مکان‌یابی مراکز توزیع و مسیریابی حمل‌ونقل در شرایط بحران با استفاده از برنامه‌ریزی دومرحله‌ای

محبوبه ایزدی: کارشناس ارشد، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
پروانه سموئی*: استادیار، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، Email: p.samouei@basu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده:
مسئله مکان‌یابی و مسیریابی با افزایش بلایای طبیعی طی چند دهه اخیر از مهم‌ترین مسائل در شرایط بحران شناسایی و معرفی شده است. امکان دسترسی راحت‌تر آسیب‌دیدگان به این تسهیلات در صورت مکان‌یابی صحیح تسهیلات امدادی فراهم می‌شود و از سوی دیگر به دلیل جایگاه بسیار حساس زمان در شرایط بحران، مسیریابی صحیح وسایل نقلیه از هدر رفت زمان جلوگیری به عمل می‌آورد. ازاین‌رو، در این تحقیق مدل دومرحله‌ای مکان‌یابی و مسیریابی در شرایط بحران ارائه شده است که در مرحله اول آن، تصمیم‌گیرنده مسئولیت انتخاب مکان مراکز توزیع را از میان کاندیداهای موجود برعهده دارد و در مرحله دوم باید تا حد ممکن بهترین مسیرها را جهت کمینه کردن مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه در محدودیت زمانی انتخاب کند. در این راستا برای نشان دادن کارایی و ارزیابی مدل پیشنهادی، چندین مسئله به روش قطعی حل شده و تحلیل حساسیت‌های مختلف بر پارامترهای تأثیرگذار آن انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که دو عامل مؤثر ظرفیت و شعاع پوشش پارامترهایی بیشترین تأثیر را بر مدل دارند.
واژه‌های کلیدی: *مسئله مکان‌یابی مسیریابی، فاجعه، تسهیلات انسانی اضطراری، بهینه‌سازی دومرحله‌ای.*

Locating Distribution Centers and Vehicle Routing in the disaster condition using two-stage programming

Mahboubeh Izadi[1], Parvaneh Samouei[2*]

Abstract
Natural disasters have increased in recent decades and the issue of locating and routing have been identified and introduced as the most important issues in crisis situations. This importance is due to the fact that if the relief facilities are located correctly, it will be possible for the injured to have easier access to these facilities. On the other hand, the correct routing of vehicles will prevent waste of time due to their very significant role in times of crisis. Therefore, the present study used a two -stage model of locating and routing in crisis situations. In the first stage of the model, the decision maker is responsible for selecting the location of distribution centers from among the available candidates and in the second stage, the best route of transportation with the shortest distance should be identified due to time limit. In this regard, to show the efficiency and evaluation of the proposed model, several problems have been solved definitively and different sensitivities have been analyzed on its effective parameters. The results showed that the two effective factors of capacity and coverage radius were the parameters that had the greatest impact on the model.
Keywords: *Locating-Routing Problem, Disaster, Emergency Human Facilities, two-stage programming*

1 M.Sc., Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2 Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

مقدمه

همان‌طور که مشاهده می‌شود هرساله بلایای طبیعی همانند زلزله، سیل، طوفان و خشک‌سالی قسمت‌های مختلفی از جهان را گرفتار می‌کند. برنامه‌ریزی لجستیکی در شرایط وقوع بحران و بلایا، یکی از فعالیت‌های کلیدی مدیریت امداد بلایا است. وقوع این حوادث طبیعی اغلب با صدمه به جان و مال انسان‌ها همراه است. در ایران بسیاری از شهرها از زلزله رنج می‌برند. ازجمله این بلایا می‌توان به زلزله بم در سال ۱۳۸۲، زلزله کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ و سیل سال ۱۳۹۸ در بیشتر شهرهای ایران اشاره کرد. تجزیه‌وتحلیل آماری نشان می‌دهد که ایران در طول قرن گذشته حدود ۱۳۰ زلزله با شدت ۷/۵ ریشتر یا بیشتر را تجربه کرده است. زلزله ۷/۳ ریشتری کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ یکی از بزرگ‌ترین و مخرب‌ترین زمین‌لرزه‌های دو دهه اخیر ایران بود که بیش از نیمی از کشور را به لرزه درآورد. شهرستان طبس در اثر زلزله سال ۱۹۷۸ و شهر منجیل و رودبار در سال ۱۹۹۰ ویران شدند و شهر بم در سال ۲۰۰۳ به ویرانه تبدیل شد. ایران، مانند دیگر کشورهای درحال‌توسعه، از آسیب زلزله و آسیب‌های اقتصادی رنج می‌برد. در زلزله بم در سال ۲۰۰۳، شرایط به حالت عادی بازنگشت و وضعیت در یک دوره معقول (به‌عنوان‌مثال ظرف ۷۲ ساعت پس از زلزله) فرودگاه به علت آسیب شدید غیرسازمانی ناشی از پایانه و برج کنترل بسته شده بود. در حوادث بم، تقریباً تمام امکانات اصلی بیمارستان‌ها نابود شد و تعدادی از پزشکان و پرستاران آن‌ها به‌طورجدی مجروح و یا کشته شدند [۱]. از طرفی ماهیت بحران‌های طبیعی به‌گونه‌ای است که پاسخگویی به آن‌ها باید در زمان اندک صورت پذیرد. در چنین شرایط اضطراری و پیچیده‌ای، تصمیم‌گیرنده باید با سرعت و به‌صورت مؤثر به مسائل لجستیکی پاسخ دهد. در راستای نیل به این اهداف، پشتیبانی و امدادرسانی حوزه‌ای است که بهبود در آن می‌تواند نتایج اثربخشی را حاصل کند. درواقع قسمت اعظم مدیریت بحران، چیزی جز مدیریت لجستیک نیست. علاوه بر این لجستیک موجب هماهنگی بیشتر در تحویل کالاها و ارتباطات شده و موجب افزایش سرعت تحویل و پاسخگویی می‌شود [۲].

فاجعه رویدادی است که موجب آسیب، تخریب، اختلال زیست‌محیطی، از دست دادن زندگی انسان، رنج او و یا بدتر شدن خدمات بهداشتی و درمانی در منطقه آسیب‌دیده است [۳]. چنین شرایطی ممکن است شامل بلایای طبیعی مانند خشک‌سالی، زمین‌لرزه، سیل یا طوفان و بیماری‌های همه‌گیر یا اختلالات ساختگی مانند انفجارهای هسته‌ای یا شیمیایی نیز باشد [۴، ۵ و ۶].

