



**Review Article**

## **A Review of Articles on the Location of Humanitarian Logistics Facilities**

Karim Arasteh\*<sup>ID</sup>  
Rouzbeh Ghousi\*\*<sup>ID</sup>  
Ahmad Makui\*\*\*<sup>ID</sup>

### **Abstract**

**Introduction:** Despite significant technological developments in today's world, it is still plagued by all manners of natural and man-made disasters (such as earthquakes, floods, hurricanes, avalanches, war, terrorism, political unrest, etc.) which not only slow the process of sustainability development but also, when neglected, can inflict terrible and sometimes irreparable damage to a community's well-being and prosperity. This issue requires an integrated logistics system that is scientifically and comprehensively designed to meet the needs of crisis management; a system with clear and predefined processes in which all components have predefined functions. Providing aid to the injured is one of the most important stages of crisis management, which must be planned before the accident because timely and efficient aid will greatly reduce human and financial losses. In order not to be surprised during natural crises, proper planning should be done in advance and under normal conditions. Humanitarian logistics (HL) is considered one of the most important issues of disaster operations and management. However, the operations required for humanitarian logistics must be sustainable enough to function well under the uncertain and complex nature of disasters and crises. Many difficulties in the pre-disaster and post-disaster phases bring both human and economic losses, and practically ensuring the efficient design of humanitarian logistics operations seems essential. In this study, considering the importance of planning before disasters and also the mathematical optimization model for locating facilities and relief centers, articles published between the years 2004 and 2023 to examine optimization models in the field of humanitarian logistics have been studied. The purpose of the research is to familiarize with the current research process of humanitarian logistics, especially the optimization problem used to achieve various goals of the location of humanitarian logistics facilities and to provide future research directions.

Received: Oct. 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](mailto:ghousi@iust.ac.ir)

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

---

**Review Article**

**Methods:** In order to get an overview of the research fields and to know what articles exist in this field and who has done research in this field and other more comprehensive information, using the Web of Science website, the keywords that are considered in this research, have been searched. Regarding facility location issues, all types of resource location problems are included in this study, and the papers under study are classified into two categories based on deterministic and non-deterministic models.

**Results and discussion:** In the deterministic models table, the type of objective function, decision variables, model type, and solution methods are included. In non-deterministic models, this study primarily covers the stochastic programming approach and robust optimization. Also, in the non-deterministic model's table, the type of objective function, decision variables, non-deterministic parameters of the model, type of uncertainty, type of model, and solution methods are included. According to the reviewed articles and also by referring to the presented literature review table, it is possible to find the points that have not been addressed or have been addressed less.

**Conclusions:** Finally, this study can be useful for researchers in understanding the current trend of the optimization problem in humanitarian logistics and modeling techniques. Researchers can easily find out the research gap and help society 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), 57-91 (*In Persian*).



## 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 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. امدادسانی به آسیب‌دیدگان یکی از مهم‌ترین مراحل مدیریت بحران است که باید پیش از رخداد حادثه برای آن برنامه‌ریزی کرد؛ زیرا امدادسانی 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 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 در عمل 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 مورد استفاده 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](mailto:ghousi@iust.ac.ir)

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

**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 مورد مطالعه قرار گرفته و در این مطالعه سعی شده است که مقالات مورد بررسی 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 گنجانده شده 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 عدم قطعیت، نوع مدل و روش‌های حل گنجانده شده است. با توجه به مقالات مرور شده و همچنین با مراجعه به جدول مرور مبانی نظری ارائه شده می‌توان به نکاتی که به آن‌ها پرداخته نشده یا کمتر پرداخته شده است، دست یافت.

**نتیجه‌گیری:** در نهایت 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 به راحتی خلأ پژوهش را دریابند و از طریق پژوهش‌های خود به جامعه کمک کنند.

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

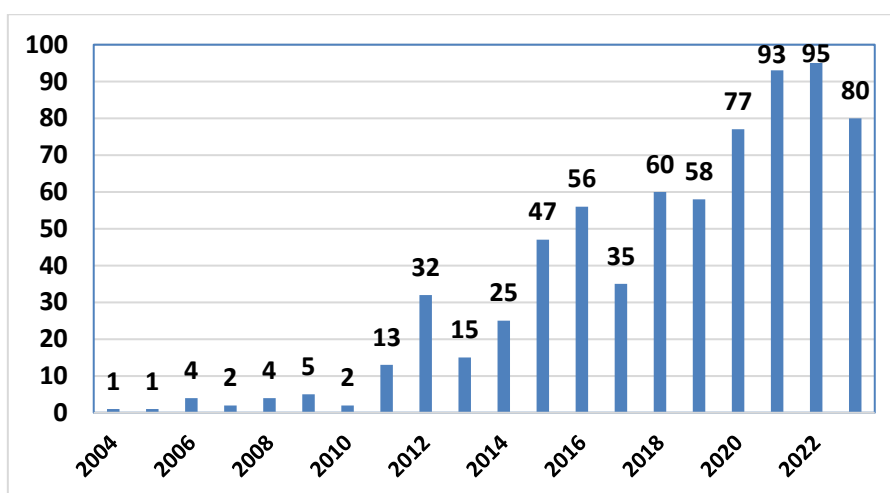
**استناددهی:** آراسته، کریم؛ روزبه، قوسی؛ ماکوئی، احمد (۱۴۰۳). مروری بر مقالات مکان‌یابی تسهیلات لجستیک بشردوستانه. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۱)، ۹۱-۵۷.



## ۱. مقدمه

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه فناوری، دنیای امروز هنوز هم درگیر انواع بلایای طبیعی و انسان‌ساز (مانند زلزله، سیل، طوفان، بهمن، جنگ، تروریسم، ناآرامی‌های سیاسی و غیره) است که نه تنها 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 به صورت 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 به‌طور کلی 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 آسیب‌دیدگان 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. قاره 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

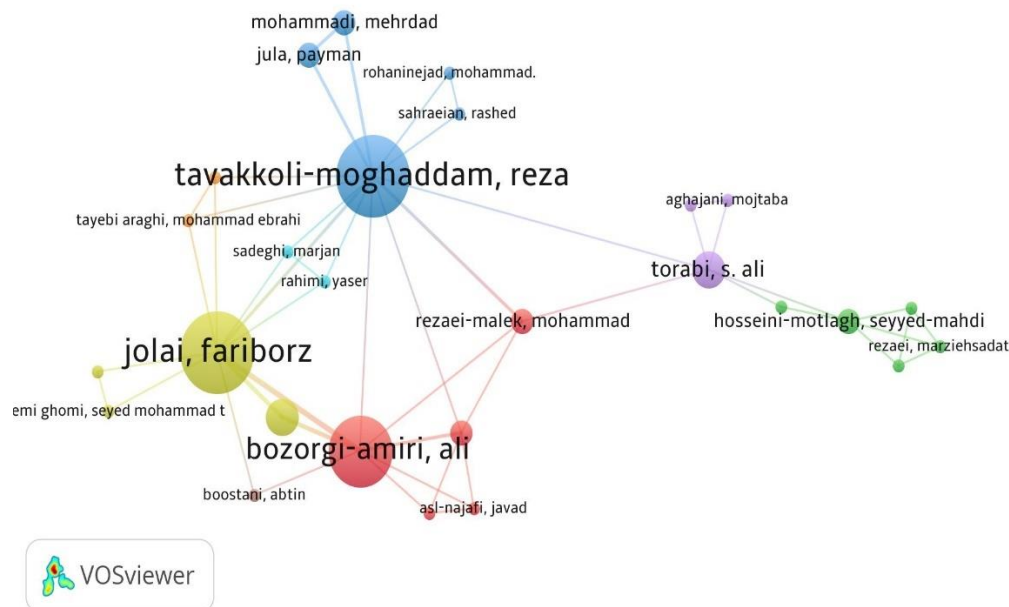
زلزله یکی از حوادث طبیعی است که به دلیل قرارگرفتن در منطقه زلزله‌خیز به‌طور مکرر در ایران رخ می‌دهد؛ از این رو امدادسانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امدادسانی به آسیب‌دیدگان یکی از مهم‌ترین مراحل مدیریت بحران به‌شمار می‌رود که باید پیش از رخداد حادثه برای آن برنامه‌ریزی کرد؛ زیرا امدادسانی به‌موقع 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 با وجود 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.

