نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

Journal of Decisions and Operational Research

دوره ۴، شماره (۳)، پاییز ۱۳۹۸

مکان‌یابی چندهدفه در لجستیک امدادرسانی با درنظر گرفتن زیرساخت‌های شهری

رضا حسن زاده [۱،*]، شیرین علیزاده [۲]

[۱] گروه مهندسی صنایع، دانشگاه روزبهان، ساری، ایران.

[۲] گروه مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی آیندگان، تنکابن، ایران.

چکیده

بحران حادثه‌ای است که به‌طور طبیعی یا به‌وسیله‌ی بشر، به‌طور ناگهانی یا به‌صورت فزاینده به‌وجود می‌آید و برای برطرف‌کردن آن نیاز به اقدامات اضطراری و اساسی می‌باشد. هنگامی که بحران اتفاق می‌افتد مکان انبارهای ازقبل تعیین شده، نقش مهمی در امدادرسانی خواهد داشت، بنابراین انتخاب محل‌های مناسب برای انبارها یکی از اهداف اصلی ما در این پژوهش می‌باشد. در این پژوهش، یک مدل دوهدفه‌ی برنامه‌ریزی خطی برای مرحله‌ی آماده‌سازی مدیریت بحران با استفاده از زیرساخت‌های شهری استفاده می‌شود تا باتوجه به محدودیت‌های موجود و اهداف حداقل‌کردن، حداکثر وزن مکان‌ها (مینیماکس وزن مکان‌ها) و حداقل‌کردن هزینه‌ها با درنظر گرفتن حداکثر فواصل مجاز با مکان‌های آسیب دیده و جاده‌های اصلی و بیمارستان‌های مجهز پس‌از وقوع حادثه، بتوان مسئله‌ی مکان‌یابی را حل کرد. بدین منظور از روش‌های دقیق همچون روش مجموع وزنی، روش برنامه‌ریزی آرمانی و LP متریک استفاده شده است که درنهایت بهترین مکان‌های بالقوه با کم‌ترین هزینه‌ها انتخاب می‌گردد که این نتایج به سازمان‌های بحران، کمک زیادی خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: لجستیک امداد، مکان‌یابی تخصیص، بهینه‌سازی چندهدفه.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

۱- مقدمه

در جامعه‌ی امروزی که به‌نظر می‌رسد حوادث در گوشه‌کنار کره‌ی خاکی رخ می‌دهند، اهمیت مدیریت بحران غیرقابل انکار است. هیچ کشوری و هیچ اجتماعی در مقابل مخاطرات حوادث ایمن نیستند. باوجود این می‌توان برای حوادث، آماده بود و به آن‌ها واکنش نشان داد و یا بعد از آن‌ها دوباره به شرایط اولیه بازگشت و نیز تخریب‌ها را به مقدار مشخصی محدود کرد. هرساله بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و خشکسالی هزاران نفر را کشته و میلیون‌ها دلار خسارت مالی وارد می‌کند. در بسیاری از کشورها، فاجعه‌ی سیل دارای بالاترین احتمال وقوع در میان تمام بلایای طبیعی است. بنابراین مهم است که تیم مدیریت بحران سیل، یک برنامه‌ی جامع و محتاط را در واکنش به فاجعه سیل داشته باشند (چانگ و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، داشتن طرح های جامع شرایط بحران و نیز ارزیابی و بهبود این برنامه‌ها به‌طور مستمر امری ضروری به‌حساب می‌آید و هم‌چنین، واکنش‌های مناسب و درست در هر مرحله در این چرخه، به آمادگی بهتر و بیش‌تر، هشدارهای بهتر، کاهش آسیب‌پذیری و یا جلوگیری از حوادث در زمان تکرار چرخه می‌انجامد. یکی از مسائل مهمی که در سال‌های اخیر در تمامی کشورها و ازجمله ایران بدان پرداخته شده است مسئله‌ی مدیریت بحران است؛ مدیریت بحران را می‌توان قانون و قاعده‌ای برای

* **عهده‌دار مکاتبات:** rhz_1974@yahoo.com

شناسه دیجیتال: 10.22105/ dmor.2019.192478.1125

جلوگیری‌کردن یا مواجه‌شدن با ریسک‌های احتمالی وقوع هر بحران طبیعی و غیرطبیعی تعریف کرد. درواقع مدیریت بحران، مجموعه‌ای از فرآیندها را قبل، حین و پس از وقوع هر بحران پیش‌بینی و برنامه ریزی می‌کند تا بتواند تا حد ممکن از تلفات مالی و انسانی هر بحران جلوگیری کند یا آن‌ها را کاهش دهد. مدیریت بحران شامل ۴ فاز می‌باشد که عبارتند از: پیشگیری و کاهش، آمادگی،پاسخ و بهبود.(آلتی و گرین لی، ۲۰۰۶).

محاسبات انجام‌شده در فاز پیشگیری با هدف جلوگیری از تبدیل‌شدن یک خطر به فاجعه یا بحران یا کاهش آثار مهلک آن انجام می شود. این فاز از مدیریت بحران با سه فاز دیگر در نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت و سرمایه‌گذاری بالا متفاوت است. به‌خاطر ماهیت ارزیابی‌های پیشگیرانه این مرحله یکی از مهم‌ترین فازهای چرخه‌ی مدیریت در مقابل تاثیرات بحران است. در فاز آمادگی برای پاسخ‌گویی مناسب در هنگام وقوع بحران، برنامه‌ها و راهکارهایی پیش‌بینی و طراحی می‌شود که از آن‌جمله می‌توان به مواردی همچون تعیین محل استقرار مراکز توزیع، میزان نگهداری و ذخیره‌ی کالاهای امدادی و نحوه‌ی برقراری ارتباط پس‌از وقوع بحران اشاره کرد. در فاز پاسخ نیاز است که بلافاصله بعد از وقوع بحران، نیروهای امدادی، کالاهای امدادی و تجهیزات موردنیاز برای امدادرسانی حادثه‌دیدگان به مناطق حادثه‌دیده اعزام و تقسیم شوند. هنگامی که بحران اتفاق می‌افتد مکان انبارهای ازقبل تعیین‌شده نقش مهمی در امدادرسانی خواهند داشت، بنابراین انتخاب محل‌های مناسب برای انبارها یکی از اهداف اصلی ما در این پژوهش می‌باشد. یکی دیگر از فازهای مهم مدیریت بحران، فاز پاسخ‌گویی بوده و از جمله اقدامات مهم در این فاز، توزیع امداد و تخلیه‌ی قربانیان و مجروحین می‌باشد. در طی بحران‌ها، سازمان‌های کمک‌رسانی مختلف معمولاً با مشکلات قابل‌ملاحظه‌ای در حمل‌ونقل مقادیر زیاد از وسایل و کالاهای امدادی مختلف از جمله غذا، لباس، دارو و تدارکات پزشکی، ماشین‌ها و پرسنل از نقاط مختلف مبدا تا مقصدهای مختلف در مناطق حادثه مواجه می‌شوند. حمل‌ونقل تدارکات و پرسنل امدادی باید به‌سرعت و با کارامدی انجام شود تا میزان نجات جمعیت آسیب‌دیده به حداکثر و هزینه‌ی چنین عملیاتی به حداقل ممکن برسد (آلتی و گرین لی، ۲۰۰۶).

به‌طور کلی تحقیق پیش رو امکان پاسخ به سوالات زیر را خواهد داشت:

- *مکان و تعداد بهینه برای احداث انبارهای انتقال موقت برای پاسخ‌گویی هرچه بهتر کجاست و چه تعداد باید باشد.*
- *ملاحظات هزینه‌ای مانند هزینه‌ی احداث انبارهای انتقال موقت، هزینه‌های خرید، موجودی، کمبود و حمل‌ونقل بین نقاط شبکه چگونه است.*
- *تخصیص مناطق حادثه‌دیده به انبارهای انتقال موقت، با درنظر گرفتن نزدیکی و هزینه ی حمل‌ونقل بین این نقاط و انبارهای انتقال به چه صورت باید باشد.*

به‌طور کلی، هدف از این پژوهش، ارائه‌ی مدلی جدید برای مکان‌یابی مراکز امداد سیار، مدیریت موجودی و ملاحظات هزینه‌ای به‌منظور برنامه‌ریزی و پاسخ‌گویی هرچه بیش‌تر و بهتر در برابر حوادث می‌باشد. در این مدل، به بررسی و تعیین بهترین مکان‌ها با اهداف حداکثرسازی حداقل وزن مکان ها و حداقل‌سازی هزینه‌ها با درنظر گرفتن محدودیت ظرفیت انبار و منابع و محدودیت‌های دیگر پرداخته می‌شود. این مدل توسعه‌یافته‌ی مدل کیلیکی و همکاران (۲۰۱۵) است. در مدل مدل کیلیکی و همکاران (۲۰۱۵) فقط تابع هدف حداکثرسازی حداقل وزن مکان‌ها درنظر گرفته شده اما در مدل پیشنهادی به بررسی و تعیین بهترین مکان‌ها با اهداف حداکثرسازی حداقل وزن مکان‌ها و حداقل‌سازی هزینه‌ها پرداخته شده است.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

