شد. همچنین نشان داده شد که مدل را می‌توان به‌طور معادل به‌عنوان یک برنامه خطی عدد صحیح مختلط مجدداً فرمول‌بندی کرده و یک الگوریتم برش شاخه و بندرز برای حل آن ایجاد کرد. برای افزایش کارایی الگوریتم، برخی از استراتژی‌های بهبود پیشنهادشده است؛ ازجمله تولید برش بندرز به بیرون، بهبود دوگان و عادی‌سازی متغیرهای دوگانه.

یین و همکاران[5] (۲۰۲۳)، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با هواپیماهای بدون سرنشین تحت تقاضاهای نامشخص و زمان سفر کامیون را بررسی کردند [۸۱]. برای این مسئله، یک مدل بهینه‌سازی قوی متناسب با مجموعه عدم‌قطعیت بودجه شناخته‌شده ارائه و یک الگوریتم شاخه و قیمت و برش پیشرفته توسعه داده شد که یک الگوریتم دوجهته محدود را برای حل مسئله قیمت‌گذاری ایجاد می‌کند. مطالعات عددی گسترده‌ای برای ارزیابی عملکرد الگوریتم توسعه‌یافته انجام شده و مزایای درنظرگرفتن عدم‌قطعیت و استحکام مدل موردبحث قرار گرفته و تأثیر پارامترهای مدل کلیدی بر راه‌حل بهینه تحلیل شده است.

1. Zhang, et al.
5. Rolling Horizon algorithm
3. Sun, et al.
4. Yang, et al.
5. Yin, et al.

۳. یافته‌های پژوهش

دسته‌بندی مقالات مرورشده. در این بخش بر اساس مرور مبانی نظری، مقالات از جهات زیر دسته‌بندی می‌شوند؛ البته ممکن است در یک مقاله بیش از یک حالت ارائه شده باشد:

ـ نوع مسئله: مسئله می‌تواند انواع مسائلی باشد که در مرور مبانی نظری به آن اشاره شده است. مسائل میانه، مسائل مرکز، مسائل پوشش، مسائل مکان‌یابی نقاط انتقال، مسائل مکان‌یابی پویای تسهیلات، مکان‌یابی تسهیلات بدون ظرفیت و مکان‌یابی تسهیلات دارای ظرفیت و در مورد مسائل غیرخطی برنامه‌ریزی تصادفی و یا بهینه‌سازی قوی.

ـ تابع هدف: تابع هدف ارائه‌شده می‌تواند حداقل مجموع،کمّینه بیشینه و یا حداکثرکردن باشد.

ـ رویکرد حل: بر اساس مدل ارائه‌شده اگر خطی و یا غیرخطی محدب باشد، رویکرد حل دقیق و در غیر این صورت حل ابتکاری ارائه می‌شود.

ـ متغیر: پارامترها می‌توانند به دو حالت قطعی و غیرقطعی ارائه شده باشند.

