International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

SEptember 2017, Volume 28, Number 2
Pp 255 - 270

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Novel Robust Logistic Relief Model under Uncertainty Using Chance Constrained Possibilistic Programming Method

Mehdi Alinaghian* & Maryam Rahafrooz

Mehdi Alinaghian, *Department of Industrial and System Engineering,Isfahan University of Technology*
Maryam Rahafrooz, *Department of Industrial and System Engineering,Isfahan University of Technology*

Keywords

Logistic reliefs, Distribution center location, Uncertainty, Chance constrained possibility programming, Robust theory.

ABSTRACT

In this study, for the first time in the literature of disaster facility location planning, robust chance constrained possibility programming has been used and uncertainties of supply, demand and cost parameters of the after disaster environment are considered in the form of trapezoidal fuzzy coefficients. In addition, it is the first time that retrofitting of relief distribution centers has been modeled and relief commodities priority and demand point priority in relief distribution has been considered. In order to solve the proposed model, lp-metrics method is used. Then by creating typical problems and considering ten different incident scenarios, advantages of the robust approach is compared with the deterministic approach. The results of this evaluation in most scenarios proves inability of deterministic approach to meet certain minimum relief coverage standards of the relief organization. However, robust approach despite higher relief costs can provide a good estimate of costs of the crisis, and increase the reliability of the strategic decisions.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 2, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد
شمـــاره ۲، جلـــد ۲۸، تابستان ۱۳۹۶
صفحـــه ۲۵۶-۲۷۰
ISSN: 2008-4870
http://IJIEPM.iust.ac.ir/

مدلسازی پایدار لجستیک امداد در شرایط وجود عدم قطعیت با استفاده از مدل امکانی محدودیت شانس

مهدی علینقیان *، مریم ره افروز

کلمات کلیدی

لجستیک امداد،
مکانیابی مراکز توزیع،
عدم قطعیت،
رویکرد امکانی محدودیت شانس،
تئوری پایدارسازی

چکیده:

در این مقا له برای نخستین بار در ادبیات مکانیابی لجستیک امداد، رویکرد مدلسازی امکانی محدودیت شانس پایدار به کار گرفته‌شده‌است. در این رویکرد عدم‌قطعیت‌های عرضه و تقاضا و پارامترهای هزینه‌ای پس از وقوع حادثه به فرم ضرایب فازی ذوزنقه‌ای وارد مدل شده‌اند وبرای نخستین بار بحث مقاوم سازی مراکز توزیع امداد مطرح شده است.همچنین در ادامه به منظور حل این مدل چندهدفه غیرخطی مختلط عدد صحیح از رویکرد حلLp-metrics استفاده شده و با استفاده از تولید مسائل نمونه، مزیت این مدل پایدار نسبت به فرم قطعی آن در ۱۰ سناریوی مختلف وقوع حادثه برسی شده است. نتایج این بررسی در سناریوهای مختلف وقوع بحران، بیانگر عدم توانایی رویکرد قطعی در برآورده ساختن حداقل سطح استاندارد امدادرسانی مورد نظرسازمان متولی امداد، در اکثر سناریوها می‌باشد. اما رویکرد پایدار با وجود صرف هزینه‌های امدادی بالاتر، با ارائه برآورد مناسبی از هزینه‌های پس از بحران می‌تواند موجب افزایش قابلیت اعتماد تصمیمات استراتژیک اتخاذ شده با این رویکرد مدلسازی بشود.

۱. مقدمه

افزایش تعداد بلایای طبیعی نظیر زلزله، سیل، طوفان و خشکسالی و ... و گسترش دامنه تخریبی آن‌ها از یک‌سو و رشد جمعیت در نقاط مختلف جهان از سوی دیگر، باعث افزایش خسارات مادی و تلفات انسانی این‌گونه حوادث شده‌است که علی‌رغم پیشرفت‌های تکنولوژیکی، مصائب ناشی از این حوادث همواره یکی از موانع اصلی توسعه پایدار کشورها به شمار می‌رود. اگرچه خسارات ناشی از این حوادث از جهات گوناگون به ویژه از نظر مالی و احساسی قابل جبران نیست؛ ولی با اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی‌های مناسب برای ایجاد آمادگی لازم برای مقابله با این حوادث می‌توان خسارات آن‌ها را به حداقل ممکن کاهش داد. از آن‌جاکه شدت و ابعاد وقوع این حوادث اغلب وسیع می‌باشد؛ لذا پس از وقوع این حوادث، حجم تقاضای ایجاد شده برای عملیات امداد و نجات نیز بسیار زیاداست و مراکز امدادرسانی که در شرایط عادی قادر به تأمین نیازهای شهر هستند؛ اغلب برای پاسخگویی سریع به تقاضای ایجادشده در این شرایط، کافی نیستند. از جمله استراتژی‌های مهم در جهت بهبود عملکرد سیستم و کاهش تأخیر در روند امدادرسانی، مکانیابی مراکز توزیع امداد یا به اختصار*RDC* ها و کنترل، توزیع و مدیریت موجودی کالاهای امدادی در زنجیره‌تأمین امداد می‌باشد. لذا قرارگرفتن مراکز توزیع امداد در مکان‌های مناسب از شبکه، که بتوانند تقاضای ایجاد شده در شرایط بحران را به صورت مناسبی پاسخ دهند؛ در انجام موفق عملیات امداد و نجات بسیار حائز اهمیت است و ضعف در انتخاب مکان مناسب برای مراکز توزیع امداد، احتمال اتلاف زمان و سرمایه را بالا برده و نهایتا منجر به خسارات و صدمات جانی فراوانی خواهد شد. بنابراین واضح است که تعداد و مکان مراکز توزیع و مقدار کالاهای امدادی که در هر مرکز ذخیره می‌شود بطور مستقیم بر روی زمان پاسخ و هزینه‌هایی که در طول زنجیره امداد اتفاق می‌افتد، تاثیر می‌گذارد. همچنین تصمیمات مکانیابی و تخصیص موجودی متأثر از عوامل متعددی می‌باشند؛ که این امر تلفیق آن‌ها را در قالب روشی واحد مشکل می‌سازد. از طرفی اهمیت استراتژیک بحث امداد و نجات، از جنبه‌های مختلف

تاریخ وصول: ۹۳/۰۵/۰۱
تاریخ تصویب: ۹۵/۰۲/۲۷

مریم ره افروز ، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان؛m.rahafrooz@in.iut.ac.ir
***نویسنده مسئول مقاله: مهدی علینقیان** ، استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ alinaghian@cc.iut.ac.ir

اجتماعی-اقتصادی، نشان‌دهنده ضرورت توجه به این مساله است. از این رو در این مقاله، مکانیابی تسهیلات، تصمیمات مربوط به تخصیص موجودی و طراحی شبکه توزیع در زنجیره امداد مورد توجه قرارخواهدگرفت. چراکه فقدان یک رویکرد سیستماتیک و ساختار پشتیبان تصمیم برای طراحی زنجیره امداد، مانع ارزیابی دقیق ظرفیت پاسخگویی و عملکرد سازمان‌های امدادی خواهدشد.

۲. مرور ادبیات

در حوزه مکانیابی تسهیلات امدادی، اولین مطالعه در سال ۱۹۷۱ توسط تورگس و همکارانش انجام شد؛ آن‌ها این مساله را به فرم یک مساله پوششی مطرح کردند و سپس برای حل آن از روش‌های برنامه‌ریزی خطی استفاده‌کردند [۱]. بنابراین شروع مباحث در این حوزه از اواخر دهه ۸۰ می‌باشد و این حوزه از تحقیق، از قدمت چندانی برخوردار نمی‌باشد و می‌توان گفت؛ تاکنون مفاهیم و مدل‌های کمی به ندرت در بخش عملیات امدادی بکارگرفته شده‌است. با این‌وجود چند مقاله مروری در این حوزه وجود دارد که به مرور اجزای لجستیکی و سازمانی لجستیک بشردوستانه در مطالعات انجام شده در این حوزه پرداخته‌اند [۲ و ۳]. در اغلب مدل‌های بهینه‌سازی مکانیابی تسهیلات امدادی در ادبیات لجستیک امداد، مساله مکانیابی (تأسیس تسهیلات جدید یا انتخاب از میان تسهیلات موجود) با مساله‌های قراردادن کالاها از قبل، تخلیه افراد و توزیع امداد ترکیب شده‌است [۴]. در بین این بررسی‌ها، تنها جیا و همکاران[۵ و ۶] و دسوکی و همکاران [۷]، صرفا به مکانیابی تسهیلات پرداخته‌اند و مدل‌های حداکثر پوشش را با ملزومات کیفیت و کمیت پوشش (براساس تعداد تسهیلات تخصیص داده شده به یک نقطه تقاضا) بکار برده‌اند. علاوه براین، دسوکی و همکاران به منظور توزیع امداد، یک مدل مسیریابی تصادفی بکاربرده‌اند و حداقل‌کردن کل تقاضای پاسخ داده نشده را به همراه حداقل‌کردن زمان احتمالی شروع سرویس‌دهی وسایل نقلیه در مدل خود درنظر گرفته‌اند. با بررسی ادبیات موضوع مکانیابی تسهیلات امدادی، ملاحظه می‌شود که مدل‌های مکانیابی تسهیلات امداد اغلب بر مبنای برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با متغیر صفر و یک برای مکان تسهیلات همراه‌اند. از آنجایی‌که درتمامی‌مقالات بررسی شده در این حوزه، مکانیابی تسهیلات قبل از وقوع حادثه درنظرگرفته شده‌است؛ همه این مدل‌ها تک‌دوره‌ای هستند. علاوه‌براین، اغلب مدل‌های مکانیابی تسهیلات مدل‌هایی قطعی و تک‌سطحی هستند. در این‌میان، بالکیک و بیمون [۸]، به مکانیابی تسهیلات با تمرکز بر برنامه‌ریزی استراتژیک پرداخته‌اند و به منظور پاسخگویی به تقاضای امدادی، ازیک مدل مکانیابی مبتنی بر سناریو و به فرم حداکثر پوشش استفاده کرده‌اند و در آن به تعیین تعداد و مکان و ظرفیت مراکز امدادی و مقدار ذخیره‌سازی از پیش هر کالای امدادی در هر مرکز توزیع، پرداخته‌اند. آن‌ها در مدل پیشنهادی خود از محدودیت بودجه در قبل و بعد از بحران استفاده کرده‌اند؛ اما به خرابی تسهیلات و امکان نابودی کالاها و همچنین جریمه کمبود کالاها در مدل خود توجه نکرده‌اند.