در این بخش به بررسی پیشینه‌ی تحقیق در حوزه‌ی لجستیک بلایا در شاخه‌های مختلفی نظیر مکان‌یابی مراکز درمانی و اسکان، جریان در شبکه، حمل‌ونقل، مسیریابی و موجودی و نیز تحقیقات انجام‌شده مربوط به لجستیک امداد پرداخته می‌شود. یکی از فازهای مهم مدیریت بحران، فاز پاسخ‌گویی بوده و ازجمله اقدامات مهم در این فاز، توزیع امداد و تخلیه‌ی قربانیان و مجروحین می‌باشد. هم‌چنین مکان‌های بهینه برای احداث انبارهای انتقال موقت که معمولاً به شکل چادرهای امدادی است، باید تعیین شده تا افراد حادثه‌دیده که بر اثر وقوع حادثه، مکان زندگی خود را ازدست داده‌اند، به این مناطق منتقل شوند.

بنابراین یکی از راهکارهای موثر برای کاهش هزینه‌های مالی و صدمات جانی ناشی از بحران‌ها این است که مکان‌های مناسب برای احداث انبارهای انتقال موقت در زمان وقوع بحران تعیین شود و هم‌چنین برنامه‌ریزی‌های مناسب برای تخصیص بخش‌های مختلف

شبکه‌ی امداد به این مراکز درنظر گرفته شود. بنابراین مکان‌یابی مناسب انبارهای انتقال موقت و تخصیص بهینه‌ی آن‌ها می‌تواند خسارت‌های جانی و مالی را کاهش داده و هرگونه اقدام نادرست در این شرایط باعث افزایش چشمگیر این خسارات می‌شود. مکان‌یابی تسهیلات، معمولا قبل از وقوع بحران و در فاز آمادگی برای تعیین مکان صورت می‌گیرد. اما در مواردی نیز مکان‌یابی در فاز پاسخ‌گویی کاربرد دارد.

در مساله‌ی مکان‌یابی، شاخه‌هایی نظیر مکان‌یابی مراکز امداد، درمان، اسکان و توزیع وجود دارد. برخی از تحقیقاتی که در زمینه‌ی مکان‌یابی تسهیلات تمرکز داشته‌اند در زیر بررسی می‌شوند:

بزرگی-امیری و همکاران (۲۰۱۳)، یک مدل احتمالی استوار چندهدفه را برای لجستیک امداد بحران در شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند. در این مقاله، پارامترهای تقاضا، عرضه، هزینه‌ی خرید و حمل‌ونقل به‌صورت احتمالی درنظر گرفته شد. مدل، عدالت در توزیع را درنظر گرفته و اهداف، شامل حداقل‌نمودن هزینه‌ی کل و حداکثرنمودن رضایت‌مندی به‌صورت حداقل‌کردن، حداکثر تقاضای پاسخ داده‌نشده می‌باشد. مدل با استفاده از روش برنامه‌ریزی توافقی حل شده و برای مجموعه‌ای از سناریوها در نواحی از ایران به‌کار گرفته شد. چانگ و همکاران (۲۰۰۷) به‌منظور تعیین یک سیستم توزیع منابع امداد و نجات در شرایط وقوع سیل، یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی دومرحله‌ای را ارائه دادند که در آن مکان و مقدار تقاضا با عدم قطعیت همراه است. در مرحله‌ی اول، آن ها مناطق حادثه را گروه‌بندی کردند با این هدف که فاصله‌ی حمل‌ونقل موردانتظار بین آن‌ها کمینه شود. مرحله ی دوم شامل یک مدل مکان یابی-تخصیص است که هدف آن کمینه‌سازی هزینه‌ها ازجمله هزینه‌ی احداث تسهیلات، هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌ی کمبود تقاضا است. آن‌ها هم چنین برای بررسی یک مطالعه‌ی موردی از وقوع سیل در شهر تایپه، از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تقریب نمونه‌گیری استفاده کردند. جبارزاده و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل طراحی شبکه‌ی استوار برای زنجیره‌ی تامین خون را ارائه دادند. که مدل توسعه داده‌شده‌ی آن‌ها می تواند برای مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات در دوره‌های پس از فاجعه، به‌کار گرفته شود. مدل استوار شامل هدف کمینه‌سازی کل هزینه‌های عملیات برای تامین خون، ازجمله هزینه‌ی مکان‌یابی و احداث تاسیسات ثابت، جابجایی تاسیسات موقتی، هزینه‌ی تدارکات و حمل‌ونقل می‌باشد. درنهایت، یک تجزیه‌وتحلیل برای بررسی استواری مدل و استواری جواب و هم‌چنین یک مقایسه بین روش بهینه‌سازی استوار و رویکرد ارزش مورد انتظار صورت گرفته است. افشار و حقانی (۲۰۱۲)، مدلی ریاضی برای لجستیک زنجیره‌ی تامین یکپارچه برای عملیات امداد در شرایط بحران ارائه نمودند. مدل به‌صورت چند کالایی بوده و نه تنها مسیرهای بهینه برای توزیع امداد را درنظر می‌گیرد بلکه مکان‌های بهینه برای تسهیلات موقت در لایه‌های مختلف زنجیره‌ی امداد را نیز تعیین می‌کند. مجموعه‌ای از آزمایشات عددی برای تست مدل طراحی شد و با تحلیل آن‌ها قابلیت مدل ارزیابی گردید.

کمپل و جونز (۲۰۱۱)، در این زمینه که تامین‌کننده‌ها در زمان آماده‌سازی برای بلایایی مانند طوفان و حمله تروریست‌ها در کجا مستقر شوند مطالعاتی انجام دادند. آن‌ها محاسباتی را برای تعیین میزان بهینه‌ی انبارش و کل هزینه‌ی مورد انتظار تحویل به نقاط تقاضا از نقاط عرضه انجام دادند و از یک آنالیز حساسیت برای نشان دادن این‌که چگونه پارامترهای مختلف بر میزان انبارش و هزینه تأثیر می‌گذارند، استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که چگونه مدل هزینه‌ای آن ها می تواند برای انتخاب بهترین مکان برای نقطه‌ی عرضه از میان مجموعه‌ای از گزینه‌ها به‌کار برده شود و چگونه می تواند در الگوریتم مکان‌یابی موجود برای انتخاب نقاط مختلف عرضه استفاده شود. آزمایشات محاسباتی آن‌ها شامل مجموعه‌ای از روابط بین فاصله و ریسک بوده و نشان داد که این عوامل چگونه بر انتخاب مکان و سطوح انبارش تأثیر می‌گذارد. آلکادا-آلمیدا و همکاران (۲۰۰۹)، در فاز آمادگی و پاسخ‌گویی، رویکردی چندهدفه را برای مکان‌یابی پناهگاه‌های اورژانسی و تعیین مسیرهای تخلیه در مناطق شهری ارائه کردند. از آن‌جایی که یک مسیر یا یک پناهگاه ممکن است بر اثر آتش‌سوزی غیرقابل استفاده شود، یک مسیر و یک پناهگاه پشتیبان برای هر ساختمان درنظر گرفته شد. در این مدل، اهداف شامل حداقل‌کردن فاصله‌ی رسیدن به پناهگاه‌ها، حداقل‌کردن ریسک مواجهه با آتش‌سوزی در مسیر، حداقل‌کردن ریسک مواجهه با آتش‌سوزی در پناهگاه‌ها و حداقل‌کردن زمان انتقال از پناهگاه‌ها به بیمارستان می باشند. جیا و همکاران (۲۰۰۷)، یک مدل و رویکرد حل برای تعیین مکان تسهیلات تدارکات درمانی در پاسخ‌گویی‌های اضطراری در مقیاس بزرگ ارائه نمودند. آن‌ها عدم قطعیت تقاضا و ناکافی بودن موجودی پزشکی را با مهیاکردن این‌که هر نقطه‌ی تقاضا توسط چند تسهیل که در فواصل متفاوت مکان‌یابی شده‌اند، مورد توجه قرار دادند. مساله به‌عنوان یک مساله‌ی پوشش کامل فرموله شد و سه‌روش ابتکاری الگوریتم ژنتیک، مکان‌یابی-تخصیص و آزادسازی لاگرانژ برای حل استفاده شد. گریدو و همکاران (۲۰۱۵) با هدف به‌حداقل رساندن اثرات نامطلوب حوادث، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای تدارکات در زمان وقوع حادثه‌ی سیل را ارائه دادند. در مدل آن‌ها، به‌منظور تامین منابع به اندازه‌ی کافی برای برآورده‌سازی تقاضاها با احتمال معین، به بهینه‌سازی سطوح موجودی برای تامین اضطراری کالاها و هم‌چنین دردسترس بودن

