نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال هشتم، شماره هفدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، صفحه ۲۷۵-۲۹۳

www.ier.basu.ac.ir

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

IERPS

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/ier.2021.22420.1985

ارائه یک مدل ریاضی استوار امکانی به‌منظور مسیریابی، زمان‌بندی و توزیع منابع در عملیات کمک‌رسانی پس از زلزله با درنظر گرفتن اختلال در توزیع در شرایط عدم قطعیت

سیما غایب‌لو[1]*، فریبا فتحی‌پور[2]، نگار ترکمانی[3]

۱. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مکانیک، مکانیک و صنایع، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی سراج، تبریز، ایران

۳. کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی سراج تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

پذیرش ۱۳۹۹/۱۰/۲۹

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

برنامه‌ریزی امکانی

برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه

اختلال

لجستیک امداد بشردوستانه

خلاصه

ازآنجایی‌که فاجعه‌های طبیعی اغلب موجب از بین رفتن جان و مال انسان‌ها می‌شوند، طراحی مناسب شبکه توزیع امدادرسانی بعد از وقوع بحران ضروری می‌باشد. به‌علاوه چون افراد آسیب‌دیده نمی‌توانند بیش از چند روز بدون آب، غذا، دارو و سرپناه زنده بمانند، مسئله مسیریابی و توزیع کالاهای امدادی با حداکثر سرعت بسیار مهم بوده و از اهداف اصلی پژوهش در نظر گرفته‌شده است. حداقل کردن تعداد وسایل موردنیاز به‌منظور کاهش هزینه‌ها و توزیع عادلانه کالاهای امدادی به‌گونه‌ای که در یک پناهگاه نسبت به پناهگاه دیگر، کمبود بیش‌ازحد زیاد نباشد، از دیگر اهداف پژوهش می‌باشند. برای دستیابی به اهداف فوق، مدل برنامه ریاضی سه هدفه سیستم لجستیک توزیع برای مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه امدادی جهت توزیع کالاهای امدادی از مراکز توزیع به پناهگاه‌ها تحت شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن اختلال در توزیع طراحی‌شده است. به‌منظور برخورد با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله از دو روش امکانی مختلف شامل رویکرد امکانی مبتنی بر اندازه اعتبار و روش استوار امکانی بهره گرفته‌شده است. برای حل مدل چندهدفه ارائه‌شده نیز از یک رویکرد فازی تعاملی بهره گرفته‌شده است. درنهایت به‌منظور بررسی کاربردپذیری مدل ریاضی ارائه‌شده، مطالعه موردی در ایران و در شهر تبریز صورت گرفته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و اولویت تصمیم‌گیرنده برای کاهش تقاضای برآورده نشده در این مقاله، روش استوار امکانی بهترین روش برای مدل‌سازی مسئله موردنظر انتخاب می‌شود. همچنین نتایج حاصل از حل مطالعه موردی نشان داد که بین میزان عرضه کالاهای امدادی و زمان توزیع کالاهای امدادی رابطه معکوس وجود دارد و درصد کاهش زمان توزیع کالاهای امدادی درازای افزایش بیش‌ازحد عرضه کالاهای امدادی بسیار ناچیز می‌باشد.

۱. مقدمه

فدراسیون بین المللی صلیب سرخ و هلال‌احمر فاجعه را یک رویداد ناگهانی و مصیبت‌بار تعریف می‌کند که به‌طورجدی کارکرد جامعه را مختل می‌کند و باعث تلفات جانی، مالی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌شود که فراتر از توانایی جامعه برای مقابله با آن با استفاده از منابع خود است [۱]. هرچند اغلب این فجایع منبع طبیعی دارند اما می‌توانند ریشه انسانی نیز داشته باشند. زنجیره‌های تأمین که در مناطق ویران‌شده با خدمات اورژانسی و پس از فاجعه به مردم کمک

* نویسنده مسئول: سیما غایب‌لو

تلفن: ۰۲۴-۳۳۰۵۴۱۴۰؛ پست الکترونیکی: ghayebloo.sima@znu.ac.ir

می‌کنند.

زنجیره‌های تأمین بشردوستانه نامیده می‌شوند. چنین زنجیره‌های تأمین در یک‌زمان کوتاه پس از وقوع فاجعه توسط دولت یا سازمان‌های غیردولتی ایجاد می‌شوند [۲]. آلتای و گرین در سال ۲۰۰۶ عملیات فاجعه را به چهار دسته کاهش، آمادگی، پاسخ و بهبود تقسیم کردند [۳]. دودسته اول، عملیات پیش از فاجعه را شرح می‌دهند و شامل برنامه‌ریزی پیش از فاجعه و ساخت انبار می‌باشند. دسته دوم عملیات پس از فاجعه بوده و شامل تدارکات کمک‌های بشردوستانه‌اند. در قسمت مرور ادبیات، مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی برای عملیات بعد از وقوع فاجعه بررسی‌شده‌اند. هرچند که امروزه باوجود پیشرفت‌های فنّاورانه موجود، مصائب ناشی از سوانح طبیعی از قبیل زلزله، سیل، طوفان، صاعقه، بهمن، گردباد، آتش‌سوزی، آتش‌فشان و غیره و سوانح غیرطبیعی از قبیل جنگ، حوادث تروریستی، تصادفات جاده‌ای، حوادث صنعتی، ناآرامی‌های سیاسی، مهاجرت آوارگان و غیره به‌عنوان موانع اصلی توسعه پایدار کشورها به شمار می‌روند و عدم آمادگی و مقابله مناسب با آن‌ها، تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارایی‌های آن‌ها وارد می‌کند که بعضاً جبران‌ناپذیر است. اگرچه خسارات ناشی از این حوادث از جهات گوناگون به‌ویژه ازنظر مادی و معنوی قابل جبران نیست، ولی با اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی‌های مناسب برای ایجاد آمادگی لازم برای مقابله با این حوادث می‌توان خسارات آن را به حداقل ممکن کاهش داد.

به‌منظور به حداقل رساندن خسارات ناشی از سوانح طبیعی و غیرطبیعی یک مدل برنامه ریاضی سه هدفه برای سیستم لجستیک توزیع برای مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه امدادی جهت توزیع کالاهای امدادی از مراکز توزیع به پناهگاه‌ها تحت شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن اختلال برای عملیات در توزیع بعد از وقوع فاجعه طراحی‌شده است. تابع هدف اول سعی دارد با انتخاب بهترین مسیرها بین پناهگاه‌ها و مراکز توزیع، زمان رسیدن وسایل نقلیه امدادی به مراکز توزیع و پناهگاه‌ها را حداقل کند که مهم‌ترین هدف پژوهش فوق می‌باشد. تابع هدف دوم تعداد وسایل نقلیه موردنیاز را حداقل می‌کند. تابع هدف سوم سعی می‌کند حداکثر میزان کمبود اقلام امدادی در نقاط تقاضا را حداقل کند به‌طوری‌که در یک پناهگاه نسبت به پناهگاه دیگر، بیش‌ازحد زیاد کمبود وجود نداشته باشد. تابع هدف سوم به‌نوعی، توزیع عادلانه کالاهای امدادی را ایجاد می‌کند. معمولاً به خاطر اقدامات افراد غیرتخصصی و هجوم عموم مردم به کمک‌رسانی، پناهگاه‌هایی که دسترسی راحت‌تری دارند، حجم بیشتری از کالاهای امدادی را دریافت می‌کنند و درحالی‌که پناهگاه‌های مجاور که شاید مسیر سخت‌تری داشته باشند با کمبود کالاهای امدادی مواجه می‌شوند.

به همین دلیل پرداختن به این موضوع اساسی در شبکه‌های لجستیک امدادرسانی بسیار مهم می‌باشد که در مدل ریاضی پیشنهادی در قالب تابع هدف سوم فرموله بندی شده است. برای مدل‌سازی عدم قطعیت از دو روش برنامه‌ریزی امکانی و روش برنامه-ریزی استوار امکانی استفاده خواهد شد. با توجه به اهمیت کنترل نوسانات هزینه در مسائلی (مانند زنجیره تأمین بشردوستانه که موضوع پژوهش فوق می‌باشد) که جنبه‌های غیراقتصادی نیز در تصمیم‌گیری مدنظر قرار می‌گیرند روش برنامه‌ریزی استوار امکانی برای مقابله با عدم قطعیت انتخاب شد. مدل سه هدفه ارائه‌شده توسط روش ترابی-هسینی[1] به مدل تک هدفه تبدیل‌شده است.

با توجه به مطالب بیان‌شده در بالا، نوآوری‌های این پژوهش را می‌توان در قالب موارد زیر عنوان کرد:

- ارائه مدل چندهدفه به‌منظور پاسخ به تقاضا بعد از وقوع بحران تحت شرایط عدم قطعیت
- در نظر گرفتن اختلال در توزیع طی عملیات امدادرسانی
- به‌کارگیری دو روش امکانی مختلف شامل برنامه‌ریزی امکانی مبتنی بر اندازه اعتبار و برنامه‌ریزی استوار امکانی به‌منظور برخورد با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله
- استفاده از روش ترابی- هسینی به‌منظور تبدیل مدل چندهدفه به یک مدل تک هدفه

به‌منظور بررسی کارایی، مدل ارائه‌شده در یک مطالعه موردی در ایران پیاده‌سازی شد. در این مطالعه موردی، همچنین کارایی دو روش مدیریت عدم قطعیت موردبررسی قرارگرفته و کاراترین روش مدیریت عدم قطعیت مشخص‌شده است. در انتها به‌منظور تعیین تأثیر تغییر در پارامترهای اصلی مدل ریاضی ارائه‌شده بر روی مقادیر تابع هدف، از تحلیل حساسیت استفاده می‌شود.

ادامه‌ی این مقاله به‌صورت زیر سازمان‌یافته است: در بخش دوم ادبیات مرتبط با طراحی شبکه لجستیک امدادرسانی مرور شده‌اند. بخش سوم به تعریف مسئله و تبیین فرض‌های مسئله اختصاص‌یافته است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی برای مسئله تعریف‌شده در بخش چهارم ارائه‌شده است. بخش پنجم به تبیین روش‌های حل پیشنهادی شامل برنامه‌ریزی شانسی اعتبار محور، مدل برنامه‌ریزی امکانی اعتبار محور و رویکرد برنامه‌ریزی استوار اختصاص‌یافته است. در بخش ششم توصیف مطالعه موردی و مقایسه جواب‌های حاصل از روش‌های حل پیشنهادی و قطعی بیان‌شده‌اند. در پایان، بخش هفتم، خلاصه‌ای از نتایج تحقیق و برخی زمینه‌های تحقیقات آتی موردبحث قرارگرفته‌اند.

۲. مرور ادبیات

هرچند لجستیک امدادرسانی از سال ۱۹۹۰ کم‌وبیش موردمطالعه قرارگرفته است، اما از سال ۲۰۰۴ که سونامی اقیانوس هند رخ داد، این موضوع برای دانشگاهیان و محققان اهمیت زیادی پیدا کرد. در

1. Torabi-Hessini (TH)

سال‌های اخیر مطالعات فراوانی درزمینه‌ی لجستیک امدادرسانی صورت پذیرفته است. ازدمار و همکاران در سال ۲۰۰۴ یک مدل مسیریابی وسایل حمل‌ونقل در مواقع بحران ارائه کرده‌اند [۴] . برای حل این مدل از یک روش ابتکاری استفاده‌شده است و کارایی مدل با داده‌های به‌دست‌آمده از زلزله‌ی سال ۱۹۹۰ ایزمیز ترکیه اثبات‌شده است. هاله و موبرگ در سال ۲۰۰۵ مدلی را ارائه کرده‌اند که زنجیره‌ی تأمین امدادرسانی را برای مقابله با بحران طراحی می‌کند [۵]. مدل آن‌ها یک ابزار بسیار مناسب برای انتخاب اماکن امدادرسانی ارائه می‌دهد. چنگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای تصمیم‌گیری در مورد توزیع منابع در حین بحران ارائه کرده‌اند [۶]. آن‌ها اثربخشی و کارایی مدل خود را با استفاده از داده‌های سیل تایوان اثبات کرده‌اند. بالسیک و بیمن در سال ۲۰۰۸ بامطالعه‌ی مسئله‌ی مکان‌یابی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین تعداد و موقعیت مراکز توزیع و همچنین میزان کالاهای از قبل تعبیه‌شده در هر یک از این مراکز توزیع ارائه داده‌اند [۷]. مدل ارائه‌شده، گونه‌ای از مدل حداکثر پوشش است که مسئله‌ی مکان‌یابی را با مسئله‌ی موجودی یکپارچه می‌کند. درواقع این پژوهش از اولین پژوهش‌هایی است که به بحث مکان‌یابی مراکز توزیع برای پاسخگویی مناسب در زمان بحران می‌پردازد .بالسیک و همکاران در سال ۲۰۰۸ یک مدل توزیع برای پاسخگویی بعد از وقوع بحران ارائه کرده‌اند [۸]. درواقع تمرکز آن‌ها بر آخرین مرحله از زنجیره‌ی امدادرسانی یعنی توزیع بوده است. بدین منظور، آن‌ها یک مدل مختلط عدد صحیح دوفازی را برای توسعه‌ی یک‌زمان بندی تحویل برای هر وسیله‌ی نقلیه ارائه کرده‌اند. تابع هدف مسئله، حداقل کردن هزینه‌ی حمل‌ونقل و حداکثر کردن سود برای دریافت‌کنندگان کالاهای امدادی در نظر گرفته‌شده است. لین و همکاران در سال ۲۰۱۱ یک مدل لجستیک برای تحویل کالاها به‌صورت اولویت‌بندی شده در عملیات امدادرسانی ارائه کرده‌اند[۹] . از ویژگی‌های مدل ارائه‌شده‌ی آن‌ها می‌توان به چند کالایی، چندوسیله‌ای، چند دوره‌ای، پنجره زمانی نرم، و تحویل کالا به‌صورت چندبخشی اشاره کرد. دلاتور و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ای مروری، به بررسی انواع مدل‌های مسیریابی مرتبط با عملیات امدادرسانی پرداخته‌اند [۱۰].