دوران و همکاران [۹]، مته و زابینسکی [۱۰]، راولز و ترنکویست [۱۱] و چانگ و همکاران [۱۲]، مدل تصادفی تک‌سطحی ارائه داده‌اند. در این تحقیقات، از جمله مهمترین توابع هدف درنظر گرفته‌شده می‌توان به تابع هدف مقاله [۹]، که به حداقل‌سازی هزینه تأسیس تسهیلات و حمل‌ونقل و انبارداری و جریمه پاسخ داده نشدن تقاضا پرداخته و مقاله [۱۰]، که به حداقل‌سازی هزینه حمل‌ونقل و تأسیس تسهیلات و اجاره تجهیزات و جریمه‌ها و جابجایی تجهیزات امدادی با در نظر گرفتن تقدم سازمانی در تخصیص تسهیلات و عدم‌قطعیت‌های پس از حادثه پرداخته‌اند؛ اشاره کرد.

در ادبیات موضوع لجستیک امداد، به حداقل‌سازی تقاضای پاسخ داده نشده و حداقل‌سازی زمان انتظار دریافت امداد، به عنوان دو عامل مهم در افزایش رضایتمندی آسیب‌دیدگان، توجه شده است. از طرفی حداکثرسازی رضایتمندی آسیب‌دیدگان در کل شبکه امدادرسانی، به حداکثرسازی عدالت در توزیع امداد منجر خواهد شد و به همین دلیل، در ادبیات لجستیک امداد از هر دوی این اصطلاحات استفاده می‌شود [۱۳]. هانگ و همکاران [۱۴]، نولز و همکاران [۱۵]، وان هنتنریک و همکاران[۱۶] و مته و زابینسکی [۱۰]، با استفاده از حداقل‌سازی متوسط و یا کل زمان رسیدن کالاها و یا بطور معادل، دیرترین زمان رسیدن کالاها به نقاط تقاضا، به مبحث عدالت در توزیع امداد پرداخته‌اند؛ که البته این نوع اهداف، نهایتا به توزیع سریعتر امداد با هزینه حمل‌ونقل بالاتر منجرخواهندشد. درمقاله [۱۱]، وزن‌دارکردن زمان سفر بوسیله مقدارکالای تحویلی و در مقاله [۷]، حداقل‌سازی کل هزینه عملیات تحویل کالاها به همراه حداقل‌سازی کل زمان لازم برای رسیدن کالاها درنظرگرفته‌شده‌اند. در مقاله‌های [۱۲ و ۱۴]، به حداقل‌سازی دیرترین زمان رسیدن کالاها به همراه حداقل‌سازی مقدار کل تقاضای پاسخ داده نشده توجه شده است. از طرف دیگر تیزنگ و همکاران [۱۷] و لین و همکاران [۱۸]، به حداقل‌سازی ماکزیمم تقاضای پاسخ‌داده نشده به همراه حداقل‌سازی کل زمان لازم برای رسیدن کالاها به افراد پرداخته‌اند. البته در تمام مدل‌های چندهدفه فوق، تابع حداقل‌سازی هزینه‌ها نیز به عنوان یک تابع هدف در نظر گرفته شده‌است. از طرف دیگر، کلارک و کولکین[۱۹] و دی آنجلیس و همکاران[۲۰]، تابع حداقل‌سازی تقاضای پاسخ داده‌نشده را و یی و اوزدامار [۲۱]، مفهوم تقسیم در تحویل و تابع حداقل‌سازی مجموع تقاضای پاسخ‌داده‌نشده را در مدلشان آورده‌اند و ایده جدید جابجایی تجهیزات بین مراکز درمانی به منظور سرویس‌دهی بهتر به مجروحان را نیز در نظرگرفته‌اند.

از طرف دیگروان هنتنریک و همکاران [۱۴] و راولز و ترنکویست [۹]، با استفاده از احتمال رسیدن وسایل نقلیه به مقاصد ازپیش تعین‌شده برای آن‌ها، به حداکثرسازی قابلیت اطمینان وسایل نقلیه پرداخته‌اند؛ آن‌ها علاوه‌براین، توابع حداقل‌سازی هزینه‌ها و حداقل‌سازی تقاضای پاسخ داده نشده را نیز در مدل چندهدفه خود آورده‌اند.

باتوجه به اهمیت پارامترهای نادقیق موجود در شرایط امدادرسانی، در سال‌های اخیر محققان به ورود این عدم‌قطعیت‌ها به مسائل برنامه‌ریزی لجستیک امداد و بخصوص مسائل مکانیابی تسهیلات امدادی توجه خاصی داشته‌اند [۲۲]. در میان مدل‌های اخیر در این حوزه، در اکثر مدل‌ها به منظور ورود عدم‌قطعیت پارامترها به مدلسازی، محققین رویکرد بهینه‌سازی تصادفی را بوسیله سناریوهای احتمالی بکار برده‌اند و از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای مدل‌کردن عدم‌قطعیت ویرانی‌ها و اثر آن بر عرضه و تقاضا استفاده کرده‌اند [۲] .زو و همکاران[۲۳] و متـه و زابینسکی [۱۰] و سالمرون و آپته [۲۴] در مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای خود، تنها عرضه امداد را غیرقطعی درنظرگرفته‌اند. راولز و ترنکویست [۱۱] و وان هنتنریک و همکاران [۱۶]، در مدل‌های چندهدفه تصادفی دومرحله‌ای خود عرضه و تقاضای امداد و زمان سفرها را غیرقطعی درنظر گرفته‌اند. چانگ و همکاران [۱۲]، مکانیابی تسهیلات و توزیع منابع امدادی در امدادرسانی سیل را با توجه به سناریوهای مختلف وقوع سیل، بوسیله برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت تقاضای امدادی مدلسازی کرده‌اند. سالمرون و آپته [۲۴] یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ایی با در نظرگرفتن عدم‌قطعیت تقاضا و هزینه امدادرسانی ارائه کرده‌اند. روال و ترینکویست [۱۱] در مدل پیشنهادی خود به شرایط تغییر دسترسی در شبکه حمل و نقل امداد پس از حادثه و همچنین عدم‌قطعیت در تقاضا و هزینه‌های امدادرسانی توجه کرده‌اند.

نجفی و همکاران [۲۵]، یک مدل چندهدفه تصادفی، چندکالایی و چنددوره‌ای و با چند نوع وسیله نقلیه، برای توزیع امداد و حمل مجروحان پس از زلزله و بهینه‌سازی امدادرسانی در شرایط وجود عدم‌قطعیت پیشنهاد نموده‌اند. همچنین در یکی از مطالعات اخیر، بزرگی و همکاران [۲۶] با حداقل‌سازی کلیه هزینه‌های لجستیک امداد و با ملاحظه عدم‌قطعیت عرضه و تقاضا و پارامترهای هزینه‌ای مدل و همچنین احتمال خرابی مراکز توزیع امداد و پوشش پشتیبان بین مراکز توزیع امداد، به مکانیابی تسهیلات و توزیع امداد پرداخته‌اند. آن‌ها برای این منظور مدل تک هدفه تصادفی پایداری ارائه کرده و سپس از رویکرد بهینه‌سازی اجتماع ذرات برای بهینه‌سازی جواب استفاده کرده‌اند.

آکان و همکاران [۲۷]یک مدل ریاضی برای مکانیابی تسهیلات مبتنی بر ریسک در بحران ارائه نمودند . آنها با استفاده از آنالیز درخت خطا به تحلیل ریسک پرداختند.

ورما و همکاران [۲۸] به مکانیابی مراکز امدادرسانی قبل از بحران پرداختند. آنها در مقاله خود دو مدل ریاضی ارائه دادند. آنها در ابتدا یک مدل قطعی ارائه دادند در این مدل آنها به آسیبهایی که زمان امداد رسانی در آنها اهمیت دارد توجه نمودند. در مدل دوم آنها پارمترهای غیر قطعی را وارد مدل خود کردند و مواردی همچون اهمیت مراکز پر جمعیت را نیز در مدل لحاظ نمودند در انتها نیز برای حل مدل احتمالی خود از روش تجزیه بندرز استفاده نمودند.