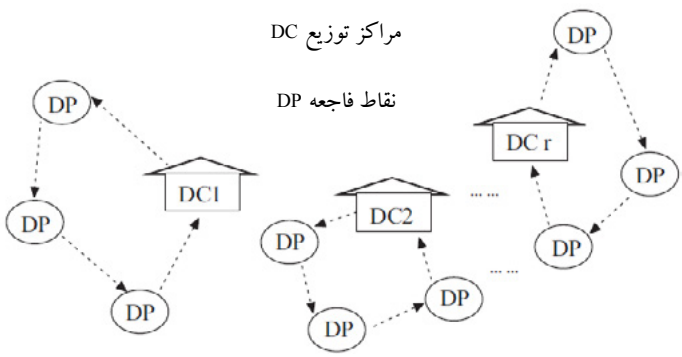
ازآنجایی‌که کشور ایران جزء ده کشور بلاخیز نخست جهان است، آثار مخرب ناشی از وقوع بحران از یک‌سو و فراوانی وقوع چنین حوادثی در ایران از سوی دیگر اهمیت بررسی‌ها درزمینه مدیریت بحران را گوشزد می‌کند [۷].

یکی از مسائل مهم در مدیریت لجستیک، طراحی شبکه‌های توزیع است که می‌تواند هزینه‌ها و خسارات را تا حد زیادی کاهش دهد. یک بعد مهم از طراحی شبکه‌های توزیع در نظر گرفتن انواع محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی و گنجاندن آن‌ها در مسائل کلاسیک شبکه‌های توزیع است. مکان‌یابی و مسیریابی از مسائل پرکاربرد در این حوزه است [۸] که به حل مسئله‌ی تعیین مراکز توزیع و تعیین مسیرهای حمل می‌پردازد؛ بنابراین این مسئله باهدف مشخص نمودن تصمیمات مربوط به مکان‌یابی، مسیریابی و تأمین هماهنگی مناسب میان این دو مسئله در طراحی شبکه‌های توزیع مطرح است [۹].

مسئله مکان‌یابی-مسیریابی شامل دو زیر مسئله مکان‌یابی (LAP[1]) و مسائل مربوط به مسیریابی وسایل نقلیه (۲VRP) [۱۰] است. در سال‌های اخیر، محققان بسیاری به مطالعه و بررسی مسئله مکان‌یابی تسهیلات پرداخته‌اند [۷]. مسئله مکان‌یابی نیاز به تصمیم‌گیری در مکان‌های اضطراری مرکز توزیع دارد و شامل انتخاب مکان‌هایی است که قادر به ارسال کالاهای امدادی به نقاط فاجعه هستند. مسیریابی وسایل نقلیه برای بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل جهت اطمینان از انجام امدادرسانی به‌موقع است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود مراکز توزیع منتخب نقاط فاجعه را برای عملیات امدادرسانی پوشش می‌دهند.

در مسائل مکان‌یابی-مسیریابی، تصمیم‌گیری‌های مکان‌یابی و مسیریابی وسایل نقلیه همبسته شده و در یک مدل قرار می‌گیرند؛ بنابراین به‌طور هم‌زمان به دنبال راه‌حل‌های بهینه و مکان‌یابی می‌گردند. مرجع [۱۲] یک طبقه‌بندی سلسله مراتبی برای طبقه‌بندی مطالعات (۳LRP) ازلحاظ دیدگاه مسئله و روش راه‌حل توسعه ارائه کرد. ازلحاظ دیدگاه مسئله، طبقه‌بندی مسائل مکان‌یابی-مسیریابی به تک مرحله و دومرحله‌ای یک طرح مهم است. پیشرفت‌های اخیر مطالعات مسائل مکان‌یابی-مسیریابی



شکل ۱. طراحی شبکه مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات در شرایط بحران [۱۱]

مرجع [۱۲] را مورد بررسی قرار دادند. ارائه روش بهینه‌سازی برای انبارها، توزیع تجهیزات پزشکی برای بحران و مدیریت آن‌ها در حوادث مختلف همراه با شدت‌های مختلف توسط مرجع [۱۳] انجام شد. مدل ارائه‌شده، مدلی دومرحله‌ای بود که در آن مرحله اول برای انتخاب مکان‌های بهینه برای ایجاد انبارهای احتمالی و تعیین سطح موجودی ذخیره‌سازی آن‌ها تعیین شد و مرحله دوم توسط تخصیص وسایل نقلیه و مسیرهای مختلف تحت سناریوهای مختلف و ارسال امکانات پزشکی از انبارهای تسهیلات به بیمارستان‌ها بود. مرجع [۱۴] یک مدل بهینه‌سازی برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی برای کمک بعد از وقوع حادثه پیشنهاد کردند. مرجع [۱۵] مسئله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی باهدف حداقل زمان انتظار دریافت‌کنندگان ارائه کرد که با بهینه‌سازی هر دو مکان‌های انبارها و مسیرهای وسایل نقلیه به حداقل می‌رساند. مرجع [۱۶] مدلی (الگویی) برای مسئله‌ی پاک‌سازی آوار باهدف حداقل کردن زمان دسترسی به مناطق بحرانی نظیر بیمارستان‌ها ارائه کرد. آن‌ها برای کاهش زمان حل مسئله، الگوریتم دومرحله‌ای مبتنی بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ارائه کردند. مرجع [۱۷] بر روی سامانه‌ی توزیع امداد زلزله پس از زلزله تمرکز دارد. این مقاله نشان‌دهنده یک مدل برنامه‌ریزی خطی عریض با دو هدف جدید است که کل زمان انتظار وزن کل و میزان کل درخواست‌های ازدست‌رفته را به حداقل می‌رساند. مرجع [۱۸] یک عدد صحیح دومرحله‌ای، چندهدفه، مدل‌سازی ریاضی چندمرحله‌ای و چند کالا در زنجیره تأمین سه سطح ارائه کرد. مرجع [۱۹] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چندهدفه مختلط برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین یکپارچه در تخریب فاجعه پیشنهاد کرد. همچنین آن‌ها چارچوبی ترکیبی مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و رویکردهای برنامه‌ریزی احتمالی، برای مقابله با مخلوطی از عدم قطعیت تصادفی و شناختی طراحی کردند. مرجع [۲۰] یک شبکه لجستیک چندمرحله‌ای مکان انبارهای مرکزی، مدیریت موجودی محصولات را در مرحله قبل از فاجعه و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در مرحله پس از فاجعه را بررسی کرد. مرجع [۲۱] رویکردی دومرحله‌ای برای بهینه‌سازی انتقال کالاهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده و تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده با در نظر گرفتن نقش نیروهای مسلح در آن را ارائه کرد. مرجع [۲۲] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای مراحل قبل و بعد از فاجعه ارائه کرد که با در نظر گرفتن انواع تلفات، تقاضا، امکان خسارت به جاده‌ها و بیمارستان‌ها و فاصله بین مناطق فاجعه و مراکز درمانی، راه‌حلی مناسب برای موقعیت مکانی یافته و کل هزینه حمل‌ونقل مورد انتظار را به حداقل می‌رساند.