وسایل‌نقلیه توجه شده است. مدل شامل هدف کمینه‌سازی سه بخش است: هزینه‌ی حمل‌ونقل محصولات به نقاط آسیب‌دیده، هزینه‌ی جابجایی وسایل‌نقلیه بین انبارها و هزینه‌ی نگهداری موجودی. در نهایت، مدل را با استفاده از روش تقریب میانگین نمونه حل کردند. نجفی و همکاران (۲۰۱۳) با تمرکز بر روی مدل بهینه‌سازی استوار، یک مدل چندهدفه، چندوسیله‌ای، چندکالایی و چنددوره‌ای را برای مدیریت هر دو جریان کالاها و افراد مجروح در پاسخ به موقعیت‌های مختلف حادثه‌ی زلزله، ارائه دادند. مدل، شامل سه هدف سلسله‌مراتبی تحت عنوان (۱) کمینه‌سازی تعداد افراد مجروح سرویس داده نشده، (۲) کمینه‌سازی تقاضای برآورده نشده در طول افق برنامه‌ریزی و (۳) کمینه‌سازی تعداد وسایل نقلیه استفاده شده در طول دوره‌ی پاسخ‌دهی، می‌باشد.

دسوکی و همکاران (۲۰۱۳)، صرفا به مکان‌یابی تسهیلات پرداخته‌اند و مدل‌های حداکثر پوشش را با ملزومات کیفیت و کمیت پوشش (براساس تعداد تسهیلات تخصیص داده‌شده به یک نقطه‌ی تقاضا) به‌کار برده‌اند. علاوه‌بر این، دسوکی همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور توزیع امداد، یک مدل مسیریابی تصادفی به‌کار برده‌اند و حداقل‌کردن کل تقاضای پاسخ داده‌نشده را به‌همراه حداقل‌کردن زمان احتمالی شروع سرویس‌دهی وسایل نقلیه در مدل خود درنظر گرفته‌اند. در تحقیقی در سال ۲۰۱۸، الگوریتم PSO مبتنی‌بر آنتروپی در زمینه‌ی تخصیص منابع و امکانات ارائه شد (هوآوی و همکاران، ۲۰۱۸). از یک الگوریتم زمانبندی چندهدفه بر پایه‌ی الگوریتم فاخته به‌منظور تخصیص وظایف در سیستم‌های ناهمگن استفاده شد (اکبری و رشیدی، ۲۰۱۶). در سال ۲۰۱۶ پژوهشی با هدف تخصیص وظایف بهینه مبتنی‌بر الگوریتم ازدحام ذرات برای زمانبندی در فعالیت‌های مشارکتی انجام گرفت (اوه و همکاران، ۲۰۱۶).

۳- مدل‌سازی ریاضی مساله

در مقاله‌ی منتخب که مورد استفاده قرار گرفته، روشی مبتنی‌بر برنامه‌ریزی خطی تلفیقی یکپارچه برای انتخاب مکان‌های پناهگاه‌های موقت پیشنهاد شده است. در این مدل ریاضی به‌دنبال حداکثر وزن ناحیه‌ی سرپناه باز می‌باشیم، درحالی که برای تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های سرپناه، امتیازات اختصاص داده‌شده به هر منطقه‌ی سرپناه باز و کنترل استفاده از مناطق سرپناه باز ارائه شده است (کیلکی و همکاران، ۲۰۱۵). اما مدل ارائه‌شده در این مقاله یا شبکه درنظر گرفته‌شده در این تحقیق شامل سه سطح بالفعل (مناطق حادثه‌دیده، بیمارستان‌ها و مجموعه هلال‌احمر) و یک سطح بالقوه (مراکز درمانی و مراکز اسکان موقت) می‌باشد. تعیین مکان، تعداد و ظرفیت تسهیلات امدادی و تخصیص بخش‌های مختلف باید به‌گونه‌ای انجام شود که باتوجه به محدودیت‌های موجود، اهداف درنظر گرفته‌شده در مسئله به بهترین شکل برآورده شود. مدل ارائه‌شده در این مقاله، دوهدفه، چندکالایی، تک‌دوره ای و تک‌وسیله‌ای است.

۳-۱- مفروضات مساله

در ادامه، مفرضات مدل به تفکیک آورده شده است:

- *تعداد و مکان مجموعه‌ی هلال‌احمر و مناطق حادثه‌دیده ثابت و مشخص می‌باشد.*
- *مکان های بالقوه برای احداث مراکز اسکان موقت و مراکز درمانی موقت مشخص می‌باشد.*
- *فاصله‌ی بین مناطق حادثه‌دیده، مجموعه‌ی هلال‌احمر، بیمارستان‌ها، مراکز اسکان موقت و مراکز درمانی موقت مشخص است.*
- *مدل به‌صورت چندکالایی درنظر گرفته شده است.*
- *ظرفیت مجموعه‌ی هلال‌احمر و مراکز اسکان موقت محدود می باشد. محدودبودن، ظرفیت مدل را پیچیده‌تر کرده و نیز آن را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می سازد.*
- *مدل به‌صورت دوهدفه بوده و اهداف هزینه‌ای و مکان‌یابی را به‌طور همزمان درنظر می‌گیرد.*

روش مدل‌سازی در این تحقیق، برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی می‌باشد به‌طوری که تعدادی از متغیرها به‌صورت صفرویک بوده و سایر متغیرها نیز عدد صحیح می باشند.

در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. در این حالت یک منطقه‌ی پناهگاه نامزد "باز" گفته می شود اگر ایجاد شده باشد و جمعیت به آن اختصاص داده شود. ازسوی دیگر، یک منطقه‌ی پناهگاه نامزد "بسته" گفته می شود اگر امکانات به پناه‌دادن به این مکان نامزد داده نشده باشد. هدف این مدل ریاضی انتخاب بهترین ترکیب ممکن از مناطق پناهگاه (یعنی بیشینه‌کردن حداقل وزن مناطق پناهگاه احداث‌شده) است، درحالی که هر منطقه را به نزدیک‌ترین منطقه پناهگاه احداث‌شده اختصاص

دهد، ظرفیت مناطق پناهگاه برآورده شده باشد و مطمئن‌شدن از این‌که هر منطقه‌ی پناهگاه احداث‌شده دارای یک جاده اتصال اصلی و یک موسسه‌ی سلامت در فاصله‌ی آستانه‌ی خاص باشد. هم‌چنین هدف دوم مساله، کمینه‌سازی هزینه‌ها شامل هزینه‌ی ثابت تاسیس، هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی نگهداری و هزینه‌ی تقاضای پاسخ داده نشده است.

اندیس‌ها.

I: مجموعه مکان‌های نامزد.

J: مجموعه‌ای از مناطق پناهگاه.

R: مجموعه‌ی هلال‌احمر و تامین‌کنندگان محصولات مورداحتیاج.

P: مجموعه محصولات مورداحتیاج.

پارامترها.

Wi	وزن مکان‌های نامزد i که اعدادی بین صفرویک می‌باشد.
dihealth	فاصله‌ی بین مکان نامزد i و نزدیک‌ترین مرکز بهداشت.
diroad	فاصله‌ی بین مکان نامزد i و نزدیک‌ترین جاده‌ی اصلی.
Demand j	تقاضای کل منطقه j ازنظر مترمربع.
cap i	ظرفیت مکان نامزد i.
distSorted ij	i امین مکان نامزد نزدیک به نقطه‌ی تقاضای j.
DistHealth	مقدار آستانه برای منطقه‌ی پناهگاه–فاصله‌ی مرکز سلامت.
DistRoad	مقدار آستانه برای منطقه‌ی پناهگاه–فاصله‌ی جاده‌ی اصلی.
α	مقدار آستانه برای تفاوت استفاده دوبه‌دو از مناطق پناهگاه نامزد.
β	مقدار آستانه برای کم‌ترین استفاده از پناهگاه‌های احداث‌شده.
fi	هزینه‌ی ثابت برپایی و تاسیس مکان صحرایی i.
TCri	هزینه‌ی حمل‌ونقل محصولات از تامین‌کننده‌ی r به مکان i.
Dempi	تقاضای مکان i برای محصول p.
Suprp	میزان عرضه‌ی محصول p توسط تامین‌کننده‌ی r.
SHCip	میزان هزینه‌ی کمبود برای تقاضای پاسخ داده‌نشده‌ی محصول p در مکان i.
HCip	میزان هزینه‌ی نگهداری برای محصول p در مکان i.