جدول ۱. مدل‌های قطعی مسئله مکان‌یابی تسهیلات

پژوهشگر (سال)	تابع هدف		تصمیم‌گیری	روش حل		نوع مسئله
	حداقل‌سازی	حداکثرسازی		روش دقیق	روش غیردقیق	
راث و همکاران، (۲۰۱۴)[۶۳]	√	√	شناسایی انبار، مقدار اقلام امدادی، حداکثر بودجه عملیاتی، انتخاب مسیر وسیله نقلیه		√	مدل پوشش مجموعه و مسیریابی وسیله نقلیه
لین و همکاران، (۲۰۱۲) [۴۴]	√		محل انبار، تعداد وسایل نقلیه، نقطه تقاضا		√	حداقل‌سازی مکان‌یابی تسهیلات
ابوناصر و همکاران، (۲۰۱۴) [۱]	√		انتخاب مکان، مقدار کالا برای تحویل	√		حداقل پوشش مجموعه، حداکثر پوشش
برزین‌پور و همکاران، (۲۰۱۴) [۷]	√	√	محل پناهگاه، تخصیص افراد، مقدار کالا	√		حداکثر پوشش
هو و همکاران، (۲۰۱۷) [۳۱]	√		انتخاب مکان، کمترین فاصله، تخصیص مردم به پناهگاه، هزینه ساخت		√	پوشش مجموعه
یی و همکاران، (۲۰۱۵) [۷۹]	√		انتخاب محل انبار، انتخاب انبار باز برای عملیات اضطراری	√		مسئله p- مرکز
خیال و همکاران، (۲۰۱۵) [۳۸]	√		محل عرضه و تقاضا، تخصیص منابع، پوشش	√		مکان‌یابی پویای تسهیلات
ژو و همکاران(۲۰۱۶) [۷۰]	√	√	انتخاب محل پناهگاه تخلیه		√	$p-median$ و پوشش
چن و همکاران(۲۰۱۶) [۱۸]	√		انتخاب مکان موقت خدمات پزشکی	√		مکان‌یابی تسهیلات
پرز–گلارک و همکاران، (۲۰۱۷) [۶۰]	√		تعداد قربانی، مکان‌یابی مرکز پناهندگان	√		مکان‌یابی تسهیلات بدون ظرفیت
کوتس و همکاران، (۲۰۱۹) [۲۰]	√		مقدار محصول اضافی	√		مکان‌یابی تسهیلات
ربانی و همکاران، (۲۰۲۲) [۶۲]	√		یافتن بهترین توالی مسیرها		√	مکان‌یابی و مسیریابی
پان‌چالی و همکاران، (۲۰۲۱) [۶۱]	√		مکان‌یابی بهینه پناهگاه‌ها	√		مکان‌یابی و تخصیص
چو و همکاران، (۲۰۲۱) [۱۹]	√		مکان بهینه تسهیلات و تخصیص منابع		√	مکان‌یابی و تخصیص
زارع پور و همکاران، (۲۰۲۱) [۷۱]	√		مکان بهینه مراکز امدادی	√		مکان‌یابی و تخصیص
پنجه‌ایین و همکاران، (۲۰۲۳) [۵۹]	√		مکان بهینه مراکز امدادی	√	√	مکان‌یابی ـ تخصیص و مسیریابی
ارکان و همکاران، (۲۰۱۹) [۲۴]		√	زمان بهینه، یافتن بهترین مسیر	√		مکان‌یابی ـ تخصیص و مسیریابی
وانگ و همکاران، (۲۰۲۳) [۷۴]	√		زمان بهینه، یافتن بهترین مسیر		√	مکان‌یابی و مسیریابی

پژوهشگر (سال)	تابع هدف		تصمیم‌گیری	روش حل		نوع مسئله
	حداقل‌سازی	حداکثرسازی		روش دقیق	روش غیردقیق	
وانگ و همکاران، (۲۰۲۳) [۷۵]	√	√	مکان بهینه تسهیلات، تخصیص بهینه منابع	√		مکان‌یابی و مسیریابی
وانگ و همکاران، (۲۰۲۳) [۷۶]	√		مکان مراکز توزیع، مسیر بهینه	√		مکان‌یابی و مسیریابی

جدول ۲. مدل‌های غیرقطعی مسئله مکان‌یابی تسهیلات

پژوهشگر (سال)	تابع هدف			تصمیم‌گیری	پارامترهای غیرقطعی	نوع عدم‌قطعیت	روش حل		نوع مسئله
	Min	Max	Mini Max				روش دقیق	روش غیردقیق	
حسینی‌جو و همکاران، (۲۰۰۹) [۲۹]			√	مکان بهینه برای نقطه انتقال	نقطه تقاضا	تصادفی		√	مکان‌یابی احتمالی نقطه انتقال
حسینی‌جو و همکاران، (۲۰۱۱) [۳۰]			√	مکان بهینه برای نقطه انتقال	نقاط تقاضا	تصادفی		√	مکان‌یابی احتمالی نقطه انتقال
کلانتری و همکاران، (۲۰۱۴) [۳۷]	√			مکان‌یابی تسهیلات	وزن نقاط تقاضا	فازی		√	مدل احتمالی حداقل
مراکل و همکاران، (۲۰۱۶) [۴۸]			√	مکان‌یابی نقاط انتقال	تقاضا، ضریب شکست وسایل حمل‌ونقل	قوی	√		کم□ینه بیشینه بهینه‌سازی قوی
محمدی و همکاران، (۲۰۱۷) [۴۹]	√			مکان‌یابی نقاط انتقال و مراکز توزیع	خرابی انبارها و مسیرها	تصادفی	√		برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
بزرگی امیری و همکاران، (۲۰۱۷) [۱۴]	√			مکان‌یابی ایستگاه بالگرد و محل فرود بالگرد	تقاضا	قوی	------	------	بهینه‌سازی قوی
آن و همکاران، (۲۰۲۱) [۵۱]	√			مکان‌یابی تسهیلات، تخصیص خدمات	مکان فاجعه	تصادفی		√	برنامه‌ریزی تصادفی
مورنو و همکاران، (۲۰۱۸) [۵۳]	√			مرحله اول: مکان، تعداد وسایل نقلیه خریداری‌شده مرحله دوم: تعداد وسیله نقلیه خریداری‌شده ، مقدار کالا به کشتی، موجودی کالا، تقاضای برآورده‌نشده	تقاضا، عرضه ورودی، مسیرهای موجود	تصادفی	√		برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
کینای و همکاران، (۲۰۱۷) [۳۹]			√	انتخاب مکان تسهیلات، تخصیص نقاط تقاضا به تسهیلات باز	تقاضا	تصادفی	√		مدل احتمالی حداکثر ـ حداقل
رضایی ملک و همکاران، (۲۰۱۶) [۶۶]	√			انتخاب محل انبار، مقدار کالا برای انتقال، کمبود کالا، سطح موجودی	اختلال، تقاضا، زمان حمل‌ونقل	قوی	√		بهینه‌سازی تصادفی قوی