در حوزه مسائل مسیریابی و زمان‌بندی در سال ۲۰۱۱ یک مدل قطعی مسیریابی چندهدفه توسط نلز و همکاران پیشنهادشده است [۱۱]. مدل سه هدفه آن‌ها شامل حداقل کردن ریسک، حداقل کردن مجموع زمان رسیدن و حداکثر کردن پوشش تقاضا است و از الگوریتم ممتیک برای حل مدل استفاده‌شده است. همچنین مطالعه موردی برحسب داده‌های واقعی در اکوادور صورت گرفته است. حامدی و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک مدل چندهدفه قطعی برای مسیریابی و زمان‌بندی توزیع کالاهای امدادی از مراکز توزیع به پناهگاه‌ها ارائه کرده‌اند [۱۲]. آن‌ها از الگوریتم ژنتیک برای حل نمونه‌های موردی استفاده کرده‌اند. وکس و همکاران در سال ۲۰۱۴ یک مدل مسیریابی قطعی تک هدفه برای عملیات نجات در مناطق آسیب‌دیده برای حداقل کردن زمان عملیات ارائه کرده‌اند [۱۳]. در این مدل پیشنهادی از چندین الگوریتم ابتکاری مانند الگوریتم ابتکاری بر پایه‌ی مونت‌کارلو و الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی انطباق تصادفی حریصانه[1] استفاده‌شده است. گان و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل تک هدفه مسیریابی و زمان‌بندی قطعی برای توزیع کالاهای امدادی از یک مرکز توزیع به مراکز آسیب‌دیده، با استفاده از تابع عملکرد ارائه کرده‌اند [۱۴]. در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، برای حل مدل استفاده‌شده است. پور رحمانی و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل مسیریابی چند دوره‌ای برای انتقال آوارگان از پناهگاه‌های محلی به پناهگاه‌های منطقه‌ای توسعه داده‌اند [۱۵]. در این مدل، تقسیم تحویل و زمان سفر غیرقطعی برای حداقل کردن زمان رسیدن وسایل نقلیه موردتوجه قرارگرفته است. همچنین برای حل مدل از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده‌شده است. مشرف جوادی ولی در سال ۲۰۱۶ یک مسئله مسیریابی چند کالایی جدید با تمرکز بر حداقل کردن زمان انتظار گیرندگان ارائه دادند. آن‌ها ظرفیت محدود برای وسایل نقلیه در نظر گرفته و از یک روش ابتکاری بر پایه‌ی سازگاری و ترکیب الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و جست‌وجوی همسایگی متغیر برای حل مسئله در مقیاس بزرگ استفاده کرده‌اند [۱۶]. صبوحی و همکاران در سال ۲۰۱۸ مدل مسیریابی و زمان‌بندی تک هدفه برای تخلیه مردم از مناطق آسیب‌دیده به پناهگاه‌ها و توزیع کالاهای امدادی در مقیاس بزرگ ارائه کرده‌اند [۱۷]. تابع هدف این مسئله حداقل کردن زمان رسیدن وسایل نقلیه‌ی امدادی به مناطق آسیب‌دیده، پناهگاه‌ها و مراکز توزیع می‌باشد. در این پژوهش از الگوریتم ممتیک برای حل مسئله در مقیاس بزرگ استفاده‌شده است. صبوحی و همکارانش در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۶ [۱۸] یک مدل ریاضی دو هدفه برای شبکه لجستیک امدادرسانی پس از وقوع فاجعه ارائه داده‌اند. شوآنگی و کوک لی در سال ۲۰۱۹ یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوسطحی چند دوره‌ای برای زمان‌بندی تعمیر شبکه جاده‌ای بعد از وقوع فاجعه و مسئله لجستیک بشردوستانه ارائه دادند [۱۹]. در مطالعه دیگری، شوآنگی و همکاران در سال ۲۰۲۰ مدلی برای تعمیر شبکه جاده‌ای بعد از وقوع بلایای طبیعی ارائه دادند. مدل فوق، زمان‌بندی لجستیک و زمان‌بندی کارگران تعمیر جاده و فعالیت‌های مسیریابی را توأما در نظر می‌گیرد [۲۰].

عدم قطعیت موجود در عرضه، تقاضا و مدت‌زمان حمل‌ونقل ازجمله فاکتورهای بسیار مهمی هستند که در طراحی یک شبکه امدادرسانی بعد از وقوع حادثه باید در نظر گرفته شوند. در اکثر سیستم‌های لجستیک امدادرسانی توسعه داده‌شده برای مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه امداد، از عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله صرف‌نظر شده است. با توجه به‌مرور ادبیات انجام‌شده، تعداد مطالعات اندکی آن‌هم در سال‌های اخیر، مسئله عدم قطعیت را در

1. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRSAP)

طراحی سیستم لجستیک امدادی مطرح کرده‌اند. برای نمونه، شائوپنگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ یک مدل بهینه‌سازی ریاضی برای مکان‌یابی تسهیلات بشردوستانه و مسیریابی وسایل نقلیه تحت تقاضای تصادفی و میزان ریسک‌پذیری بهینه تصمیم‌گیرنده توسعه دادند[۲۱]. علی‌اکبر حسنی و هادی مختاری در سال ۲۰۱۹ از یک رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو برای یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در طراحی شبکه امدادرسانی استفاده کردند [۲۲]. پیوزانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۲۳] یک مدل ریاضی برای مسئله طراحی شبکه امدادرسانی بشردوستانه سه سطحی ارائه دادند. آن‌ها برای مقابله با عدم قطعیت موجود در زمان حمل‌ونقل، از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده کردند. ویس مرادی و همکاران در سال ۲۰۱۸ برای مسئله مکان‌یابی و مسیریابی وسایل نقلیه برای یک شبکه امدادرسانی یک مدل ریاضی سه هدفه شامل حداقل کردن هزینه‌های احداث و حداقل کردن حداکثر زمان عملیات و همچنین حداکثر کردن حداقل قابلیت اطمینان توسعه داده و از روش تعاملی فازی هسینی و ترابی برای حل مدل سه هدفه استفاده کردند. در این مطالعه از روش بهینه‌سازی استوار به‌منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله بهره گرفته‌شده است. با توجه به‌مرور ادبیات انجام‌شده، در هیچ‌کدام از مطالعات انجام‌شده از روش استوار امکانی به‌عنوان یکی از کاراترین روش‌های برخورد با عدم قطعیت (مرجع [۲۴] را ببینید.) استفاده‌نشده است.

طبقه‌بندی مسائل لجستیک امدادرسانی در مطالعات انجام‌گرفته با جزئیات بیشتر و با در نظر گرفتن چند دسته ویژگی شامل موارد تصمیم‌گیری، توابع هدف و روش حل در جدول (۱) ارائه‌شده است. ویژگی‌های مسئله و مدل ریاضی مدنظر در این مقاله در سطر آخر جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) طبقه‌بندی مسائل لجستیک امدادرسانی

پژوهش	مسیر	زمان‌بندی	تقسیم تحویل	مطالعه موردی	تعداد توابع	قطعی	غیرقطعی	روش حل
نلز و همکاران (۲۰۱۱)		✓		✓	۳	✓		MA[1]
حامدی و همکاران (۲۰۱۲)	✓	✓	✓		۲	✓		GA[2]
وکس و همکاران (۲۰۱۴)		✓			۱	✓		GRSAP
گان و همکاران (۲۰۱۵)	✓	✓			۱	✓		PSO[3]
پور رحمانی و همکاران (۲۰۱۵)		✓	✓	✓	۱	✓		SA[4]
مشرف جوادی ولی (۲۰۱۶)		✓	✓		۱	✓		VNS[5], SA
صبوحی و همکاران (۲۰۱۶)	✓	✓		✓	۲	✓		TH
صبوحی و همکاران (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	✓	۱	✓		MA
پیوزانگ و همکاران (۲۰۲۰)	✓	✓			۱		✓	------
ویس و همکاران (۲۰۱۸)	✓		✓	✓	۳		✓	TH, robust
این پژوهش	✓	✓	✓	✓	۳		✓	TH, possibilistic robust

بررسی مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که در اکثر مقالات مرتبط با مسیریابی و زمان‌بندی، مسائل مهمی ازجمله امکان سرویس‌دهی هر نقطه تقاضا توسط چند وسیله نقلیه (تقسیم تحویل) امکان استفاده از چند نوع وسیله نقلیه، ظرفیت محدود پناهگاه‌ها و همچنین چندهدفه بودن مدل‌های توسعه داده‌شده در نظر گرفته نشده‌اند که به‌عنوان خلأهای تحقیقاتی می‌توان از آن‌ها نام برد. در این پژوهش یک مدل ریاضی سه هدفه که این خلأهای تحقیقاتی را پوشش داده و همچنین با توجه به اهمیت بسیار بالای هزینه کمبود در زنجیره‌های تأمین بشردوستانه، هدفی که حداکثر میزان کمبود اقلام امدادی در نقاط تقاضا را حداقل می‌کند در مدل توسعه داده‌شده مدنظر قرارگرفته است. در مطالعات انجام‌شده معمولاً از عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل ریاضی چشم‌پوشی شده است. در این پژوهش از روش برنامه‌ریزی امکانی استوار جهت مقابله با عدم قطعیت موجود در پارامترهای حساس مدل بهره گرفته‌شده است.