کیلکی و همکاران [۲۹] یک مدل ریاضی به منظور مکانیابی مراکز اسکان موقت بعد از بحران و تخصیص مراکز آسیب دیده به آنها ارائه نمودند . آنها همچنین حداکثر سازی استفاده از مراکز موقت را نیز در مدل خود در نظر گرفتند. در نهایت آنها از داده های مربوط به شهرهای مهم ترکیه برای بررسی و تحلیل حساسیت مدل خود بهره بردند

مارکاس و همکاران [۳۰] در مقاله خود به این موضوع پرداختند که معیارهای تصمیم گیری در مکانیابی مراکز اسکان موقت از اهمیت ویژه ای برخوردار است و عدم توجه به آنها می تواند در تصمیمات تاثیر گذار باشد آنها در ادامه به بررسی معیارهای مهم در مکانیابی مراکز اسکان موقت پرداخته و ۱۰ معیار پر اهمیت را ارائه داده و زیرمعیارهای هر یک از آنها را به صورت سلسله مراتبی ارائه کردند اما از طرفی محققان برای رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی چهار ایراد عمده برشمرده اند [۳۱ و ۲۲] :

۱) بدلیل عدم وجود داده‌های تاریخی کافی برای پارامترهای دارای عدم‌قطعیت در بسیاری از حوادث، به‌ندرت می‌توان توزیع درست و واقعی پارامترهای دارای عدم‌قطعیت را بدست آورد.
۲) تعداد زیاد سناریوهای بکار رفته در نشان دادن عدم‌قطعیت می‌تواند باعث پیچیدگی محاسباتی و بزرگی مساله بشود [۵].
۳) ناتوانی این رویکرد در واردکردن ریسک‌گریزی یا ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده بصورت مستقیم به مدل. علیرغم بکار بردن رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی در دسته‌ای از مدل‌های موجود در ادبیات لجستیک امداد، اما این مدل‌های تصادفی، بدلیل عدم امکان ورود ریسک‌گریزی یا ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده بصورت مستقیم در مدل و بدنبال آن از دست دادن دامنه مهمی از کاربرد مساله، کاربرد بسیار محدودی دارند [۳۲].
۴) در بهینه‌سازی تصادفی، سناریوها بر مبنای شرایط محتمل مساله و با مشاهدات قطعی از پارامترهای دارای عدم‌قطعیت

ساخته می‌شوند و جواب مساله نیز بر مبنای آن سناریوها تولید می‌شود. بنابراین جواب اینچنین مساله‌ای می‌تواند برای مشاهدات دیگر نشدنی بشود؛ مشاهداتی که اگرچه احتمال وقوع خیلی کمی دارند اما درصورت وقوع می توانند هزینه بالایی را به کل شبکه تحمیل نمایند.

یک رویکردی که قادر است ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده را به مدل وارد کند و ایراد سوم مدل های تصادفی را بهبود بخشد؛ رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی بهبود یافته‌ای تحت عنوان برنامه‌ریزی پایدار می‌باشد که اولین بار توسط ملوی و همکاران [۳۳] ارائه شده‌است. در این رویکرد عامل تغییرات به سادگی به همراه پارامتر وزنی مناسبی که تحمل ریسک تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهد به تابع هدف اصلی اضافه می‌شود [۳۱]. در این راستا، بزرگی و همکاران [۳۱] یک رویکرد برنامه ریزی تصادفی پایدار برای طراحی لجستیک امداد در شرایط وجود عدم‌قطعیت‌ها ارائه دادند.آن‌ها تقاضا و عرضه و هزینه تهیه و حمل کالاهای امدادی را همزمان بعنوان پارامترهای نادقیق مساله درنظر گرفتند؛ که این اولین بار بود که این سه عامل عدم‌قطعیت همزمان در مدلسازی پایدار لجستیک امداد در نظر گرفته می‌شدند. آن‌ها برای ورود این عدم‌قطعیت‌ها به مدل از رویکرد تصادفی مبتنی بر سناریو استفاده کردند و عدم‌قطعیت‌ها را در قالب تعدادی مشاهده قطعی از هر پارامتر تصادفی که سناریوها را تشکیل می‌دادند وارد مساله کردند.

در دهه‌های گذشته، تحقیقات بسیاری به بررسی مسائل مکانیابی فازی با استفاده از رویکردهای منطق فازی پرداخته‌اند. بعنوان نمونه؛ باهاتاچاریا و همکاران [۳۴ و ۳۵] که برای حل مدل خود از یک روش برنامه‌ریزی فازی آرمانی استفاده کرده‌اند و همچنین کانوس و همکاران[۳۶] دارزنتاس [۳۷] راو و ساراسواتی [۳۸] همگی به مساله مکانیابی فازی پرداخته‌اند؛ اما درتمامی این مدل‌ها پارامترهای مساله قطعی فرض شده بودند. درسویی دیگر محققانی همچون، ژاو و لیو [۳۹] با فازی در نظر گرفتن تقاضا، مساله مکانیابی تسهیلات و تخصیص نقاط تقاضا به آن‌ها را با درنظرگرفتن محدودیت ظرفیت تسهیلات بررسی کرده‌اند.

دراین راستا، جبل‌عاملی و همکاران [۴۰] برای نخستین بار، رویکرد بهینه‌سازی امکانی را در طراحی برنامه‌ریزی لجستیک امداد وارد کردند و یک مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه برای مسائل تصمیم‌گیری لجستیک امداد در سطوح استراتژیک و عملیاتی ارائه دادند؛ که شامل مکانیابی مراکز توزیع امداد و تخصیص این مراکز به نواحی آسیب‌دیده در زمان بحران می‌شد.

ما در این مقاله، در ادامه روند تحقیقات صورت‌گرفته در حوزه مکانیابی تسهیلات امدادی و ضمن توجه به ایرادات وارد شده به برنامه‌ریزی تصادفی و همچنین کاربرد تئوری فازی در مهار عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای عرضه و تقاضا و هزینه‌های محیط امدادرسانی و نیز توجه به پایدارسازی مدل به عنوان رویکردی که ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده را به مدل وارد می‌کند؛ قصد داریم این پارامترهای دارای عدم‌قطعیت را بصورت ضرایب فازی ذوزنقه‌ای وارد مدل کرده و برای اولین بار در این حوزه از مدل برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس پایدار استفاده کنیم. نوآوری های مقاله را می توان به طور خلاصه به صورت زیر بیان نمود: ارائه یک مدل استوار بر مبنای برنامه ریزی امکانی برای مکانیابی و تخصیص منابع در بحران. با توجه به دانش نویسندکان در حوزه مکانیابی مراکز امداد و تخصیص اقلام امدادی تاکنون مدل استوار بر مبنای برنامه ریزی امکانی ارائه نشده است. در نظر گرفتن سه هدف که به طور همزمان مبحث عدالت در توزیع، ریسک توزیع کالاهای امدادی و هزینه های لجستیک امداد در نظر می گیرد. در نظر گرفتن اولویت امداد رسانی به مراکز با وضعیت آسیب دیدگی متفاوت، در نظر گرفتن اقدامات قبل از بحران و بعد از بحران به طور همزمان، در نظر گرفتن حداقل میزان توزیع اقلام امدادی در بحران و در نهایت بررسی تاثیر مدل استوار بر نتایج و تحلیل نتایج حاصله.

۳. مدل امکانی محدودیت شانس استوار

به منظور استفاده توأم از مزایا و قابلیت‌های برنامه‌ریزی امکانی و مفاهیم پایداری، پیشوایی و همکاران [۴۱] مفاهیم برنامه‌ریزی پایدار را با چارچوب برنامه‌ریزی امکانی تلفیق کرده و رویکرد جدیدی تحت عنوان رویکرد برنامه‌ریزی امکانی پایدار ارائه کرده‌اند. در این‌صورت، تئوری بهینه‌سازی پایدار یک چارچوبی برای کار با عدم‌قطعیت پارامترها در مسائل بهینه‌سازی فراهم می‌آورد که می‌تواند جواب بهینه را برای هر مشاهده از پارامتر نادقیق در یک بازه عدم‌قطعیت، تضمین کند [۴۲, ۴۳]. در این مقاله رویکرد انتخابی برای مدلسازی عدم‌قطعیت‌های فضای لجستیک امداد در توزیع و مکانیابی کالاهای امدادی، مدل امکانی پایدار ارائه شده در مقاله پیشوایی و همکاران [۴۱] می‌باشد که در ادامه به توضیح این رویکرد مدلسازی پرداخته می شود: طبق [۴۱]، ابتدا بدون از دست دادن هیچ کلیتی، مدل برنامه ریزی فازی تک هدفه زیر درنظر گرفته می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&\min z = fy + cx \\
&s.t\ Ax \geq d, \\
&\quad Bx = 0, \\
&\quad sx \leq Ny, \\
&\quad Tx \leq 1, \\
&\quad y \in \{0,1\}, x \geq 0,
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

که در آن بردارهای f , c , d و ماتریس N پارامترهای نادقیق مساله در تابع هدف و محدودیت‌ها فرض می‌شوند که این پارامترهای نادقیق به فرم اعداد فازی ذوزنقه‌ای درنظرگرفته

شده‌اند. شایان ذکر است که در محدودیت اول مدل فوق، عدم قطعیت در بردار ضرایب سمت راست ظاهر شده است؛ در حالی که در محدودیت سوم، ماتریس ضرایب متغیر تصمیم y دارای عدم قطعیت فرض شده است. سپس به منظور ساختن فرم پایه‌ای برنامه‌ریزی محدودیت شانس؛ از عملگر مقدار مورد انتظار، در تابع هدف و از الزام در محدودیت‌هایی که پارامتر فازی دارند، استفاده می‌شود . بنابراین فرم پایه‌ای برنامه‌ریزی محدودیت شانس به فرم زیر ساخته می‌شود:

$$\begin{aligned} &\min \mathrm{E}[z] = E[\tilde{f}]y + E[\tilde{c}]x \\ &s.t\ \ Nec\{Ax \ge \tilde{d}\} \ge \alpha, \\ &\quad Bx = 0, \\ &\quad Nec\{sx \le \tilde{N}y\} \ge \alpha, \\ &\quad Tx \le 1, \\ &\quad y \in \{0,1\}, x \ge 0, \end{aligned} \qquad (۲)$$

در مدل فوق $\alpha, \beta \in [0,1]$ پارامترهای حداقل سطح اطمینان محدودیت‌های شانس می‌باشند و از نظر پیشوایی و همکاران در این مدل محدودیت‌های شانس می‌بایست برای سطوح اطمینان بزرگتر از 0.5 برقرار باشند؛ یعنی $\alpha, \beta > 0.5$ باشند. ازآنجایی‌که در مدل(۲)، تصمیم‌گیرنده بایستی مقادیر پارامترهای حداقل سطوح اطمینان محدودیت‌های شانس را با سعی و خطا انتخاب نماید و بنابراین مقداری که نهایتا انتخاب می‌شود به نوعی دلخواه انتخاب خواهدشد و البته ضمانتی هم وجود نداردکه این مقدار، بهترین انتخاب ممکن برای هر سطح اطمینان باشد و علاوه براین، با افزایش تعداد محدودیت‌های شانس، تعداد این سعی و خطاها نیز به شدت افزایش می‌یابد و به محاسبات پیچیده و تست‌های شبیه‌سازی نیاز می‌شود؛ بر همین اساس در گام بعدی، پیشوایی و همکاران مدل امکانی پایدار شده‌ی خود را به فرم زیر ساختند:

$$\begin{aligned} &\min\ E[z] + \gamma\left(z_{\max} - z_{\min}\right) \\ &+\delta\left[d_{(4)} - (1-\alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}\right] \\ &+\pi\left[(1-\beta)N_{(2)} + \beta N_{(1)} - N_{(1)}\right]y \\ &s.t\ Ax \ge (1-\alpha)d_{(3)} + \alpha d_{(4)} \\ &\quad Bx = 0, \\ &\quad Sx \le \left[(1-\beta)N_{(2)} + \beta N_{(1)}\right]y, \\ &\quad Tx \le 1, \\ &\quad y \in \{0,1\},\ x \ge 0,\ \ 0.5 < \alpha, \beta \le 1 \end{aligned} \qquad (۳)$$

در ادامه مدل پیشنهادی ارائه می شود.