پژوهشگر (سال)	تابع هدف			تصمیم‌گیری	پارامترهای غیرقطعی	نوع عدم‌قطعیت	روش حل		نوع مسئله
	Min	Max	Mini Max				روش دقیق	روش غیردقیق	
ماگی و همکاران، (۲۰۱۷) [۵۴]		√		مکان تسهیلات	عرضه، تقاضا	قوی	√		بهینه‌سازی تصادفی قوی
نی و همکاران(۲۰۱۸) [۵۶]	√			محل تسهیلات، مقدار موجودی	تقاضا، موجودی‌های قابل‌استفاده، ظرفیت ارتباط جاده‌ای	قوی	√		کمینه بیشینه بهینه‌سازی قوی
یحیایی و همکاران، (۲۰۱۸) [۷۷]	√			محل تسهیلات، مقدار کالای کمکی	تعداد افراد آسیب‌دیده	قوی	√		بهینه‌سازی قوی
اوکسوز و همکاران، (۲۰۲۱) [۵۸]	√			مرحله اول: انتخاب مکان مرکز پزشکی مرحله دوم: تخصیص مصدومان، تعیین مرکز پزشکی	ظرفیت بیمارستان، تعداد مصدومان، فاصله جاده	تصادفی	√		برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
جولیا مونزو و همکاران، (۲۰۲۰) [۵۲]	√			مرحله اول: انتخاب مسیر، میزان موجودی مرحله دوم: جریان کالا، مقدار عرضه	تقاضا و وضعیت شبکه حمل‌ونقل	تصادفی	√		برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
فیلیپ و همکاران، (۲۰۱۹) [۳۳]			√	انتخاب مکان، تخصیص مجدد، استقرار بالگرد	بالگرد هوا پزشکی	قوی	√		بهینه‌سازی قوی
بوستانی و همکاران، (۲۰۲۰) [۱۲]	√	√		تعداد بهینه، ظرفیت، مکان مراکز توزیع	رخ دادن سناریوهای مختلف	تصادفی	√		برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه
معماری و همکاران، (۲۰۲۰) [۴۷]	√			انتخاب مکان ایستگاه‌های اورژانس موقت	میزان تقاضا	قوی	√	√	بهینه‌سازی تصادفی قوی
علیزاده و همکاران، (۲۰۲۰) [۳]	√			طراحی شبکه مناسب، تصمیمات عملیاتی با تنظیمات چند دوره‌ای	تعداد تلفات، ظرفیت حمل‌ونقل وسایل نقلیه	قوی	√		بهینه‌سازی قوی
محمدی و همکاران، (۲۰۱۷) [۴۹]	√			انتخاب تأمین‌کننده، انتخاب مرکز توزیع	تقاضا، ظرفیت تسهیلات، زمان، هزینه	قوی	√		بهینه‌سازی قوی
ژانگ و همکاران، (۲۰۱۸) [۷۲]	√			مکان بهینه انبار اضطراری و پناهگاه	تقاضا	تصادفی		√	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
لی و همکاران، (۲۰۲۲) [۴۳]	√			مکان بهینه برای مراکز اورژانسی	هزینه جریمه ، هزینه توزیع ، فواصل، تقاضا، ظرفیت	تصادفی		√	برنامه‌ریزی تصادفی
کونگ و همکاران، (۲۰۲۱) [۴۲]	√			تعداد بهینه گروه‌های بازیابی مراقبت‌های ویژه کودکان	زمان سفر	تصادفی		√	برنامه‌ریزی تصادفی