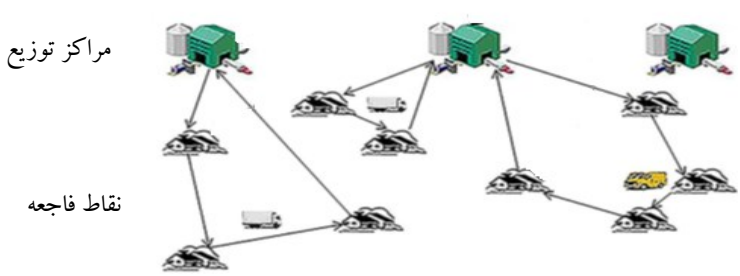
۱- مدل‌سازی مسئله

۱-۱ تعریف مسئله

با افزایش بلایای طبیعی مسئله مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات به رویکردی برتر برای برخورد با مسائل تسهیلات انسانی اضطراری تبدیل شده است. تعداد زیادی از محققان برای کمک به افرادی که در معرض خطر در پی به‌کارگیری رویکردهای علمی در امر تصمیم‌گیری، به‌منظور بهبود عملکرد نظام مدیریت بحران هستند تا از وقوع فاجعه جلوگیری شود یا بهبود یابد. با توجه به‌شدت فزاینده فجایع اخیر، تحقیق در مورد برخورد با تسهیلات انسانی، تصمیم‌گیری و شبیه‌سازی به‌عنوان رویکردهای اصلی پیشنهاد شده است. این تحقیق مسئله مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات در بحران به روش بهینه‌سازی دومرحله‌ای به‌صورت چندهدفه با کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع و فاصله مراکز تا نقاط فاجعه و همچنین کمینه کردن مسافتی که وسایل نقلیه طی می‌کنند که در زمان کوتاهی امدادرسانی انجام شود.

مسئله مکان‌یابی نیاز به تصمیم‌گیری در مکان‌های اضطراری مرکز توزیع دارد و مسیریابی وسایل نقلیه برای بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل برای اطمینان از امدادرسانی به‌موقع مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از یک فاجعه، تصمیم‌گیرنده باید مکان‌های مرکز توزیع را انتخاب کند، نقاط فاجعه را برای هر مرکز توزیع تخصیص دهد و برنامه‌های حمل‌ونقل مناسب را برای اتصال نقاط مدنظر بیاورد. شکل ۲ شبکه توزیع امدادرسانی هنگام فاجعه را ارائه می‌دهد که مراکز توزیع نقاط فاجعه را پوشش می‌دهند.

در این پژوهش مراکز برنامه‌ریز در حوزه بحران مرحله اول و مسئول احداث و انتخاب مکان‌های مرکز توزیع از نامزدهای موجود است. تصمیمات مسئله مکان‌یابی-مسیریابی باید در مدل‌های مسئله مکان‌یابی گنجانده شود تا اطمینان حاصل شود که کل سامانه تدارکات اورژانسی آماده امدادرسانی است. مسئله مکان‌یابی شامل انتخاب مکان‌هایی است که توانایی انجام مطالبات مواد را



شکل ۲. شبکه توزیع امدادرسانی در شرایط بحران

در مقصدهای نامشخص تحت محدودیت‌های مختلف دارند [۲۳ و ۲۴]. مراکز برنامه‌ریز در حوزه بحران می‌خواهند به‌طور منطقی مکان‌هایی با کمترین فاصله را انتخاب کنند. مقدار تقاضا در هر نقطه فاجعه متفاوت است و توجه به فواصل و تقاضاها از تمام نقاط آسیب‌دیده خدمات بالقوه به هنگام تعیین مناطق خدماتی یک مرکز توزیع توسط تصمیم‌گیرنده ضروری است. برای مثال، اگر یک مرکز توزیع بسیاری از نقاط فاجعه را بدون توجه به تقاضا پوشش دهد، تقاضا در تمام نقاط فاجعه خدمت‌رسانی انجام نمی‌شود. ازآنجایی‌که در مرحله اول انتخاب مراکز در حوزه بحران قادر به آماده کردن سریع وسایل نقلیه موردنیاز و کنار هم قرار دادن آن‌ها نیست، پس در مرحله دوم به دلیل حمل کالاهای امدادی به‌وسیله‌ی وسایل حمل‌ونقل، این عملیات به‌صورت تجهیز کالاهای امدادی حمل می‌شود.

در مرحله دوم مسئولیت انتخاب مسیرهای بهینه را بر عهده دارد. بر اساس مرحله اول، مسیرهای حمل‌ونقل برای رسیدن به کوتاه‌ترین مسافت حمل‌ونقل ممکن است انتخاب شوند. تعداد نقاط فاجعه خدمت‌رسانی شده و میزان تقاضا در هر مرکز توزیع متفاوت است؛ بنابراین مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه برای هر حلقه حمل‌ونقل نیز از هر مرکز توزیع تا نقاط فاجعه خدماتی، کمتر است و زمان حمل‌ونقل باید از مقدار مشخصی تجاوز نکند. هنگامی‌که مراکز برنامه‌ریز در حوزه بحران اهداف مکان‌یابی را در نظر می‌گیرد و زمانی که یک مرکز توزیع می‌تواند بسیاری از نقاط تقاضا را پوشش دهد؛ علاوه بر این، همراه با محدودیت‌های کالاهای امدادی، پوشش نقاط تقاضای بیشتر می‌تواند کارایی عملیاتی را تحت تأثیر قرار دهد، زیرا تقاضا در نقاط فاجعه ممکن است به دلیل زمان حمل‌ونقل طولانی‌تر غیرقابل انجام باشد. بدون توجه به وضعیت، ممکن است هنوز امدادرسانی نتواند انجام شود یا به تأخیر بیافتد که می‌تواند منجر به افزایش میزان مرگ‌ومیر و تعداد بیشتری از صدمات شود. در ۷۲ ساعت بعد از زلزله، کمبود اطلاعات در مورد شرایط نقطه فاجعه، عدم اطمینان تلاش‌های امدادی را افزایش می‌دهد.

تدارکات اضطراری مکان‌یابی-مسیریابی دومرحله‌ای چندهدفه با محدودیت‌های پنجره زمانی و وجود یا عدم وجود جاده‌ی سانحه دیده یک مسئله جدید در تحقیقات لجستیک است. در این پژوهش، یک مدل ریاضی برای مناطقی که بیشترین آسیب از یک فاجعه را پشت سر می‌گذارند، در کمترین مسافت و هزینه ممکن با توجه به محدودیت زمان برای افراد فاجعه دیده پیشنهاد شده است تا به تصمیم‌گیرنده در حل مسئله مکان‌یابی-مسیریابی یاری کند.