متغیر تصمیم.

x_i	برابربا ۱ اگر مکان نامزد i به‌عنوان منطقه‌ی پناهگاه انتخاب شود، در غیر این صورت برابر با صفر می‌باشد.
y_{ij}	برابر با ۱ اگر منطقه‌ی پناهگاه j به مکان نامزد i اختصاص یابد، در غیر این صورت برابر با صفر می‌باشد.
W_{min}	حداقل وزن مناطق پناهگاه نامزد عملیاتی.
Q_{pri}	میزان محصول نوع p ارسالی از تامین‌کننده‌ی r به مکان i.
$Shortage_{ip}$	میزان تقاضای پاسخ داده‌نشده‌ی محصول p برای مکان i.
Inv_{ip}	میانگین موجودی محصول p برای مکان i.

مدل ریاضی پیشنهادی.

$$\max F_1 = W_{\min} \qquad (۱)$$

$$min\ F_2 = \sum_{i\in I} f_i \times x_i + \sum_{i\in I}\sum_{r\in R}\sum_{p\in P} TC_{ri} \times Q_{pri} + \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} shortage_{ip} \times SHC_{ip} + \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} Inv_{ip} \times HC_{ip}. \qquad (۲)$$

Subject to:

$$\sum_{i\in I} Q_{pri} \le \sup_{rp} \forall r \in R, p \in P, \qquad (۳)$$

$$\sum_{r\in R} Q_{pri} + Inv_{ip} = Dem_{pi} + shortage_{ip} \qquad \forall i \in I, p \in P. \qquad (۴)$$

$$W_{\min} \le x_i w_i + (1 - x_i) \qquad \forall i \in I, \qquad (۵)$$

$$\sum_{j\in J} y_{ij} \times Demand_j \le cap_i \times x_i \qquad \forall i \in I, \qquad (۶)$$

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۴ ، شماره (۳)، پاییز ۱۳۹۸، صفحه: ۲۴۵-۲۳۲

$$\sum_{i\in I} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in J, \tag{۷}$$

$$d_i^{health} \times x_i \le DistHealth \quad \forall i \in I, \tag{۸}$$

$$d_i^{road} \times x_i \le DistRoad \quad \forall i \in I, \tag{۹}$$

$$\frac{\sum_{j\in J} y_{ij} \times Demand_j}{cap_i} \ge \beta x_i \quad \forall i \in I, \tag{۱۰}$$

$$\frac{\sum_{j\in J} y_{ij} \times Demand_j}{cap_i} - \frac{\sum_{j\in J} y_{kj} \times Demand_j}{cap_k} \le \alpha + (1-x_i) + (1-x_k) \quad \forall i \in I, k \in I, \ i \ne k, \tag{۱۱}$$

$$y_{dist\,Sorted(1,j)\,j} = x_{dist\,Sorted(1,j)} \quad \forall j \in J, \tag{۱۲}$$

$$y_{dist\,Sorted(i,j)\,j} \ge x_{dist\,Sorted(i,j)} - \sum_{k=1}^{i-1} x_{dist\,Sorted(k,j)} \quad \forall j \in J, i = 2,\ldots,I, \tag{۱۳}$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \tag{۱۴}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, \tag{۱۵}$$

$$Q_{pri} \ge 0, shortage_{ip} \ge 0, Inv_{ip} \ge 0 \quad \forall p \in P, i \in I, r \in R. \tag{۱۶}$$

تابع هدف (۱) به بیشینه‌کردن حداقل وزن مناطق پناهگاه احداث‌شده می‌پردازد. تابع هدف (۲) به کمینه‌سازی هزینه‌ی کل شامل هزینه یاحداث، هزینه‌ی حمل‌ونقل، هزینه‌ی نگهداری و هزینه‌ی کمبود می‌پردازد. محدودیت (۳) اطمینان می‌دهد که میزان محصولات ارسالی از تامین‌کننده به مکان احداث‌شده منتخب کوچک‌تر مساوی از عرضه‌ی آن تامین‌کننده باشد. محدودیت (۴) نشان می‌دهد که میزان محصولات ارسالی از تامین‌کننده به مکان احداث‌شده‌ی منتخب برابربا موجودی و کمبود آن منطقه است. محدودیت (۵) نشان می‌دهد که حداکثر مقداری که می‌تواند باشد برابربا حداقل وزن مناطق پناهگاه احداث‌شده است. محدودیت (۷) نشان می‌دهد که هر مکان احتیاج دارد که به یک منطقه‌ی پناهگاه تخصیص یابد. محدودیت‌های (۸) و (۹) بیانگر اعمال آستانه‌ی فاصله از جاده‌های اصلی و مراکز بهداشت است. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) به کنترل استفاده از مناطق پناهگاه عملیاتی می‌پردازند. محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) اطمینان می‌دهند که هر منطقه به نزدیک‌ترین منطقه‌ی پناهگاه احداث‌شده اختصاص داده شود. هم‌چنین معادلات (۱۴) تا (۱۶) بیانگر علامت و نوع متغیرها اعم از صفرویک بودن و نامنفی بودن آن‌هاست.

۲-۳- توضیحات تکمیلی درباره‌ی مدل

این مساله از تعدادی نقاط تامین اقلام امدادی، مجموعه‌ای از نقاط بالقوه برای مکان‌یابی تسهیلات موقت یا دایم به‌عنوان نقاط ارسال و درنهایت نقاط تقاضا (مکان های آسیب‌دیده) تشکیل شده است. هدف اصلی در این زنجیره، رسیدن به یک برنامه‌ی کارا و موثر در فاز پاسخ‌گویی بحران، برای ارسال کالاهای امدادی ضروری به‌صورت کافی و بدون کمبود از انبارها یا تأمین‌کنندگان ازقبل مشخص‌شده به مناطق آسیب‌دیده می‌باشد (محدودیت ۳ و۴). برنامه‌ریزی کارای فعالیت‌های لجستیکی به‌منظور کاهش هرچه بیش‌تر تلفات و مرگ‌ومیر افراد بر اثر حوادث می‌باشد. هم‌چنین، در این جریان، منابع موجود، کالاها و وسایل نقلیه معمولا ناکافی است. با داشتن یک برنامه‌ی کارا و اثربخش می‌توان به بیش‌ترین مقدار ممکن به این اهداف رسید.

ازجمله اقدامات مهم در فاز پاسخگویی، توزیع امداد و تخلیه‌ی قربانیان و مجروحین می‌باشد. مجروحین باید از مناطق حادثه‌دیده به مراکز درمانی که به‌صورت موقت در منطقه‌ی احداث‌شده تخصیص یابند (محدودیت ۶). بنابراین، مکان بهینه جهت احداث این مراکز درمانی موقت باید تعیین شود. از بین مکان‌های احداث‌شده مکان‌هایی که وزن و تقاضا و ظرفیت بیش‌تری داشته باشند برای استفاده در اولویت قرار داده و سعی در این است که کم‌ترین مکان ها استفاده شود (محدودیت ۱۰ و ۱۱). هم‌چنین مکان‌های بهینه جهت احداث مراکز اسکان موقت که معمولا به شکل چادرهای امدادی است، باید تعیین شده (محدودیت ۷) تا افراد حادثه‌دیده که براثر وقوع حادثه، مکان زندگی خود را ازدست داده‌اند، به این مناطق منتقل شوند و درواقع کم‌ترین مکان‌هایی را احداث کنند که وزن بالایی را داشته باشند (محدودیت ۵) و در نزدیک‌ترین مکان‌های کاندید، احداث شود (محدودیت ۱۲ و۱۳). مجروحینی که نیازمند خدمات پزشکی بیش‌تری هستند، به‌علت کمبود امکانات در این مراکز درمانی موقت، باید به بیمارستان‌ها و مراکز بهداشت منتقل شود، درواقع فاصله‌ی پناهگاه احداث‌شده تا مراکز بهداشت و جاده‌ی اصلی باید از حد تعیین‌شده کم‌تر باشد (محدودیت ۸ و ۹). افراد در مراکز اسکان موقت نیازمند کالاهای ضروری مانند آب، غذا، دارو و ... بوده که این نیازها باید ازطریق انتقال کالاهای امدادی از مراکز توزیع به این مناطق تأمین شود. مدل پیشنهادی مقاله شامل سه‌سطح بالفعل (مناطق حادثه‌دیده، بیمارستان‌ها و مجموعه‌ی هلال‌احمر) و یک

سطح بالقوه (مراکز درمانی و مراکز اسکان موقت) می‌باشد. تعیین مکان، تعداد و ظرفیت تسهیلات امدادی و تخصیص بخش‌های مختلف باید به شکلی انجام شود که باتوجه به محدودیت‌های موجود، اهداف درنظر گرفته‌شده در مساله به بهترین شکل برآورده شود.