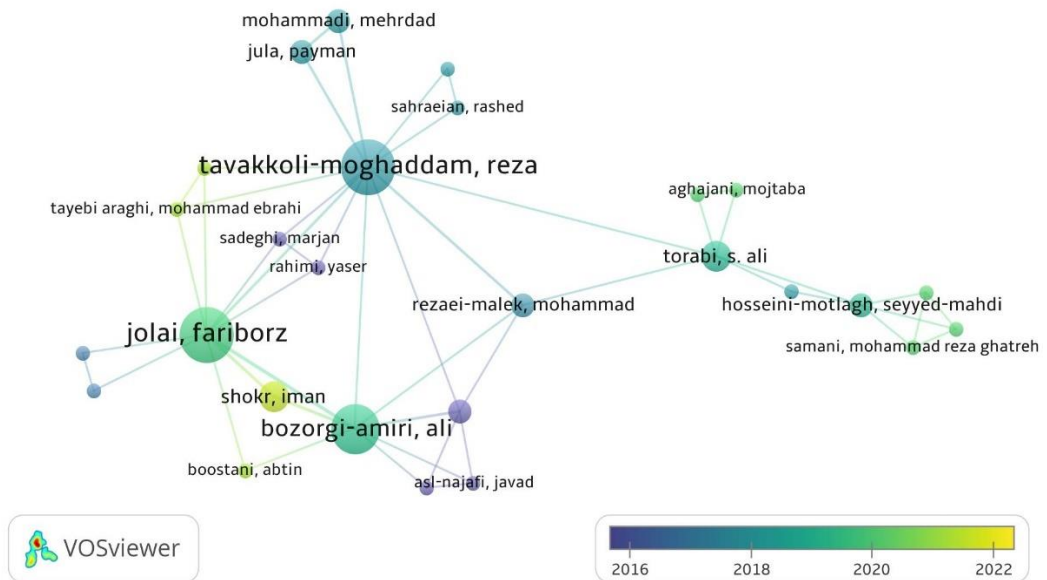
**پژوهشگران برتر.** با استفاده از نرم‌افزار، پژوهشگران برتر در میان ۲۵۰ مقاله، تفکیک شده‌اند. طبق خروجی نرم‌افزار، شکل ۲، شبکه نام پژوهش مطرح در موضوع موردپژوهش و ارتباط بین پژوهشگران را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار ارتباطی پژوهشگران برتر

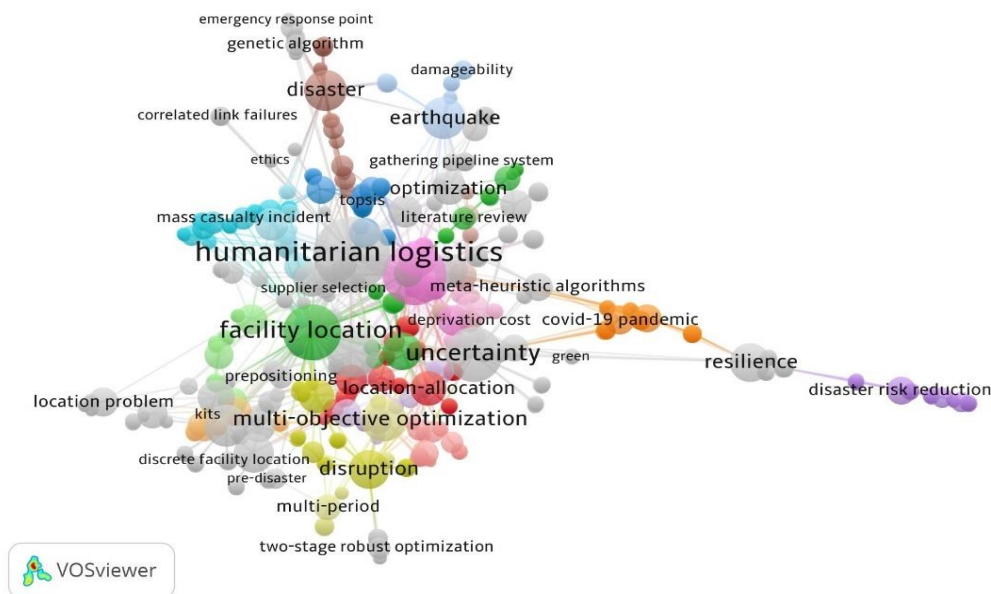
شکل ۲، ارتباطی نشان می‌دهد که هر نویسنده با چه تعداد از نویسندگان دیگر مشارکت داشته‌اند. برای رسم این شبکه، حداقل تعداد مقاله هر نویسنده ۲ عدد و تعداد ارجاع به آن‌ها حداقل ۱ عدد در نظر گرفته شده است؛ همچنین شکل ۳ معرف پژوهشگرانی همانند

توکل‌مقدم 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 تن از نویسندگان دیگر فعالیتشان از سال ۲۰۱۸ به بعد گسترش یافته است.



شکل ۳. نمودار زمانی پژوهشگران برتر

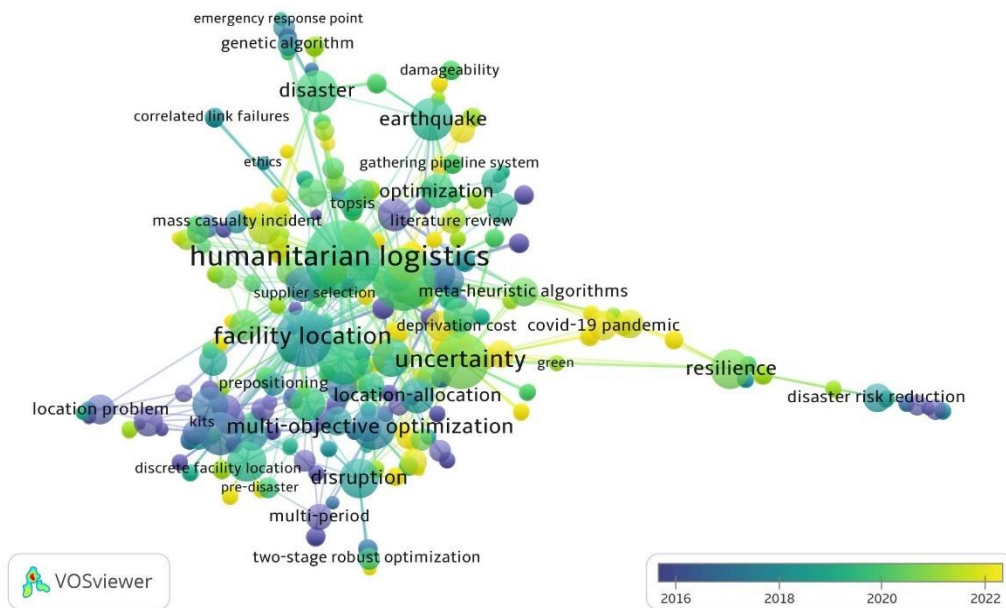
شکل ۴، شبکه ارتباط بین کلیدواژه‌های این حوزه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مهم‌ترین کلیدواژه‌های این حوزه شامل مکان‌یابی تسهیلات، فاجعه و تدارکات بشردوستانه است. تعداد دسته‌های کلیدواژه‌ها برای شبکه ۴، ۶ عدد است که بارنگ‌های مختلف نشان داده شده است. هر چه حجم دایره در تصویر بزرگ‌تر باشد، کاربرد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