۱-۲ مدل ریاضی

در این بخش ابتدا مفروضات مسئله بیان و سپس مدل ریاضی مسئله شرح داده می‌شود.

مفروضات مسئله به شرح زیر است:

- مسئله می‌تواند دارای چند مرکز توزیع باشد.
- کالاهای امدادی یکسانی در مراکز توزیع قرار دارند.
- ظرفیت وسایل نقلیه متفاوت است.
- بیشینه تعداد وسایل نقلیه معلوم است.
- وسایل نقلیه بعد از سرویس‌دهی باید به مرکز توزیع بازگردد.
- تقاضا نباید از ظرفیت مراکز توزیع بیشتر باشد.
- زمان امدادرسانی باید کمتر از ۷۲ ساعت پس از وقوع بحران باشد.
- هزینه مراکز توزیع می‌تواند متفاوت باشد.

نماد و علائم ریاضی

مجموعه‌ها و اندیس‌ها	
$C = \{1, 2, ..., c, ..., \|C\|\}$	مجموعه مشتریان (نقاط فاجعه/نواحی زلزله‌زده)
$R = \{1, 2, ..., r, ..., \|R\|\}$	مجموعه نقاط بالقوه/نامزد برای استقرار مراکز توزیع
$N = C \cup R$	کل گره‌های شبکه (شامل نقاط فاجعه و نقاط بالقوه برای مراکز توزیع): اندیس گذاری با نماد i,j
$K = \{1, 2, ..., k, ..., K\}$	مجموعه وسایل نقلیه
پارامترها/داده‌های مسئله	
h_c	برآورد تقاضای تجهیزات امداد در گره c تا ۷۲ ساعت بعد از وقوع زلزله/بحران
w_c	اهمیت نسبی گره c
d_{ij}	فاصله دو گره i و j
cap_r^R	ظرفیت مرکز توزیع بالقوه r
cap_k^K	ظرفیت وسیله نقلیه k
φ	بیشینه فاصله بین گره c با مرکز توزیع اختصاص داده‌شده به آن
fc_r	هزینه استقرار مرکز توزیع در نقطه r
t_{i-j}	مدت‌زمان جابجایی بین گره i تا گره j
متغیرها/خروجی‌های مسئله	
y_r	اگر مرکز توزیع در مکان r استقرار یابد برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰ است.
a_{rc}	اگر مرکز توزیع مستقر در مکان r به گره c تخصیص یابد برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰ است.

b_{kr} اگر وسیله نقلیه k از مرکز توزیع r کالاهای امدادی را به گره‌های متقاضی عرضه کند برابر با ۱، در غیر این صورت ۰ است.

x_{kij} اگر وسیله نقلیه k مسافت i به j را طی کند، برابر با ۱، در غیر این صورت ۰ است.

u_{ki} متغیر کمکی عدد صحیح که نشان‌دهنده گره i در مسیر وسیله نقلیه k است (این متغیر در محدودیت حذف زیر دور بکار گرفته می‌شود).

توابع هدف در مکان‌یابی

هدف ۱ در مرحله مکان‌یابی مراکز توزیع: کمینه‌سازی فاصله مراکز توزیع از مشتریان:

معادله (۱):

$$Minimize\ f_1^{location} = \sum_r \sum_c w_c d_{rc} a_{rc}$$

در این رابطه مجموع فواصل مراکز توزیع از گره‌ها (نقاط فاجعه‌زده) کمینه است. لازم به توضیح است که در این رابطه وزن نسبی هر گره به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_c = \frac{h_c}{\sum_c h_c}$$

هدف ۲ در سطح مکان‌یابی مراکز توزیع: کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع:

معادله (۲)
$$Minimize\ f_2^{location} = \sum_r fc_r y_r$$

در این رابطه مجموع هزینه‌های احداث مراکز توزیع کمینه می‌شود.

محدودیت‌ها در سطح مکان‌یابی مراکز توزیع:

معادله (۳)
$$\sum_r a_{rc} = 1; \forall c \in C$$

تقاضای هر گره متقاضی امداد توسط یک مرکز به آن توزیع می‌شود (اختصاص یک مرکز توزیع به هر گره).

معادله (۴)
$$a_{rc} \le y_r; \forall c \in C, r \in R$$

تخصیص مراکز توزیع به هر گره متقاضی امداد، مستلزم احداث مرکز توزیع است.

معادله (۵)
$$\sum_c h_c a_{rc} \le cap_r^R; \forall r \in R$$

در این رابطه ظرفیت هر مرکز توزیع کنترل می‌شود.

معادله (۶)
$$d_{rc} a_{rc} \le \varphi; \forall k \in K, c \in C$$

در فاجعه‌ای مانند زلزله ۷۲ ساعته، فاصله بین نقطه فاجعه c و مرکز توزیع r برای امدادرسانی مؤثر مهم است؛ بنابراین، بیشترین فاصله بین مرکز توزیع r و نقطه فاجعه c نباید بیشتر از یک مقدار داده‌شده‌ی باشد. این رابطه، تخصیص هر مرکز توزیع را به هر گره متقاضی امداد تضمین می‌کند که نباید فاصله بین آن‌ها از حد مشخصی بیشتر شود. به‌عبارت‌دیگر اگر $a_{rc}=1$ باشد آنگاه حتماً $d_{rc} \le \varphi$ که شعاع پوشش مجاز است.

تابع هدف در مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع تجهیزات امداد از مراکز توزیع به گره‌های متقاضی هدف ۱ در مرحله مسیریابی: کمینه‌سازی مجموع مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه

معادله (۷)
$$Minimize\ f_1^{routing} = \sum_r \sum_c \sum_k d_{ij} x_{ijk}$$

در این رابطه مجموع مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه طی مسیر آن‌ها برای توزیع تقاضای گره‌ها کمینه می‌شود.

محدودیت‌ها در سطح مسیریابی وسایل نقلیه

معادله (۸)
$$\sum_k \sum_r x_{krc} = 1; \forall c \in C$$

تقاضای هر گره متقاضی امداد توسط یک وسیله نقلیه به آن تحویل داده می‌شود.

معادله (۹)
$$\sum_r x_{krc} \le b_{kr}; \forall k \in K, r \in R$$

این رابطه بیان می‌کند که هر وسیله نقلیه از آن مرکز توزیع مربوط به خود ($b_{kr}=1$) شروع به حرکت و پیوستگی مسیر هر وسیله نقلیه را تضمین می‌کند.

معادله (۱۰)
$$\sum_{i \in N} x_{kic} = \sum_{i \in N} x_{kci}; \forall k \in K, c \in C$$

معادله (۱۱)
$$u_{ki} - u_{kj} + |C| . x_{kij} \le |C| - 1; \forall i, j \in C; k \in K$$

در این رابطه به محدودیت حذف زیر دور ۴ اشاره می‌شود.