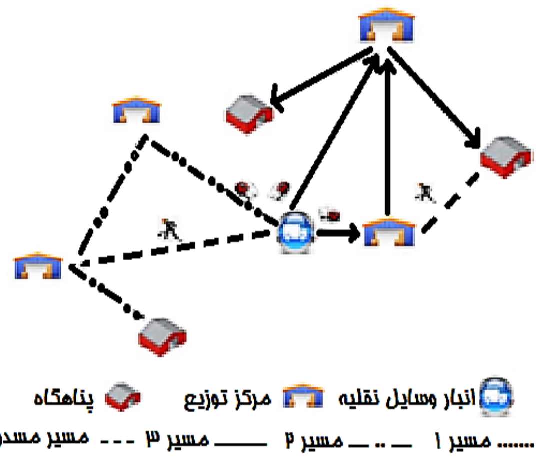
۳. تعریف مسئله

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی سه هدفه به‌منظور مسیریابی و توزیع و زمان‌بندی اقلام امدادی برای پاسخ به بحران ارائه‌شده است. شکل (۱) شبکه زنجیره تأمین موردنظر در این مسئله را نمایش می‌دهد. شبکه موردمطالعه، یک مدل سه سطحی شامل انبار وسایل نقلیه، مراکز توزیع و پناهگاه‌هاست که کالاهای امدادی توسط وسایل نقلیه‌ای که در انبار وسایل نقلیه مستقرشده‌اند، به مراکز توزیع انتقال می‌یابند. وسایل نقلیه امدادی مانند کامیون یا تریلر، عملیات خود را از انباری که مکان‌یابی شده است، آغاز می‌کنند. در صورت اعزام، یکی از وسایل نقلیه امدادی، طبق ظرفیت وسیله و تقاضای پناهگاه‌ها انتخاب می‌شود. مکان برای پایان عملیات نامشخص بوده و نهایتاً یکی از پناهگاه‌ها می‌باشد. همچنین به‌منظور افزایش کارایی مدل، اختلال در توزیع در نظر گرفته‌شده است. بدین‌جهت که در دنیای واقعی و طبق داده‌های گذشته، در هنگام بروز بحران مخصوصاً زلزله که هدف مقاله پاسخگویی کارا و مناسب به آن است، بروز اختلال در

1. Memetic Algorithm
2. Genetic Algorithm
3. Particle swarm optimization
4. Simulated Annealing
5. Variable Neighborhood Search

سیستم توزیع به دلایل مختلف ازجمله تخریب زیرساخت‌ها و مسیرهای ارتباطی، عدم مدیریت صحیح کالاهای امدادی، هجوم نیروهای امدادی داوطلب غیرمتخصص ، بروز پس‌لرزه و غیره به‌کرات رخ‌داده است. در این مقاله، با ارائه یک مدل ریاضی سه هدفه شامل حداقل کردن مجموع زمان رسیدن وسایل نقلیه امدادی به مراکز توزیع و پناهگاه‌ها ،حداقل کردن تعداد وسایل نقلیه مورداستفاده برای عملیات توزیع و همچنین حداقل نمودن حداکثر تقاضای برآورده نشده در پناهگاه‌ها، به‌طوری‌که عدالت اجتماعی در تمام نقاط برآورده شده و در هیچ‌یک از پناهگاه‌ها بیش‌ازحد زیاد کمبود وجود نداشته باشد، مسیریابی هم‌زمان، توزیع و زمان‌بندی وسایل نقلیه تحقق خواهد یافت. با جمع‌بندی مطالب بیان‌شده در این بخش می‌توان فرض‌های مسئله را در قالب موارد ذیل خلاصه نمود:

- ✓ تعداد و مکان مراکز توزیع مشخص است.
- ✓ تعداد و مکان پناهگاه‌ها مشخص است .
- ✓ از وسایل نقلیه ناهمگن برای عملیات امدادی استفاده می‌شود .
- ✓ وسایل نقلیه دارای ظرفیت محدود می‌باشند.
- ✓ ظرفیت مراکز توزیع و پناهگاه‌ها محدود است.
- ✓ انبار وسایل نقلیه مکان‌یابی شده است.
- ✓ امکان دریافت سرویس از هر مرکز توزیع توسط چندین وسیله نقلیه وجود دارد (تقسیم تحویل).



شکل(۱): شبکه تأمین کالاهای امدادی

۴. مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی

در این بخش به مدل‌سازی مسئله موردمطالعه می‌پردازیم. اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای این مدل در ادامه بیان‌شده است.

اندیس‌ها

مجموعه مراکز توزیع	F
مجموعه پناهگاه‌ها	D
مجموعه وسایل نقلیه در دسترس	V
انبار وسایل نقلیه	L
مجموعه تمامی گره‌های موجود (شامل D، F و L که با اندیس $i,j \in N$ نشان داده می‌شوند)	N

پارامترها

مدت‌زمان حمل‌ونقل از گره $i \in N$ به گره $j \in N$	a_{ij}
میزان تقاضا در پناهگاه $i \in D$	e_i
میزان عرضه در مرکز $i \in F$	c_i
ظرفیت وسیله نقلیه $v \in V$	P_v
مدت‌زمان سرویس در گره $i \in F \cup D$	h_i
عددی بزرگ	M
درصد عرضه ازدست‌رفته در مرکز توزیع $i \in F$ در اثر اختلال	K_i

متغیرهای تصمیم

اگر وسیله نقلیه $v \in V$ از گره $i \in N$ به گره $j \in N$ حرکت کند برابر با یک و در غیر این صورت صفر است.	X_{vij}
اگر وسیله نقلیه $v \in V$ به گره $i \in F \cup D$ اختصاص داده شود برابر با یک و در غیر این صورت صفراست.	Y_{vi}
اگر وسیله نقلیه $v \in V$ به مأموریت اعزام شود برابر با یک و در غیر این صورت صفر است.	U_v
تعداد کالاهایی که با وسیله نقلیه $v \in V$ از مرکز توزیع $i \in F$ برداشته‌شده یا تعداد کالاهایی که با وسیله نقلیه $v \in V$ به پناهگاه $i \in D$ تحویل داده می‌شوند.	G_{vi}
مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا وسیله نقلیه $v \in V$ به گره $i \in N$ برسد.	R_{vi}

حال پس از معرفی اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترها، مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌شود.

$$Min\, z_1 = \sum_{v \in V} \sum_{i \in F \cup D} R_{vi} \tag{۱}$$

$$Min\, z_2 = \sum_{v \in V} U_v \tag{۲}$$

$$Min\, z_3 = Max_i \left(e_i - \sum_{v \in V} G_{vi} \right) \tag{۳}$$

s.t.

$$\sum_{j \in F} \sum_{i \in l} X_{vij} = U_v \quad \forall v \in V \tag{۴}$$

$$\sum_{\substack{i \in LUF \\ i \neq j}} X_{vij} = \sum_{\substack{i \in FUD \\ i \neq j}} X_{vji} \quad \forall j \in F, \forall v \in V \tag{۵}$$

$$\sum_{\substack{j \in FUL \\ j \neq i}} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in F, \forall v \in V \tag{۶}$$

$$p_v Y_{vi} \geq G_{vi} \quad \forall i \in FUD, \forall v \in V \tag{۷}$$

$$\sum_{\substack{j \in FUD \\ j \neq i}} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in D, \forall v \in V \tag{۸}$$

$$\sum_{v \in V} G_{vi} \leq (1 - K_i) c_i \quad \forall i \in F \tag{۹}$$

$$\sum_{i \in F} G_{vi} \leq p_v U_v \quad \forall v \in V \tag{۱۰}$$

$$\sum_{i\in D} G_{vi} = \sum_{i\in F} G_{vi} \qquad \forall v \in V \tag{۱۱}$$

$$\sum_{v\in V} U_v \le V \tag{۱۲}$$

$$R_{vi} = 0 \qquad \forall i \in L, \forall v \in V \tag{۱۳}$$

$$\left(R_{vi} + h_i + a_{ij}\right) - M\left(1 - X_{vij}\right) \le R_{vj} \quad \forall j \in F, \forall v \in V, i \in LUF, i \ne j \tag{۱۴}$$

$$\left(R_{vi} + h_i + a_{ij}\right) - M\left(1 - X_{vij}\right) \le R_{vj} \quad \forall j \in D, \forall v \in V, \forall i \in FUD, i \ne j \tag{۱۵}$$

$$X_{vij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall v \in V \tag{۱۶}$$

$$Y_{vi} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in FUD, \forall v \in V \tag{۱۷}$$

$$U_v \in \{0,1\} \qquad \forall v \in V \tag{۱۸}$$

$$G_{vi} \ge 0 \qquad \forall i \in FUD, \forall v \in V \tag{۱۹}$$

$$R_{vi} \ge 0 \qquad \forall i \in N, \forall v \in V \tag{۲۰}$$

تابع هدف اول (رابطه شماره ۱) مجموع زمان رسیدن وسایل نقلیه به مراکز توزیع و پناهگاه‌ها، تابع هدف دوم (رابطه شماره ۲) تعداد وسایل نقلیه مورداستفاده برای توزیع کالاهای امدادی و تابع هدف سوم (رابطه شماره ۳) حداکثر میزان کمبود در نقاط تقاضا به‌منظور رعایت عدالت اجتماعی را حداقل می‌کنند. محدودیت (۴) بیان می‌کند که هر وسیله نقلیه در صورت اعزام، از انبار به‌سوی یکی از مراکز توزیع حرکت می‌کند. محدودیت (۵) محدودیت تعادل جریان میان مراکز توزیع می‌باشد. محدودیت (۶) نشان می‌دهد زمانی که یک وسیله نقلیه به مرکز توزیعی تخصیص داده می‌شود، قبل از آن تنها می‌تواند در انبار وسایل نقلیه یا مرکز توزیع دیگری باشد. محدودیت (۷) روابط بین دو متغیر G_{vi} و Y_{vi} در هریک از مراکز توزیع و پناهگاه‌ها را نشان می‌دهد. محدودیت (۸) بیان می‌کند زمانی که یک وسیله نقلیه به پناهگاهی تخصیص داده می‌شود قبل از آن تنها می‌تواند در یک مرکز توزیع بوده باشد. محدودیت (۹) نشان‌دهنده حداکثر عرضه در هر یک از مراکز توزیع می‌باشد. محدودیت (۱۰) حداکثر ظرفیت هر وسیله نقلیه را بیان می‌کند. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند تعداد کالاهایی که هر وسیله نقلیه در مراکز توزیع مختلف بارگیری می‌کند برابر است با کالاهایی که در یک پناهگاه تخلیه می‌کند. محدودیت (۱۲) نشان‌دهنده حداکثر تعداد وسایل نقلیه در دسترس است. بدین‌صورت که مجموع وسایل نقلیه اعزامی باید از تعداد کل وسایل نقلیه موجود کمتر باشد. زمانی که هر وسیله نقلیه انبار خود را ترک می‌کند، محدودیت (۱۳) برای پارامتر زمان، مقدار اولیه صفر را تنظیم می‌نماید .محدودیت‌های (۱۴) و (۱۵) نشان‌دهنده زمان رسیدن هر وسیله نقلیه به هر مرکز توزیع و پناهگاه می‌باشد. محدودیت‌های (۱۶) تا (۱۸) نشان‌دهنده محدودیت‌های ضروری و منطقی روی متغیرهای تصمیم گسسته و محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) روی متغیرهای تصمیم پیوسته می‌باشند.

۴-۱. خطی سازی مدل پیشنهادی

به‌منظور رعایت عدالت اجتماعی در توزیع کالاهای امدادی در نقاط تقاضا، تابع هدف سوم برای حداقل کردن حداکثر کمبود در نظر گرفته‌شده است .ازآنجایی‌که تابع هدف سوم به دلیل ساختار حداقل کردن حداکثر غیرخطی می‌باشد با تعریف متغیر آزاد در علامت W، مدل را به‌صورت ذیل به حالت خطی تبدیل می‌کنیم.

$$Min\, z_1 = \sum_{v\in V} \sum_{i\in F\cup D} R_{vi} \tag{۲۱}$$

$$Min\, z_2 = \sum_{v\in V} U_v \tag{۲۲}$$

$$Min\, z_3 = W \tag{۲۳}$$

s.t.

$$W \ge e_i - \sum_{v\in v} G_{vi} \qquad \forall i \in D \tag{۲۴}$$

محدودیت‌های (۴) تا (۱۰)

۵. روش حل پیشنهادی

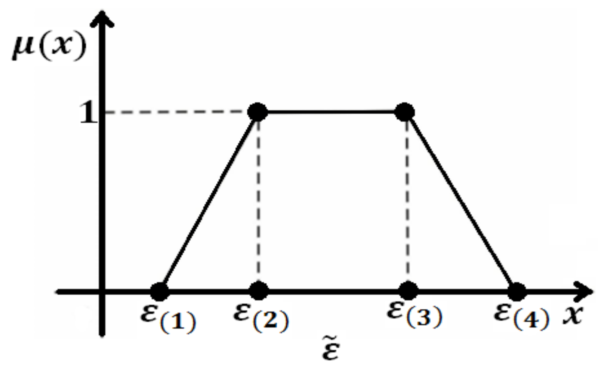
در این قسمت، رویکردهای مقابله با عدم قطعیت موجود در پارامترها و همچنین روش برخورد با تابع هدف چندگانه پیشنهادی بیان خواهند شد.