پژوهشگر (سال)	تابع هدف			تصمیم‌گیری	پارامترهای غیرقطعی	نوع عدم‌قطعیت	روش حل		نوع مسئله
	Min	Max	Mini Max				روش دقیق	روش غیردقیق	
دانشور و همکاران، (۲۰۲۲) [۴۵]	√			مکان بهینه جهت توزیع لوازم حیاتی	تقاضا، ظرفیت حمل‌ونقل	تصادفی	√		برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
ژانگ و همکاران، (۲۰۲۰) [۴۷]	√			استقرار امکانات اضطراری و تخصیص منابع برای برآوردن نیازهای متغیر	تقاضا	قوی		√	بهینه‌سازی قوی
لی‌یو و همکاران، (۲۰۲۳) [۲۱]			√	استقرار امکانات اضطراری و تخصیص منابع برای برآوردن نیازهای متغیر	منابع امدادی، تقاضا	تصادفی		√	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
سان و همکاران، (۲۰۲۲) [۶۹]	√			مکان تسهیلات پزشکی، میزان تخصیص کالای امدادی	تعداد تلفات هر سناریو	قوی		√	بهینه‌سازی قوی
یانگ و همکاران، (۲۰۲۳) [۷۸]	√	√		تخصیص مراکز توزیعی	زمان، تقاضا	قوی		√	بهینه‌سازی قوی
یین و همکاران، (۲۰۲۳) [۸۱]	√			مسیریابی بهینه	زمان سفر، تقاضا و بودجه	قوی		√	بهینه‌سازی قوی

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه، با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی قبل از فاجعه و همچنین مدل بهینه‌سازی ریاضی برای مکان‌یابی تسهیلات و مراکز امداد، مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ برای بررسی مدل‌های بهینه‌سازی در زمینه تدارکات بشردوستانه موردمطالعه قرار گرفته است. هدف این پژوهش پرداختن به روند پژوهش‌های فعلی تدارکات بشردوستانه، به‌ویژه مسئله بهینه‌سازی مورداستفاده برای دستیابی به اهداف مختلف بخش مکان‌یابی تسهیلات تدارکات بشردوستانه و ارائه برای پژوهش‌های آینده است. محدودیت این مطالعه این است که فقط مدل ریاضی را در نظر می‌گیرد. دوم اینکه مقالات پژوهشی منتشرشده قبل از سال ۲۰۰۴ در این مطالعه گنجانده نشده است. در مورد مسائل مکان‌یابی تسهیلات، تمامی انواع مسئله مکان‌یابی تسهیلات موردمطالعه قرار گرفته و در این مطالعه سعی شده است که مقالات موردبررسی در دو دسته مسائل با مدل‌های قطعی و غیرقطعی طبقه‌بندی شوند. در جدول مدل‌های قطعی، نوع تابع هدف، متغیرهای تصمیم‌گیری، نوع مدل و روش‌های حل گنجانده شده است. در مدل‌های غیرقطعی، این مطالعه بیشتر رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی و بهینه‌سازی قوی را پوشش می‌دهد. درنهایت می‌توان نتیجه گرفت که این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران در درک روند فعلی مسئله بهینه‌سازی در تدارکات بشردوستانه و تکنیک‌های مدل‌سازی مفید باشد. پژوهشگران می‌توانند به‌راحتی خلأ پژوهش را دریابند و از طریق پژوهش‌های خود به جامعه کمک کنند.

شکاف پژوهشی و پیشنهادهای آتی. در این بخش با توجه به مقالات مرورشده و همچنین با مراجعه به جدول مرور مبانی نظری ارائه‌شده می‌توان به نکاتی که به آن‌ها پرداخته نشده یا کمتر پرداخته شده است، دست یافت و پیشنهادهایی برای مطالعات آتی ارائه داد:

بررسی دقیق مقالات مطالعه‌شده نشان می‌دهد که بیشتر تمرکز تدارکات بشردوستانه بر روی مرحله آمادگی و پاسخ با درنظرگرفتن مکان تسهیلات است. در مرحله آماده‌سازی، اگرچه پژوهش‌هایی وجود دارد که در آن پژوهشگران مکان بهینه پناهگاه‌ها، مراکز توزیع دائمی و مکان مراکز درمانی دائمی را بررسی کرده‌اند؛ اما مطالعه کافی در مورد برنامه‌ریزی بلندمدت و آمادگی برای تصمیم‌گیری در مورد مکان انبار وجود ندارد.

ـ مطالعاتی برای تخصیص تک‌دوره‌ای وجود دارد؛ اما تخصیص چنددوره‌ای به‌ندرت دیده می‌شود.

ـ شبکه توزیع امداد شامل مراکز توزیع و نقاط تقاضا و ظرفیت مراکز توزیع محدود است؛ اما تقاضا برای امداد، پارامتر نامشخصی است؛ درنتیجه انتقال اقلام امدادی بین تسهیلات یا موجودی بین تسهیلاتی برای تخصیص کارآمد منابع قابل‌مطالعه است.