۴. مدل پیشنهادی

فرضیات مسئله مطرح به صورت خلاصه به صورت زیر ارائه شده است:

۱) ارائه مدلی سه هدفه که همزمان به افزایش پوشش امداد، افزایش سرعت امدادرسانی و کاهش هزینه‌های امدادرسانی می‌پردازد.
۲) درنظرگرفتن احتمال خرابی تسهیلات (نظیر نقاط تأمین و مراکز توزیع امداد) در اثر بحران؛
۳) درنظر گرفتن امکان مقاوم‌سازی مراکز توزیع امداد برای نخستین بار در ادبیات لجستیک امداد؛ که شامل سه سطح مقاوم‌سازی می‌شود: سطح صفر، سطح یک و سطح دو (سطح صفر حالتی می‌باشد که مقاوم‌سازی انجام نشود و سطح دو مقاوم‌سازی کامل درنظرگرفته می‌شود.)
۴) بحث پوشش پشتیبان و کمک‌رسانی تسهیلات به یکدیگر در زمان بحران؛ چراکه جابجایی کالا بین انبارها می‌تواند موجب افزایش کارایی عملیاتی امدادرسانی شود.
۵) امدادرسانی به هر نقطه آسیب‌دیده تنها توسط یک مرکز توزیع امداد که نزدیکترین مرکز به آن نقطه می‌باشد، صورت می‌گیرد؛ که بدین صورت ضمن سهولت در هماهنگی‌ها سرعت امدادرسانی نیز تا حد ممکن افزایش می‌یابد.
۶) درنظرگرفتن اولویت نقاط حادثه‌دیده در دریافت خدمات امدادی؛
۷) درنظرگرفتن تقدم کالاها جهت ارسال به هر نقطه آسیب‌دیده؛
۸) مکانیابی مراکز توزیع با توجه به شدت بحران در نقاط آسیب دیده؛
۹) درنظرگرفتن محدودیت برخورداری تمام مناطق آسیب‌دیده از یک حداقل سطحی از مقدار کالای امدادی؛ که اگرچه این ممکن است به عدالت در توزیع امداد منجر نشود اما از این طریق از رسیدن به حداقل استانداردهای امدادرسانی مطمئن خواهیم بود.
۱۰) درنظرگرفتن تابع هدفی که با کاهش فاصله RDC ها از نقاط تقاضا به کاهش ریسک امدادرسانی از RDC ها به نقاط تقاضا و افزایش ضمنی زمان امدادرسانی می‌پردازد. درحالی که در اغلب مدل‌های لجستیک امداد صرفا به کاهش هزینه‌ها و افزایش پوشش امداد توجه شده است.

به منظور ارائه مـدل پیشـنهادی از نمادگـذاری‌هـای زیـر اسـتفاده می‌شود:

اندیس‌ها:

i نقاط تأمین امداد

j,e نقاط توزیع امداد یا RDC ها

k نقاط حادثه‌دیده یا نقاط تقاضا

c کالاهای امدادی که شامل آب ، غذا و چادر می‌باشد.

l سایز RDC ها که شامل کوچک، بزرگ و متوسط می‌باشد.

re سطوح مختلف مقاوم‌سازی ساختمان RDC ها در برابر حادثه (سطح صفر یعنی عدم مقاوم‌سازی)

پارامترها:

bc_l هزینه ساخت RDC با سایز l (قبل از وقوع حادثه)

rc_{re} هزینه مقاوم‌سازی RDC در سطح مقاوم‌سازی re (قبل از وقوع حادثه)

$cij1_{cij}$ هزینه حمل کالای c از تأمین کننده i ام به RDC j ام (قبل از وقوع حادثه)

$cij2_{cij}$ هزینه حمل کالای c از تأمین کننده i ام به RDC j ام (بعد از وقوع حادثه)

$pc1_c$ هزینه تهیه کالای c (قبل از وقوع حادثه)

$pc2_c$ هزینه تهیه کالای c (بعد از وقوع حادثه)

$cje2_{cje}$ هزینه حمل کالای c از RDC j ام به RDC e ام (بعد از وقوع حادثه)

$cjk2_{cjk}$ هزینه حمل کالای c از RDC j ام به ناحیه حادثه‌دیده k ام (بعد از وقوع حادثه)

$su1_{ci}$ مقدار عرضه کالای c در تأمین‌کننده i ام (قبل از وقوع حادثه)

$su2_{ci}$ مقدار عرضه کالای c در تأمین کننده i ام (بعد از وقوع حادثه)

d_{cj} مقدار تقاضای کالای c در RDC j ام

pj_{cjre} درصد سالم ماندن کالای c بعد از وقوع حادثه در RDC j ام که در سطح re مقاوم‌سازی شده است.

pi_{ci} درصد سالم ماندن کالای c بعد از وقوع حادثه در تأمین‌کننده i ام

sc_c جریمه کمبود یک واحد کالای c (بعد از وقوع حادثه)

hc_c جریمه نگهداری هر واحد کالای اضافی از c که بعد از حادثه باید در RDC ها نگهداری شود.

vo_c فضایی که یک واحد کالای c اشغال می کند (بر حسب متر مربع)

cap_l ظرفیت RDC با سایزl (بر حسب متر مربع)

ri_j شاخص نشان‌دهنده میزان ریسک بحران درRDC j ام برمبنای نزدیکی آن نقطه تا مرکز بحران

ifk_k شاخص نشان‌دهنده میزان اهمیت ناحیه حادثه‌دیده k ام بر مبنای نزدیکی آن نقطه تا مرکز بحران

ifc_c شاخص نشان‌دهنده میزان اهمیت کالای c در بحران

djk_{jk} مسافت بین RDC j ام و نقطه حادثه‌دیده k ام

u_{jk} یک شاخص کمانی برای مسیر بین RDC j ام تا نقطه حادثه‌دیده k ام

M_i عدد بزرگ در مدلسازی

β_1 , β_2 اعداد صحیحی که تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌کند.

θ حداقل درصد پاسخگویی به تقاضای نقاط

حادثه‌دیده، که سازمان امدادرسان درنظر دارد.

متغیرها:

x_{cij} مقدار کالای c که بعد از وقوع حادثه از تأمین‌کننده i ام به RDC j ام فرستاده می‌شود.

q_{cij} مقدار کالای c که قبل ازوقوع حادثه از تأمین‌کننده i ام در RDC j ام انبار می‌شود.

y_{cjk} مقدار کالای c که بعد از وقوع حادثه از RDC j ام به نقطه تقاضای k ام فرستاده می‌شود.

b_{ck} مقدار کمبود کالای c بعد از وقوع حادثه در نقطه تقاضای k ام.

ih_{cj} مقدار کالای c اضافی که بعد از وقوع حادثه در RDC j ام ذخیره می‌شود.

v_{cje} مقدار کالای c که بعد از وقوع حادثه بین RDC ها (دو مرکز توزیع j, e) تبادل می‌شود.

z_{ljre} یک، اگر RDC j ام از سایز l و با سطح مقاوم‌سازی re ساخته شود و در غیر این صورت صفر.

fjk_{jk} یک، اگر ارسال کالا از RDC j ام به نقطه تقاضای k ام صورت گیرد و در غیر این صورت صفر.

مدل پیشنهادی با رویکرد محدودیت شانس پایدار مطابق با روش بکاربرده شده توسط پیشوایی و همکاران [۴۱] و توضیحات ارائه شده در پیوست، به فرم زیر می‌باشد:

هدف اول:

$$\min z_1 = \sum_c ifc_c . \max_k \frac{\tilde{d}_{ck} - \sum_j y_{cjk}}{\tilde{d}_{ck}} ifk \qquad (۴)$$

هدف اول مساله، افزایش عدالت در توزیع امداد می‌باشد. بدین صورت که مجموع حداکثر کمبود نسبی وزنی از هر نوع کالای امدادی در نقاط تقاضا را حداقل می‌نماید. تابع فوق برای نخستین بار در ادبیات لجستیک امداد، عدالت در امدادرسانی کالاها به نقاط حادثه‌دیده را با ملاحظه اولویت کالاها و اولویت مکانی نقاط حادثه‌دیده در امدادرسانی، درنظر گرفته است. فرم خطی شده آن در رویکرد محدودیت شانس به صورت زیرمی‌باشد:

$$\min z_1 = \sum_c ifc_c . z_{1\max c} \qquad (۵)$$

$$ifk_k - z_{2\max c} \le \frac{\left(\sum_j y_{cjk} . ifk_k\right)}{\left(1-\alpha_{1_{C,K}}\right)d_{ck3} + \alpha_{1_{C,K}} d_{ck4}} \quad \forall c,k \qquad (۶)$$