۵-۱. روش‌های برخورد با عدم قطعیت پارامترها

در این مقاله، به‌منظور برخورد با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل که شامل پارامترهای عرضه، تقاضا و مدت‌زمان حمل‌ونقل بین گره‌ها می‌باشد از دو روش امکانی مختلف شامل رویکرد امکانی مبتنی بر اندازه اعتبار و روش استوار امکانی بهره گرفته‌شده است. در این رویکرد هر پارامتر غیردقیق دارای یک توزیع امکان می‌باشد. توزیع امکان نشان‌دهنده میزان امکان وقوع مقادیر ممکن برای هر پارامتر دارای عدم قطعیت می‌باشد و تعیین آن به‌طورمعمول بر اساس دانش خبرگان و اطلاعات موجود در پارامتر موردنظر، صورت می‌پذیرد. اعداد فازی به شکل‌های مختلف خطی و غیرخطی نظیر اعداد فازی S شکل، Z شکل، حلقوی، زنگی شکل، گوسی و غیره می‌توانند باشند اما اغلب دودسته اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله از توزیع ذوزنقه‌ای استفاده‌شده است. شکل (۲) یک توزیع امکان ذوزنقه‌ای به شکل $\tilde{\varepsilon} = (\varepsilon_{(1)}, \varepsilon_{(2)}, \varepsilon_{(3)}, \varepsilon_{(4)})$ را نمایش می‌دهد. نقاط $\varepsilon_{(1)}$ و $\varepsilon_{(4)}$ به ترتیب نشان‌دهنده بدبینانه‌ترین و خوش‌بینانه‌ترین مقدار ممکن و نقاط $\varepsilon_{(2)}$ و $\varepsilon_{(3)}$ و فاصله بین آن‌ها نشان‌دهنده ممکن‌ترین مقادیر می‌باشند که به‌وسیله تصمیم گیران و خبرگان بر اساس داده‌های موجود و دانش شخصی تعیین می‌شوند.

روش‌های مختلف برنامه‌ریزی امکانی در ادبیات توسط محققان توسعه پیداکرده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های ارائه‌شده توسط لای و هوانگ [۲۵]، اینوگوچی و رامیک [۲۶] و جیمنز [۲۷] اشاره کرد. در این مقاله از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی

شانسی اعتبار محور استفاده‌شده است.



شکل (۲): توزیع امکان ذوزنقه‌ای پارامتر غیردقیق $\tilde{\varepsilon}$

۱-۱-۵. برنامه‌ریزی شانسی اعتبار محور

روش برنامه‌ریزی شانسی اعتبار محور یکی از روش‌های کارای برنامه‌ریزی امکانی است که دارای مزایای ذیل می‌باشد [۲۸].

- ✓ بر مفاهیم معتبر ریاضی‌مانند اندازه اعتبار یک عدد فازی، بناشده است.
- ✓ امکان پشتیبانی از اعداد فازی مختلف مانند اعداد مثلثی و ذوزنقه‌ای را دارا می‌باشد.
- ✓ تصمیم‌گیرنده را قادر به تنظیم سطح اطمینان ارضاء محدودیت‌ها می‌سازد.

بزرگ‌ترین مزیت این روش را می‌توان استفاده از اندازه اعتبار دانست. اندازه اعتبار برخلاف اندازه‌های امکان و ضرورت که فاقد خاصیت خود-دوگانی هستند، یک اندازه خود-دوگان می‌باشد [۲۹]. به‌عبارت‌دیگر وقتی اندازه اعتبار برابر یک است، تصمیم‌گیرنده باور دارد که به‌طور حتم رویداد فازی اتفاق خواهد افتاد و وقتی اندازه اعتبار برابر با صفر است این باور وجود دارد که رویداد فازی می‌بایست به‌طور حتم (ازنظر تئوریک) محقق نشود. اما وقتی اندازه امکان رویداد فازی برابر با یک شود همچنان این امکان وجود دارد که رویداد اتفاق نیفتد، همچنین هنگامی‌که اندازه ضرورت یک رویداد فازی برابر با صفر باشد از بعد تئوریک تضمینی وجود ندارد که رویداد موردنظر اتفاق نیفتد.

فرض کنید $\tilde{\varepsilon}$ یک متغیر فازی با تابع عضویت $\mu(x)$ و r را یک عدد حقیقی باشد. بر اساس [۲۸] اندازه اعتبار به‌صورت زیر

$$Cr\{\tilde{\varepsilon} \le r\} = \frac{1}{2}\left(\sup_{x\le r}\mu(x) + 1 - \sup_{x>r}\mu(x)\right) \qquad (۲۵)$$

و اندازه ضرورت به‌صورت $Pos\{\tilde{\varepsilon} \le r\} = sup_{x\le r}\,\mu(x)$ تعریف می‌شوند. با توجه به اینکه اندازه امکان برابر با $Nec\{\tilde{\varepsilon} \le r\} = 1 - sup_{x>r}\,\mu(x)$ می‌باشد، اندازه اعتبار به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Cr\{\tilde{\varepsilon} \le r\} = \frac{1}{2}\left(Pos\{\tilde{\varepsilon} \le r\} + Nec\{\tilde{\varepsilon} \le r\}\right) \qquad (۲۶)$$

عبارت (۲۶) نشان‌دهنده آن است که اندازه اعتبار درواقع میانگین اندازه‌های امکان و ضرورت می‌باشد همچنین با توجه به تعاریف ارائه‌شده، عبارت (۲۷) امید ریاضی متغیر $\tilde{\varepsilon}$ را بیان می‌کند.

$$E[\tilde{\varepsilon}] = \int_0^{\infty} Cr\{\tilde{\varepsilon} \ge r\}dr - \int_{-\infty}^{0} Cr\{\tilde{\varepsilon} \le r\}dr \qquad (۲۷)$$

حال فرض کنید $\tilde{\varepsilon}$ یک عدد فازی ذوزنقه‌ای به‌صورت $\tilde{\varepsilon} = (\varepsilon_{(1)}, \varepsilon_{(2)}, \varepsilon_{(3)}, \varepsilon_{(4)})$ باشد، آنگاه با توجه به عبارات (۲۵) و (۲۷) امید ریاضی این عدد فازی برابر با $\frac{(\varepsilon_{(1)}+\varepsilon_{(2)}+\varepsilon_{(3)}+\varepsilon_{(4)})}{4}$ و اندازه اعتبار آن به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Cr\{\tilde{\varepsilon} \le r\} = \begin{bmatrix} 0 & r \in (-\infty, \varepsilon_{(1)}) \\ \dfrac{r - \varepsilon_{(1)}}{2(\varepsilon_{(2)} - \varepsilon_{(1)})} & r \in (\varepsilon_{(1)}, \varepsilon_{(2)}) \\ \dfrac{1}{2} & r \in (\varepsilon_{(2)}, \varepsilon_{(3)}) \\ \dfrac{r - 2\varepsilon_{(3)} + \varepsilon_{(4)}}{2(\varepsilon_{(4)} - \varepsilon_{(3)})} & r \in (\varepsilon_{(3)}, \varepsilon_{(4)}) \\ 1 & r \in (\varepsilon_{(4)}, +\infty) \end{bmatrix} \qquad (۲۸)$$

$$Cr\{\tilde{\varepsilon} \ge r\} = \begin{bmatrix} 1 & r \in (-\infty, \varepsilon_{(1)}) \\ \dfrac{2\varepsilon_{(2)} - \varepsilon_{(1)} - r}{2(\varepsilon_{(2)} - \varepsilon_{(1)})} & r \in (\varepsilon_{(1)}, \varepsilon_{(2)}) \\ \dfrac{1}{2} & r \in (\varepsilon_{(2)}, \varepsilon_{(3)}) \\ \dfrac{\varepsilon_{(4)} - r}{2(\varepsilon_{(4)} - \varepsilon_{(3)})} & r \in (\varepsilon_{(3)}, \varepsilon_{(4)}) \\ 0 & r \in (\varepsilon_{(4)}, +\infty) \end{bmatrix} \qquad (۲۹)$$

بر اساس عبارات (۲۸) و (۲۹) برای هر $\alpha \ge 0.5$ عبارات ذیل قابل‌اثبات خواهد بود.

$$Cr\{\tilde{\varepsilon} \le r\} \ge \alpha \leftrightarrow r \ge (2-2\alpha)\varepsilon_{(3)} + (2\alpha-1)\varepsilon_{(4)} \qquad (۳۰)$$

$$Cr\{\tilde{\varepsilon} \ge r\} \ge \alpha \leftrightarrow r \le (2\alpha-1)\varepsilon_{(1)} + (2-2\alpha)\varepsilon_{(2)} \qquad (۳۱)$$

معمولاً برای تعیین مقدار سطح اطمینان محدودیت‌ها (α)، تصمیم‌گیرنده چند مقدار اولیه را به‌صورت قضاوتی تعیین کرده و در یک آزمایش تعاملی از بین آن‌ها مقداری را که بیش از همه تصمیم‌گیرنده را ارضاء می‌کند، به‌عنوان مقدار نهایی انتخاب می‌شود. عبارات (۳۰) و (۳۱) به‌طور مستقیم می‌توانند برای تبدیل محدودیت‌های شانس فازی به معادل قطعی‌شان مورداستفاده قرار گیرند.

به‌طورکلی سه نوع روش برنامه‌ریزی امکانی اعتبار محور شامل (۱) روش امید ریاضی [۲۸]، (۲) روش برنامه‌ریزی شانسی [۳۰] و (۳) روش برنامه‌ریزی شانسی وابسته [۳۱] وجود دارند. هرچند که مدل مبتنی بر امید ریاضی ساده‌ترین روش می‌باشد، اما این روش فاقد قدرت کنترل سطح اطمینان ارضاء محدودیت‌های شانسی می‌باشد. مدل برنامه‌ریزی شانسی، امکان کنترل سطح اطمینان ارضای محدودیت‌های شانسی را برای تصمیم‌گیرنده فراهم می‌سازد. لیکن این مدل به دلیل اضافه کردن یک محدودیت به ازای هر تابع هدف (و همچنین محدودیت‌ها) نیازمند اطلاعات اضافی یا قضاوت‌های

ذهنی خبرگان می‌باشد. مدل برنامه‌ریزی شانسی وابسته، به مدل برنامه‌ریزی شانسی شباهت زیادی دارد و بدین دلیل که اهمیت بیشتری برای بیشینه کردن سطوح اطمینان قائل است، بیشتر مناسب تصمیم‌گیرندگان محافظه‌کار می‌باشد. تفاوت عمده این مدل با مدل برنامه‌ریزی شانسی در تابع هدف آن است که به‌جای بیشینه یا کمینه کردن مقدار تابع هدف، به بیشینه کردن سطح اطمینان ارضاء هدف در نظر گرفته‌شده می‌پردازد. همچنین این مدل هم برای تعیین مقدار تابع هدف، نیازمند اطلاعاتی درباره مقدار ایدئال توابع هدف می‌باشد. در این مقاله یک رویکرد ترکیبی برنامه‌ریزی امکانی اعتبار محور، که از امید ریاضی برای مدل کردن تابع هدف و از رویکرد برنامه‌ریزی شانسی برای مدل کردن محدودیت‌ها استفاده می‌کند، در حل مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین بشردوستانه موردبررسی، توسعه داده‌شده است [۳۲].