شکل ۴. نمودار هم‌رخدادی 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 هم‌رخدادی کلمات کلیدی

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در مدیریت بلایا، 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]. کونیو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۲)، بیشتر مدل‌های بهینه‌سازی مربوط به مسائل مکان‌یابی تسهیلات در تدارکات بشردوستانه را بررسی کردند [۱۶]. مقالاتی که آن‌ها بررسی کردند شامل تصمیم‌گیری 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<sup>۳</sup> (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 به ترتیب توضیح داده خواهد شد که در آن هدف هر مسئله، تصمیم‌گیری‌ها، روش حل و نوع مسئله ذکر شده 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 امن برای افراد آسیب‌دیده، مراکز توزیع موقت یا موجود برای توزیع کالا، انبارها برای پیش‌استقرار 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. با این حال، 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 غیره برای خدمت‌رسانی به نقاط تقاضا توسط تعداد  $P$  محور است. برای نخستین بار کمپل<sup>۱</sup> (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<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup> (۲۰۱۲)، یک مدل ریاضی برای یافتن مکان انبارهای موقت در اطراف منطقه آسیب‌دیده از فاجعه پیشنهاد دادند [۴۴].

یکی از اهداف آن‌ها به حداقل‌رساندن فاصله سفر وسیله نقلیه بین گره تقاضا و انبار مرکزی است که نقطه ضعف مقاله پژوهشی قبلی منتشرشده توسط فلانگان<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) است. هدف از مدل آن‌ها به حداقل‌رساندن هزینه جریمه و هزینه حمل‌ونقل بود. این مدل برای سناریوی پس از فاجعه (مرحله پاسخگویی) با در نظر گرفتن 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 در نظر گرفتن مسئله میانه، ابوناصر و همکاران<sup>۵</sup> (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 اِپسیلون 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، به حداقل‌رساندن 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؛

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

- 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<sup>۶</sup> (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 کمینه بیشینه مسئله را به‌صورت یک مسئله  $P$ -مرکز فرموله‌بندی کردند. در نهایت یک روش مبتنی بر شمارش را نیز برای حل مسئله ارائه دادند که این روش در حالت‌های  $q > 2$  کارایی لازم را ندارد؛ از این‌رو روش‌های پیچیده‌تری برای یافتن کران‌های بالا و پایین بهتر موردنیاز است.

یی و همکاران<sup>۷</sup> (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 در نظر گرفته‌شده 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].

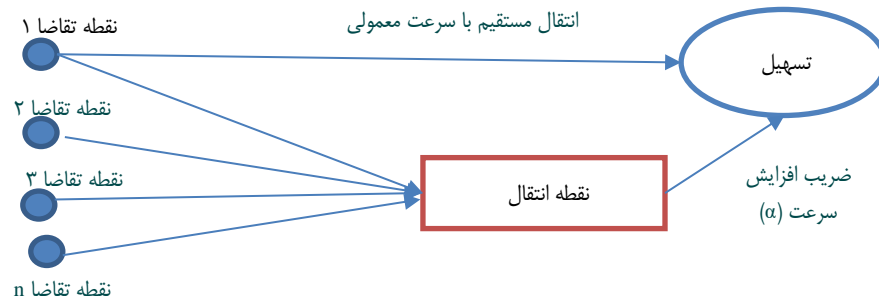
مسائل پوشش را می‌توان به مسائل پوشش مجموعه و مسائل حداکثر پوشش طبقه‌بندی کرد.

**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 به‌حداقل رساندن هزینه ثابت تسهیلات باز می‌پردازد. برای مسئله مکان‌یابی انبار و مسیریابی، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه توسط راث و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴)، اتخاذ شد که دارای سه هدف بود. یکی از آن‌ها یک مسئله پوشش مجموعه‌ای است که سعی در به‌حداقل رساندن هزینه افتتاحیه تأسیسات داشت [۶۳]. به غیر از این تابع هدف، سایر توابع هدف مربوط به حداقل کردن هزینه‌های حمل‌ونقل و به‌حداکثر رساندن 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 - ابتکاری است. هم در روش دقیق و هم در روش اکتشافی، نویسندگان از الگوریتم محدودیت اِپسیلون تطبیقی استفاده کردند.

مطابق با مقاله ژو و همکاران<sup>۲</sup> (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 فائق آمدن بر این مشکل نادیده گرفته شده مدل مکان‌یابی تسهیلات، پژوهشگران هفت اصل را برای مکان‌یابی پناهگاه‌های تخلیه زلزله مورد مطالعه 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 به‌حداقل رساندن فاصله کل، به‌حداکثر رساندن پوشش همه پناهگاه‌ها و به‌حداکثر رساندن 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  $p$  تسهیلات به‌حداکثر رساندن پوشش جمعیت در یک فاصله خدماتی یا زمان مشخص شده 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: به‌حداکثر رساندن پوشش جمعی جمعیت برحسب پیکسل منطقه؛ به‌حداقل رساندن کل هزینه راه‌اندازی تسهیلات؛ به‌حداقل رساندن هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری تجهیزات و هزینه کمبود. از آنجاکه 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 کمیّت و کیفیت پوشش تقاضا بود [۲۶]. مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال از سال ۲۰۰۵ به مبانی نظری علمی وارد شده است.



شکل ۶. مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال [۹].

مسئله مکان‌یابی نقطه انتقال در ساده‌ترین حالت (شکل ۶)، 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 (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 کمینه بیشینه<sup>۲</sup> به دست می‌آید. مسئله مکان‌یابی در شبکه فرموله‌بندی می‌شود و در نهایت 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

$\alpha$ : فاکتوری که به وسیله آن حرکت به نقطه انتقال افزایش می‌یابد.