ـ اگر مرکز توزیع تعیین‌شده نتواند پاسخگوی تقاضا باشد، هزینه‌های نارضایتی از مراکز توزیع دریافت می‌شود؛ اما برای تقاضای دوره دورتر، اگر بتوان مرکز توزیع را تعیین کرد، احتمال ارضای تقاضا بیشتر خواهد بود. این امر ناشی از بی‌توجهی به نقل‌وانتقال چنددوره‌ای و بین تسهیلاتی است. اخیراً برخی از پژوهشگران از تحلیل چنددوره‌ای در مدل خود استفاده کرده‌اند؛ اما هنوز این کافی نیست.

ـ برای مطالعات بیشتر در مرحله آماده‌سازی و پاسخ، گنجاندن مدل چنددوره‌ای یک موضوع مهم است. پاسخ به عملیات امدادرسانی در بلایا همیشه طبق برنامه‌ریزی قبلی کار نمی‌کند؛ همچنین برخی از بلایا باعث ایجاد آوارها در جاده هستند و راه‌ها را مسدود می‌کنند که می‌تواند در واکنش به عملیات امدادی بلایا مشکل ایجاد کند. درنهایت این نوع شرایط زمان امدادرسانی به افراد آسیب‌دیده را افزایش می‌دهد.

ـ برای مقابله با ماهیت احتمالی مسئله، بیشتر پژوهشگران از برنامه‌ریزی تصادفی و رویکردهای بهینه‌سازی قوی استفاده می‌کنند. روش‌های دیگری مانند برنامه‌ریزی فازی، نظریه مجموعه‌های فازی، رویکرد نوتروسوفیک و روش‌های دیگر برای محافظت در برابر ماهیت احتمالی مدل وجود دارد و راه‌حل‌های به‌دست‌آمده با رویکردهای مختلف را می‌توان ازنظر اثربخشی مدل مقایسه کرد. یکی از چالش‌های مدل بهینه‌سازی، داشتن داده‌های کافی است. در بلایای بزرگ‌مقیاس، داده‌ها ممکن است دردسترس نباشند یا به‌راحتی قابل‌خواندن نباشند. حتی اگر گاهی اوقات داده‌ها دردسترس باشند، زمان زیادی طول می‌کشد تا مدل حل شود. در شرایط فاجعه، دستیابی به نتیجه مطلوب از مدل بهینه‌سازی در زمان کوتاه بسیار حیاتی است؛ بنابراین دستورالعمل‌ها در مواقع اضطراری نیاز فوری دارند و بنابراین بهبود در الگوریتم‌های حل بسیار ضروری است. الگوریتم‌های مناسب می‌توانند به تصمیم‌گیرندگان کمک کنند تا در زمان کوتاهی تصمیم‌گیری کنند.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Abounacer, R., Rekik, M., & Renaud, J. (2014). An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response. *Comput. Oper. Res, 41,* 83–93.
2. Alinaghian, M., Aghaie, M., & Sabbagh, M.S. (2019). A mathematical model for location of temporary relief centers and dynamic routing of aerial rescue vehicles. *IFAC-Papers on Line, 49(12),* 520–525.
3. Alizadeh, M., Amiri-Aref, M., & Ma, J. (2020). A Multi-period Stochastic Casualty Evacuation Network Design Problem. *https://www.researchgate.net/ publication:* 340491643.
4. Allahyari, S., Salari, M., Talebian Sharif, M., & Eshtehadi, R. (2013). The design of a transport model in the field of crisis. *The Journal of Supply Chain Management, 41,* 24-31.
5. An, S., Cui, N., Bai, Y., Xie, W., Chen, M., & Ouyang, Y. (2015). Reliable emergency service facility location under facility disruption, en-route congestion and in-facility queuing. *Transp. Res. Part E Logist. Transp, 82,* 199–216.
6. Arabani, A.B., & Farahani, R. Z. (2012). Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Comput. Ind. Eng, 62,* 408–420.
7. Barzinpour, F., & Esmaeili, V. (2014). A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. *Int. J. Adv. Manuf. Technol, 70,* 1291–1302.
8. Berman, O. Drezner, Z. & Wesolowsky, G.O. (2007). The transfer point location problem. *European Journal of Operational Research, 179,* 978-989.
9. Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (2005). The facility and transfer points location problem. *Intl.Trans. In Op. Res, 12,* 387-402.
10. Berman, O. Drezner, Z. & Wesolowsky, G, O. (2008). Themultiple location of transfer points. *Journal of the Operational Research Society, 59,* 805 811.
11. Bertsimas, D., Sim, M. (2004). The Price of Robustness. *Oper. Res:* 52, 35–53.