۲-۱-۵. مدل برنامه‌ریزی امکانی اعتبار محور پیشنهادی و معادل قطعی آن

با در نظر گرفتن پارامترهای تقاضا، عرضه و مدت‌زمان حمل‌ونقل بین گره‌ها، به‌عنوان پارامترهای فازی، مدل ترکیبی برنامه‌ریزی امکانی اعتبار محور پیشنهادی به‌صورت ذیل قابل‌ارائه می‌باشد:

$$Min\, z_1 = \sum_{v\in V} \sum_{i\in F\cup D} R_{vi} \qquad (۳۲)$$

$$Min\, z_2 = \sum_{v\in V} U_v \qquad (۳۳)$$

$$Min\, z_3 = W \qquad (۳۴)$$

s.t.

$$Cr\left\{\left(\tilde{e}_i - \sum_{v\in V} G_{vi}\right) \le W\right\} \ge \beta_i \quad \forall i \in D \qquad (۳۵)$$

$$\sum_{j\in F}\sum_{i\in l} X_{vij} = U_v \quad \forall v \in V \qquad (۳۶)$$

$$\sum_{\substack{i\in LUF\\ i\neq j}} X_{vij} = \sum_{\substack{i\in FUD\\ i\neq j}} X_{vji} \quad \forall j \in F, \forall v \in V \qquad (۳۷)$$

$$\sum_{\substack{j\in FUL\\ j\neq i}} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in F, \forall v \in V \qquad (۳۸)$$

$$p_v Y_{vi} \ge G_{vi} \quad \forall i \in FUD, \forall v \in V \qquad (۳۹)$$

$$\sum_{\substack{j\in FUD\\ j\neq i}} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in D, \forall v \in V \qquad (۴۰)$$

$$Cr\left\{\sum_{v\in V} G_{vi} \le (1 - K_i)\tilde{c}\right\} \ge \theta_i \quad \forall i \in F \qquad (۴۱)$$

$$\sum_{i\in F} G_{vi} \le p_v U_v \quad \forall v \in V \qquad (۴۲)$$

$$\sum_{i\in D} G_{vi} = \sum_{i\in F} G_{vi} \quad \forall v \in V \qquad (۴۳)$$

$$\sum_{v\in V} U_v \le V \qquad (۴۴)$$

$$R_{vi} = 0 \quad \forall i \in L, \forall v \in V \qquad (۴۵)$$

$$Cr\left\{\left(R_{vi} + h_i + \tilde{a}_{ij}\right) - M_{big}\left(1 - X_{vij}\right) \le R_{vj}\right\} \ge \alpha_{ij}$$
$$\forall j \in F, \forall v \in V, i \in LUF, i \neq j \qquad (۴۶)$$

$$Cr\left\{\left(R_{vi} + h_i + \tilde{a}_{ij}\right) - M_{big}\left(1 - X_{vij}\right) \le R_{vj}\right\} \ge \sigma_{ij}$$
$$\forall j \in D, \forall v \in V, \forall i \in FUD, i \neq j \qquad (۴۷)$$

$$X_{vij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall v \in V \qquad (۴۸)$$

$$Y_{vi} \in \{0,1\} \quad \forall i \in FUD, \forall v \in V \qquad (۴۹)$$

$$U_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in V \qquad (۵۰)$$

$$G_{vi} \ge 0 \quad \forall i \in FUD, \forall v \in V \qquad (۵۱)$$

$$R_{vi} \ge 0 \quad \forall i \in N, \forall v \in V \qquad (۵۲)$$

با فرض اینکه پارامترهای عدم قطعیت به شکل متغیر ذوزنقه‌ای بوده و مقادیر سطح اطمینان ارضاء محدودیت‌های شانسی بزرگ‌تر از ۰/۵ باشند، مدل برنامه‌ریزی شانسی اعتبار محور فوق تبدیل به مدل برنامه‌ریزی خطی سه هدفه ی عدد صحیح مختلط قطعی زیر می‌شود.

$$Min\, z_1 = \sum_{v\in V} \sum_{i\in F\cup D} R_{vi} \qquad (۵۳)$$

$$Min\, z_2 = \sum_{v\in V} U_v \qquad (۵۴)$$

$$Min\, z_3 = W \qquad (۵۵)$$

s.t.

$$W \ge \left[\left(2 - 2\beta_i\right) e_{i(3)} + \left(2\beta_i - 1\right) e_{i(4)}\right] - \sum_{v\in V} G_{vi}$$
$$\forall i \in D \qquad (۵۶)$$

$$\sum_{j\in F}\sum_{i\in l} X_{vij} = U_v \qquad (۵۷)$$

$$\sum_{\substack{i\in LUF\\ i\neq j}} X_{vij} = \sum_{\substack{i\in FUD\\ i\neq j}} X_{vji} \quad \forall j \in F, \forall v \in V \qquad (۵۸)$$

$$\sum_{\substack{j\in FUL\\ j\neq i}} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in F, \forall v \in V \qquad (۵۹)$$

$$p_v Y_{vi} \ge G_{vi} \quad \forall i \in FUD, \forall v \in V \qquad (۶۰)$$

$$\sum_{\substack{j\in FUD\\ j\neq i}} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in D, \forall v \in V \qquad (۶۱)$$

$$\sum_{v\in V} G_{vi} \le (1 - K_i)\left[\left(2\theta_i - 1\right) c_{i(1)} + \left(2 - 2\theta_i\right) c_{i(2)}\right]$$
$$\forall i \in F \qquad (۶۲)$$

$$\sum_{i\in F} G_{vi} \le p_v U_v \quad \forall v \in V \qquad (۶۳)$$

$$\sum_{i\in D} G_{vi} = \sum_{i\in F} G_{vi} \quad \forall v \in V \qquad (۶۴)$$

$$\sum_{v\in V} U_v \le V \qquad (۶۵)$$

$$R_{vi} = 0 \quad \forall i \in L, \forall v \in V \qquad (۶۶)$$

$$R_{vj\geq}\left(R_{vi}+h_i+\left[\left(2-2\alpha_{ij}\right)a_{ij(3)}+\left(2\alpha_{ij}-1\right)a_{ij(4)}\right]\right) \tag{۶۷}$$
$$-M\left(1-X_{vij}\right) \quad \forall j\in F,\forall v\in V, i\in LUF, i\neq j$$

$$R_{vj\geq}\left(R_{vi}+h_i+\left[\left(2-2\sigma_{ij}\right)a_{ij(3)}+\left(2\sigma_{ij}-1\right)a_{ij(4)}\right]\right)_{ij} \tag{۶۸}$$
$$-M\left(1-X_{vij}\right) \ \forall j\in D,\forall v\in V,\forall i\in FUD, i\neq j$$

$$X_{vij}\in\{0,1\} \quad \forall i\in N,\forall j\in N,\forall v\in V \tag{۶۹}$$

$$Y_{vi}\in\{0,1\} \quad \forall i\in FUD,\forall v\in V \tag{۷۰}$$

$$U_v\in\{0,1\} \quad \forall v\in V \tag{۷۱}$$

$$G_{vi}\geq 0 \quad \forall i\in FUD,\forall v\in V \tag{۷۲}$$

$$R_{vi}\geq 0 \quad \forall i\in N,\forall v\in V \tag{۷۳}$$

۳-۱-۵. رویکرد برنامه‌ریزی استوار

رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار یک رویکرد ریسک گریز برای برخورد با مسائل بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت است. در این رویکرد تلاش می‌شود علاوه بر بهبود عملکرد سیستم مورد بهینه‌سازی، نوسان پیش‌بینی‌شده برای سیستم نیز حداقل شود. یک جواب برای یک مسئله بهینه‌سازی، یک جواب استواراست اگر دارای استواری شدنی بودن و استواری بهینگی باشد. استواری شدنی بودن به این معناست که جواب می‌بایست برای تمامی (اکثریت‌قریب‌به‌اتفاق) حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت، شدنی باقی بماند. استواری بهینگی نیز بدین معناست که مقدار تابع هدف به ازای جواب استوار می‌بایست برای تمامی (اکثریت‌قریب‌به‌اتفاق) حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت، نزدیک به مقدار بهینه خود بوده و یا به‌عبارت‌دیگر حداقل انحراف را از مقدار بهینه خود داشته باشد.

پیشوایی و همکاران [۲۴] شش رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار متفاوت بر مبنای سطح محافظه‌کاری تصمیم‌گیرنده، شامل مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار[۱]، مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار[۲]، مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار[۳]، مدل اصلاح‌شده برنامه‌ریزی امکانی استوار[۴]، مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار بدبینانه سخت[۵] و مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار بدبینانه نرم[۶] را ارائه کردند [۲۴]. مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار بدبینانه سخت بالاترین سطح محافظه‌کاری را ایجاد می‌کند درحالی‌که در مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار بدبینانه نرم، درجه‌ای برای نقض محدودیت‌ها تعیین می‌شود. چهار مدل دیگر نیز رویکرد واقع‌گرایانه دارند. به‌منظور تبیین مدل استوار امکانی، مدل فشرده زیر در نظر گرفته‌شده است.

$$\begin{aligned}
&Min\, z = fy + cx\\
&S.t\\
&Ax \geq d\\
&Bx = 0\\
&Sx \leq Ny\\
&Tx \leq 1\\
&y\in\{0,1\} \qquad x\geq 0
\end{aligned} \tag{۷۴}$$

که در آن f , c و d بیانگر پارامترهای مسئله و ماتریس‌های A، B، N، S و T نشان‌دهنده ضرایب محدودیت‌ها می‌باشند. همچنین تمام متغیرهای صفر و یک و پیوسته به ترتیب در y و x خلاصه‌شده‌اند. حال با توجه به عدم قطعیت پارامترهای مسئله فرض می‌کنیم f، c و d و همچنین ماتریس ضرایب N دارای توزیع ذوزنقه‌ای فازی باشند. آنگاه با توجه به روش بیان‌شده در بخش‌های قبل، معادل قطعی مدل به شرح زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned}
&Min\, z = fy + cx\\
&S.t\\
&Ax \geq d\\
&Bx = 0\\
&Sx \leq Ny\\
&Tx \leq 1\\
&y\in\{0,1\} \qquad x\geq 0
\end{aligned} \tag{۷۵}$$

$$\begin{aligned}
&Min\, E[Z] = \left(\frac{f_{(1)}+f_{(2)}+f_{(3)}+f_{(4)}}{4}\right)y\\
&\qquad + \left(\frac{c_{(1)}+c_{(2)}+c_{(3)}+c_{(4)}}{4}\right)x\\
&s.t.\\
&Ax \geq \left(2-2\alpha\right)d_{(3)} + \left(2\alpha-1\right)d_{(4)}\\
&Bx = 0\\
&Sx \leq \left[\left(2\beta-1\right)N_{(1)} + \left(2-2\beta\right)N_2\right]y\\
&Tx \leq 1\\
&y\in\{0,1\} \qquad x\geq 0
\end{aligned}$$

مدل (۷۵) را مدل پایه برنامه‌ریزی امکانی اعتبار محور[۷] نام-گذاری می‌کنیم. در این رویکرد، تصمیم‌گیرنده باید حداقل سطح اطمینان محدودیت‌های شانس را تعیین کند. روش کار به این صورت می‌باشد که تصمیم‌گیرنده برای هر سطح اطمینان، چند مقدار اولیه تعیین می‌کند و در الگوریتم تعاملی، مقداری که بیشتر تصمیم‌گیرنده را راضی می‌کند، به‌عنوان مقدار نهایی انتخاب می‌شود. بر اساس مطالبی که پیش‌تر بیان شد، در این تحقیق از رویکرد واقع‌گرایانه استفاده خواهیم‌کرد. برای انتخاب روش برنامه‌ریزی استوار امکانی

1. Robust Possibilistic Programming (RPP-I)
2. RPP-II
3. RPP-III
4. Modified Robust Possibilistic Programming (MRPP)
5. Hard Worst Rob ust Possibilistic Programming (HWRPP)
6. Soft Worst Robust Possibilistic Programming (SWRPP)
7. Basic Credibility Possibilistic Programming (BCPP)

واقع‌گرایانه مناسب، نوع انحراف تابع هدف از مقدار بهینه مورد انتظار می‌بایست بر اساس میزان حساسیت تصمیم‌گیرنده مشخص شود. زمانی که تصمیم‌گیرنده به انحراف از هر دو سمت بالا و پایین از مقدار مورد انتظار تابع هدف حساس است از مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار نوع اول استفاده می‌شود. اما در بسیاری از اوقات تصمیم‌گیرنده نسبت به انحراف از هر دو سمت بالا و پایین مقدار تابع هدف حساس نمی‌باشد، در چنین مواقعی مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار نوع دوم پیشنهاد می‌شود. مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار نوع سوم نیز حالت تعدیل‌شده‌ای از نوع دوم می‌باشند. حال مدل استوار امکانی نوع دوم به‌صورت زیر شرح داده می‌شود:

$$\begin{aligned}
&Min\, E(z)+\gamma\left(z_{\max}-E(z)\right)+\\
&\delta\left[d_{(4)}-(2-2\alpha)d_{(3)}+(2\alpha-1)d_{(4)}\right]\\
&s.t.\\
&Ax\geq(2-2\alpha)d_{(3)}+(2\alpha-1)d_{(4)}\\
&Bx=0\\
&Sx\leq Ny\\
&Tx\leq 1\\
&y\in\{0,1\}\qquad x\geq 0\qquad 0.5\leq\alpha\leq 1
\end{aligned} \tag{۷۶}$$

در ابتدا فرض می‌کنیم تنها c ،f و d دارای عدم قطعیت هستند و عدم قطعیت N را در نظر نمی‌گیریم. عبارت اول تابع هدف، به امید ریاضی Z اختصاص‌یافته است که هدف آن حداقل کردن متوسط عملکرد سیستم موردمطالعه می‌باشد. عبارت دوم تابع هدف، یعنی $\gamma(z(z)_{max}())$ تضمین می‌کند که تابع هدف نسبت به انحراف به سمت بالا از عملکرد متوسط حساس است و انحراف به سمت پایین را محدود نمی‌سازد که Z_{max} در عبارت زیر تعریف‌شده است:

$$z_{\max}=f_{(4)}y+c_{(4)}x \tag{۷۷}$$

γ نیز نشان‌دهنده‌ی وزن (اهمیت نسبی) عبارات دوم نسبت به سایر عبارات تابع هدف می‌باشد. درواقع این عبارت استواری بهینگی بردار جواب را کنترل می‌کند. عبارت سوم یعنی:

$$\delta\left[d_{(4)}-(2-2\alpha)d_{(3)}+(2\alpha-1)d_{(4)}\right]$$

تعیین‌کننده سطوح اطمینان محدودیت‌ها می‌باشد. در این عبارت δ نشان‌دهنده جریمه یک واحد تجاوز از بدترین مقدار سمت راست محدودیت‌های شانسی و

$$\left[d_{(4)}-(2-2\alpha)d_{(3)}+(2\alpha-1)d_{(4)}\right]$$

بیانگر فاصله بین بدترین مقدار و مقدار در نظر گرفته‌شده برای مقدار سمت راست محدودیت‌های شانسی می‌باشند. درواقع این عبارت استواری شدنی بودن بردار جواب را کنترل می‌کند.. بر اساس توضیحات بالا، مدل استوار امکانی جواب بهینه را با ایجاد یک توازن منطقی بین سه عبارت تابع هدف یا به‌عبارت‌دیگر ۱- عملکرد متوسط ۲- استواری بهینگی ۳- استواری شدنی بودن تعیین می‌کند. [۲۴].