به منظور برقراری شرط شدنی پایدار بودن جواب، عبارت زیر که به اختصار آن را $CLCC_1$ می‌نامیم؛ به تابع هدف نهایی مدل پایدار اضافه می‌شود:

$$CLCC_1 = \sum_{c,k}\left[(\sum_j y_{cjk} ifk_k).(\frac{1}{\left(1-\alpha_{1_{C,K}}\right)d_{ck3}+\alpha_{1_{C,K}}d_{ck4}} - \frac{1}{d_{ck4}})\right] \quad \forall c,k \qquad (۷)$$

هدف دوم:

$$\min z_2 = \max_{(j,k)} u_{jk} \qquad (۸)$$

بطوریکه:

$$u_{jk} = \{ fjk_{jk} . djk_{jk} . ifk_k . \sum_c (y_{cjk} . ifc_c)\} \qquad (۹)$$

هدف دوم مساله، بدنبال کاهش ریسک توزیع امداد و افزایش ضمنی سرعت امدادرسانی از RDC ها به نقاط حادثه‌دیده می‌باشد و فرم خطی‌شده این هدف به صورت دسته معادلات () الی () به فرم زیرگزارش می‌شود:

$$\min z_2 = z_{2\max} \qquad (۱۰)$$

$$djk_{jk} . ifk_k . g2_{jk} \le z_{2\max} \quad \forall j,k \qquad (۱۱)$$

$$g2_{jk} \le \sum_c (y_{cjk} . ifc_c) \quad \forall j,k \qquad (۱۲)$$

$$g2_{jk} \le M_1 . fjk_{jk} \quad \forall j,k \qquad (۱۳)$$

$$g2_{jk} \ge \sum_c (y_{cjk} . ifc_c) - M_1\left(1-fjk_{jk}\right) \quad \forall j \qquad (۱۴)$$

هدف سوم:

$$\min z_3 = z_{3_{before}} + z_{3_{after}} \qquad (۱۵)$$

هدف سوم مساله، حداقل‌سازی هزینه‌های لجستیکی قبل و بعد از وقوع حادثه می‌باشد؛ بدین صورت که در رابطه () هزینه‌های احداث و مقاوم‌سازی مراکز توزیع امداد، خرید اقلام امدادی قبل از

بحران و ارسال کالاها جهت از پیش ذخیره‌سازی آن‌ها در مراکز توزیع؛ جزء هزینه‌های پیش از وقوع حادثه درنظر گرفته شده اند:

$$z_{3_{before}} = \sum_{j,l,re}(bc_l + rc_{re})z_{ljre} + \sum_{c,i,j}\left(pc1_c q_{cij} + cij1_{cij} q_{cij}\right)$$

$$z_{3_{before}} = \sum_{j,l,re}(bc_l + rc_{re})z_{ljre} + \sum_{c,i,j}\left(pc1_c q_{cij} + cij1_{cij} q_{cij}\right)$$

(۱۶)

$$z_{3_{after}} = \sum_{c,i,j}(p\tilde{c}2_c x_{cij} + \tilde{c}ij2_{cij} x_{cij}) + \sum_{j,e,c}\tilde{c}je2_{cje} v_{cje} + \sum_{j,k,c}\tilde{c}jk2_{cjk} y_{cjk} + \sum_{j,c} hc_c ih_{cj}$$

(۱۷)

در رابطه () نیز هزینه تهیه اقلام امدادی بعد از بحران و هزینه حمل کالاها در کل شبکه پس از بحران، جزء هزینه‌های پس از بحران مطرح شده‌اند. فرم قطعی معادل هدف سوم این مساله با رویکرد محدودیت شانس پایدار به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\min E[z_3] = z_{3_{before}} + E[z_{3_{after}}] \quad (۱۸)$$

و درآن:

$$E[z_{3_{after}}] = \sum_{c,i,j}(\mathrm{E}[p\tilde{c}2_c]\times x_{cij} + E[\tilde{c}ij2_{cij}]\times x_{cij}) + \sum_{j,e,c}E[\tilde{c}je2_{cje}]\times v_{cje} + \sum_{j,k,c}E[\tilde{c}jk2_{cjk}]\times y_{cjk} + \sum_{j,c} hc_c \times ih_{cj}$$

(۱۹)

که با استفاده از رابطه **Error! Reference source not found.** پیوست، می‌توان مقدار مورد انتظار این اعداد فازی را محاسبه و در عبارت فوق جایگزین کرد.

محدودیت های این مدل به فرم زیر می‌باشند:

محدودیت اول:

این محدودیت ضامن برقراری تعادل موجودی کالاها در RDC ها است و فرم خطی شده آن به صورت روابط زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_i x_{cij} + w_{1cj} + w_{2cj} + w_{3cj} + \sum_e v_{cej} - \sum_e v_{cje} - \sum_k y_{cjk} = ih_{cj} \quad \forall c,j \quad (۲۰)$$

$$\sum_{l,re} z_{ljre} \le 1 \quad \forall j \quad (۲۱)$$

$$w_{1cj} \le M_2 \sum_{l,re=level\,0} z_{lre} \quad \forall c,j \quad (۲۲)$$

$$w_{1cj} \le \left(1 - ri_j\right)\sum_i q_{cij} \quad \forall c,j \quad (۲۳)$$

$$w_{1cj} \ge \left(1 - ri_j\right)\sum_i q_{cij} - M_2\left(1 - \sum_{l,re=level\,0} z_{lre}\right) \quad \forall c,j \quad (۲۴)$$

$$w_{2cj} \le M_2 \sum_{l,re=level\,1} z_{lre} \quad \forall c,j \quad (۲۵)$$

$$w_{2cj} \le \left(1 - ri_j^{\beta_1}\right)\sum_i q_{cij} \quad \forall c,j \quad (۲۶)$$

$$w_{2cj} \ge \left(1 - ri_j^{\beta_1}\right)\sum_i q_{cij} - M_2\left(1 - \sum_{l,re=level\,1} z_{lre}\right) \quad \forall c,j \quad (۲۷)$$

$$w_{3cj} \le M_2 \sum_{l,re=level\,2} z_{lre} \quad \forall c,j \quad (۲۸)$$

$$w_{3cj} \le \left(1 - ri_j^{\beta_2}\right)\sum_i q_{cij} \quad \forall c,j \quad (۲۹)$$

$$w_{3cj} \ge \left(1 - ri_j^{\beta_2}\right)\sum_i q_{cij} - M_2\left(1 - \sum_{l,re=level\,2} z_{lre}\right) \quad \forall c,j \quad (۳۰)$$

$$w_{1cj}, w_{2cj}, w_{3cj} \ge 0 \quad \forall c,j \quad (۳۱)$$

محدودیت دوم:

$$\sum_j y_{cjk} \ge \theta . \tilde{d}_{ck} \quad \forall c,k \quad (۳۲)$$

این محدودیت به لزوم پاسخگویی به یک حداقل درصدی از میزان تقاضای فازی هر کالا در هر نقطه حادثه‌دیده اشاره دارد. پارامتر θ توسط تصمیم‌گیرنده و به منظور اطمینان از رعایت حداقل استانداردهای امدادرسانی در پاسخگویی به تقاضای نقاط حادثه‌دیده، تعیین می‌شود و فرم قطعی متناظر این محدودیت به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\sum_j y_{cjk}}{\theta} \ge \left(1 - \alpha_{2_{c,k}}\right)d_{ck3} + \alpha_{2_{c,k}} d_{ck4} \quad \forall c,k \quad (۳۳)$$

و به منظور پایدارسازی این مدل و بویژه برقراری شرط شدنی پایدار بودن جواب، عبارت زیر که به اختصار آن را $CLCC_2$ می‌نامیم؛ به تابع هدف نهایی مدل پایدار اضافه می‌شود:

$$CLCC_2 = \sum_{c,k}\left[d_{ck4} - \left(1 - \alpha_{2_{c,k}}\right)d_{ck3} - \alpha_{2_{c,k}} d_{ck4}\right] \quad (۳۴)$$

محدودیت سوم تا هفتم:

$$\sum_{e\neq j} v_{cje} \le M_3 \left(\sum_{l,re} z_{ljre} \right) \quad \forall c, j \qquad (۳۵)$$

$$\sum_{e\neq j} v_{cej} \le M_3 \left(\sum_{l,re} z_{ljre} \right) \quad \forall c, j \qquad (۳۶)$$

$$\sum_{i} x_{cij} \le M_4 \left(\sum_{l,re} z_{ljre} \right) \quad \forall c, j \qquad (۳۷)$$

$$\sum_{k} y_{cjk} \le M_5 \left(\sum_{l,re} z_{ljre} \right) \quad \forall c, j \qquad (۳۸)$$

$$\sum_{e=j} v_{cje} = 0 \quad \forall c, j \qquad (۳۹)$$

محدودیت های فوق، ضامن امکان برقراری جریان درکمان‌های شبکه هستند.

محدودیت هشتم و نهم:

$$\sum_{c,i} vo_c q_{cij} \le \sum_{l,re} \left(cap_l . z_{ljre} \right) \quad \forall j \qquad (۴۰)$$

$$\sum_{c} vo_c \, ih_{cj} \le \sum_{l,re} \left(cap_l . z_{ljre} \right) \quad \forall j \qquad (۴۱)$$

این دو محدودیت ضامن این هستند که در یک RDC نمی‌توان بیشتر از ظرفیت آن، قبل از حادثه کالا انبار کرد و یا پس از حادثه کالای اضافی را نگهداری کرد.

محدودیت دهم:

$$\sum_{j} q_{cij} \le su1_{ci} \quad \forall c, i \qquad (۴۲)$$

به‌عبارتی هر تأمین‌کننده در قبل از حادثه، از هر کالا حداکثر می‌تواند به میزان موجودی آن کالا، جهت ذخیره‌سازی از پیش در RDC ها، ارسال داشته باشد.