12. Boostani, A., Jolai, F., & Bozorgi-Amiri, A. (2020). Designing a sustainable humanitarian relief logistics model in pre- and postdisaster management. *International Journal of Sustainable Transportation:* https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1773975.
13. Bozorgi-Amiri, A., Khorsi, M. (2018). A dynamic multi-objective location–routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *Int. J. Adv. Manuf. Technol, 85,* 1633–1648.
14. Bozorgi-Amiri, A., Tavakoli, S., Mirzaeipour, H., & Rabbani, M. (2017). Integrated locating of helicopter stations and helipads for wounded. *American Journal of Emergency Medicine, 35,* 410-417.
15. Campbell, J.F., Ernst, A.T., & Krishnamoorthy, M. (2002). Transfer point location problems. In: *Drezner, Z., Hamacher, H.W. (Eds) Facility Location:* Applications and Theory.Springer, Berlin.
16. Caunhye, A.M., Nie, X., & Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: *A literature review. Socioecon. Plann. Sci, 46,* 4–13.
17. Chang, M.S., Tseng, Y.L., & Chen, J.W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev, 43,* 737–754.
18. Chen, A.Y., Yu, T.Y. (2016). Network based temporary facility location for the Emergency Medical Services considering the disaster induced demand and the transportation infrastructure in disaster response. *Transp. Res. Part B Methodol, 91,* 408–423.
19. Chu, H., Chen, Y. (2021). A Novel Hybrid Algorithm for Multiobjective Location-Allocation Problem in Emergency Logistics. *Computational Intelligence and Neuroscience:* Article ID 1951161, 12 pages.
20. Cotes, N. Cantillo, V. (2019). including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socioecon. Plann. Sci*, 65, 89–100.
21. Daneshvar, M., Dominik Jena, S., & Rei, W. (2023). A two-stage stochastic post-disaster humanitarian supply chain network design problem. *Computers & Industrial Engineering:* https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109459.
22. Flanigan, M., Blatt, A. Batta, R., Lin, Y.H., & Rogerson, P.A. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socioecon. Plann. Sci, 45,* 132–145.
23. GAO, X. Nayeem, M.K. & Hezam, I.M. (2019). A robust two-stage transit-based evacuation model for large-scale disaster response. *Meas. J. Int. Meas, 145,* 713–723.
24. Gökçe, M.A. Ercan, E. (2019). Multi-Period Vehicle Routing & Replenishment Problem of Neighbourhood Disaster Stations for Pre-Disaster Humanitarian Relief Logistics. *ScienceDirect. IFAC Papers On Line:* 52(13), 2614–2619.
25. Guha-Sapir, D., Hoyois, P., & below. R. (2012). Annual Disaster Statistical Review 2012 – *The Numbers and Trends. Brussels, Belgium*: *Université Catholique de Louvain.*
26. Hashemi, S. E., Jabbari, M., & Yaghoubi, P. (2022). A mathematical optimization model for location Emergency Medical Service (EMS) centers using contour lines. *Healthcare Analytics:* www.elsevier.com/locate/health.
27. Hezam, I. M., Nayeem, M. K. (2021). A Systematic Literature Review on Mathematical Models of Humanitarian Logistics. *The Attraction Paradigm. Academic Press, New York: Symmetry 2021, 13,* 11.
28. Hoke, M., Yalcinkaya, S. (2021). Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario analysis. *Waste Management & Research, 39(1,)* 185–196.
29. Hosseinijou, S., Bashiri, M. (2009). New stochastic models for minimax transfer point location problem. *International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 1231-1236.