در ادامه، حالتی بررسی می‌شود که ضرایب محدودیت‌ها دارای عدم قطعیت می‌باشند و تابع هدف و محدودیت‌ها به شکل زیر تغییر پیدا می‌کنند:

$$\begin{aligned}
&Min\, E(z)+\gamma\left(z_{\max}-E(z)\right)+\\
&\delta\left[d_{(4)}-(2-2\alpha)d_{(3)}+(2\alpha-1)d_{(4)}\right]\\
&+\pi\left[(2\beta-1)N_{(1)}+(2-2\beta)N_{(2)}-N_{(1)}\right]y\\
&S.t\\
&Ax\geq(2-2\alpha)d_{(3)}+(2\alpha-1)d_{(4)}\\
&Bx=0\\
&Sx\leq\left[(2\beta-1)N_{(1)}+(2-2\beta)N_{(2)}\right]y\\
&Tx\leq 1\\
&y\in\{0,1\}\qquad x\geq 0\qquad 0.5\leq\alpha,\beta\leq 1
\end{aligned} \tag{۷۸}$$

همان‌طور که دیده می‌شود، مدل‌بالا به یک مدل غیرخطی تبدیل می‌شود ولی می‌توان با تعریف یک متغیر جدید و افزودن چند محدودیت، مدل را به‌آسانی به یک مدل خطی تبدیل نمود. فرض کنید y نشان‌دهنده یک متغیر صفر و یک و β نشان‌دهنده سطح اطمینان محدودیت مرتبط است. واضح است که ضرب متغیر صفر و یک‌دریک متغیر پیوسته خطی بودن مدل را از بین خواهد برد. حال فرض کنید متغیر ν به‌عنوان متغیر کمکی به‌صورت زیر تعریف شود:

$$\nu=\beta.y \tag{۷۹}$$

آنگاه با جایگزین کردن ν به‌جای عبارت ضربی$\beta.y$ در تابع هدف و محدودیت‌ها و همچنین اضافه کردن محدودیت‌های ذیل به مدل، مدل به معادل خطی تبدیل خواهد شد.

$$\begin{aligned}
&\nu\leq My\\
&\nu\geq M(y-1)+\beta\\
&\nu\leq\beta
\end{aligned} \tag{۸۰}$$

در مدل‌بالا، M عدد بزرگی می‌باشد و روابط بالا نشان می‌دهند درصورتی‌که $y=1$ باشد، $\nu=\beta$ خواهد بود و زمانی که $y=0$ آنگاه $\nu=0$ خواهد بود.

۲-۵. روش برخورد با تابع چندهدفه

در ادامه با استفاده از رویکرد فازی تعاملی ارائه‌شده توسط ترابی و حسینی در سال ۲۰۰۸ ، مدل چندهدفه به تک هدفه تبدیل می‌شود. می‌توان راه‌حل TH را به‌صورت زیر خلاصه کرد [۳۳]:

برای محاسبه جواب ایده آل مثبت [۲۴] برای هر یک از توابع هدف، هر تابع هدف را به‌تنهایی بهینه کرده و جواب حاصل، جواب ایده‌آل مثبت برای همان تابع هدف می‌باشد. جواب ایده‌آل منفی[۱] با کمک جواب‌های ایده آل مثبت به‌صورت زیر تخمین زده می‌شود.

$$Z_0^{NIS}=\max_{k=1,2,\dots,k}\left\{Z_0\left(v_k^*\right)\right\}\qquad\forall 0 \tag{۸۱}$$

که $Z_O(\nu_k^*)$ مقدار O امین تابع هدف و ν_O^* بردار تصمیم مربوط به

1. Negative Ideal solution (NIS)

جواب ایده آل O امین تابع هدف می‌باشد. تابع عضویت خطی برای هر تابع هدف به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_0(x)=\begin{cases}1 & if\ Z_0 \prec Z_0^{PIS}\\ \dfrac{Z_0^{NIS}-Z_0}{Z_0^{NIS}-Z_0^{PIS}} & if\ Z_0^{PIS}\le Z_0\le Z_0^{NIS}\\ 0 & if\ Z_0\ge Z_0^{NIS}\end{cases} \quad (۸۲)$$

$\mu_O(x)$ نشان‌دهنده درجه رضایت از توابع هدف است. در ادامه توابع هدف ادغام‌شده و جواب‌های کارا برای مدل محاسبه‌شده است.

تابع ادغام سازی توابع هدف با استفاده از روش TH به‌صورت زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned}&\text{Max}\,\lambda(x)=\gamma\lambda_0+(1-\gamma)\sum_h\theta_h\mu_h(x)\\&s.t.\\&\lambda_0\le\mu_h(x)\qquad h=1,2\\&x\in F(x)\\&\lambda_0\ and\ \gamma\in[0,1]\end{aligned} \quad (۸۳)$$

$F(x)$ نشان‌دهنده ناحیه شدنی تشکیل‌شده بر اساس محدودیت‌های مدل قطعی کمکی است. θ_h درجه اهمیت h امین تابع هدف را بیان می‌کند که توسط تصمیم‌گیرنده به نحوی تعیین می‌شود که $\sum_h\theta_h=1$ و $\theta_h\ge 0$ باشد. γ و λ_0 به ترتیب نشان‌دهنده ضریب تصحیح و حداقل درجه رضایت از تابع هدف است که به‌صورت $\lambda_0=\text{Min}_h\{\mu_h(x)\}$ تعیین می‌شوند.

۶. توصیف مطالعه موردی و نتایج آن

در این بخش به‌منظور اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، مثال عددی در دنیای واقعی با نرم‌افزار گمز بر روی رایانه‌ای با پردازشگر اینتل کور آی فایو[1] و حافظه‌ی ۸ گیگابایت حل‌شده است. بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی، گسل شمال تهران در مناطق جمعیتی تهران و کرج و گسل شمال تبریز با جمعیت دومیلیون‌نفری جزو خطرناک‌ترین گسل‌های ایران با توان زلزله‌های بالا در کشور محسوب می‌شوند.

طبق سرشماری سال ۱۳۹۵، شهر تبریز با مساحت ۲۵۰۵۹۰ کیلومترمربع و بالغبر ۱۵۵۸۶۹۳ نفر جمعیت، به ده منطقه تقسیم می‌شود [۳۴]. ازآنجایی‌که منطقه پنج تبریز جزو پرخطرترین مناطق ازلحاظ لرزه‌خیزی می‌باشد موردمطالعه قرارگرفته است. در جداول (۱-پ) (پ-۴) اطلاعات موردنیاز برای حل مدل ارائه‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده از حل مسئله با نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS 25.0.3 و سالور CPLEX در شرایط قطعیت در جدول (۲) ذکرشده است. پس از حل مسئله با متد TH، مقادیر ۴۲۷ دقیقه برای تابع هدف اول، ۴ وسیله نقلیه برای تابع هدف دوم و ۲۳۵ تقاضای برآورده نشده برای تابع هدف سوم، در شرایط قطعیت به‌دست‌آمده است.

جدول (۲): نتایج حاصل از حل مدل در شرایط قطعی

وسایل نقلیه	مسیر هر وسیله	تعداد کالاهای منتقل‌شده	زمان رسیدن هر وسیله نقلیه (دقیقه)
۱	هلال‌احمر- مدرسه آناتا- دانشگاه رشدیه - دانشگاه آزاد	۰-۱۰۶۵-۹۲-۱۱۵۷	۰-۸۲-۳۹-۴۰
۲	هلال‌احمر- دبیرستان حضرت معصومه - سالن بارنج	۰-۷۳۹-۷۳۹	۰-۴۳-۳۸
۴	هلال‌احمر- دانشگاه رشدیه –سالن مرزداران	۰-۶۸۹-۶۸۹	۰-۳۹-۴۰
۵	هلال‌احمر- دانشگاه رشدیه -دبیرستان حضرت معصومه - سالن باغمیشه	۰-۳۲۷-۳۱۳-۶۴۰	۰-۳۹—۳۷-۳۰

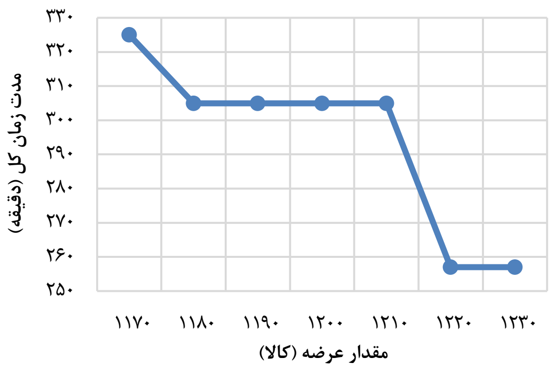
۶-۱. بررسی تأثیر میزان عرضه بر زمان عملیات امدادی

ازآنجایی‌که کاهش زمان عملیات امدادی در فاز پاسخ فاجعه، تأثیر زیادی در کاهش آسیب‌ها و کشته‌شدگان دارد در این بخش تأثیر افزایش میزان عرضه کالاهای امدادی بر مدت‌زمان کل عملیات امدادی در شرایط قطعیت بررسی می‌شود.

طبق نمودار (۱) مشاهده می‌شود افزایش عرضه از ۱۱۷۰ به ۱۱۸۰ واحد کالا، زمان پاسخ را به مدت ۲۰ دقیقه کاهش می‌دهد درحالی‌که افزایش این مقدار به ۱۲۲۰ واحد کالا، زمان کل رسیدن وسایل نقلیه امدادی به مراکز توزیع و پناهگاه‌ها را به مدت ۶۸ دقیقه کاهش می‌دهد.

۶-۲. بررسی تأثیر سطح اطمینان محدودیت‌ها بر توابع هدف

یکی از پارامترهای مهم در مطالعه کارایی برنامه‌ریزی امکانی، بررسی تأثیر پارامتر مقدار سطح اطمینان محدودیت‌ها (α) می‌باشد. جدول (۳) و نمودارهای (۲) تا (۴) تأثیر تغییرات سطح اطمینان مربوط به محدودیت میزان عرضه‌ی مراکز توزیع بر توابع هدف را نشان می‌دهد.