معادله (۱۲)
$$\sum_i x_{kic} \le b_{kr} . a_{rc}; \forall k \in K, c \in C$$

این رابطه بیان می‌کند که هر گره فقط می‌تواند توسط آن وسیله نقلیه‌ای بازدید شود که از مرکز توزیع تخصیص داده‌شده حرکت کرده باشد ($b_{kr} . a_{rc}=1$).

معادله (۱۳)
$$\sum_r b_{kr} = 1; \forall k \in K$$

این رابطه بیان می‌کند که هر وسیله نقلیه فقط به یک مرکز توزیع تعلق می‌گیرد.

معادله (۱۴)
$$\sum_i \sum_c h_c x_{kic} \le cap_k^K; \forall k \in K$$

در این رابطه محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه اعمال می‌شود.

معادله (۱۵)
$$\sum_i \sum_j t_{i-j} x_{kij} \le 72; \forall k \in K$$

در این رابطه اجبار می‌شود که هر وسیله باید طی حداکثر ۷۲ ساعت به بازدید گره‌های متقاضی امداد بپردازد.

معادله (۱۶)

$$\left\{\begin{array}{l} y_r \in \{0,1\} \\ a_{rc} \in \{0,1\} \\ x_{kij} \in \{0,1\} \\ b_{kr} \geq 0 \\ u_{ki} 0,1,2,3,... \\ x_{krr'} = 0 \\ x_{kcc} = 0 \end{array}\right\}$$

درنهایت، دامنه تغییر هر یک از متغیرهای در مدل بهینه‌سازی پیشنهادی ارائه شده است. لازم به توضیح است که مدل پیشنهادی دو مرحله دارد (مکان‌یابی و مسیریابی) و مرحله اول دوهدفه است. ضمن اینکه روابط و متغیرها نیز خطی آمیخته (MILP) هستند. همان‌طور که مشاهده شد سطح بالای مدل مسئله دارای دو تابع هدف است برای ساده‌سازی و حل راحت‌تر مدل بهتر است که دو تابع هدف با یکی از روش‌های ممکن به یک هدف تبدیل شود. در اینجا از روش مجموع وزنی اهداف استفاده شده است.

۳-۱ روش حل دوهدفه برای مکان‌یابی مراکز توزیع (روش مجموع وزنی اهداف (WSM[۵]))

در بخش قبلی، برای حل مسئله مورد نظر تحقیق مدل بهینه‌سازی چندهدفه ارائه شد. به‌طورکلی، روش‌های متعددی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM[۶]) و موازنه اهداف در ادبیات ارائه شده است. روش مجموع وزنی (WSM) را می‌توان شناخته‌شده‌ترین و متداول‌ترین روش MADM قلمداد کرد که نخستین بار در سال ۱۹۵۷ پژوهشگران و برنامه‌ریزان اقتصادی از آن برای انتخاب سیاست‌های سرمایه‌گذاری در بخش تجارت استفاده کردند. این روش به‌عنوان همچنان شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین روش در برنامه‌های MADM استفاده می‌شود که دلیل اصلی آن به‌کارگیری ساده و فهم آن است. کارایی محاسباتی و سهولت استفاده از آن جذابیت جهانی دارد [۲۵]. در این بخش روش مجموع وزنی (WSM) توضیح داده می‌شود.

در حالت کلی، یک مسئله MODM به‌صورت زیر قابل‌بیان است (البته ممکن است برخی از اهداف بیشینه‌سازی نیز باشند ولی به‌سادگی قابل‌تبدیل به‌صورت زیر هستند):

معادله (۱۷)

$$\{Min(f_1(x), f_2(x), ..., f_n(x)); x \in X$$

فرض کنید مقدار بهینه هر یک از اهداف $i = 1,2,...,n$ برابر با f_i^* باشد. در مسائل واقعی MODM، با توجه به تناقض[۷] بین اهداف، معمولاً جواب $x^* \in X$ وجود ندارد که به ازای آن‌همه اهداف در حالت بهینه قرار گیرند ($\nexists x^* \in X : f_i^* = f_i(x^*)$). ازاین‌رو، اگر A یک روش حل باشد و جواب x^A به‌عنوان خروجی آن حاصل شود، آنگاه این روش A زمانی کارایی بیشتری داشته است که فاصله کمتری نسبت به f_i^* داشته باشد.

به‌عبارت‌دیگر، بر اساس معیار انحراف از ایده‌آل[۸] (MID)، اگر جواب $F^* = (f_1^*, f_2^*, ..., f_n^*)$ به‌عنوان جواب ایده‌آل در نظر گرفته شود، آنگاه هرچه جواب $F^A = (f_1(x^A), f_2(x^A), ..., f_n(x^A))$ از جواب F^* فاصله کمتری داشته باشد، عملکرد روش A و پاسخ آن بهتر است.

فرض کنید f_i^* مقدار بهینه (در اینجا کمینه) هدف اول باشد، در روش WSM پس از نرمال‌سازی مقادیر هدف مدل تک هدفه زیر باید حل شود:

معادله (۱۸)

$$\min z_{WSM} = \sum_{i=1}^{n} w_i \left| \frac{f_i(x^A) - f_i^*}{f_i^*} \right|$$

۲- نتایج محاسباتی

در این بخش اطلاعات عددی برای مسائل مختلف به‌صورت دومرحله‌ای در نرم‌افزار GAMS حل شده است. این اطلاعات در ابعاد مختلف ارزیابی عملکرد مکان‌یابی و مسیریابی در شرایط بحران با تحلیل حساسیت‌های مختلف برای این مسائل انجام شده که برای هر مسئله تعداد تقاضا، تعداد ظرفیت مراکز توزیع، ظرفیت وسایل نقلیه، فاصله هزینه احداث مراکز توزیع و شعاع پوشش متناسب با مسئله تغییر کرده است. مسئله مورد نظر که دومرحله‌ای است مرحله اول (مکان‌یابی) را به‌صورت دو هدفه (کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع، کمینه‌سازی فواصل از گره‌ها) و مرحله دوم (مسیریابی) را باهدف کمینه‌سازی مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه حل می‌کند.

سامانه رایانه‌ای مورد استفاده، لپ‌تاپی با پردازنده، حافظه‌ی CPU i۵ Intel ® Core™ M۴۶۰@۲,۵۳GHz، رَم ۴ گیگابایت و سیستم‌عامل Microsoft Windows 10 است.

در جدول ۱ با انجام تحلیل حساسیت در مقدار تغییرات تعداد مراکز توزیع، تعداد نقاط فاجعه و تعداد وسایل نقلیه در ۱۰ مثال عددی مختلف دریافت شده از مقاله [۱۸] انجام شده است.