30. Hosseinijou, S, A., Bashiri M. (2011). Stochastic models for transfer point location problem. *Int J Adv Manufm Techn:* DOI 10.100/s 00170-011-3360-0.
31. Hu, S.L., Han, C.F., & Meng, L.P. (2017). Stochastic optimization for joint decision making of inventory and procurement in humanitarian relief. *Comput. Ind. Eng, 111,* 39–49.
32. Jabalameli, M.S., Arasteh, K., & Bozorgi-Amiri, A. (2013). The Multiple Locations of Facilities and Transfer Points in Disaster. *Journal of research in operations and its applications.*
33. Jenkins, P.R., Lunday, B.J., & Robbins, M.J. (2019). Robust, multi-objective optimization for the military medical evacuation locationallocation problem. *Omega, 97,* 1–12.
34. Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE Trans, 39,* 41–55.
35. Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M.M. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Comput. Ind. Eng, 52,* 257–276.
36. Kalantari, H., Yousefli, A., Ghazanfari, M., & Shahanaghi, K. (2013). Fuzzy transfer point location problem: a possibilistic unconstrained nonlinear programming approach. *Int J Adv Manuf Technol, 70,* 1043-1051.
37. Kalantari, H., Badiee, A., & Ghazanfari, M. (2014). A New Heuristic Model for Fuzzy Transfer Point Location Problem. *Journal of Uncertain Systems, 8,* 31-43.
38. Khayal, D., Pradhananga, R., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2015). A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. *Socioecon. Plann. Sci, 52,* 22–30.
39. Kınay, Ö.B., Kara, B.Y., Saldanha-da-Gama, F., & Correia, I. (2017) modeling the shelter site location problem using chance constraints: A case study for Istanbul. *Eur. J. Oper. Res, 270,* 132–145.
40. Kongsomsaksakul, S., Chen, A., & Yang, C. (2005). Shelter Location-Allocation Model for Flood Evacuation Planning. *J. East. Asia Soc.Transp. Stud, 6,* 4237–4252.
41. Kouchaki Tajani, T., Mohtashami, A., Amiri, M., & Ehtesham Rasi, R. (2021). Presenting a Robust Optimization Model to Design a Comprehensive Blood Supply Chain under Supply and Demand Uncertainties. *Industrial Management Perspective, 11,* 81-115. (In Persian)
42. Kung, E., Seaton, E.S., Ramnarayan, P., & Pagel, C. (2021). Using a genetic algorithm to solve a non-linear location allocation problem for specialized children's ambulances in England and Wales. *Health Systems, 11(3),* 161-171.
43. Li, H., Zhang, B., & Ge, X. (2022). Modeling Emergency Logistics Location-Allocation Problem with Uncertain Parameters. *Systems, 10(51),* https://doi.org/10.3390/ systems 10020051.
44. Lin, Y.H. Batta, R. Rogerson, P.A. Blatt, A. & Flanigan, M. (2012). Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake. *Socioecon. Plann. Sci: 46*, 112–123.
45. Liu, M., Lin, T., Chu, F., & Zheng, F. (2022). A New Stochastic Bi-level Optimization Model for Post-disaster Relief Scheduling Problem in Sustainable Humanitarian Supply Chains with Uncertain Relief Supplies and Demands. *IFAC PapersOnLine, 55-10,* 2481–2486.
46. Mahmudian, M. Keivani, A. Davoudpour, H. & Ardestani Jaafari, A. (2010). Two Iterative Algorithms for Transfer Point Location Problem. *Journal of American Science. 6(9), 827-830.*
47. Memari, P. Tavakkoli-Moghaddam, R. Navaz, F. & Jolai, F. (2020). Air and ground ambulance locationallocation-routing problem for designing a temporary emergency management system after a disaster. *Journal of Engineering in Medicine, 234(8):812-828*. sagepub.com/journals-permissions DOI: 10.1177/0954411920925207.
48. Merakl, M., & Yaman, H. (2016). Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty. *Transportation Research Part B,* 86 66–85.
49. Mohamadi, A. & Yaghoubi, S. (2017). A bi-objective stochastic model for emergency medical services network. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 23,* 204-217.
50. Mohammadi, S. Avakh, S. Vahdani, B. & Alinezhad, A. (2018). A robust neutrosophic fuzzy-based Approach to integrate reliable facility location and routing decisions for disaster relief under fairness and aftershocks concerns. *Computers & Industrial Engineering, 148,* 106734.
51. Mokhtarzadeh, M. Tavakkoli-Moghaddam, R. Triki, C. & Rahimi, Y. (2021). A hybrid of clustering and meta-heuristic algorithms to solve a p-mobile hub location–allocation problem with the depreciation cost of hub facilities. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 98,*104121.
52. Monzón, J. Liberatore, F. (2020). A Mathematical Pre-Disaster Model with Uncertainty and Multiple Criteria for Facility Location and Network Fortification. *Mathematics, 8,* 529.
53. Moreno, A. Alem, D. Ferreira, D. & Clark, A. (2018). An effective two-stage stochastic multi-trip location-transportation model with social concerns in relief supply chains. *Eur. J. Oper. Res: 269,* 1050–1071.
54. Muggy, L. & Stamm, J.L.H. (2017). Dynamic, robust models to quantify the impact of decentralization in post-disaster health care facility location decisions. *Oper. Res. Heal, 12,* 43–59.
55. Mulvey, J.M. Vanderbei, R.J. & Zenios, S.A. (2004). Robust Optimization of Large-Scale Systems. *Oper. Res*: 43, 264–281.
56. Ni, W. Shu, J. & Song, M. (2018). Location and Emergency Inventory Pre-Positioning for Disaster Response Operations: Min-Max Robust Model and a Case Study of Yushu Earthquake. *Prod. Oper. Manag*, 27, 160–183.