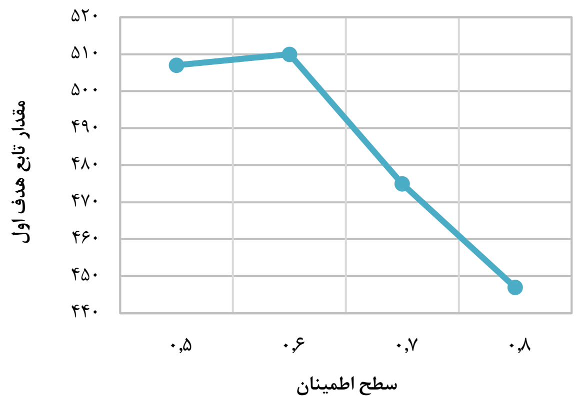


نمودار(۱): عملکرد متقابل مدت‌زمان کل و مقدار عرضه مراکز توزیع

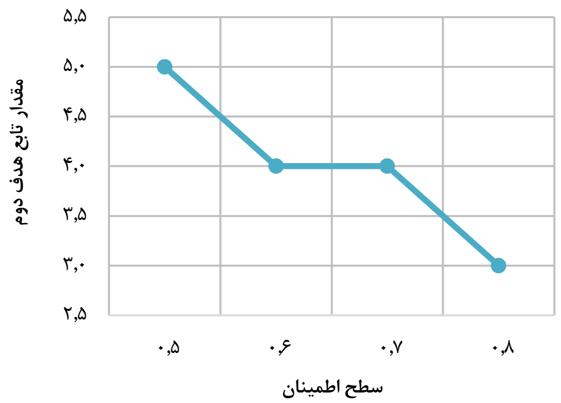
1. Intel Core i-5

جدول(۳): عملکرد متقابل سطح اطمینان محدودیت و توابع هدف

سطح اطمینان محدودیت (α)	Z_1	Z_2	Z_3
۰/۵	۵۰۷	۵	۱۱۵
۰/۶	۵۱۰	۴	۱۵۰
۰/۷	۴۷۵	۴	۵۱۶
۰/۸	۴۴۷	۳	۷۵۰

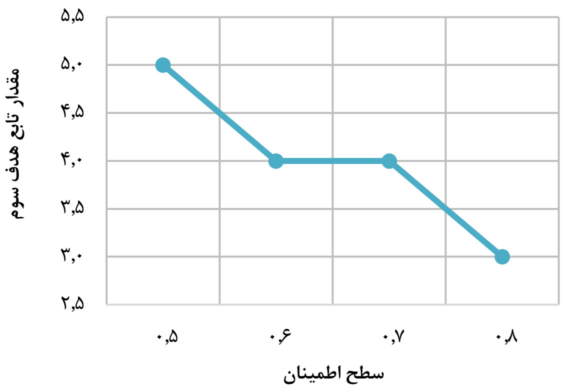


نمودار(۲): عملکرد متقابل سطح اطمینان محدودیت و تابع هدف اول



نمودار(۳): عملکرد متقابل سطح اطمینان محدودیت و تابع هدف دوم

واضح است که مدت‌زمان کل رسیدن وسایل نقلیه به گره‌ها و تعداد وسایل نقلیه امدادی، با افزایش سطح اطمینان کاهش‌یافته‌اند درحالی‌که مقدار تقاضای برآورده نشده با افزایش سطح اطمینان افزایش‌یافته است. همان‌گونه که پیداست از هر سه تابع هدف مسئله، تابع هدف سوم یعنی مقدار تقاضای برآورده نشده تغییرات بیشتری در مقابل افزایش سطح اطمینان نشان داده است. به‌طوری‌که با افزایش سطح اطمینان از ۰/۶ به ۰/۷، این مقدار به‌اندازه ۳۶۶ واحد کالا افزایش داشته است.

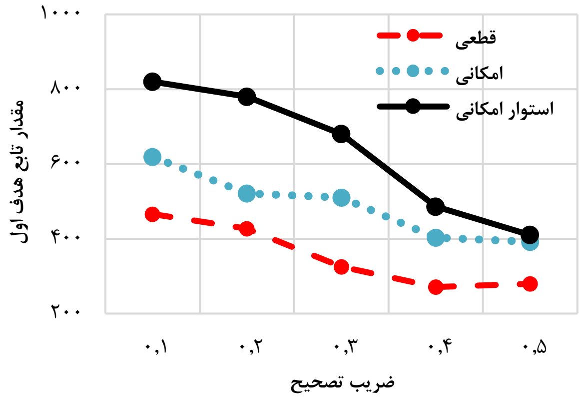


نمودار(۴): عملکرد متقابل سطح اطمینان محدودیت و تابع هدف سوم

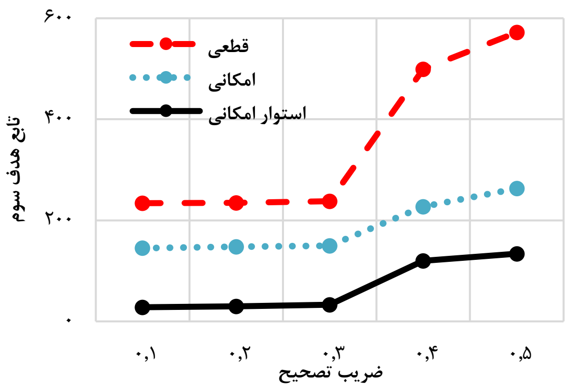
۳-۶. مقایسه نتایج مدل‌های قطعی، امکانی و استوار

در این بخش با تغییر ضریب تصحیح در مدل و محاسبه مقادیر هر یک از توابع هدف، کارایی مدل‌های قطعی، امکانی و استوار امکانی مقایسه می‌شود.

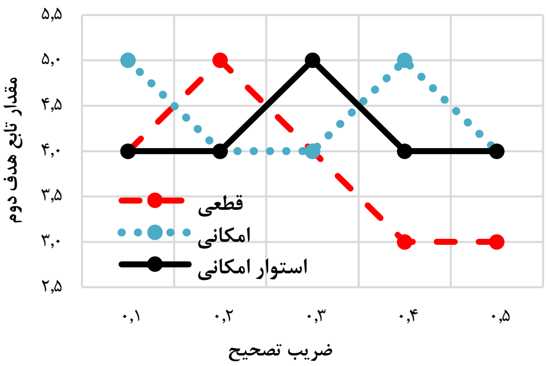
طبق جدول (۴) و نمودارهای (۵) تا (۷)، با افزایش ضریب تصحیح مجموع زمان رسیدن وسایل نقلیه امدادی به گره‌ها کاهش می‌یابد که به ترتیب روش قطعی، امکانی و استوار امکانی کمترین مقدار را دارا هستند. ملاحظه می‌شود که تابع هدف دوم میان ۳، ۴ و ۵ وسیله نقلیه در نوسان بوده و از روند خاصی پیروی نمی‌کند و نوعی تعادل میان تابع هدف اول و سوم ایجاد می‌کند. هم‌چنین تابع هدف سوم یعنی حداکثر تقاضای برآورده نشده با افزایش ضریب تصحیح افزایش می‌یابد که در بازه ۰/۱ تا ۰/۳ این افزایش به‌صورت جزئی بوده و نمودار به خطی بودن میل می‌کند اما در بازه ۰/۳ تا ۰/۵ این افزایش به‌صورت چشمگیری قابل‌رؤیت است. ملاحظه می‌شود که در حداقل کردن حداکثر تقاضای برآورده نشده به ترتیب مدل استوار امکانی، امکانی و قطعی بهترین عملکرد را دارا هستند. ازآنجایی‌که در مدل ارائه‌شده تصمیم‌گیرنده اهمیت بیشتری برای کاهش تقاضای برآورده نشده قائل می‌باشد و در روش استوار امکانی بر تغییرات میزان عرضه حساس بوده است، بنابراین در این شرایط روش استوار امکانی بهترین گزینه برای مدل‌سازی مسئله موردنظر انتخاب می‌شود. قابل‌ذکر است که مطابق نمودار (۸) مقدار تابع هدف TH نیز با افزایش ضریب تصحیح، به‌صورت جزئی افزایش‌یافته و دارای بازه تغییرات ۰/۸۹ تا ۰/۷۲ است.



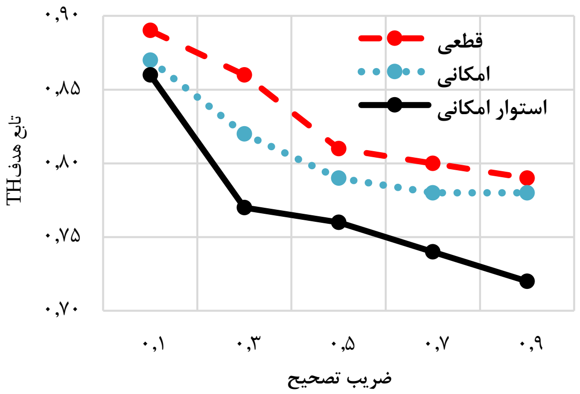
نمودار(۵): عملکرد متقابل تابع هدف اول و ضریب تصحیح



نمودار(۷): عملکرد متقابل تابع هدف سوم و ضریب تصحیح



نمودار(۶): عملکرد متقابل تابع هدف دوم و ضریب تصحیح



نمودار(۸): عملکرد متقابل تابع هدف ***TH*** و ضریب تصحیح

جدول (۴) تحلیل حساسیت روش TH

ضریب تصحیح γ	قطعی				امکانی				استوار امکانی			
	Z_1	Z_2	Z_3	λ_x	Z_1	Z_2	Z_3	λ_x	Z_1	Z_2	Z_3	λ_x
۰.۱	۴۶۶	۴	۲۳۴	۰/۸۹	۶۱۹	۵	۱۴۵	۰/۸۷	۸۲۰	۴	۲۸	۰/۸۶
۰.۲	۴۲۷	۴	۲۳۵	۰/۸۶	۵۲۱	۴	۱۴۸	۰/۸۲	۷۸۰	۴	۳۰	۰/۷۷
۰.۳	۳۲۵	۴	۲۳۸	۰/۸۱	۵۱۰	۴	۱۵۰	۰/۷۹	۶۸۰	۵	۳۳	۰/۷۶
۰.۴	۲۷۱	۵	۴۹۹	۰/۷۹	۴۰۳	۵	۲۵۷	۰/۷۸	۴۸۶	۴	۱۲۰	۰/۷۴
۰.۵	۲۸۰	۳	۵۷۲	۰/۷۸	۳۹۲	۴	۳۲۰	۰/۷۸	۴۱۰	۴	۱۳۴	۰/۷۲

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

پس از وقوع حادثه، معمولاً در زمان شروع امدادرسانی، وقایع غیرقابل‌پیش‌بینی شده‌ای ممکن است رخ دهد که منجر به مشکلات غیرمنتظره‌ای شود. ازاین‌رو، استفاده از ابزارهای تحقیق در عملیات، به‌منظور زمان‌بندی عملیات و فرآیندهای تصمیم‌گیری، می‌تواند تبعات حاصل از این مشکلات غیرمنتظره را به مقدار قابل‌توجهی کاهش دهد. در این راستا، این مقاله یک مدل ریاضی چندهدفه برای زمان‌بندی و مسیریابی وسایل نقلیه در یک شبکه زنجیره تأمین بشردوستانه تحت شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن اختلال در توزیع ارائه داده است. توابع هدف در نظر گرفته‌شده در مدل فوق به ترتیب شامل حداقل کردن زمان عملیات، حداقل کردن تعداد وسایل نقلیه موردنیاز و حداقل کردن حداکثر میزان کمبود اقلام امدادی در نقاط تقاضا می‌باشند به‌طوری‌که در یک پناهگاه نسبت به پناهگاه دیگر، بیش‌ازحد کمبود نباشد. تابع هدف سوم از این نظر که به‌نوعی توزیع عادلانه اقلام امدادی را بین نقاط مختلف تقاضا تا حدی تضمین می‌کند بسیار حائز اهمیت بوده و در مطالعات انجام‌گرفته درگذشته در نظر گرفته نشده است. در این پژوهش به‌منظور مدل‌سازی عدم قطعیت از دو روش برنامه‌ریزی امکانی مبتنی بر اندازه اعتبار و روش برنامه‌ریزی استوار امکانی استفاده شد. به‌منظور بررسی کارایی مدل ارائه‌شده، مطالعه موردی در شهر تبریز ارائه شد. با توجه نتایج، به‌منظور کردن حداکثر تقاضای برآورده نشده (رعایت عدالت در توزیع) در هنگام بروز بحران در عملیات امدادرسانی، به ترتیب مدل استوار امکانی، امکانی و قطعی بهترین عملکرد را دارا هستند. مواردی از قبیل ارائه مدل ریاضی به‌منظور یکپارچه‌سازی عملیات قبل و بعد از بحران، استفاده از روش‌های دقیق از قبیل الگوریتم آزادسازی لاگرانژ به‌منظور حل مدل در ابعاد بالا و توسعه مدل ارائه‌شده در این مقاله در حالت چند دوره‌ای، در نظر گرفتن توأم مسیرهای زمینی و هوایی و استفاده از روش‌های متاهیوریستیک برای

حل مدل در اندازه‌های بسیار بالا می‌توانند به‌عنوان موضوعات پژوهش‌ها در آینده مدنظر قرار بگیرند.