مطابق با جدول ۱ روش‌های حل دقیق این‌گونه مسائل، زمان حل آن‌ها در صورت بزرگ شدن ابعاد مسئله بسیار طولانی و با بزرگ شدن ابعاد مسئله نشدنی می‌شود که نرم‌افزار نیز دیگر توان پاسخگویی ندارد. همچنین مشخص می‌شود که مقادیر توابع هدف دو مرحله با افزایش اندازه مسئله به‌طورکلی افزایش می‌یابد.

در جدول ۲ مسائل مختلفی با تغییر مقدار تقاضا حل شده که حالت صفر مسئله پایه است و به‌صورت درصد منفی که مقدار آن کمتر، درصد مثبت به‌صورت افزایش مقدار تقاضا تغییرات اعمال و نتایج گزارش شده است. مجموعه جواب‌های حاصل از توابع هدف نشان می‌دهد که با کاهش تقاضا، تغییری در مقدار توابع هدف مشاهده نمی‌شود؛ ولی با افزایش مقدار تقاضای نقاط فاجعه، تابع هدف اول مرحله اول که کمینه شدن فاصله مراکز توزیع از نقاط فاجعه است، ابتدا کمتر شده و با افزایش درصد بیشتری از مقدار تقاضا مقدار این تابع هدف نیز افزایش یافته است. همچنین مقدار

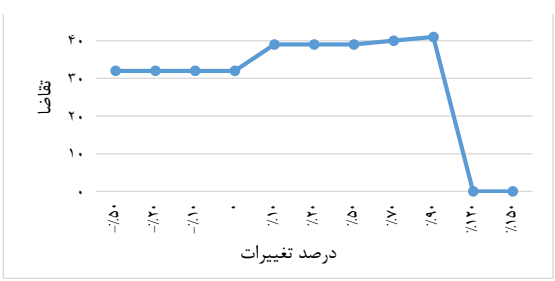
تابع هدف دوم مرحله اول (هزینه احداث مراکز توزیع) به‌صورت صعودی در حال افزایش است. تابع هدف مرحله دوم مربوط به مسیریابی نیز در حال افزایش است. شکل ۳ نمودار تغییرات مقدار تقاضا را در دو مرحله نشان می‌دهد.

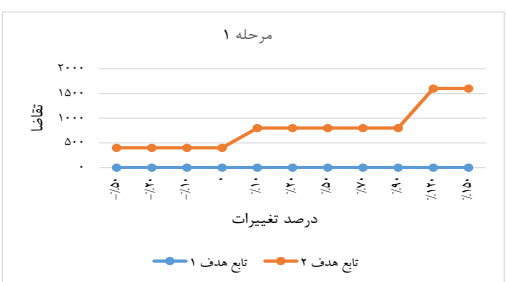
جدول ۱. حل مسائل مختلف با استفاده از نرم‌افزار Gams

	زمان حل (ثانیه)	مرحله ۲	مرحله ۱	تعداد	تعداد	تعداد
	تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۱	وسایل نقلیه	نقاط فاجعه	مراکز توزیع
مسئله ۱	۲۵	۴۰۰	۳/۸۴۸	۳	۸	۴
مسئله ۲	۴۰	۸۰۰	۲/۹۲۱	۳	۱۳	۵
مسئله ۳	۴۱	۸۰۰	۲/۶۶۸	۴	۱۵	۵
مسئله ۴	۵۵	۸۰۰	۲/۶۶۷	۴	۲۰	۵
مسئله ۵	۳۷	۸۰۰	۲/۷۶۵	۴	۱۲	۶
مسئله ۶	۴۷	۸۰۰	۲/۹۸۰	۴	۱۷	۶
مسئله ۷	۵۴	۸۰۰	۲/۸۴۵	۵	۲۰	۷
مسئله ۸	۵۵	۸۰۰	۲/۶۶۰	۴	۲۰	۸
مسئله ۹	۶۱	۸۰۰	۲/۸۸۰	۵	۲۵	۸
مسئله ۱۰	۵۲	۸۰۰	۳/۰۰۵	۵	۱۸	۱۰

جدول ۲. حل مسائل مختلف با تغییرات مقدار تقاضا

مرحله ۲	مرحله ۱		درصد تغییرات	مسئله
تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۱		تقاضا
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	-٪۵۰	مسئله ۱
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	-٪۲۰	مسئله ۲
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	-٪۱۰	مسئله ۳
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	۰	مسئله ۴
۳۹	۸۰۰	۲/۹۱۸	٪۱۰	مسئله ۵
۳۹	۸۰۰	۲/۹۱۸	٪۲۰	مسئله ۶
۳۹	۸۰۰	۲/۹۱۸	٪۵۰	مسئله ۷
۴۰	۸۰۰	۲/۹۶۸	٪۷۰	مسئله ۸
۴۱	۸۰۰	۳/۰۳۴	٪۹۰	مسئله ۹
-	۱۶۰۰	۲/۷۳۶	٪۱۲۰	مسئله ۱۰
-	۱۶۰۰	۳/۰۷۱	٪۱۵۰	مسئله ۱۱





شکل ۳ نمودار تغییرات مقدار تقاضا

با مشاهده نمودار تغییرات ظرفیت دو مرحله (شکل ۴) مشخص می‌شود که با کاهش درصدی مقدار ظرفیت مراکز توزیع تمامی توابع هدف دو مرحله افزایش می‌یابد و با کاهش بیشتر ظرفیت، مسئله در مرحله دوم نشدنی می‌شود.

شکل ۵ نشان می‌دهد که ظرفیت وسایل نقلیه تأثیری بر مرحله اول ندارد؛ ولی در مرحله دوم با کاهش ظرفیت مقدار تابع هدف بیشتر شده و اگر ظرفیت بیشتر کاهش یابد، تابع هدف مرحله دوم نشدنی می‌شود. از نتایج شکل ۴ و ۵ می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر مقدار ظرفیت مسئله مورد نظر نشدنی می‌شود.

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که افزایش زمانِ مؤثر بر مرحله دوم، تابع هدف این مرحله را نشدنی می‌کند. با توجه به محدودیت زمان ۷۲ ساعت برای امدادرسانی در مدل مسئله، در صورت گذر زمان از حد ممکن مسئله نشدنی می‌شود.