در این مقاله، دو هدف کمینه‌کردن کل هزینه‌ها و بیشینه‌کردن حداقل وزن مناطق احداث‌شده را درنظر گرفته‌ایم. در این مدل، مساله‌ی مکان‌یابی و تخصیص به‌طور همزمان در نظر گرفته شده است و شبکه‌ای جامع شامل مناطق آسیب دیده، تامین‌کننده و بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و اسکان موقت با درنظر گرفتن چند نوع کالا مد نظر بوده است. علاوه براین، ارائه‌ی سه روش کارآمد برای حل مساله‌ی دوهدفه و مقایسه‌ی این سه روش از جمله نوآوری‌های این پژوهش بوده است.

امروزه با پیچیده‌شدن سیستم‌ها و فراهم‌شدن قابلیت انتخاب استراتژی‌های مختلف توسط مدیران، مسائل بهینه‌سازی چندهدفه از اهمیت بالایی برخوردار هستند. شاید دلیل این نامگذاری این باشد که هر جز از یک سیستم به‌دنبال دستیابی به هدفی است که لزوماً هم‌راستا با اهداف دیگر اجزا نیست، یعنی اهداف در تعارض با یکدیگر باشند. به‌عنوان نمونه، هدفی را که بخش تعمیرات و نگهداری یک واحد تولیدی دنبال می‌کند درجهت هدف بخش تولید نیست. تحت چنین شرایطی مدیران باید راه‌حلی را اتخاذ کنند که به بهترین نتیجه منجر شود.

۴- تعریف مسائل بهینه سازی چندهدفه

یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندهدفه در حالت کلی به‌صورت زیر بیان می‌گردد.

$$\begin{aligned} &Min \ \ (f_1(x), f_2(x),..., f_P(x)) \\ &\text{S.t.} \\ &x \in X. \end{aligned}$$

رابطه‌ی فوق یک مدل ریاضی با P هدف را نشان می‌دهد. هر حل‌شدنی یا موجه یعنی پاسخی که تمامی محدودیت‌ها را ارضاء نماید، دارای P مقدار است که این مقادیر در مقایسه با ارزش‌حل‌های دیگر می‌تواند حالت‌های مختلفی را شامل شوند. یک جواب X برداری از n متغیر تصمیم $x=(x_1,x_2,...,x_n)^T$ در فضای شدنی X است. در ادامه، توضیح مختصری در مورد روش‌های مجموع وزنی، روش Lp-Metric و روش برنامه ریزی آرمانی موزون داده می‌شود.

٤-١- روش مجموع وزنی

در این روش مجموعه اهداف از طریق مجموع وزنی هر هدف به یک هدف واحد تبدیل می‌شوند. مزیت این روش آن است که تصمیم‌گیرنده از انعطاف‌پذیری لازم جهت اختصاص اوزان متفاوت به اهداف مختلف براساس نیازها برخوردار است. لیکن در این روش تعیین اوزان توسط کاربر کاملاً ذهنی بوده و صرفاً توافقس درخصوص شیوه حل است که تضمینی برای غیر مغلوب‌بودن جواب‌ها ارائه نمی‌کند.

$$\begin{aligned} &Min\ f(x) = w_1.f_1(x) + w_2.f_2(x) + ... + w_P.f_P(x) \\ &S.t. \\ &x \in X. \end{aligned}$$

گفتنی است که روش‌های وزنی دیگری هم وجود دارد که روش فوق عمومی‌ترین روش است. این روش‌ها عبارتند از: روش کمینه‌کردن حداکثر وزنی، روش جمع‌نمایی و روش ضرب موزون.

٤-٢- روش Lp-Metric

این روش به دنبال کمینه‌کردن انحراف توابع هدف نسبت به یک راه‌حل ایده‌آل می‌باشد. به بیان دیگر بهترین جواب ممکن جوابی است که کم‌ترین فاصله را از نقطه ایده‌آل دارد.

نقطه‌ی ایده‌آل جوابی است که به‌طور همزمان مقدار بهینه‌ی همه‌ی اهداف را به‌دست آورد. این نقطه به‌صورت رابطه‌ی (۱۷) نمایش داده می شود.

$$F(X^*) = \{ f_1(X^*),..., f_k(X^*)\}. \qquad (۱۷)$$

که $F(X^*)$ مشخص‌کننده‌ی بهینه‌ی همه اهداف است، به‌طوری که X^* میتواند هر $f_i(X)$ را بهینه کند. در عمل به‌دلیل تعارضات موجود بین اهداف، راه حلی مانند X^* وجود ندارد. لذا در روش LP-Metric به‌منظور سنجش نزدیکی یک راه حل موجود نسبت به راه‌حل ایده‌آل، فاصله ی متریک مورداستفاده قرار می‌گیرد. این معیار به‌عنوان یک تابع سازگار به‌صورت رابطه‌ی (۱۸) تعریف می‌شود.

$$Lp=\left\{\sum_{j=1}^{k} w_j.[\,f_j(x^{*j})-f_j(x)]^p\right\}^{\frac{1}{p}} \qquad (۱۸)$$

که w_j بیانگر درجه‌ی اهمیت هدف jام است. تابع سازگار LP به‌منظور کمینه‌کردن انحرافات از راه‌حل ایده آل باید کمینه گردد. هم‌چنین P نشان‌دهنده‌ی درج تاکید به انحرافات موجود است. به‌گونه‌ای که هرچه P بیش‌تر باشد تاکیدی بیش‌تر بر بزرگ‌ترین انحرافات موجود می‌باشد.

مقدار P بسته به ذهنیت تصمیم‌گیرنده دارد و معمولا مقادیر ۱، ۲ و ۵ استفاده می‌شود. برای این‌که تابع سازگار LP بتواند به تابع هدف‌های مختلف با مقیاس‌های متفاوت کارا باشد از رابطه ی (۱۹) که همان هم مقیاس‌کننده است استفاده می‌شود.

$$Lp=\left\{\sum_{j=1}^{k} \gamma_j.[\frac{f_j(x^{*j})-f_j(x)}{f_j(x^{*j})}]^p\right\}^{\frac{1}{p}} \qquad (۱۹)$$

پس ابتدا ما باید هر تابع هدف را جداگانه با محدودیت های موجود حل کنیم و مقدار ایده آل آن‌را به‌دست آوریم. پس‌از یافتن و جایگذاری این مقادیر در مدل LP آن را باتوجه به محدودیت های مدل کمینه‌سازی می‌کنیم و پس‌از حل مقادیر بهینه در این نقاط درنظرگرفته به همراه LP یا همان انحرافات به‌دست می‌آید.

٤-۳- روش برنامه‌ریزی آرمانی موزون

مبنای کار روش برنامه‌ریزی آرمانی چنین است که برای هرکدام از اهداف، عدد مشخصی به‌عنوان آرمان تعیین و تابع هدف مربوط به آن فرموله می‌گردد. آن‌گاه جوابی جستجو می‌شود که مجموع (وزنی) انحراف هر هدف نسبت‌به آرمانی که به‌ازای همان هدف تعیین شده است را حداقل نماید. برای بیان ریاضی این مطلب فرض کنید C ماتریس ضرایب تابع هدف، بردار g آرمان توابع هدف باشد، اندیس n تعداد متغیرها و P تعداد توابع هدف است که در آن در جستجوی جوابی هستیم که تا حد امکان دستیابی به کلیه‌ی آرمان‌های زیر را میسر کند.

$$MinZ=\sum_{i=1}^{P}\left|\sum_{j=1}^{n} c_{ij}.x_j-g_i\right|$$
$$s.t.$$
$$\sum_{j=1}^{n} c_{ij}.x_j=g_i\,.$$

مزیت این روش بر روش مجموع وزنی، اجتناب از مشکلات عملی ناشی از تخصیص و تعدیل اوزان و نیز توانایی درنظر گرفتن اهداف در سطوح اولویت مختلف است. ایراد عمده‌ی این روش، ارائه‌ی یک جواب یگانه است که درصورت عدم جلب رضایت طراح، بایستی مجدداً مدل را با مجموعه پارامتر دیگری حل نمود. از دیگر مشکلات این روش می‌توان به دشواربودن تعیین سطوح آرمان‌ها اشاره کرد. در عمل نیز تعیین این‌که دقیقاً چه میزان آرمان را برای اهداف مختلف تعیین کنیم امری دشوار خواهد بود. پس ما از روش برنامه‌ریزی آرمانی وزنی استفاده خواهیم کرد که مدل کلی این روش به‌صورت رابطه‌ی (۲۰) می‌باشد.

$$\begin{aligned}&Min\ \sum_{i=1}^{n} w_i\left(d_i^+ + d_i^-\right)\\ &s.t:\\ &h_k(x)=(\le or\ge)0 \quad \forall k=1,2,...,q\\ &f_i(x)-d_i^+ + d_i^- = b_i \quad \forall i=1,2,...,n\\ &d_i^+, d_i^- \ge 0 \quad \forall i=1,2,...,n\end{aligned} \qquad (۲۰)$$

که در رابطه‌ی (۲۰) داریم:

$h_k(x)$: برابر با محدودیت kام مدل اصلی می‌باشد.