$f$ : مکان نامعلوم تسهیل

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

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

$(h_j, f)$ : 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 تقاضای  $i$  و نقطه انتقال  $j$

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

### متغیرهای مدل

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

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

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

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 به صورت زیر فرموله می‌شود:

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

رابطه ۱، حداقل زمان ارسال تقاضا به تسهیل به صورت مستقیم ( $D_i$ ) و یا ارسال به نقطه انتقال و سپس ارسال تقاضا از نقطه انتقال به تسهیل (با ضریب کاهشده 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 حداقل کردن این زمان است. مسئله حداقل بیشینه به صورت زیر فرموله می‌شود:

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

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

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

s.t.

$$\text{رابطه (۴)} \quad x_{ijk} \leq y_j \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۵)} \quad x_{ijk} \leq z_k \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۶)} \quad x_{ik} \leq z_k \quad i, k = 1, \dots, n$$

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

$$\text{رابطه (۸)} \quad \sum_{j=1}^n y_j = p$$

$$\text{رابطه (۹)} \quad \sum_{k=1}^n z_k = 1$$

$$\text{رابطه (۱۰)} \quad x_{ijk}, x_{ik}, y_j, z_k = 0, 1 \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

رابطه ۳، تابع هدف مسئله است که مجموع زمان سفر نقاط تقاضا را نشان می‌دهد و سعی در حداقل کردن 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 به طور مستقیم به تسهیل در گره  $k$  اختصاص داده

شود؛ مگر این که یک تسهیل در گره  $k$  وجود داشته باشد. محدودیت  $\gamma$ ، تضمین می‌کند که تقاضای  $i$  به یک تسهیل یا به وسیله نقطه انتقال و یا به طور مستقیم اختصاص یابد. محدودیت  $\lambda$ ، یک انتخاب برای  $p$  نقطه انتقال را تضمین می‌کند و محدودیت  $\alpha$ ، تعداد تسهیلات را به  $1$  عدد محدود می‌کند.

مدل ریاضی حداقل بیشینه برای مسئله مکان‌یابی نقاط انتقال و تسهیلات به صورت زیر ارائه شده است:

$$\min v$$

$$s.t.$$

$$\text{رابطه (۱۱)}$$

$$C_{ijk}x_{ijk} - v \leq 0 \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۱۲)}$$

$$C_{ik}x_{ik} - v \leq 0 \quad i, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۱۳)}$$

$$x_{ijk} \leq y_j \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۱۴)}$$

$$x_{ijk} \leq z_k \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۱۵)}$$

$$x_{ik} \leq z_k \quad i, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۱۶)}$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n x_{ijk} + \sum_{k=1}^n x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۱۷)}$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p$$

$$\text{رابطه (۱۸)}$$

$$\sum_{k=1}^n z_k = 1$$

$$\text{رابطه (۱۹)}$$

$$x_{ijk}, x_{ik}, y_j, z_k = 0, 1 \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

$$\text{رابطه (۲۰)}$$

برمن و همکاران (۲۰۰۸)، در ادامه مقاله قبل این بار مسئله مکان‌یابی چندگانه نقطه انتقال با فرض مشخص بودن مکان تسهیل را در سطح و شبکه مورد مطالعه 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 به دست آمده 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 به صورت یک مسئله  $P$ -میانه و حالت کمیته بیشینه، مسئله را به صورت یک مسئله  $P$ -مرکز فرموله کردند؛ همچنین یک رویکرد جدید مبتنی بر شمارش را برای حل مسئله به کار بردند. آن‌ها حالت حداقل مجموع را به درستی با استفاده از فرمول پیشنهاد شده و با استفاده از رویکرد مبتنی بر شمارش حل کردند. از آنجاکه رویکرد مبتنی بر شمارش، رویکردی آسان است، ممکن است در مسائل بزرگ به خوبی کار نکند. روش‌های پیچیده برای پیدا کردن کران‌های بالا و پایین بهتر، برای حل مسائل بزرگ مورد نیاز خواهد بود. مدل ارائه شده توسط ساساکی و همکاران (۲۰۰۸) در ادامه آورده شده است:

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

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

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

$$\sum_{i \in N} \phi_{ij} \leq MZ_j \quad j \in N \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

$$\sum_{k \in N} \psi_{jk} \leq MZ_j \quad j \in N \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

$$\sum_{k \in N} \psi_{jk} \leq MW_k \quad j \in N \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

$$W_j \leq Z_j \quad j \in N \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

$$\sum_{j \in N} Z_j = p + q \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

$$\sum_{k \in N} W_k = q \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$\phi_{ij} \geq 0 \quad i \in N, j \in N \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

$$\psi_{jk} \geq 0 \quad k \in N, j \in N \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

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

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

رابطه ۲۱، مجموع کل زمان سفر است. رابطه ۲۲، محدودیت‌های تعادل جریان در گره  $j \in N$  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 فرض شده با یکدیگر مقایسه شده و تأثیر ضریب  $\alpha$  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 مشخص کردن 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].

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

$$\min Z_2 = \beta \left( \sum_{i \in I} \pi_i B_i + \sum_{j \in J} h_j S_j \right) \quad \text{رابطه (۳۵)}$$

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

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

$$\sum_{i \in I} \phi_{ij} \leq Cap_j Z_j \quad j \in J \quad \text{رابطه (۳۸)}$$

$$\sum_{k \in K} \psi_{jk} \leq MZ_j \quad j \in J \quad \text{رابطه (۳۹)}$$

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

$$\sum_{j \in J} Z_j = p \quad \text{رابطه (۴۱)}$$

$$\sum_{k \in K} W_k = q \quad \text{رابطه (۴۲)}$$

$$\phi_{ij} \geq 0 \quad i \in I, j \in J \quad \text{رابطه (۴۳)}$$

$$\psi_{jk} \geq 0 \quad j \in J, k \in K \quad \text{رابطه (۴۴)}$$

$$S_j \geq 0, \quad j \in J \quad \text{رابطه (۴۵)}$$

$$B_i \geq 0, \quad i \in I \quad \text{رابطه (۴۶)}$$

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

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

خیال<sup>۱</sup> (۲۰۱۵)، مدلی را برای مکان تسهیلات موقت پیشنهاد کرد که یک مدل مکان‌یابی پویای تسهیلات است [۳۸]. هدف این مدل به حداقل رساندن 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 به عنوان 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 به ندرت در مسائل مکان‌یابی دیده می‌شد، یکپارچه کردند. برای مدل مکان‌یابی تسهیلات ظرفیت‌دار، چن و همکاران<sup>۲</sup> (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* به عنوان یک روش حل استفاده شد. کوتس و کانتیلو<sup>۳</sup> (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 به حداقل برسانند. این مدل در نرم‌افزار گمز با استفاده از حل‌کننده CPLEX حل شد.

پرز-گلارک<sup>۴</sup> (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 به حداقل رساندن کل مسافت طی‌شده توسط قربانیان بود [۶۰]. چو و چن<sup>۵</sup> (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 - 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 به منظور 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 به دلیل 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 - 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 - تخصیص - 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، در نظر گرفتن 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 اِپسیلون تقویت‌شده برای یافتن مجموعه راه‌حل پارتو استفاده شده است. پرانیت فولکرانگ و همکاران<sup>۱</sup> (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 - 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 از جمله 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 اختصاص داده‌شده است. هدف سوم به‌حداقل‌رساندن تعداد پناهگاه‌های موردنیاز برای ارائه خدمات کامل به قربانیان است. برای حل مدل پیشنهادی از روش محدودیت اِپسیلون 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 - 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 - تخصیص پناهگاه فعلی است؛ همچنین نتایج این مطالعه می‌تواند مزیتی برای تصمیم‌گیرندگان در نظر گرفتن استراتژی‌های مناسب برای واکنش به بلايا فراهم کند.