این نمودار فاصله گره i از گره j را نشان می‌دهد که با بیشتر شدن فاصله مقدار تابع هدف اولِ مرحله نخستِ بیان‌کننده‌ی فاصله مراکز توزیع به نقاط فاجعه افزایش می‌یابد و همچنین مقدار تابع هدف مرحله دوم که مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه است بیشتر می‌شود؛ ولی با افزایش مقدار فاصله، تابع هدف مرحله دوم نشدنی می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

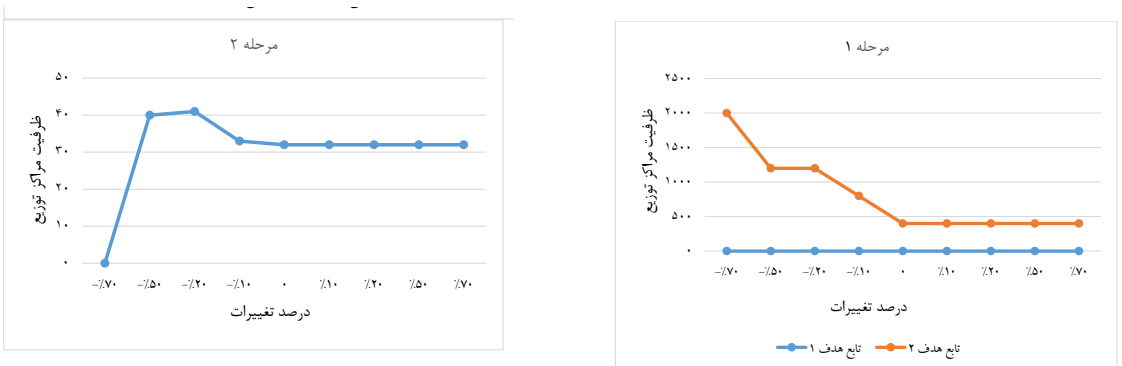
در این مقاله ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جدید برای مسئله ارائه شد که مدلی دومرحله‌ای بود. هدف مرحله اول احداث مراکز توزیع و انتخاب آن‌ها از منتخبین و مرحله دوم اطمینان صورت که مرحله اول (مکان‌یابی) با توابع هدف کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع و کمینه‌سازی فاصله مراکز توزیع تا نقاط فاجعه بود که به شکل روش مجموع وزنیِ تک هدفه برای حل مدل انجام شد و همچنین مرحله دوم که تابع هدف (مسیریابی) کمینه کردن مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه بود.

همان‌گونه که بیان شد مکان‌ها، کالاهای امدادی موجود و ظرفیت مراکز توزیع به‌طور مستقیم مسافت و زمان حمل‌ونقل را تعیین می‌کنند. مواد امدادی از مراکز توزیع مختلف به نقاط فاجعه ارسال می‌شود که بر روی مسیر حمل‌ونقل و مسافت و زمان انجام‌شده برای رسیدن به مناطق فاجعه نیز مؤثر است.

سپس به حل مسئله مورد نظر در نرم‌افزار GAMS پرداخته شد. در مسئله‌های طراحی شده، برای هر مسئله تعداد مراکز توزیع، نقاط فاجعه و وسایل نقلیه متناسب با مسئله تغییر کرده است که از مرجع [۱۸] دریافت شدند و زمان حل آن‌ها مورد توجه قرار گرفت. سپس با تغییرات پارامترهای مسئله ازجمله مقدار تقاضای نقاط فاجعه، ظرفیت مراکز توزیع، ظرفیت وسایل نقلیه، فاصله دو گره و مدت‌زمان جابجایی گره تا نقطه فاجعه مورد بررسی قرار گرفت.

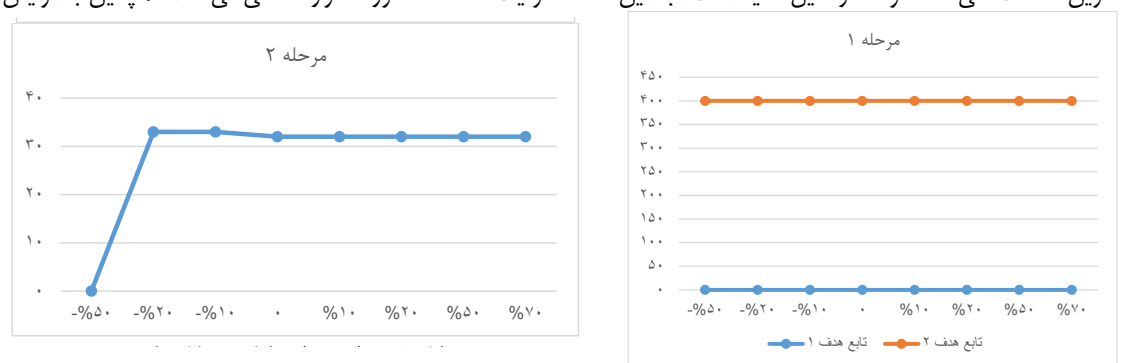
نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که زمان حل مسائل طی روش‌های حل دقیق این‌گونه مسائل در صورت بزرگ شدن ابعاد مسئله، بسیار طولانی شده و در ابعاد بزرگ‌تر مسئله نشدنی می‌شود، به صورتی که نرم‌افزار دیگر توان پاسخگویی ندارد. همچنین مشخص شد که مقادیر توابع هدف دو مرحله با افزایش اندازه مسئله به‌طورکلی افزایش می‌یابند.

با تغییرات مقدار ظرفیت‌ها در مسئله مشخص شد که میزان

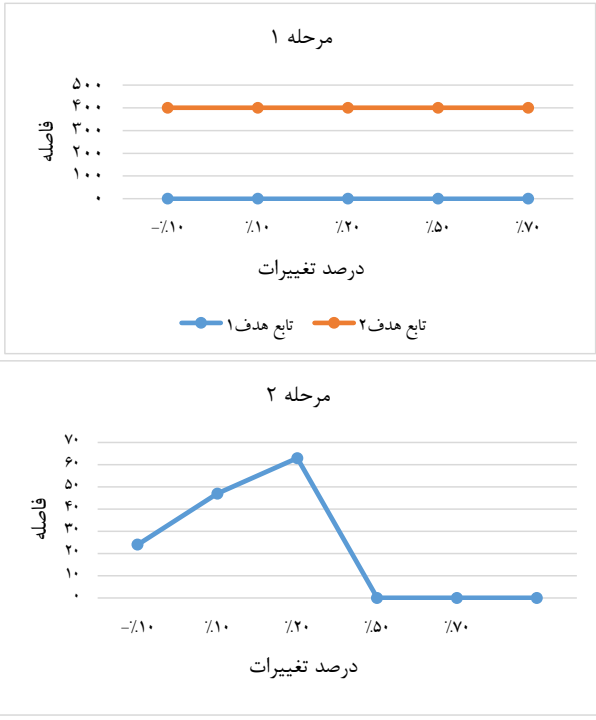


شکل ۴. نمودار تغییرات ظرفیت مراکز توزیع

از کوتاه‌ترین مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه است؛ به این ظرفیت‌ها، مسئله مورد نظر را نشدنی می‌کند. همچنین با افزایش



شکل ۵. نمودار تغییرات ظرفیت وسایل نقلیه



شکل ۶. نمودار تغییرات فاصله

تقاضا فاصله مراکز توزیع تا نقاط فاجعه و مسافت طی شده وسایل نقلیه افزایش می‌یابد که با افزایش زمان با توجه به محدودیت زمان ۷۲ ساعت مقدار توابع هدف افزایش می‌یابد و مسئله نشدنی می‌شود.