$f_i(x)$: رابطه‌ی تابع هدف iام می‌باشد.

b_i : سطح انتظار آرمان iام می‌باشد که برابر با مقدار بهینه‌ی حل تابع هدف iام به‌صورت تک‌هدفه می‌باشد.

d_i^+ : انحرافات مثبت تابع هدف iام.

d_i^- : انحرافات منفی تابع هدف iام.

w_i : اهمیت (وزن) هدف iام.

که برای مقادیر انحرافات مثبت و منفی خواهیم داشت:

$$d_i^+ = \begin{cases} b_i - f_i(x) & if\ f_i(x) < b_i \\ 0 & o.w. \end{cases}.$$

$$d_i^- = \begin{cases} f_i(x) - b_i & if\ f_i(x) > b_i \\ 0 & o.w. \end{cases}.$$

۵- نتایج محاسباتی

به‌منظور سنجش عملکرد مدل پیشنهادی از چند مساله استفاده شده است. به این منظور ۶ مساله در ابعاد مختلف طراحی گردیده به‌طوری که مسائل ۱ و ۲ در بعد کوچک، مسائل ۳ و ۴ در بعد متوسط و مسائل ۵ و ۶ بیانگر بعد بزرگ مساله می‌باشند. به‌طوری که این مسائل در **جدول ۱** ارائه گردیدو با استفاده از سه روش چندهدفه شامل روش مجموع وزنی، روش برنامه‌ریزی آرمانی و LP متریک به بررسی این مسائل می‌پردازیم. به این صورت که مسئله در نرم‌افزار لینگو کدنویسی شده و سپس حل گردیده است. درانتها نتایج حاصله در معیارهای مختلفی همچون اهداف و زمان با هم مقایسه شده و بهترین روش انتخاب می‌گردد که برای یکی از مسائل، مقادیر متغیرهای به‌دست آمده تشریح می‌گردد.

جدول۱- طراحی مسائل در ابعاد مختلف برای مدل پیشنهادی.

بعد مساله	شماره مساله	مشخصات مدل			
		p	*r*	*i*	*j*
کوچک	۱	۳	۵	۵	۱۰
کوچک	۲	۳	۵	۸	۱۵
متوسط	۳	۳	۸	۱۰	۲۰
متوسط	۴	۴	۱۰	۱۵	۲۵
بزرگ	۵	۵	۱۵	۲۰	۳۰
بزرگ	۶	۱۰	۲۵	۳۰	۴۰

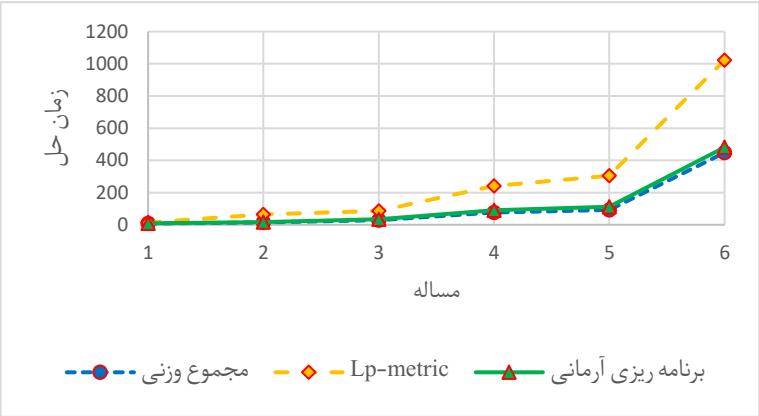
همه‌ی محاسبات با استفاده از الگوریتم شاخه و کران در نرم‌افزار لینگو ۹ روی رایانه شخصی پردازشگر ۲۰/۲ گیگاهرتز با ۴ گیگابایت حافظه‌ی داخلی تحت ویندوز ۸ اجرا شده است. هم‌چنین وزن اهداف باتوجه به اهمیت موضوع توسط خبرگان به‌صورت Weight1=0.4.و Weight2=0.6 تعریف شده است.

در این بخش پس‌از حل مسأله با داده‌های بخش قبل و به‌ازای وزن‌های ذکرشده، **جدول ۲** به‌دست خواهد آمد. همان‌طور که مشخص است بهترین جواب‌ها در هر مساله برای هریک از معیارهای سه‌گانه شامل تابع هدف اول، تابع هدف دوم و زمان محاسباتی به‌صورت هایلایت مشخص شده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از اجرای مسائل.

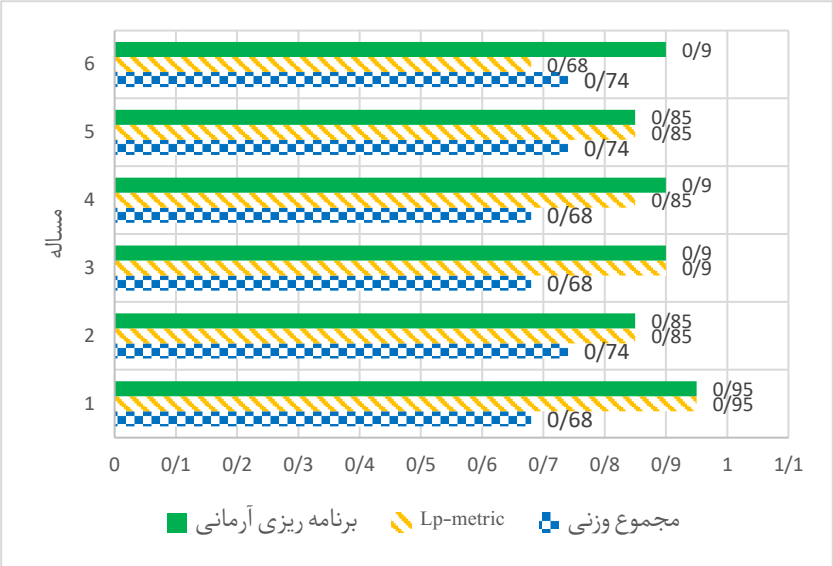
مساله	روش ها	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	زمان محاسباتی
	مجموع وزنی	0.68	8019170	8
	Lp-metric	0.95	8020170	14
	برنامه ریزی آرمانی	0.95	8020170	9
	مجموع وزنی	0.74	16421040	14
	Lp-metric	0.85	16446040	64
	برنامه ریزی آرمانی	0.85	16446040	16
	مجموع وزنی	0.68	18032210	28
	Lp-metric	0.9	18033210	86
	برنامه ریزی آرمانی	0.9	18033210	35
	مجموع وزنی	0.68	42678430	76
	Lp-metric	0.85	42683440	241
	برنامه ریزی آرمانی	0.9	42707430	90
	مجموع وزنی	0.74	55813220	93
	Lp-metric	0.85	55836720	304
	برنامه ریزی آرمانی	0.85	55836720	112
	مجموع وزنی	0.74	156371000	448
	Lp-metric	0.68	156437000	1023
	برنامه ریزی آرمانی	0.9	156434000	481

هم‌چنین برای تشخیص بهتر، این نتایج در قالب **شکل‌های (۱)** تا **(۳)** ترسیم شده است.