ارکان و همکاران<sup>۲</sup> (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 بلايا» 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<sup>۳</sup> (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 به منظور به دست آوردن راه حل بهینه پارتو برای مسئله پیشنهاد شده است. الگوریتم تقسیم (SA) مقادیر هدف مرتبط با هر راه حل را محاسبه می کند و چندین سفر را به وسایل نقلیه مشترک اختصاص می دهد. این مطالعه به دولت و شرکت های لجستیک کمک می کند 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 چنددوره ای برای بلاای طبیعی ناگهانی در مقیاس بزرگ در لجستیک بشردوستانه: کارایی، اثربخشی و عدالت را ارائه دادند و متفاوت از مدل تخصیص سنتی با اهداف بهینه سازی منفرد یا دوگانه در یک دوره، بر اهداف سه بعدی در لجستیک بشردوستانه تمرکز کردند [۷۵]. این مدل به تصمیم گیرندگان اجازه می دهد تا بین کارایی، اثربخشی و عدالت (برابری) توازن ایجاد کنند. آزمایش های عددی و موارد واقعی نشان می دهند که این مدل می تواند با توزیع مواد اضطراری در مقیاس بزرگ سازگار شود [۷۵]. وانگ و همکاران (۲۰۲۳)، یک مدل مکان یابی - موجودی - مسیریابی برای توزیع تدارکات اضطراری ارائه دادند [۷۶]. توزیع پویای آخرین مایل تدارکات اضطراری به افراد آسیب دیده در موقعیت های پس از فاجعه، یک وظیفه کلیدی واکنش اضطراری است؛ اما به ندرت 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 می توان برای موقعیت های در حال تغییر پس از طوفان، که در آن نقطه نامزد سایت های توزیع و تقاضاها به صورت پویا تغییر می کنند، اعمال کرد. برای اطمینان از اینکه توزیع منابع اضطراری مقرون به صرفه و منصفانه است، هم هزینه و هم ارزش ویژه در هدف برنامه ریزی گنجانده شده است.

**مدل های غیرقطعی.** دو رویکرد، یعنی بهینه سازی تصادفی و بهینه سازی قوی بیشتر برای مدل غیرقطعی در مسائل مکان یابی تسهیلات مورد مطالعه قرار می گیرند.

**رویکرد برنامه ریزی تصادفی.** در بهینه سازی تصادفی، پارامترهای غیرقطعی به صورت یک توزیع احتمال داده می شوند و پارامترها معمولاً از طریق مجموعه ای از سناریوهای گسسته با احتمالات شناخته شده مدل سازی می شوند. در بیشتر مقالات از رویکرد برنامه ریزی تصادفی دومرحله ای استفاده شده و در تعداد کمی از مقالات از رویکرد برنامه ریزی تصادفی تک مرحله ای یا سه مرحله ای استفاده شده است. در برنامه ریزی تصادفی دومرحله ای، متغیرهای تصمیم گیری مسئله بهینه سازی در شرایط عدم اطمینان، به دو مجموعه تقسیم می شوند. متغیرهای مرحله نخست، متغیرهایی هستند که باید قبل از وقوع و محقق شدن پارامترهای غیرقطعی در مورد آنها تصمیم گیری شود. هنگام تصمیم گیری و حل مدل، این تصمیمات در حضور عدم اطمینان در مورد رخدادهای آتی گرفته می شود. در مرحله دوم که در مورد متغیرهای مرحله دوم تصمیم گیری می شود، مقدار واقعی پارامترهای غیرقطعی مشخص می شوند و تصمیمات بازگشتی یا اقدامات اصلاحی صورت می گیرد. به دلیل این عدم اطمینان، هزینه مرحله دوم، خود یک متغیر تصادفی خواهد بود. هدف بهینه سازی، انتخاب متغیرهای مرحله اول است؛ به طریقی که جمع هزینه های مرحله اول و متوسط هزینه های احتمالی مرحله دوم حداقل شود.

برای مثال، حسینی جو و بشیری (۲۰۰۹)، در «کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و کامپیوتر در فرانسه»، مدل تصادفی حالت کمینه بیشینه مکان یابی 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 به صورت یکنواخت در فضای مربعی مسئله را مدل سازی شده و توسط روش ارزش انتظاری از حالت احتمالی به حالت قطعی تبدیل شده است. در نهایت به دلیل محدب بودن مدل ارائه شده، حل بهینه و تحلیل مدل ارائه شد.

$n$ : تعداد نقاط تقاضا

$\alpha$ : فاکتوری که به وسیله آن سفر به نقطه انتقال در آن ضرب می شود.

$(x_0, y_0)$ : 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  $i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) و نقطه انتقال

این نمادگذاری شبیه نمادگذاری برمن و همکاران (۲۰۰۵) است [۹]؛ به استثنای این که موقعیت (مکان) تسهیل به وسیله  $(x_0, y_0)$  مشخص شده است. پارامتر  $\alpha$  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  $\alpha=1$  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 (به عبارت دیگر) 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؛ به طوری که منطقی است وزن‌هایی به تقاضاها اختصاص داده شود. درحقیقت، مکان‌یابی تقاضاها کاملاً مشخص نیست و عدم قطعیت در مختصات نقاط تقاضا وجود دارد؛ همچنین روش‌های حمل‌ونقل در دو قسمت مسیر شبیه هم نیستند. برای مثال، در حالت خدمات بیمارستانی، بیماران به وسیله 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 به عنوان معیار فاصله در کل مسیر مناسب نیست. مسئله کمینه بیشینه وزن داده‌شده احتمالی مکان‌یابی نقطه انتقال با بررسی این موضوع به صورت زیر فرموله شد:

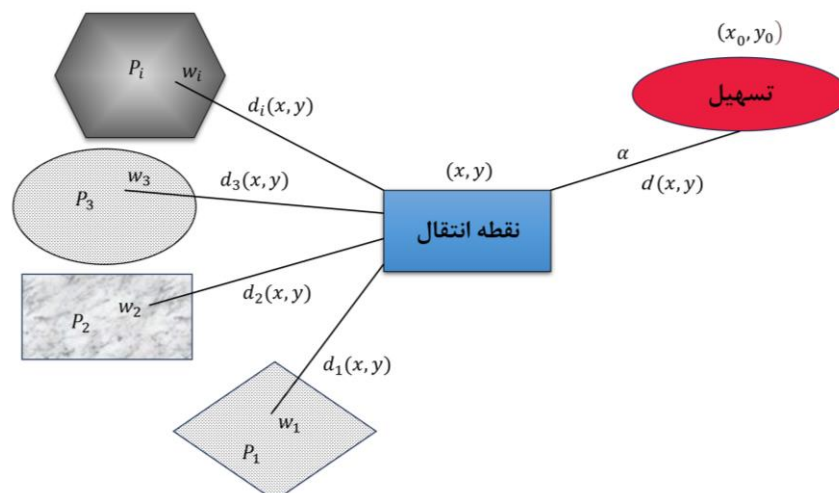
$D_i$ : وزن اختصاص داده‌شده به نقطه تقاضای  $i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ )

$P_i(U_i, V_i)$ : 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 فرموله کردن مسئله استفاده می‌شود؛ بنابراین مسئله، پیدا کردن 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 به صورت زیر فرموله می‌شود:

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

قابل ذکر است که  $E[\cdot]$  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 کمینه بیشینه مکان‌یابی نقطه انتقال با وزن احتمالی [۹]

حسینی جو و بشیری (۲۰۱۱)، مدل پیشین را با در نظر گرفتن چند نقطه تقاضا گسترش دادند. آن‌ها در این پژوهش با در نظر گرفتن 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 قابل حل بود. با افزایش تعداد نقاط تقاضا، هر چند تابع هدف همچنان محدب است، اما با روش‌های تحلیلی قابل حل نیست؛ از این رو از روش‌های عددی برای پیدا کردن نقطه بهینه تابع استفاده کردند [۳۰].

چانگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای تدارکات اضطراری سیل به منظور تعیین مکان انبارهای نجات و تخصیص منابع نجات، با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا پیشنهاد کردند [۱۷]. یک مشکل کلیدی در بهینه‌سازی تصادفی، ارزیابی هدف مورد انتظار 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، مشخص کردن مجموعه‌ای از سناریوها است که نشان‌دهنده تحقق احتمالی پارامترهای ناشناخته مسئله و در نظر گرفتن 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 مورد نیاز در شرایط مختلف بارندگی را از طریق تابع تجزیه و تحلیل GIS تخمین زدند و مدل توسط نرم‌افزار LINGO حل شد؛ سپس مقدار تخمینی مربوط به تجهیزات نجات مورد نیاز به منظور تعیین مقدار تجهیزات نجات مورد نیاز برای نقاط تقاضا تحت سناریوهای مختلف سیل استفاده شد. دو هدف این مدل به حداقل رساندن فاصله حمل و نقل مورد انتظار تجهیزات نجات و به حداقل رساندن هزینه مجموع هزینه راه‌اندازی تسهیلات و میانگین هزینه تمام تجهیزات نجات) بود.

اوکسوز و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۱)، مطالعه‌ای برای انتخاب مکان مراکز پزشکی موقت انجام دادند [۵۸]. آن‌ها یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را برای به حداقل رساندن هزینه حمل و نقل و هزینه راه‌اندازی مراکز پزشکی موقت پیشنهاد دادند.

رالز و ترنکوئیست<sup>۳</sup> (۲۰۱۲)، یک طرح اضافه برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت با در نظر گرفتن تقاضا به عنوان یک جزء نامطمئن پیشنهاد کردند [۶۴]. هدف آن‌ها به حداقل رساندن هزینه بود و محدودیت‌های در نظر گرفته شده ظرفیت تسهیلات و برخی الزامات و محدودیت‌ها مانند محدودیت در حمل و نقل مواد اضافی برای به حداقل رساندن 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، تجزیه و تحلیل شد. در نهایت پژوهشگران مدل خود را با استفاده از CPLEX حل کردند.

در اغلب موارد، پس از فاجعه در مقیاس بزرگ، وضعیت شبکه حمل و نقل غیرقابل دسترس می‌شود و با درک این مسئله، مونزون و لیبراتور<sup>۴</sup> (۲۰۲۰)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را پیشنهاد کردند که در آن در دسترس نبودن شبکه حمل و نقل 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 پس‌یلون استفاده کردند تا مدل چندهدفه خود را به یک مدل تک‌هدفه تبدیل کنند و مدل را در CPLEX اجرا کردند.

مورنو<sup>۵</sup> (۲۰۱۸)، برای پاسخگویی مؤثر در عواقب یک فاجعه، مدلی را برای بهینه‌سازی مکان، حمل و نقل و تصمیم‌گیری در مورد اندازه ناوگان با هدف به حداقل رساندن هزینه لجستیک مورد انتظار و هزینه رنج انسان پیشنهاد کرد [۵۳]. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای محافظت در برابر عدم قطعیت در مورد تقاضا، عرضه ورودی و در دسترس بودن 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<sup>۱</sup> (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 به حداقل رساندن هزینه سیستم موردانتظار با در نظر گرفتن 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. در نهایت پژوهشگران یک الگوریتم آرامش لاگرانژی را برای یافتن راه‌حل تقریباً بهینه برای مدل خود پیشنهاد کردند.

مختارزاده و همکاران (۲۰۲۱)، یک مسئله مکان‌یابی - 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 به سرعت 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<sup>۲</sup> (۲۰۲۱)، یک چارچوب بهینه‌سازی مکان‌یابی - تخصیص به‌منظور کمک به تصمیم‌گیری در مورد تعداد بهینه تیم‌های بازایی مراقبت‌های ویژه کودکان ایجاد کردند. آنها از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مکان‌یابی - 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 بازایی مراقبت‌های ویژه کودکان موردنیاز، به‌منظور به حداقل رساندن کل زمان سفر برای همه بیماران استفاده شده و در عین حال اطمینان حاصل می‌شود که هر بیمار توسط نزدیک‌ترین گروه بازایی مراقبت‌های ویژه کودکان موجود منتقل می‌شود. نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای حل مسائل مکان‌یابی - تخصیص غیرخطی در خدمات فوریت‌های پزشکی استفاده شود.

ژانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸)، مسئله طراحی یک سیستم لجستیک اضطراری کارآمد را با در نظر گرفتن استراتژی انتقال جانبی بررسی کردند [۷۲]. در مرحله نخست، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای توصیف مسئله مکان‌یابی - تخصیص در یک سیستم لجستیک اضطراری با هدف به حداقل رساندن 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 مورد استفاده می‌تواند راه‌حل بهینه را به‌طور مؤثر برای نمونه‌های در مقیاس بزرگ پیدا کند.

لی و همکاران<sup>۴</sup> (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. معادله‌های مدل از طریق قوانین عملیاتی توزیع عدم قطعیت مورد بحث 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 عدم قطعیت 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 عدم قطعیت، تأثیر بودجه بر عملکرد راه‌حل و نقش عامل گسترش در درک دقیق بحران مورد مطالعه قرار گرفت. هدف طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین بشردوستانه به حداقل رساندن آسیب کلی مورد انتظار ناشی از تقاضاهای برآورده‌نشده برای منابع حیاتی در نظر گرفته شده در افق برنامه‌ریزی است.

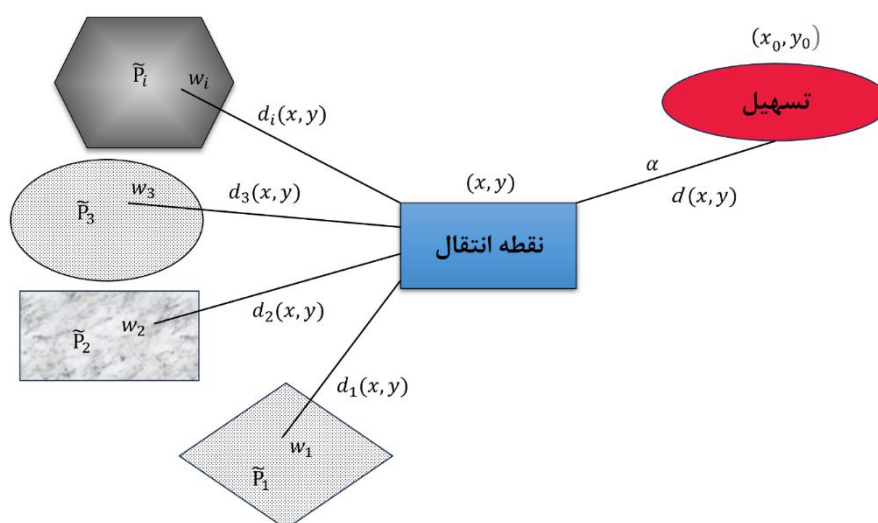
1. An & Cui  
2. Kung, et al.  
3. Zhang, et al.  
4. Li, et al.