محدودیت یازدهم:

$$\sum_{j} x_{cij} \le pi_{ci} . \tilde{su}2_{ci} \quad \forall c, i \qquad (۴۳)$$

این محدودیت نیز به این مساله اشاره دارد که پس از رخداد حادثه، تأمین‌کنندگان کالاهای امدادی، از هرکالا می‌توانند حداکثر به میزان عرضه‌ی سالم و قابل برداشت آن، به RDC ها کالا ارسال نمایند. فرم قطعی متناظر این محدودیت در قالب محدودیت شانس به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\sum_j x_{cij}}{pi_{ci}} \le \left(1-\alpha_{3_{c,i}}\right) su2_{ck2} + \alpha_{3_{c,i}} su2_{ck1} \quad \forall c, i \qquad (۴۴)$$

بعلاوه می‌بایست درادامه، به منظور پایدارسازی مدل و بویژه برقراری شرط شدنی پایدار بودن جواب، عبارت زیر که به اختصار $CLCC_3$ نامیده می‌شود؛ به تابع هدف نهایی مدل پایدار اضافه شود:

$$CLCC_3 = \sum_{c,i} \left[\left(1-\alpha_{3_{c,i}}\right) su2_{ck2} + \alpha_{3_{c,i}} su2_{ck1} - su2_{ck1} \right] \qquad (۴۵)$$

نکته قابل توجه این است که میزان عرضه کالاها قبل از حادثه میزانی قطعی در نظر گرفته می‌شود؛ چراکه میزان عرضه از آنجایی‌که تأمین آن حالت اورژانسی نداشته و برای تأمین آن مدت زمان زیادی و حتی چندین ماه زمان داریم؛ می‌تواند به مقدار بسیار زیادی تأمین شود.اما بدیهی است‌که، پس از رخداد حادثه بدلیل افزایش شدت تقاضا، لازم است تأمین‌کنندگان بتوانند سریع به تأمین کالاها بپردازند؛ بنابراین قدرت تأمین آن‌ها با شرایط قبل از بحران که زمان کافی برای تأمین منابع امدادی دارند؛ متفاوت می‌باشد و بعلاوه اینکه این مقدار، خود دارای عدم‌قطعیت نیز خواهد بود. این درحالی است که در ادبیات تحقیقات صورت گرفته در لجستیک امداد، تاکنون به این مساله توجه نشده است و مدل‌هایی‌که عدم‌قطعیت عرضه امداد را درنظر گرفته‌اند عرضه قبل از بحران را همچون عرضه پس از بحران دارای عدم‌قطعیت درنظرگرفته‌اند.

محدودیت دوازدهم تا چهاردهم:

این محدودیت‌ها ضامن این هستند که به منظور ارسال کالا از هر RDC به یک نقطه حادثه‌دیده، بایستی کمان مواصلاتی آن‌ها در شبکه ایجاد شده باشد و همچنین هر نقطه حادثه‌دیده دقیقا از یک RDC می‌بایست امداد دریافت نماید. که این مطلب با توجه به وجود پوشش پشتیبان بین RDC ها، موجب بهبود مدیریت و هماهنگی در امدادرسانی به نقاط حادثه‌دیده خواهد شد.

$$\sum_{c} y_{cjk} \le M_6 . fjk_{jk} \quad \forall j, k \qquad (۴۶)$$

$$fjk_{jk} \le \sum_{c} y_{cjk} \quad \forall c, i \qquad (۴۷)$$

$$\sum_{j} fjk_{jk} = 1 \quad \forall k \qquad (۴۸)$$

۵. رویکرد حل مدل پیشنهادی

روش Lp-metrics یکی از روش‌های حل مسائل چندهدفه می‌باشد؛که در این روش ابتدا مقدار بهینه هر هدف می‌بایست مشخص شود، که برای این منظور مسائل تک‌هدفه حل می‌شوند و سپس با مجموع وزنی نرمال‌سازی شده‌ی اختلاف بین هر تابع هدف و مقدار بهینه آن، تابع هدف جدیدی حاصل می‌شود که نهایتا مساله با حداقل‌سازی آن تابع هدف روی فضای مساله چندهدفه مورد نظر، حل خواهد شد [۴۲] ، [۳۱].

در این مقاله به منظور حل مدل برنامه‌ریزی محدودیت شانس پایدار ارائه شده با استفاده از رویکرد Lp-metrics، تابع هدف به صورت زیر به فرم رابطه () ساخته می‌شود:

$$\min z_{\text{final}} = \left[w_1 . \frac{z_1 - z_1^*}{z_1^*} + w_2 . \frac{z_2 - z_2^*}{z_2^*} + w_3 . \frac{E[z_3] - z_3^*}{z_3^*} \right] + \gamma [\frac{(z_3^{\max} - E[z_3]) - (z_3^{\max} - E[z_3])^*}{(z_3^{\max} - E[z_3])^*}]$$
$$+ \delta_1 \sum_{c,k} \left[\frac{\frac{1}{(1-\alpha_{1c,k}) d_{ck3} + \alpha_{1c,k} d_{ck4}} - \frac{1}{d_{ck4}}}{\frac{1}{0.5 \times (d_{ck3} + d_{ck4})} - \frac{1}{d_{ck4}}} \right] + \delta_2 \sum_{c,k} \left[\frac{d_{ck4} - (1-\alpha_{3c,k}) d_{ck3} - \alpha_{3c,k} d_{ck4}}{d_{ck4} - 0.5 \times (d_{ck3} + d_{ck4})} \right]$$
$$+ \delta_3 \sum_{c,i} \left[\frac{(1-\alpha_{4c,k}) su2_{ck2} + \alpha_{4c,k} su2_{ck1} - su2_{ck1}}{0.5 \times (su2_{ck2} + su2_{ck}) - su2_{ck1}} \right] \quad (۴۹)$$

بطوریکه:

$$\sum_{i=1}^{3} w_i + \gamma + \sum_{i=1}^{3} \delta_i = 1 \quad (۵۰)$$

بنابراین با حداقل‌سازی تابع هدف () روی فضای مساله، یک مساله تک هدفه عددصحیح مختلط غیرخطی خواهیم‌داشت.

۶. بررسی مسائل نمونه

در اولین گام تولید یک مساله نمونه، بدون از دست دادن هیچ کلیتی، وقوع حادثه‌ای همچون زلزله در محدوده چند شهر و روستا در نظرگرفته می‌شود؛ که کانون این زمین‌لرزه مبداء مختصات فرض شده است. اعداد مورد نیاز برای شبیه‌سازی این مسائل لجستیک امداد، با توجه به مقادیر نمونه آن‌ها در واقعیت، در مدل لحاظ شده‌اند.

به منظور مقایسه این مدل ها فرم قطعی آن، ابتدا تعداد ۵ مسئله با اندازه‌های تصادفی تولید شده، سپس هر یک از این مسائل مطابق با مدل پایدار ارائه شده و فرم قطعی آن مدل پایدار مدلسازی و سپس هر دوی آن مدل‌ها با رویکرد lp-metric حل می‌شوند؛ تا تصمیمات استراتژیک و تاکتیکال هر یک از دو مدل قطعی و پایدار، نظیر مکان و اندازه و سطح مقاوم‌سازی مراکز توزیع امداد و میزان ذخیره‌سازی کالاها در هر مرکز مشخص شوند. سپس به منظور ارزیابی کارایی این مدل‌ها در سیاست‌گذاری‌های پیش از وقوع حادثه، بصورت تصادفی ۱۰ سناریوی مختلف برای رخداد حادثه تولید می‌شود؛ که در هر یک از آن‌ها پارامترهای نادقیق و فازی فضای پس از رخداد حادثه، مقادیر مشخصی از بازه تغییرات خود را اتخاذ کرده‌اند. پس از آن برای هر یک از سناریوهای تولید شده در هریک ازمسائل نمونه تولید شده، دو بررسی انجام می‌شود. در این بررسی‌ها هر بار استراتژی‌های اتخاذ شده از هر یک از دو مدل قطعی و پایدار به مدل قطعی منطبق با هر سناریو، وارد می‌شود و نتایج آن ارزیابی می شود. شایان ذکر است که، در مدلسازی‌ها فرض می‌شود از نظر سازمان متولی امداد اهمیت هدف اول و دوم به ترتیب چهار و سه برابر اهمیت هدف سوم می‌باشد و بدنبال برنامه‌ریزی به منظور پاسخگویی به حداقل ۹۰ درصد از تقاضای هر نقطه بحران‌زده می‌باشد. جدول (۱) و (۲) نتایج حاصل از حل مسائل نمونه و ویژگی مسائل را نشان می دهد.