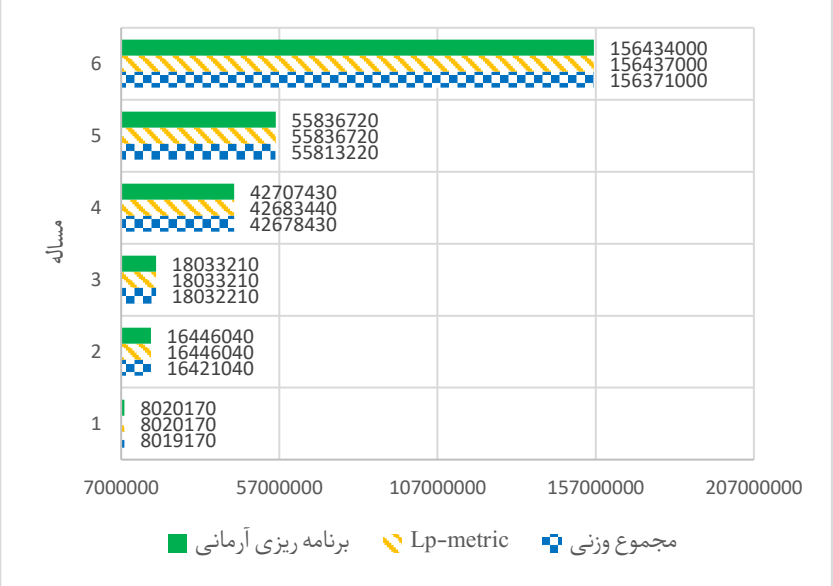
شکل ۱- مقایسه‌ی نتایج برای ۶ زیرمساله ازنظر زمان محاسباتی.

همان‌طور که از **شکل ۱** نمایان است، روش مجموع وزنی دارای کم‌ترین زمان حل در تمامی مسائل می‌باشد و پس‌از آن روش برنامه‌ریزی آرمانی با اندکی اختلاف دومین جایگاه از بعد زمانی را دارا است. اما بیش‌ترین زمان به روش LP متریک اختصاص یافت که هرچه بعد مساله افزایش می‌یابد، این اختلاف با دو روش دیگر مشهودتر می‌گردد. از آن‌جایی که کم‌ترین مقدار در زمان محاسباتی مناسب‌تر است، لذا روش مجموع وزنی، روش برنامه‌ریزی آرمانی، و روش LP متریک به‌ترتیب بهترین روش‌ها ازنظر زمان محاسباتی هستند.



شکل ۲ - مقایسه نتایج برای ۶ زیرمساله از نظر تابع هدف اول.

همان‌طور که از **شکل ۲** مشخص است، روش برنامه‌ریزی آرمانی دارای بهترین (بیش‌ترین) مقدار تابع هدف اول در تمامی مسائل می باشد. هم‌چنین روش LP متریک در ابعاد کوچک با برنامه‌ریزی آرمانی نتایج مشابهی داشت که با افزایش ابعاد مساله این نتایج با تغییراتی مواجه گشت. درنهایت، روش مجموع وزنی دارای کم‌ترین میزان تابع هدف اول در تمامی مسائل می‌باشد. از آن‌جایی که تابع هدف اول بیشینه‌سازی است، لذا روش برنامه‌ریزی آرمانی، روش LP متریک و روش مجموع وزنی به‌ترتیب بهترین روش‌ها ازنظر تابع هدف اول هستند.



شکل ۳ - مقایسه نتایج برای ۶ زیرمساله ازنظر تابع هدف دوم.

از **شکل ۳** می‌توان دریافت که روش مجموع وزنی دارای بهترین (کم‌ترین) مقدار تابع هدف دوم در تمامی مسائل می‌باشد و پس‌از آن روش برنامه‌ریزی آرمانی با اندکی اختلاف، دومین جایگاه از بعد مقدار تابع هدف دوم را دارا است. هم‌چنین روش LP متریک نیز در ابعاد کوچک با برنامه‌ریزی آرمانی نتایج مشابهی داشت که با افزایش ابعاد مساله، این نتایج با تغییراتی مواجه گشت. از آن‌جایی که تابع هدف دوم کمینه‌سازی است، لذا روش مجموع وزنی، روش برنامه‌ریزی آرمانی و روش LP متریک به‌ترتیب بهترین روش‌ها ازنظر تابع هدف دوم هستند.

۵-۱- انتخاب بهترین روش

از آن‌جایی که روش‌های مورداستفاده در ابعاد گوناگون ازنظر معیارهای زمان محاسباتی، تابع هدف اول و تابع هدف دوم دارای نتایج گوناگونی می‌باشند، لذا نمی‌توان بهترین روش را تشخیص داد. پس به‌منظور انتخاب بهترین روش ازمیان سه روش پیشنهادی، از روش " پالایش و جابجایی راه‌حل ایده‌آل DIS " استفاده شده است (پسندیده و همکاران، ۲۰۱۵). برای دریافت اطلاعات بیش‌تر به خواننده توصیه می‌گردد که به منابع رجوع کند. در این روش ابتدا F_i ها را برای هر روش محاسبه می‌کنیم که از میانگین گرفتن از ٦ مساله برای هر معیار حاصل می‌گردد. هم‌چنین برای محاسبه‌ی راه‌حل ایده آل (F_i^*) بهترین مقدار ازنظر معیار موردنظر را ازبین روش‌ها انتخاب می‌کنیم. به‌عنوان مثال، F_i^* برای معیار زمان محاسباتی کم‌ترین مقدار میان F_i ها، برای معیار تابع هدف اول، بیش‌ترین مقدار میان F_i ها و برای معیار تابع هدف دوم کم‌ترین مقدار میان F_i ها انتخاب می‌گردد که این نتایج در **جدول ۳** ارائه شده است. در این جدول روش مجموع وزنی با حروف اختصاری WS، روش برنامه‌ریزی آرمانی با حروف اختصاری GP، و روش Lp-metric با حروف LP نمایش داده شده است.

جدول ۳ - مقادیر لازم برای روش DIS.

مساله	تابع هدف اول			تابع هدف دوم			زمان محاسباتی		
	WS	LP	GP	WS	LP	GP	WS	LP	GP
1	0.68	0.95	0.95	8019170	8020170	8020170	8	14	9
2	0.74	0.85	0.85	1.64E+07	1.64E+07	1.64E+07	14	64	16
3	0.68	0.9	0.9	1.80E+07	1.80E+07	1.80E+07	28	86	35
4	0.68	0.85	0.9	4.27E+07	4.27E+07	4.27E+07	76	241	90
5	0.74	0.85	0.85	5.58E+07	5.58E+07	5.58E+07	93	304	112
6	0.74	0.68	0.9	1.56E+08	1.56E+08	1.56E+08	448	1023	481
میانگین (F_i)	0.71	0.8467	0.89167	49555845	49576097	49579595	111.167	288.667	123.833
F_i^*	0.89167			49555845			111.167		

سپس مقادیر را با استفاده از فرمول (۲۱) نرمال کرده و مقادیر فاصله‌ی مستقیم را برای هر روش با استفاده از فرمول (۲۲) محاسبه می‌کنیم. هرچه مقدار فاصله‌ی مستقیم کم‌تر باشد آن روش با جواب‌های ایده‌آل فاصله‌ی کم‌تری دارد و بهترین روش است. این مقادیر در **جدول ۴** ارائه شده است.

$$F_i^N = \frac{F_i - F_i^*}{F_i^*}. \qquad (۲۱)$$

$$Direct\,dis\tan ce = \sum_i F_i^N. \qquad (۲۲)$$

جدول ۴- نتایج حاصل از روشDIS.

criterion	مجموع وزنی	Lp-metric	برنامه ریزی آرمانی
تابع هدف اول	-0.203738	-0.050467	0
تابع هدف دوم	0	0.0004087	0.000479257
زمان محاسباتی	0	1.5967016	0.113943028
فاصله‌ی مستقیم	0.2037383	1.6475776	0.114422286

که باتوجه به مقادیر فاصله‌ی مستقیم، روش برنامه‌ریزی آرمانی بهترین روش با کم‌ترین فاصله با نقطه‌ی ایده‌آل انتخاب گردید.