لی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۳)، یک مسئله زمان‌بندی امداد پس از فاجعه را در زنجیره‌های تأمین بشردوستانه پایدار با در نظر گرفتن منابع و تقاضاهای امدادی نامشخص به‌طور هم‌زمان مورد مطالعه قرار دادند [۴۵]. هدف، به حداقل رساندن نرخ کل تقاضای برآورده‌نشده مورد انتظار، اثرات نامطلوب محیطی و هزینه اقتصادی در تصمیم سطح بالا و به حداکثر رساندن 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 - دوگانه، یک تکنیک خطی‌سازی و یک روش معیار جهانی پیشنهاد شد.

**بهینه‌سازی قوی.** یکی از مهم‌ترین مشکلات مدل‌های بهینه‌سازی کلاسیک، فرض قطعی بودن داده‌ها در مسائل بهینه‌سازی است. با این حال 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 مورد توجه 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 عدم قطعیت» می‌نامند. رویکرد بهینه‌سازی استوار، یافتن جوابی با لحاظ کردن تمام حالت‌های ممکن است تا جواب به‌دست‌آمده در مقابل تغییر در پارامترها و شرایط مسئله مقاوم باشد.

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

نمایش هندسی کلی مدل پیشنهادی در شکل ۸، نشان داده شده است. در این مدل، محل هر نقطه تقاضا دارای توزیع احتمال منطقه‌ای است؛ به طوری که 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 به صورت زیر است:



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

### نمادها

- $n$ : تعداد نقاط تقاضا  
 $\alpha$ : وزن اختصاص داده‌شده 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  $i$  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 به صورت اعداد فازی مثلثی نشان داده می‌شود.

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

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.

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

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

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.

$$F = \min_{x, y} \left\{ \sum_{i=1}^n w_i d_i^2(x, y) + \alpha d^2(x, y) \right\} \quad \text{رابطه (۵۳)}$$

$$= \min_{x, y} \left\{ \sum_{i=1}^n w_i [(\tilde{x}_i - \tilde{x})^2 + (\tilde{y}_i - \tilde{y})^2] + \alpha [(\tilde{x} - \tilde{x}_0)^2 + (\tilde{y} - \tilde{y}_0)^2] \right\}$$

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

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

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

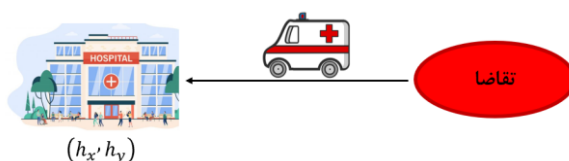
کلاتتری و همکاران (۲۰۱۴)، مدل قبل را با در نظر گرفتن وزن فازی برای نقاط تقاضا توسعه دادند و حل ابتکاری خود را توسط کنترلر فازی با رویکرد ممدانی ارائه کردند [۳۷]. مدل ارائه‌شده در این مقاله نیز همانند مقاله قبل فازی غیرخطی بدون محدودیت است و

نوآوری اصلی آن نسبت به مقاله قبل در نظر گرفتن اوزان فازی و تکمیل راه حل ابتکاری بر اساس کنترلر فازی طراحی شده 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 در نظر 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]. از آنجاکه 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 عدم اطمینان در زنجیره تأمین بهره گرفتند. مدل ارائه شده 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<sup>۱</sup> (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 کمینه بیشینه، تابع ریاضی فرموله می‌شود. نویسندگان برای حل مدل از روش تجزیه و تحلیل 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 غیرقطعی بودن 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، حداقل کردن هزینه ثابت راه‌اندازی انبارهای رهایی و انبارهای پشتیبان است؛ به طوری که احتمال عدم خدمت‌رسانی به یک نقطه از یک میزان بحرانی مشخص شده کمتر نشود و هدف دوم حداقل کردن 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؛ به طوری که زمان انتقال مجروحان (مسیر) حداقل شود؛ به عبارتی 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 عدم قطعیت ارائه دادند [۱۴]. در این پژوهش یک مدل عدد صحیح غیرخطی با در نظر گرفتن عدم قطعیت 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.



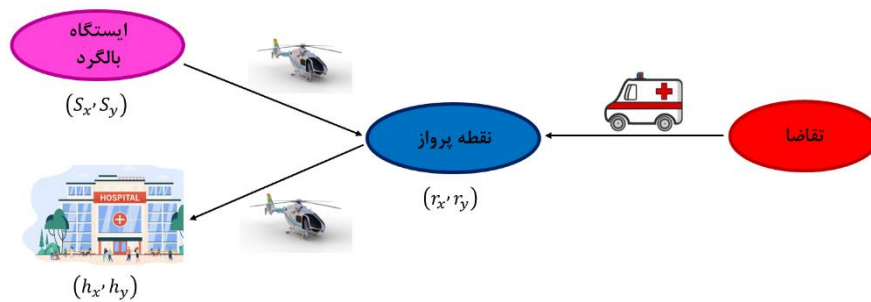
شکل ۹. سناریوی اول انتقال مجروحان از مکان تقاضا به بیمارستان [۱۴]

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



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

در شکل ۱۰، نیز مجروحین به صورت غیرمستقیم و با استفاده از ایستگاه‌های بالگرد که تجهیزات حمل‌ونقل در این ایستگاه‌ها مستقر هستند به بیمارستان منتقل می‌شوند.



شکل ۱۱. سناریوی سوم انتقال مجروحان از مکان تقاضا به بیمارستان [۱۴]

در شکل ۱۱، نیز مجروحان به صورت 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 به صورت محاسبه فاصله مسیر و مسیر بالگرد مسیر مستقیم در نظر گرفته شده است. مولوی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۴)، مفهوم بهینه‌سازی قوی را پیشنهاد کردند. آن‌ها عدم قطعیت را از طریق مجموعه‌ای از سناریوهای گسسته در نظر گرفتند [۵۵].

برتسیماس و سیم<sup>۲</sup> (۲۰۰۴)، یک رویکرد بهینه‌سازی قوی برای عدم قطعیت پارامتر پیشنهاد کردند. هر دو نوع رویکرد برای بهینه‌سازی قوی در مسائل مکان‌یابی تسهیلات در تدارکات بشردوستانه مورد مطالعه قرار می‌گیرند [۱۱].

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

ساجدی و همکاران (۲۰۲۱)، به مکان‌یابی اجزای یک زنجیره تأمین سه‌هدفه، حلقه‌بسته پایدار، چندکالایی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت و سناریوهای بازار با رویکرد ریسک پرداختند [۶۷]. نوآوری‌های پژوهش آن‌ها عبارتند از: در نظر گرفتن ریسک در زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار به عنوان بخشی از تابع هدف؛ در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا در زنجیره تأمین با استفاده از سناریوهای تعریف‌شده؛ توجه به کیفیت محصولات بازگشتی؛ چنددوره‌ای بودن و چندمحصولی بودن مدل و سفارشی کردن مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی واقعی. با توجه به NP-Hard بودن مسئله، مدل پیشنهادی با استفاده از رویکرد فراابتکاری ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II حل شده است.

یکی دیگر از رویکردهای بهینه‌سازی تصادفی قوی توسط ماگی و همکاران<sup>۳</sup> (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 بلا یا 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 کمیت تأثیر بر دسترسی و برابری ناشی از ناهماهنگی در مکان‌یابی امکانات خدمات بهداشتی پس از فاجعه معرفی کردند.

نی و همکاران<sup>۴</sup> (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 عدم قطعیت فاصله‌ای برای طراحی یک شبکه امداد بشردوستانه قابل اعتماد 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 مورد مطالعه قرار نگرفت. برای تعیین مکان تأسیسات هواپزشکی، عدد بهینه برای استفاده در یک موقعیت خاص توسط جنکینز<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) بررسی شده است [۳۳].