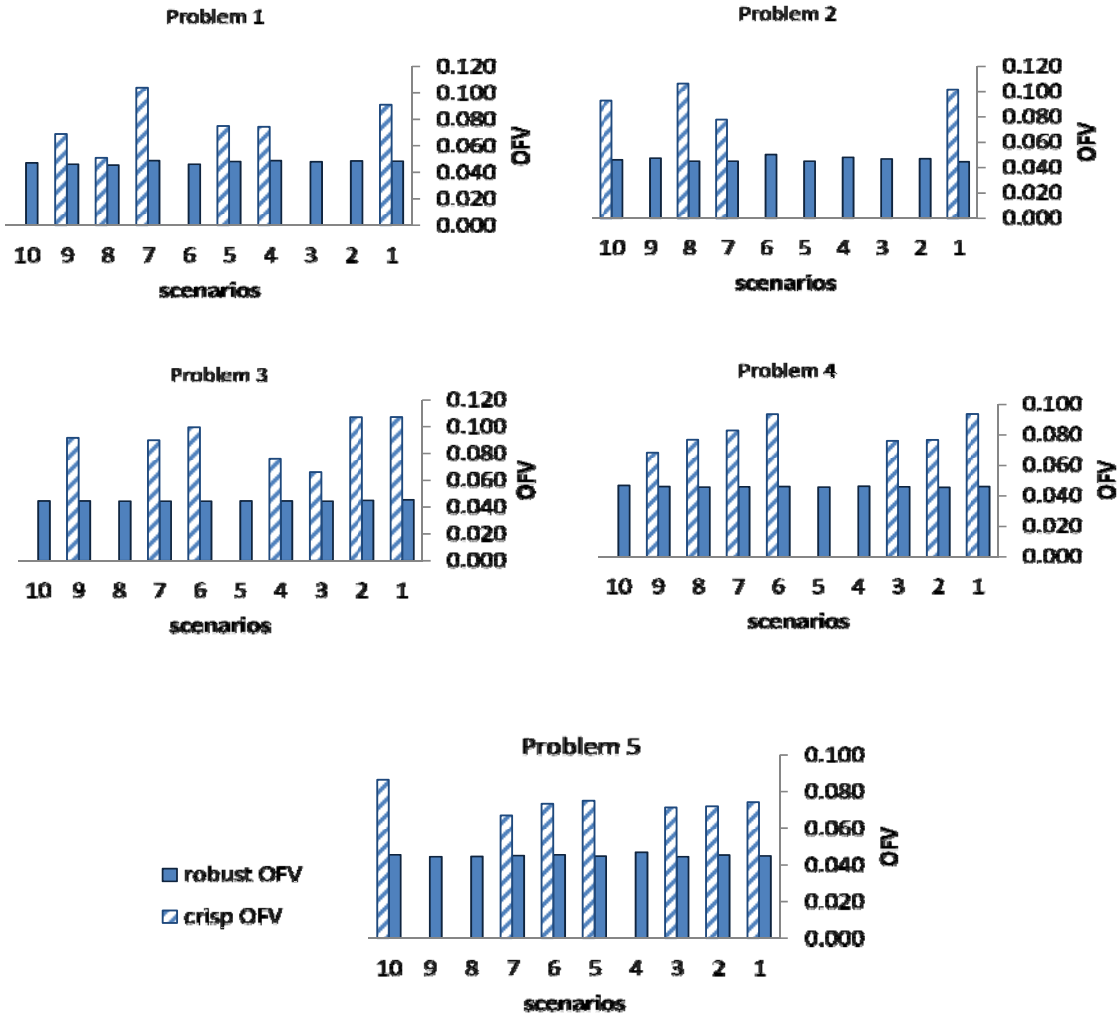
جدول ۱. نتایج حاصل از حل استوار مسائل نمونه

Problems	CCP Robust model				
S/RDC/AA	budget	Cost after disaster	Z1	Z2	CPU time
2/3/4	1.05E+08	4465465	0.0	651352	24.1
2/3/6	1.41E+08	5514506	0.0	560602	25.4
4/7/9	2.38E+08	6162699	0.0	336481	49.4
3/5/8	1.81E+08	5638991	0.0	210463	38.9
4/7/9	2.38E+08	6162699	0.0	336481	49.4

جدول ۲. نتایج حاصل از حل استوار مسائل نمونه

Problems	Deterministic model				
S/RDC/AA	budget	Cost after disaster	Z1	Z2	CPU time
2/3/4	77547710	3403151	0.0	541890	23.8
2/3/6	1.15E+08	4339509	0.0	465833	24.8
4/7/9	1.86E+08	4597993	0.0	276490	45.3
3/5/8	1.38E+08	4210476	0.0	172906	37.3
4/7/9	1.86E+08	4597993	0.0	276490	45.3

همانطورکه در شکل(۱) ملاحظه می‌شود، مقدار تابع هدف روش Lp-metrics درمدلی که با رویکرد پایدار مدلسازی شده در تمام سناریوها در سطح تقریبا یکنواختی پایدار باقی مانده است؛ در حالی‌که مدلی که با رویکرد قطعی مدلسازی شده است نه تنها مقدار تابع هدف آن در سناریوهای مختلف تغییرات زیادی دارد؛ بلکه سیاست‌گذاری‌های انجام شده با رویکرد قطعی در چندین سناریو نتوانسته است سیاست تأمین حداقل ۹۰ درصد تقاضا در هر نقطه تقاضا (محدودیت دوم مساله) را برقرار کند و مدل نشدنی شده است.



شکل ۲. مقایسه مقدار تابع هدف lp-metrics در دو مدل قطعی و پایدار برای پنج مساله نمونه

در بررسی تابع هدف اول در تمام مسائل، مدل قطعی و مدل پایدار پیش از وقوع حادثه پاسخگویی کامل به تقاضا در نقاط حادثه‌دیده را در سیاست‌گذاری خود ادعا کرده‌اند. حال آنکه مدل قطعی پس از وقوع حادثه در سناریوهای مختلف، نتوانسته است در همه موارد به طور کامل به تقاضای ایجاد شده پاسخ دهد؛ در حالیکه مدل پایدار با پاسخدهی کامل تقاضا در تمام سناریوها، توانسته است کارایی مدل پایدار در تحقق این سیاست‌گذاری را اثبات کند.

در تمام مسائل نمونه مقدار تابع هدف دوم در دو مدل قطعی و پایدار در سناریوهای مختلف تقریبا یکسان بدست آمده است. اما نکته قابل توجه آن است که، در مدل پایدار مقدار تابع هدف دوم در اکثر سناریوها کمتر از مقدار پیش‌بینی شده‌ی آن در مدل پایدار، بدست آمده است؛ ولی در مدل قطعی اینطور نمی‌باشد. این مسئله با توجه به اهمیت هدف دوم از دیدگاه تصمیم‌گیرنده، در قابلیت اعتماد مدل پایدار بسیار تأثیرگذار خواهد بود. همانطورکه پیش‌تر عنوان شد، کاهش هزینه‌های امدادرسانی، در نظر سازمان متولی امداد اغلب از اهمیت بسیار کمتری نسبت به سایر اهداف برخورداراست. چرا که سایر اهداف در امداد رسانی (نظیر هدف اول و دوم مدل پیشنهادی) مستقیما با حفظ و نجات جان افراد گرفتار در حادثه در ارتباط هستند. اما از طرف دیگر از دیدگاه سازمان متولی امداد، با وجود اهمیت کم کاهش هزینه‌های امدادی، برآورد دقیق هزینه‌های قبل و بعد از بحران می‌تواند از اهمیت بسیاری برخوردار باشد. چرا که کمبود بودجه پس از وقوع بحران می‌تواند عامل مهمی در افزایش عمق فاجعه بشمار آمد. حال با توجه به شکل (۳) ملاحظه می‌شود که، اگر چه هزینه‌های پس از بحران در مدل پایدار بیش‌تر از مدل قطعی می‌باشد اما با اتخاذ سیاست‌گذاری‌های مدل پایدار، سازمان متولی امداد می‌تواند به میزان هزینه‌ای که از پیش از وقوع بحران و در دوره تصمیم‌گیری‌های استراتژیک برای دوره پس از وقوع بحران پیش‌بینی شده‌است اطمینان بیشتری داشته باشد و بر مبنای آن تصمیمات مطمئن‌تری را اتخاذ نماید. این در حالی‌است که در مدل قطعی در سناریوهای مختلف، هزینه‌های مورد نیاز همواره تفاوت چشم‌گیری با مقدار پیش‌بینی شده آن در قبل از وقوع بحران دارند و چنانچه بر مبنای آن تصمیمات مطمئن‌تری را اتخاذ نماید. این در حالی‌است که در مدل قطعی در سناریوهای مختلف، هزینه‌های مورد نیاز همواره تفاوت چشم‌گیری با مقدار پیش‌بینی شده آن در قبل از وقوع بحران دارند و چنانچه بر مبنای آن، تصمیمات بودجه‌ای سازمان صورت گیرد؛ پس از وقوع بحران، کمبود بودجه می‌تواند موجب وخامت بیشتر شراط پس از وقوع حادثه بشود.

۷. جمع‌بندی

در این مقاله برای نخستین بار در ادبیات مکانیابی تسهیلات امدادی از برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس استفاده و عدم قطعیت عرضه و تقاضا و پارامترهای هزینه‌ای پس از بحران در قالب ضرایب فازی ذوزنقه‌ای وارد مدل شد. همچنین برای نخستین بار به بحث مقاوم سازی مراکز توزیع و تقدم مکانی و کالایی در امدادرسانی توجه گردید. سپس به منظور بررسی مدل پیشنهادی با تولید مسائل نمونه و در نظر گرفتن ده سناریوی رخداد حادثه، مزیت رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی محدودیت شانس پایدار نسبت به رویکرد برنامه‌ریزی قطعی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در سناریوهای مختلف وقوع بحران، بیانگر عدم توانایی رویکرد قطعی در برآورده ساختن حداقل سطح استاندارد امدادرسانی مورد نظرسازمان متولی امداد، در اکثر سناریوها بود. همچنین در رویکرد قطعی، تغییر سطح هزینه‌های پس از بحران و حتی سطح پوشش امداد در سناریوهای مختلف وقوع بحران، با آنچه سازمان از پیش از بحران بر مبنای آن تصمیم‌گیری نموده بود؛ یکی دیگر از مشکلاتی بود که تصمیم‌گیری‌های استراتژیک بر مبنای مدل با رویکرد قطعی را با خطر جدی روبرو می‌کرد. اما رویکرد پایدار با وجود صرف هزینه‌های امدادی بالاتر، در مقابل توانست ضمن پاسخگویی به حداقل سطح امداد رسانی مدنظر سازمان در تمام سناریوها، پوشش امداد را نیز در سطح مورد انتظار و در بهترین مقدار آن برقرار نموده و با ارائه برآورد مناسبی از هزینه‌های پس از بحران موجب افزایش قابلیت‌اعتماد تصمیمات استراتژیک اتخاذ شده با رویکرد مدلسازی پایدار شود.

مراجع

[1] de la Torre, L.E., Dolinskaya, I.S., and Smilowitz, K.R., "Disaster relief routing: Integrating research and practice", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 46, NO. 1, pp. 88-97, 2012.

[2] Kovács, G., and Spens, K.M., "Humanitarian logistics in disaster relief operations",.

[3] Jia, H., Ordonez, F., and Dessouky, M., "A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies", IIE Transactions, Vol. 39, NO. 1, pp. 41-55, 2007.

[4] Caunhye, A.M., Nie, X., and Pokharel, S., "Optimization models in emergency logistics: A literature review", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 46, NO. 1, pp. 4-13, 2012.