حال، برای روش منتخب، متغیرهای حاصل از مساله‌ی اول را تشریح می‌کنیم. این مقادیر در **جدول ۵** ارائه شده است که در میان این متغیرها، مکان‌های احداث‌شده، مقادیر تخصیص‌یافته، مقادیر موجودی‌های ذخیره‌شده، کمبودها، حداقل وزن مکان‌های نامزد و غیره ارائه گردیده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی آرمانی برای مساله‌ی اول.

variable	value	variable	value	variable	value	variable	value	variable	value
DP2	1000	Y(3,3)	1	SHORTAGE(2,2)	0	Q(1,3,1)	0	Q(2,4,5)	0
DM2	0	Y(3,4)	1	SHORTAGE(2,3)	520	Q(1,3,2)	0	Q(2,5,1)	0
DP1	0	Y(3,5)	1	SHORTAGE(2,4)	320	Q(1,3,3)	0	Q(2,5,2)	290
DM1	0	Y(3,6)	1	SHORTAGE(2,5)	0	Q(1,3,4)	0	Q(2,5,3)	10
OBJ1	0.95	Y(3,7)	1	SHORTAGE(3,1)	0	Q(1,3,5)	600	Q(2,5,4)	0
OBJ2	8020170	Y(3,8)	1	SHORTAGE(3,2)	1900	Q(1,4,1)	0	Q(2,5,5)	0
W_MIN	0.95	Y(3,9)	1	SHORTAGE(3,3)	1750	Q(1,4,2)	720	Q(3,1,1)	800
X(1)	0	Y(3,10)	1	SHORTAGE(3,4)	0	Q(1,4,3)	0	Q(3,1,2)	0
X(2)	0	Y(4,1)	0	SHORTAGE(3,5)	0	Q(1,4,4)	0	Q(3,1,3)	200
X(3)	1	Y(4,2)	0	INV(1,1)	0	Q(1,4,5)	0	Q(3,1,4)	200
X(4)	0	Y(4,3)	0	INV(1,2)	0	Q(1,5,1)	20	Q(3,1,5)	0
X(5)	0	Y(4,4)	0	INV(1,3)	0	Q(1,5,2)	0	Q(3,2,1)	0
Y(1,1)	0	Y(4,5)	0	INV(1,4)	0	Q(1,5,3)	800	Q(3,2,2)	0
Y(1,2)	0	Y(4,6)	0	INV(1,5)	0	Q(1,5,4)	0	Q(3,2,3)	0
Y(1,3)	0	Y(4,7)	0	INV(2,1)	0	Q(1,5,5)	0	Q(3,2,4)	500
Y(1,4)	0	Y(4,8)	0	INV(2,2)	0	Q(2,1,1)	0	Q(3,2,5)	800
Y(1,5)	0	Y(4,9)	0	INV(2,3)	0	Q(2,1,2)	0	Q(3,3,1)	0
Y(1,6)	0	Y(4,10)	0	INV(2,4)	0	Q(2,1,3)	0	Q(3,3,2)	0
Y(1,7)	0	Y(5,1)	0	INV(2,5)	0	Q(2,1,4)	0	Q(3,3,3)	0
Y(1,8)	0	Y(5,2)	0	INV(3,1)	0	Q(2,1,5)	0	Q(3,3,4)	0
Y(1,9)	0	Y(5,3)	0	INV(3,2)	0	Q(2,2,1)	0	Q(3,3,5)	1500
Y(1,10)	0	Y(5,4)	0	INV(3,3)	0	Q(2,2,2)	0	Q(3,4,1)	0
Y(2,1)	0	Y(5,5)	0	INV(3,4)	0	Q(2,2,3)	0	Q(3,4,2)	0
Y(2,2)	0	Y(5,6)	0	INV(3,5)	0	Q(2,2,4)	320	Q(3,4,3)	0
Y(2,3)	0	Y(5,7)	0	Q(1,1,1)	0	Q(2,2,5)	30	Q(3,4,4)	1500
Y(2,4)	0	Y(5,8)	0	Q(1,1,2)	0	Q(2,3,1)	0	Q(3,4,5)	0
Y(2,5)	0	Y(5,9)	0	Q(1,1,3)	50	Q(2,3,2)	0	Q(3,5,1)	1200
Y(2,6)	0	Y(5,10)	0	Q(1,1,4)	650	Q(2,3,3)	0	Q(3,5,2)	0
Y(2,7)	0	SHORTAGE(1,1)	780	Q(1,1,5)	0	Q(2,3,4)	0	Q(3,5,3)	0
Y(2,8)	0	SHORTAGE(1,2)	0	Q(1,2,1)	0	Q(2,3,5)	420	Q(3,5,4)	0
Y(2,9)	0	SHORTAGE(1,3)	0	Q(1,2,2)	200	Q(2,4,1)	0	Q(3,5,5)	0
Y(2,10)	0	SHORTAGE(1,4)	0	Q(1,2,3)	0	Q(2,4,2)	360		
Y(3,1)	1	SHORTAGE(1,5)	0	Q(1,2,4)	100	Q(2,4,3)	0		
Y(3,2)	1	SHORTAGE(2,1)	800	Q(1,2,5)	350	Q(2,4,4)	0		

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق فاز پاسخ‌گویی در مدیریت بحران مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی ادبیات موجود، نقص‌هایی شناسایی و سعی شد در مدل ارائه‌شده این کمبودها پوشش داده شود. شرایط بعداز وقوع زلزله مدل شده و مسائل مکان‌یابی و تخصیص به‌طور همزمان درنظر گرفته شده است، از این‌رو مدل جامعی در این حوزه می‌باشد. تصمیمات مکان‌یابی برای مراکز درمانی و اسکان موقت درنظر گرفته شد. در ابتدا، مسائل مقدماتی شامل تعریف مسئله و بیان موضوع تحقیق تشریح گردیده، سپس باتوجه به بررسی‌های انجام‌گرفته، شکاف‌های تحقیقاتی شناسایی گردید. برای معرفی مدل، ابتدا مسئله و مفرضات، معرفی و پس‌از آن مدل‌سازی مسئله انجام پذیرفت. پس‌از معرفی مدل پیشنهادی، به بررسی روش‌های حل دقیق که شامل روش‌های مجموع وزنی، برنامه‌ریزی آرمانی و LP متریک است پرداخته شد. شش‌مساله در ابعاد مختلف طراحی گردیده و با استفاده از سه‌روش چندهدفه‌ی مذکور به بررسی این مسائل پرداخته شد. نتایج حاصله ازنظر معیارهای مختلفی همچون اهداف و زمان با هم مقایسه گردید و چون روش‌ها عملکرد متفاوتی در معیارهای نام‌برده داشتند، تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین روش، کمی پیچیده گردید. پس به‌منظور انتخاب بهترین گزینه از روش "پالایش و جابجایی راه حل ایده آل" استفاده گردید، که درنهایت روش برنامه‌ریزی آرمانی به‌عنوان بهترین روش انتخاب گردید. هم‌چنین برای این روش منتخب در مساله‌ی اول، مقادیر متغیرهای به‌دست‌آمده ارائه گردید که در میان این متغیرها، مکان‌های احداث‌شده، مقادیر تخصیص‌یافته، مقادیر موجودی‌های ذخیره‌شده، کمبودها و حداقل وزن مکان‌های نامزد ارائه گردیده است. استفاده از رویکردهایی مانند رویکردهای فازی، بهینه‌سازی استوار، تصادفی و احتمالی جهت درنظر گرفتن عدم قطعیت، درنظر گرفتن مسیریابی توزیع امداد و تخلیه‌ی قربانیان در مساله، استفاده از روش‌های تقریبی مثل الگوریتم‌های فراابتکاری مانند ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، کلونی مورچگان، و جستجوی ممنوعه به‌عنوان مطالعات آتی مرتبط پیشنهاد می‌گردد.

Chang, M. S., Tseng, Y. L., & Chen, J. W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, *43*(6), 737-754.

Altay, N., & Green Iii, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *Eur. J. Oper. Res.*, *175*(1), 475–493.

Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., & Al-e-Hashem, S. M. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR spectrum*, *35*(4), 905-933.

Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: a robust model with real world application. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, *70*, 225-244.

Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-economic planning sciences*, *46*(4), 327-338.

Campbell, A. M., & Jones, P. C. (2011). Prepositioning supplies in preparation for disasters. *European journal of operational research*, *209*(2), 156-165.

Alçada-Almeida, L., Tralhao, L., Santos, L., & Coutinho-Rodrigues, J. (2009). A multiobjective approach to locate emergency shelters and identify evacuation routes in urban areas. *Geographical analysis*, *41*(1), 9-29.

Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. M. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & industrial engineering*, *52*(2), 257-276.

Garrido, R. A., Lamas, P., & Pino, F. J. (2015). A stochastic programming approach for floods emergency logistics. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, *75*, 18-31.

Najafi, M., Eshghi, K., & Dullaert, W. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, *49*(1), 217-249.

Dessouky, M., Ordóñez, F., Jia, H., & Shen, Z. (2013). Rapid distribution of medical supplies. In *Patient flow* (pp. 385-410). Springer, Boston, MA.

Haowei, Z., Junwei, X., Jiaang, G., Wenlong, L. & Binfeng Z. (2018). An entropy-based PSO for DAR task scheduling problem. *Applied soft computing*, *73*, 862-873.

Akbari, M., &Rashidi, H. (2016). A multi-objectives scheduling algorithm based on Cuckoo optimization for task allocation problem at compile time in heterogeneous systems. *Expert systems with applications*, *60*, 234–248.

Oh, G., Kim, Y., Ahn, J., & Choi, H. L. (2016). PSO-based optimal task allocation for cooperative timing missions. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(17), 314-319.

Kılcı, F., Kara, B. Y., & Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European journal of operational research*, *243*(1), 323-332.

Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability. *Expert systems with applications*, 42(5), 2615-2623.