57. Nikjoo, N. Javadian, N. (2021). A Multi-Objective Robust Optimization Logistics Model in Times of Crisis under Uncertainty. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 32, 121–147. (In Persian)
58. Oksuz, M.K. Satoglu, S.I. (2021). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *Int. J. Disaster Risk Reduct, 44*, 101426.
59. Panjehaein, F. Bozorgi Amiri, A. & Khalifeh, M. (2023). A Multi-Objective Location-Allocation-Routing Optimization with Time Window for Transferring Personnel from Residence to Work: A Case Study of Bistoon Power Plant. *Iranian Journal of Management Studies (IJMS) 16(1)*, 25-42.
60. Pérez-Galarce, F. Canales, L.J. Vergara, C. & Candia-Véjar, A. (2017). An optimization model for the location of disaster refuges. *Socioecon. Plann:* Sci., *59*, 56–66.
61. Praneetpholkrang, P., Huynh, V., & KanjanawattanabaJapan, S. (2021). A multi-objective optimization model for shelter location-allocationin response to humanitarian relief logistics. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 37, 149–156.
62. Rabbani, M. OladZad Abbas Abadi, N. & Akbarian, N. (2022). Ambulance routing in disaster response considering variable patient condition: NSGA-II and MOPSO algorithms. *Journal of industrial. Management optimization: 18(2).*
63. Rath, S. Gutjahr, W.J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Comput. Oper. Res, 42*, 25–39.
64. Rawls, C.G. Turnquist, M.A. (2012). Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster. *Socioecon. Plann: Sci. 46*, 46–54.
65. Renkli, Ç. Duran, S. (2015). Pre-Positioning Disaster Response Facilities and Relief Items. *Hum. Ecol. Risk Assess 21*, 1169–1185.
66. Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Bozorgi-Amiri, A. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities. *Comput. Ind. Eng: 94*, 201–215.
67. Sajedi, S, Sarfaraz, A.H., Bamdad, SH. & Khalili-Damghani, K. (2021). Mathematical Model of Location, Multi-Commodity and Multi-Period in Sustainable Closed-Loop Supply Chain Considering Risk and Demand and Quality Uncertainty (A case Study). *The Journal of Industrial Management Perspective, 11*, 271-304. (In Persian)
68. Sasaki, M. Furuta, T. & Suzuki, A. (2008). Exact optimal solutions of the minisum facility and Transfer points location Problems on a network.*Intl.Trans.in Op. Res: 15*, 295-306.
69. 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 *157*, 102578.
70. Xu, J., Yin, X., Chen, D., An, J. & Nie, G. (2016). Multi-criteria location model of earthquake evacuation shelters to aid in urban planning. *Int. J. Disaster Risk Reduct, 20*, 51–62.
71. Zarepor Ashkezari, A. Mosalman Yazdi, H. (2021). Location Allocation of Earthquake Relief Centers in Yazd City Based on Whale Optimization Algorithm. *International Journal of Engineering Applications, 34(05)*, 1184-1194.
72. Zhang, B. Yang, R. (2018). Location-allocation problem in the emergency logistics system considering lateral transshipment strategy. *https://ssrn.com/abstract 4199989*.
73. Zhang, J. Long, D. & Li, Y. (2023). A reliable emergency logistics network for COVID-19 considering the uncertain time-varying demands. *Transportation Research Part: E 172*, 103087.
74. Wang, Y. Wang, X. Fan, J. Wang, z. & Zhen, L. (2023). Emergency logistics network optimization with time window assignment. *Expert Systems with Applications, 214*, 119145.
75. Wang, S. L. Sun, B.Q. (2023). Model of multi-period emergency material allocation for large-scale sudden natural disasters in humanitarian logistics: Efficiency, effectiveness and equity. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 85*, 103530.
76. Wang, Q. Nie, X. (2023). A location-inventory-routing model for distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 175*. 103-156.
77. Yahyaei, M. Bozorgi-Amiri, A. (2018). Robust reliable humanitarian relief network design: An integration of shelter and supply facility location. Ann. *Oper. Res: 283*. 897–916.
78. Yang, Y. Yin, Y. Wang, D. Ignatius, J. Cheng, T.C.E. & Dhamotharan, L. (2023). Distributionally robust multi-period location-allocation with multiple resources and capacity levels in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research: 305(3).* 1042-1062
79. Ye, F. Zhao, Q., Xi, M., & Dessouky, M. (2015). Chinese national emergency warehouse location research based on VNS algorithm. *Electron. Notes Discret. Math., 47*, 61–68.
80. Yılmaz, H. and Ö. Kabak. (2016). A Multiple Objective Mathematical Program to Determine Locations of Disaster Response Distribution Centers. *IFAC-Papers on Line, 13(12)*, 220–225.
81. Yin, Y., Yang, Y., Yu, Y., Wang, D., & Cheng, T.C.E. (2023). Robust vehicle routing with drones under uncertain demands and truck travel times in humanitarian logistics. *Transportation Research Part B*: *174*, 102.