[5]` Jia, H., Ordonez, F., and Dessouky, M.M., "Solution approaches for facility location of

medical supplies for large-scale emergencies", Computers & Industrial Engineering, Vol. 52, NO. 2, pp. 257-276, 2007.

[6] Dessouky, M., Ordonez, F., Jia, H., and Shen, Z., "Rapid distribution of medical supplies", Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery, pp. 309-338, 2006.

[7] Balcik, B., andBeamon, B.M., "Facility location in humanitarian relief", International Journal of Logistics, Vol. 11, NO. 2, pp. 101-121, 2008.

[8] Duran, S., Gutierrez, M.A ,.and Keskinocak, P., "Pre-Positioning of Emergency Items for CARE International", Interfaces, Vol. 41, NO. 3, pp. 223-237, 2011.

[9] Mete, H.O., and Zabinsky, Z.B., "Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management", International Journal of Production Economics, Vol. 126, NO. 1, pp. 76-84, 2010.

[10] Rawls, C.G., and Turnquist, M.A., "Pre-positioning of emergency supplies for disaster response", Transportation research part B: Methodological, Vol. 44, NO. 4, pp. 521-534, 2010.

[11] Chang, M.S., Tseng, Y.L., and Chen, J.W., "A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 43, NO. 6, pp. 737-754, 2007.

[12] Caunhye, A.M., Nie, X., and Pokharel, S., "Optimization models in emergency logistics: A literature review", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 46, NO. 1, pp. 4-13, 2012.

[13] Huang, M., Smilowitz, K., and Balcik, B., "Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 48, NO. 1, pp. 2-18, 2011.

[14] Nolz, P., Doerner, K ,.Gutjahr, W., and Hartl, R., "A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning",

Advances in Multi-Objective Nature Inspired Computing, Vol., NO., pp. 167-187, 2010.

[15] Van Hentenryck, P., Bent, R., and Coffrin, C., "Strategic planning for disaster recovery with stochastic last mile distribution", Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems, pp. 318-333, 2010.

[16] Tzeng, G.H., Cheng, H.J., and Huang, T.D., "Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 43, NO. 6, pp. 673-686, 2007.

[17] Lin, Y.H., Batta, R., Rogerson, P.A., Blatt, A., and Flanigan, M., "A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 45, NO. 4, pp. 132-145, 2011.

[18] Clark, A., and Culkin, B., "A Network Transshipment Model for Planning Humanitarian Relief Operations after a Natural Disaster," Proc. 22nd European Conference on Operational Research, 2007, pp. 1-34.

[19] De Angelis, V., Mecoli, M., Nikoi, C., and Storchi, G., "Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Programme cargo planes in Angola", Computers & operations research, Vol. 34, NO. 6, pp. 1601-1615, 2007.

[20] Yi, W., and Ozdamar, L., "A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities", European Journal of Operational Research, Vol. 179, NO .3,pp. 1177-1193, 2007.

[21] Ben-Tal, A., and Nemirovski, A., "Selected topics in robust convex optimization", Mathematical Programming, Vol. 112, NO. 1 ,pp. 125-158, 2008.

[22] Zhu, J., Huang, J., Liu, D., and Han, J., "Resources Allocation Problem for Local Reserve Depots in Disaster Management Based on Scenario Analysis," Proc. The 7th International Symposium on Operations

[31] Azaron, A., Brown, K., Tarim, S., and Modarres, M., "A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk", International Journal of Production Economics, Vol. 116, NO. 1, pp. 129-138, 2008.

[32] Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J., and Zenios, S.A., "Robust optimization of large-scale systems", Operations research, Vol. 43, NO. 2, pp. 264-281, 1995.

[33] Bhattacharya, U., Rao, J., and Tiwari, R., "Fuzzy multi-criteria facility location problem", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 51, NO. 3, pp. 277-287, 1992.

[34] Bhattacharya, U., Rao, J., and Tiwari, R., "Bi-criteria multi facility location problem in fuzzy environment", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 56, NO. 2, pp. 145-153, 1993.

[35] Canós, M.J ,Ivorra, C., and Liern, V., "An exact algorithm for the fuzzy p-median problem", European Journal of Operational Research, Vol. 116, NO. 1, pp. 80-86, 1999.

[36] Darzentas, J., "A discrete location model with fuzzy accessibility measures", FuzzySets and Systems, Vol. 23, NO. 1, pp. 149-154, 1987.

[37] Rao, J., and Saraswati, K., "Facility location problem on a network under multiple criteria—fuzzy set theoretic approach", 1988.

[38] Zhou, J., and Liu, B., "Modeling capacitated location–allocation problem with fuzzy demands", Computers & Industrial Engineering, Vol. 53, NO. 3, pp. 454-468, 2007.

[۳۹] جبل‌عاملی، سعید. بزرگی امیری، علی. حیدری، مهدی.، "ارائه مدل برنامه ریزی امکانی چند هدفه برای مساله لجستیک امداد"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۱، جلد ۲۲، ص ص ۶۶ تا ۷۶، بهار ۱۳۹۰.

[40] Pishvaee, M., Razmi, J., and Torabi, S., "Robust possibilistic programming for Research and its Applications. Lijiang, China, 2008, pp. 395-407.

[23] Salmeron, J., and Apte, A., "Stochastic optimization for natural disaster asset prepositioning", Production and Operations Management, Vol. 19, NO. 5, pp. 561-574, 2010.

[24] Najafi, M., Eshghi, K., and Dullaert, W., "A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 49, NO. 1, pp. 217-249, 2013.

[25] Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M.S., Alinaghian, M., and Heydari, M., "A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 60, NO. 1-4 ,pp. 357-371, 2012.

[26] Akgün, İ., Gümüşbuğa, F., & Tansel, B. "Risk based facility location by using fault tree analysis in disaster managemen"t. Omega, Vol.52, 168-179, 2015.

[27] Verma, A., & Gaukler, G. M. . "Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches". Computers & Operations Research, 62, 197-209, 2015.

[28] Kılcı, F., Kara, B. Y., & Bozkaya, B. "Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey". European Journal of Operational Research, 243(1), 323-332, 2015.

[29] Nappi, M. M. L., & Souza, J. C. "Disaster management: hierarchical structuring criteria for selection and location of temporary shelters". Natural Hazards, 75(3), 2421-2436, 2015.

[30] Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M., and Al-e-Hashem, S.M., "A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty", OR Spectrum, pp. 1-29, 2011.

socially responsible supply chain network design: A new approach", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 206, pp. 1-20, 2012.

[41] Ben-Tal, A., and Nemirovski, A., "Selected topics in robust convex optimization", Mathematical Programming, Vol. 112, NO. 1 ,pp. 125-158, 2008.

[42] Pishvaee, M.S., Rabbani, M., and Torabi, S.A., "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty", Applied Mathematical Modelling, Vol. 35, NO. 2, pp. 637-649, 2011.

پیوست

اگر $\tilde{\boldsymbol{d}} = (\boldsymbol{d_{(1)}}, \boldsymbol{d_{(2)}}, \boldsymbol{d_{(3)}}, \boldsymbol{d_{(4)}})$ یک عدد فازی ذوزنقه‌ای باشد مقدار مورد انتظار آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E\left[\tilde{d}\right] = \frac{d_{(1)} + d_{(2)} + d_{(3)} + d_{(4)}}{4} \quad (۵۱)$$

برای ساده‌سازی محدودیت‌های شانس به فرم $\boldsymbol{r} \le \tilde{\boldsymbol{d}}$ و تبدیل آن به محدودیت قطعی متناظر، با درنظرگرفتن عدد حقیقی $\boldsymbol{r}$ و تعریف امکان و الزام عبارت $\boldsymbol{r} \le \tilde{\boldsymbol{d}}$، به صورت زیر عمل می‌کنیم [۱۵]:

$$Pos\left(r \le \tilde{d}\right) = Sup_{x \ge r}\, \mu_{\tilde{d}}(x) \quad (۵۲)$$

$$Nec\left(r \le \tilde{d}\right) = 1 - Pos\left(r \ge \tilde{d}\right) = Sup_{x < r}\, \mu_{\tilde{d}}(x) \quad (۵۳)$$

که با جایگذاری داریم:

$$Pos\left(r \le \tilde{d}\right) = \begin{cases} 1 & d_3 \ge r \\ \dfrac{d_{(4)} - r}{d_{(4)} - d_3} & d_3 \le \mathrm{r} \le d_{(4)} \\ 0 & d_{(4)} \ge \mathrm{r} \end{cases} \quad (۵۴)$$

$$Nec\left(r \le \tilde{d}\right) = \begin{cases} 1 & d_1 \ge r \\ \dfrac{d_2 - r}{d_2 - d_1} & d_1 \le \mathrm{r} \le d_2 \\ 0 & d_2 \ge \mathrm{r} \end{cases} \quad (۵۵)$$

و فرم ساده شده معادل هر کدام به صورت زیر می‌شود:

$$Pos\left(r \le \tilde{d}\right) \ge \alpha \quad \rightarrow \quad \mathrm{r} \le (1-\alpha) d_{(4)} + \alpha d_3 \quad (۵۶)$$

$$Nec\left(r \le \tilde{d}\right) \ge \alpha \quad \rightarrow \quad \mathrm{r} \le (1-\alpha) d_2 + \alpha d_1 \quad (۵۷)$$

و صورت مشابه، محدودیت‌های شانس به فرم $\boldsymbol{r} \ge \tilde{\boldsymbol{d}}$ نیز به صورت زیر ساده سازی می‌شوند:

$$Pos\left(r \ge \tilde{d}\right) \ge \alpha \quad \rightarrow \quad \mathrm{r} \ge (1-\alpha) d_1 + \alpha d_2 \quad (۵۸)$$

$$Nec\left(r \ge \tilde{d}\right) \ge \alpha \quad \rightarrow \quad \mathrm{r} \ge (1-\alpha) d_3 + \alpha d_{(4)} \quad (۵۹)$$