ظرفیت و شعاع پوشش در حل مسئله مورد نظر باعث نشدنی بودن مسئله می‌شوند، یعنی در صورت عدم پوشش مراکز تقاضا توسط ظرفیت و عدم رعایت محدودیت شعاع به‌وسیله‌ی تخصیص صورت گرفته، مسئله نشدنی می‌شود.

نتایج مسائل مختلف نشان داد که با افزایش تعداد نقاط فاجعه، بالطبع مقدار تقاضا افزایش می‌یابد. با توجه به محدودیت مراکز توزیع و تعداد محدود وسایل نقلیه مقدار توابع هدف سطح بالا و سطح پایین بیشتر می‌شود. درنتیجه اینکه عملیات امدادرسانی با بیشتر شدن تعداد نقاط فاجعه انجام شود، مقدار فاصله و مسافت بیشتر و در زمان طولانی‌تری عملیات امدادرسانی انجام می‌شود.

برای تحقیقات آینده، توابع هدف جدید می‌تواند با ادغام مسئله مکان‌یابی تسهیلات با سایر مسائل دیگر مانند مکان‌یابی موجودی و ... به‌صورت دومرحله‌ای توسعه یابد. همچنین می‌توان از روش‌های فرا ابتکاری برای به دست آوردن نتایج بهتری استفاده کرد.

در برخی موارد ممکن است دو فاجعه، نظیر زمین‌لرزه و سونامی هم‌زمان رخ دهد؛ بنابراین، مطالعه بیشتری لازم است که سناریوهای چندین فاجعه را مورد توجه قرار دهد. افزون بر این، مدیریت یکپارچه مرحله فاجعه نیز در فرایند تصمیم‌گیری در مسائل مربوط به مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات انسانی اضطراری اهمیت دارد.

پی‌نوشت

1. Location-allocation problem
2. Vehicle routing problem
3. Location Routing Problem
4. Sub tour elimination
5. Weighted Sum Method
6. Multi Objective Decision Making
7. Conflict
8. Mean of Ideal distance

منابع

1. Nikoo, N., Babaei, M., & Mohaymany, A.S. (2018). Emergency transportation network design problem: Identification and evaluation of disaster response routes. Internatinal journal of disaster risk reducation, 27, 7-20.
2. Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11 (2), 1-1-121.
3. Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498.
4. Lehtveer, M., & Hedenus, F. (2015). Nuclear power as a climate mitigation strategy–technology and proliferation risk. *Journal of Risk Research*, 18 (3), 273-290.
5. Lidskog, R., & Sjödin, D. (2016). Risk governance through professional expertise. Forestry consultants' handling of uncertainties after a storm disaster. *Journal of risk research*, 19 (10), 1275-1290.

6. Xu, J., Wang, Z., Shen, F., Ouyang, C., & Tu, Y. (2016). Natural disasters and social conflict: a systematic literature review. *International journal of disaster risk reduction*, 17, 38-48.

۷. ارکات، ج.، زمانی، ش.، قدس، پ.، (۱۳۹۴). مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات اورژانسی با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران، *دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، شماره ۸، ص ۹۵-۱۰۶.

۸. ستاک، م.، عزیزی، و.، کریمی، ح.، (۱۳۹۳). مسئله مکان‌یابی مسیریابی چند دپویی ظرفیت دار با برداشت و تحویل هم‌زمان و بارهای برش یافته: مدل‌سازی و حل ابتکاری، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۲ (۴)، ص ۶۷-۸۱.

۹. حسینی، س.م، خلجی علیایی، س. (۱۳۹۴). مدل‌سازی ریاضی مسئله مکان‌یابی-مسیریابی با در نظر گرفتن ظرفیت، تنوع و محدودیت تردد وسایل حمل‌ونقل و توسعه یک مدل حل مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۵ (۳)، ص ۹۱-۱۰۵.

10. Wu, T. H., Low, C., & Bai, J. W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. *Computers & Operations Research*, 29 (10), 1393-1415.

11. Xu, J., Wang, Z., Zhang, M., & Tu, Y. (2016). A new model for a 72-h post-earthquake emergency logistics location-routing problem under a random fuzzy environment. *Transportation Letters,* 8 (5), 270-285.

12. Min, H., Jayaraman, V., & Srivastava, R. (1998). Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 108 (1), 1-15.

13. Mete, H. O., & Zabinsky, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, 126 (1), 76-84.

14. Rath, S., & Gutjahr, W. J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief. *Computers & Operations Research*, 42, 25-39.

۱۵. ۱۵. Moshref-Javadi, M., & Lee, S. (2016). The latency location-routing problem. *European Journal of Operational Research*,255 (2) 604-619.

۱۶. توکلی، ش.، ربانی، م.، بزرگی امیری، ع.، (۱۳۹۵). ارائه یک الگوی بهینه‌سازی برای مسئله پاک‌سازی آوار در فاز پاسخ به بحران، دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۲، ص ۵-۱۶.

17. Nedjati, A., Izbirak, G., & Arkat, J. (2017). Bi-objective covering tour location routing problem with replenishment at intermediate depots: Formulation and meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*,110, 191-206.

18. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F., & Mansour, F. (2018). Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International journal of disaster risk reduction*, 27, 290-306.

19. Ghatreh Samani, M., Hosseini-Motlagh, S. M., Yaghoubi, S., & Jokar, A. (2017). A Hybrid Metaheuristic Method for Two-Echelon Location-Routing Problem with Pickup and Delivery. *Advances in Industrial Engineering*, 51 (1), 101-115.

20. Tavana, M., Abtahi, A. R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 64, 21-37.

۲۱. نیازی شش‌نرمی، م.، کریمی طاهر، ر.، ربانی، م.، (۱۳۹۷). چارچوبی برای بهینه‌سازی تدارکات امدادرسانی و تخلیه مجروحان مطالعه موردی: نقش نیروهای مسلح، دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱، ص ۵۷-۷۲.

22. Oksuz, M. K., & Satoglu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44,101-426.

23. Ellwein, L. B., & Gray, P. (1971). Solving fixed charge location-allocation problems with capacity and configuration constraints. *AIIE Transactions*, 3 (4), 290-298.

24. Zhou, J., & Liu, B. (2003). New stochastic models for capacitated location-allocation problem. *Computers & industrial engineering*, 45 (1), 111-125.

25. Soo, H. Y. (2004). Towards the Development of a Decision Support System for Emergency Vehicle Preemption and Transit Signal Priority Investment Planning (Doctoral dissertation, Virginia Tech).