مراجع

[۱] فلاحی، ک.ج.ز.ع. (۱۳۸۸). اصول و مبانی مدیریت بحران, ed. ۱. تهران موسسه آموزش عالی علمی - کاربردی هلال ایران.

[۲] جمالی، ح. (۱۳۹۴). مدیریت عملیات امدادرسانی در شرایط اضطرار با استفاده از مفهوم تور پوششی و امکان ارسال مستقیم. نشریه علمی پژوهشی مدیریت فردا, ۱۳۹۴. ۴۲(بهار).

[3] Altay, N. and Green, W.G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493.

[4] Özdamar, L., E. Ekinci, and Küçükyazici, B. (2004). Emergency Logistics Planning in Natural Disasters. *Annals of Operations Research*, 129(1), p. 217-245.

[5] Hale, T. and Moberg, R. (2005). Christopher, Improving supply chain disaster preparedness: A decision process for secure site location. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 35(3), 195-207.

[6] Chang, M.-S., Tseng, Y.-L. and 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.

[7] Balcik, B. and Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 101-121.

[8] Balcik, B., Beamon, B. M. and Smilowitz, K. (2008). Last Mile Distribution in Humanitarian Relief, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.

[9] Lin, Y.-H., et al. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45(4), 132-145.

[10] de la Torre, L.E., Dolinskaya, I. S. and Smilowitz, K.R. (2012). Disaster relief routing: Integrating research and practice. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 88-97.

[11] Nolz, P. C., Semet, F. and Doerner, K.F. (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR spectrum*, 33(3), 543-569.

[12] Hamedi, M., Haghani, A. and Yang, S. (2012). Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54 1205-1219.

[13] Wex, F., et al., (2014). Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 697-708.

[14] Gan, X., et al., (2015). *Emergency vehicle scheduling problem with time utility in disasters*. Mathematical Problems in Engineering.

[15] Pourrahmani, E., et al., (2015). Dynamic evacuation routing plan after an earthquake. *Natural Hazards Review*, 16(4), 04015006.

[16] Moshref-Javadi, M. and Lee, S. (2016). The customer-centric, multi-commodity vehicle routing problem with split delivery. *Expert Systems with Applications*, 56, 335-348.

[۱۷] صبوحی، ف.، جبارزاده، آرمین. (۱۳۹۸). مدل بهینه‌سازی امکانی استوار برای شبکه‌ی توزیع اقلام امدادی تحت عدم قطعیت. *علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۸(۱)، ۴۵-۵۳.

[18] Sabouhi, F., M. Heydari, and Bozorgi-Amiri, A. (2016). Multi-objective routing and scheduling for relief distribution with split delivery in post-disaster response. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 9(3), 17-27.

[19] Li, S. and Teo, K. L. (2019). Post-disaster multi-period road network repair: work scheduling and relief logistics optimization. *Annals of Operations Research*, 283(1), 1345-1385.

[20] Li, S., Ma, Z. and Teo, K.L. (2020). A new model for road network repair after natural disasters: Integrating logistics support scheduling with repair crew scheduling and routing activities. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106506.

[21] Zhong, S., et al., (2020). Risk-averse optimization of disaster relief facility location and vehicle routing under stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 141, 102015.

[22] Hasani, A. and Mokhtari, H. (2019). An integrated relief network design model under uncertainty: A case of Iran. *Safety Science*, 111, 22-36.

[23] Zhang, P., et al., (2020). A distributionally robust optimization model for designing humanitarian relief network with resource reallocation. Soft Computing, 24(4), 2749-2767.

[24] Pishvaee, M.S., Razmi, J. and Torabi, S.A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 206, 1-20.

[25] Lai, Y.-J. and Hwang, C.-L. (1993). Possibilistic linear programming for managing interest rate risk. Fuzzy Sets and Systems, 54(2), 135-146.

[26] Inuiguchi, M. and Ramík, J. (2000). Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 111(1), 3-28.

[27] Jiménez, M., et al. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1599-1609.

[28] Baoding, L. and Yian-Kui, L. (200). Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(4), 445-450.

[29] Li, X. and Liu, B. (2006). A sufficient and necessary condition for credibility measures. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 14(05), 527-535.

[30] Liu, B. and Iwamura, K. (1998). Chance constrained programming with fuzzy parameters. Fuzzy Sets and Systems, 94(2), 227-237.

[31] Boading, L. (1999). Dependent-chance programming with fuzzy decisions. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1999. 7(3), 354-360.

[۳۲] پیشوایی, میر سامان، (۱۳۹۱). طراحی شبکه تأمین یکپارچه مستقیم-معکوس مبتنی بردیدمان(پارادایم) توسعه پایدار در شرایط عدم قطعیت. دانشگاه تهران: دانشکده مهندسی صنایع.

[33] Torabi, S.A. and Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(2), 193-214.

[۳۴] تبریز, پورتال شهرداری منطقه ۵، *www.m5.tabriz.ir*

پیوست

مدل رباست ارائه‌شده:

$$Min\, z_1 = \sum_{v \in V} \sum_{i \in F \cup D} R_{vi} \qquad (۸۴)$$

$$Min\, z_2 = \sum_{v \in V} U_v \qquad (۵۵)$$

$$Min W + \theta\left[e_{i(4)} - \left(2 - 2\beta_i\right) e_{i(3)} - \left(2\beta_i - 1\right) e_{i(4)} \right] \qquad (۸۶)$$

$$St : Constraints\ (56)\ to\ (73)$$

جدول (پ-۱): اطلاعات مربوط به گره‌های شبکه

گره‌ها	ظرفیت مراکز توزیع (کالا) $(c_{i(1)}, c_{i(2)}, c_{i(3)}, c_{i(4)})$				تقاضای پناهگاه‌ها (کالا) $(e_{i(1)}, e_{i(2)}, e_{i(3)}, e_{i(4)})$				مدت‌زمان سرویس (دقیقه)	درصد عرضه ازدست‌رفته (کالا)
دانشگاه آزاد اسلامی					۱۳۲۰	۱۲۶۰	۱۱۴۰	۱۰۸۰	۳۰	
سالن چندمنظوره مرزداران					۸۲۵	۷۸۸	۷۱۳	۶۷۵	۳۰	
سالن چندمنظوره بارنج					۸۸۰	۸۴۰	۷۶۰	۷۲۰	۳۰	
سالن چندمنظوره باغمیشه					۷۸۱	۷۴۶	۶۷۵	۶۳۹	۳۰	
مدرسه آناتا	۱۲۹۸	۱۲۳۹	۱۱۲۱	۱۰۶۲					۳۰	۰/۰۴
دبیرستان حضرت معصومه	۱۲۹۸	۱۲۳۹	۱۱۲۱	۱۰۶۲					۳۰	۰/۰۵
موسسه آموزش عالی رشدیه	۱۲۹۸	۱۲۳۹	۱۱۲۱	۱۰۶۲					۳۰	۰

جدول (پ-۲): ظرفیت وسایل نقلیه امدادی

وسایل نقلیه	ظرفیت هر وسیله
۱	۱۲۰۰
۲-۳-۴-۵	۸۰۰
۶-۷-۸	۷۰۰

جدول (پ-۳): فاصله زمانی بین گره‌ها $(a_{ij(1)}, a_{ij(2)}, a_{ij(3)}, a_{ij(4)})$

گره‌ها	مدرسه آناتا				دبیرستان معصومه				دانشگاه رشدیه				دانشگاه آزاد			
هلال‌احمر	۱۵/۴	۱۴/۷	۱۳/۳	۱۲/۶	۱۴/۳	۱۳/۶	۱۲/۳	۱۱/۷	۹/۹	۹/۴	۸/۵	۸/۱	–	–	–	–
مدرسه آناتا	–	–	–	–	۱۲/۱	۱۱/۵	۱/۴۵	۹/۹	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۰/۴	۹/۹
دبیرستان معصومه	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۰/۴	۹/۹	–	–	–	–	۷/۷	۷/۳	۶/۶	۶/۳	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸
دانشگاه رشدیه	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸	۷/۷	۷/۳	۶/۶	۶/۳	–	–	–	–	۱۱	۱۰/۵	۹/۵	۹
دانشگاه آزاد	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۰/۴	۹/۹	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸	۱۱	۱۰/۵	۹/۵	۹	–	–	–	
سالن مرزداران	۵/۵	۵/۲	۴/۷	۴/۵	۱۵/۴	۱۴/۷	۱۳/۳	۱۲/۶	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸	۱۱	۱۰/۵	۹/۵	۹
سالن بارنج	۱۶/۵	۱۵/۷	۱۴/۲	۱۳/۵	۸/۸	۸/۴	۷/۶	۷/۲	۲۰/۹	۱۹/۹	۱۸	۱۷/۱	۱۱	۱۰/۵	۹/۵	۹
سالن باغمیشه	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۰/۴	۹/۹	–	–	–	–	۷/۷	۷/۳	۶/۶	۶/۳	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸

جدول (پ-۴): فاصله زمانی بین گره‌ها $(a_{ij(1)}, a_{ij(2)}, a_{ij(3)}, a_{ij(4)})$

گره‌ها	سالن مرزداران				سالن بارنج				سالن باغمیشه			
مدرسه آناتا	۵/۵	۵/۲	۴/۷	۴/۵	۱۶/۵	۱۵/۷	۱۴/۲	۱۳/۵	۱۲/۱	۱۱/۵	۱/۴۵	۹/۹
دبیرستان معصومه	۱۵/۴	۱۴/۷	۱۳/۳	۱۲/۶	۸/۸	۸/۴	۷/۶	۷/۲	–	–	–	–
دانشگاه رشدیه	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸	۲۰/۹	۱۹/۹	۱۸	۱۷/۱	۷/۷	۷/۳	۶/۶	۶/۳
دانشگاه آزاد	۱۱	۱۰/۵	۹/۵	۹	۱۱	۱۰/۵	۹/۵	۹	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸
سالن مرزداران	–	–	–	–	۱۴/۳	۱۳/۶	۱۲/۳	۱۱/۷	۱۵/۴	۱۴/۷	۱۳/۳	۱۲/۶
سالن بارنج	۱۴/۳	۱۳/۶	۱۲/۳	۱۱/۷	–	–	–	–	۸/۸	۸/۴	۷/۶	۷/۲
سالن باغمیشه	۱۵/۴	۱۴/۷	۱۳/۳	۱۲/۶	۸/۸	۸/۴	۷/۶	۷/۲	–	–	–	–

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Autumn and Winter 2020, Volume 8., No. 17., pp. 275-293

www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2021.22420.1985

Robust possibilistic programming for vehicle routing, scheduling and resource distribution in post-earthquake relief operations regarding disruption and under uncertainty

S. Ghayebloo[1*], F. Fathipour[2], N. Torkamani[3]

1. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanics, Mechanics and Industries, University of Zanjan
2. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Siraj Institute of Higher Education, Tabriz
3. Master of Industrial Engineering, Siraj Institute of Higher Education, Tabriz, Iran

A R T I C L E I N F O

***Article history*:**

Received 26 August 2020
Accepted 18 January 2021

***Keywords*:**

Possibilistic programming
Multi-objectives mathematical Programming
Disruption
Humanitarian relief logistics

A B S T R A C T

Since natural disasters often lead to the loss of human lives and property, the proper design of a post-disaster relief distribution network is essential. Besides, because the affected people cannot survive more than a few days without water, food, medicine and shelter, the routing and distribution of relief goods at maximum speed is crucial and is one of the main goals of this research. Minimizing the number of equipment needed to reduce costs and equal distribution of relief goods, so that there is not too much shortage in one shelter than another is the other goal of the study. To achieve these objectives, a tri-objective mathematical model for a distribution logistics system is designed to route and schedule relief vehicles for distributing relief goods from distribution centers (DCs) to shelters under uncertainty, and disruptive distribution. In order to deal with the uncertainty, two different methods have been used, including a credibility-based possibilistic programming method, and the robust possibilistic method. To solve the proposed multi-objective model, an interactive fuzzy approach has been used. Then, to investigate the applicability of the proposed mathematical model, it has been implemented on a real case study in the city of Tabriz, Iran. According to the obtained results and the decision maker's priority to reduce the unmet demand in this paper, the robust possibilistic method is finally selected as the best method to handle this problem. Also, the results of solving the case study show that there is an inverse relationship between the supply of relief goods and the distribution time of relief goods, and the percentage of reduction in the distribution time of relief goods in exchange for an excessive increase in the supply of relief goods is very small, which could be ignored.

[*] Corresponding author. S. Ghayebloo
Tel.:024-33054140; E-mail address: ghayebloo.sima@znu.ac.ir