گائو و همکاران<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup> (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<sup>۴</sup> (۲۰۱۷)، یک چارچوب مدل‌سازی برای یافتن مکان پناهگاه تحت عدم قطعیت 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 عدم قطعیت ارائه دادند که به دنبال پیدا کردن 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 عدم قطعیت شدت حادثه توجه دارد و این عدم قطعیت در شدت حادثه که موجب عدم قطعیت 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 چندهدفه بودن مدل به کمک یکی از روش‌های تک‌هدفه‌سازی، مدل تک‌هدفه شده و در نهایت در یک مطالعه موردی برای اثبات صحت و کارایی مورد بررسی 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 پیشنهاد شده 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 در نظر گرفتن 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 به‌حداکثر رساندن حداقل نرخ رضایت در میان مناطق فاجعه) و اثرات زیست‌محیطی (اثرات زیست‌محیطی مراحل امداد، و انتقال پیشنهاد شده در شبکه) را حداقل می‌کند. مسئله لجستیک بشردوستانه پایدار چندهدفه پیشنهادی با استفاده از روش برنامه‌نویسی توافقی<sup>۵</sup> و روش بهینه‌سازی لکسیکوگرافیک<sup>۶</sup> حل شد.

هوک و همکاران<sup>۷</sup> (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. Kinay, 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 چندحالتی برای انتقال بیماران با استفاده از روش‌های مختلف حمل‌ونقل (برای مثال، آمبولانس بالگردی و آمبولانس اتوبوس) استفاده شد. از آنجاکه نوع بیماران ممکن است در طول دوره‌ها تغییر کند، سرورهای پزشکی می‌توانند بر اساس شدت فاجعه به صورت پویا بین ایستگاه‌های اورژانس موقت جابه‌جا شوند. برای این منظور، یک مدل مکان‌یابی پویا دوهدفه - بالگرد تخصیص آمبولانس - مدل مسیریابی آمبولانس با سرورهای چند پزشکی ارائه شد. تابع هدف اول هزینه‌های عملیاتی مربوط به خدمات فوریت‌های پزشکی جدید طراحی شده 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. در نهایت 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<sup>۱</sup> (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 - بهینه‌سازی شبکه - تصمیم برای طراحی شبکه لجستیک اضطراری پیشنهاد شده است. در این پژوهش با در نظر گرفتن عدم قطعیت 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<sup>۲</sup> 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 در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا، مدل بهینه‌سازی قوی پیشنهادی همراه با استراتژی تعدیل عدم قطعیت 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<sup>۳</sup> (۲۰۲۲)، یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه قوی مبتنی بر سناریو ارائه دادند که مکان تأسیسات پزشکی، حمل‌ونقل مصدوم و تخصیص کالای امدادی را با در نظر گرفتن تریاژ ادغام کرده است [۶۹]. هدف مدل پیشنهادی به حداقل رساندن مجموع هزینه محرومیت مصدومان به دلیل تأخیر در دسترسی به خدمات پزشکی و هزینه کل عملیات است. با در نظر گرفتن تعداد نامشخص تلفات تحت هر سناریو، روش قوی که عدم قطعیت را به‌عنوان داده‌های بازه‌ای نشان می‌دهد، ارائه شده است. از روش محدودیت اپسیلون برای مقابله با مدل دوهدفه استفاده شده است. یانگ و همکاران<sup>۴</sup> (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 در دسترس 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 پیشنهاد شده است؛ از جمله تولید برش بندرز به بیرون، بهبود دوگان و عادی‌سازی متغیرهای دوگانه.

بین و همکاران<sup>۵</sup> (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 عدم قطعیت 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 در نظر گرفتن عدم قطعیت و استحکام مدل مورد بحث 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 مرور شده. 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:

– 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.

– تابع هدف: تابع هدف ارائه شده می‌تواند حداقل مجموع، کمینه بیشینه و یا حداکثر کردن باشد.

– رویکرد حل: بر اساس مدل ارائه شده اگر خطی و یا غیرخطی محذب باشد، رویکرد حل دقیق و در غیر این صورت حل ابتکاری ارائه می‌شود.

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

جدول ۱. مدل‌های قطعی مسئله مکان‌یابی تسهیلات

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

نوع مسئله	روش حل		تصمیم‌گیری	تابع هدف		پژوهشگر (سال)
	روش غیر دقیق	روش دقیق		حداکثر سازی	حداقل سازی	
مکان‌یابی و مسیریابی		✓	مکان بهینه تسهیلات، تخصیص بهینه منابع	✓	✓	وانگ و همکاران، (۲۰۲۳) [۷۵]
مکان‌یابی و مسیریابی		✓	مکان مراکز توزیع، مسیر بهینه		✓	وانگ و همکاران، (۲۰۲۳) [۷۶]

جدول ۲. مدل‌های غیرقطعی مسئله مکان‌یابی تسهیلات

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

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

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

#### 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 منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ برای بررسی مدل‌های بهینه‌سازی در زمینه تدارکات بشردوستانه مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف این پژوهش پرداختن به روند پژوهش‌های فعلی تدارکات بشردوستانه، به‌ویژه مسئله بهینه‌سازی مورد استفاده 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 منتشر شده قبل از سال ۲۰۰۴ در این مطالعه گنجانده نشده است. در مورد مسائل مکان‌یابی تسهیلات، تمامی انواع مسئله مکان‌یابی تسهیلات مورد مطالعه قرار گرفته و در این مطالعه سعی شده است که مقالات مورد بررسی 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. در نهایت 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 به راحتی 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 مرور شده و همچنین با مراجعه به جدول مرور مبنای نظری ارائه شده 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 مطالعه شده نشان می‌دهد که بیشتر تمرکز تدارکات بشردوستانه بر روی مرحله آمادگی و پاسخ با در نظر گرفتن 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.

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

- شبکه توزیع امداد شامل مراکز توزیع و نقاط تقاضا و ظرفیت مراکز توزیع محدود است؛ اما تقاضا برای امداد، پارامتر نامشخصی است؛ در نتیجه انتقال امداد بین تسهیلات یا موجودی بین تسهیلاتی برای تخصیص کارآمد منابع قابل مطالعه است.

- اگر مرکز توزیع تعیین شده نتواند پاسخگوی تقاضا باشد، هزینه‌های ناراضی‌تی 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.

- برای مطالعات بیشتر در مرحله آماده‌سازی و پاسخ، گنجانیدن مدل چنددوره‌ای یک موضوع مهم است. پاسخ به عملیات امدادسانی 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 امدادسانی به افراد آسیب‌دیده را افزایش می‌دهد.

- 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 از نظر اثربخشی مدل مقایسه کرد. یکی از چالش‌های مدل بهینه‌سازی، داشتن داده‌های کافی است. در بلایای بزرگ‌مقیاس، داده‌ها ممکن است در دسترس نباشند یا به راحتی قابل خواندن نباشند. حتی اگر گاهی اوقات داده‌ها در دسترس 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 شاهدهی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی 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](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., Mirzaei-pour, 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](http://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/systems10020051>.
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](https://www.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 refugees. *Socioecon. Plann: Sci.*, 59, 56–66.
61. Praneetpholkrang, P., Huynh, V., & KanjanawattanabajaJapan, S. (2021). A multi-objective optimization model for shelter location-allocation in 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.