فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۷، تابستان ۱۳۹۷، ۱۰۰-۶۷

مدل‌سازی رویکرد برگزاری مناقصه و کاربرد آن برای خرید اقلام امدادی

مازیار خوش سیرت*

رحیم دباغ** علی بزرگی امیری***

دریافت: ۹۶/۱۲/۷ پذیرش: ۹۷/۳/۲۷

خرید اقلام امدادی / مناقصه معکوس چند شاخصه / پرومتی فازی / برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه / محدودیت اپسیلون تقویت شده

چکیده:

انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در فرایند خرید اقلام امدادی در شرایط بحران امری مهم و ضروری است. در این مقاله، رویکرد ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در چارچوب مناقصه معکوس چند شاخصه ارائه شده است. رویکرد پیشنهادی با تمرکز بر فاز ارزیابی مناقصه در دو مرحله مدلسازی شده است. در مرحله اول، هر یک از شرکت‌کنندگان مناقصه به عنوان تأمین‌کنندگان اقلام امدادی با توجه به معیارهای کمّی و کیفی تأثیرگذار، با استفاده از روش پرومتی فازی رتبه‌بندی می‌شوند. سپس در مرحله دوم، تأمین‌کنندگان مناسب براساس اولویت‌های مرحله قبل، در قالب یک مدل ریاضی سه هدفه فازی انتخاب شده و حجم

*. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران.

**. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران.

***. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

■ رحیم دباغ، نویسنده مسئول.

بهینه سفارش‌دهی مشخص می‌شود. ریسک اختلال در مراکز تأمین و توزیع و همچنین عدم قطعیت از جمله ویژگی‌های اصلی مدل ریاضی ارائه شده است. در این مقاله، برای نخستین بار از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه جهت مواجهه با عدم قطعیت پارامترهای غیرقطعی مسأله خرید اقلام امدادی در زنجیره امداد استفاده شده است. رویکرد حل مدل چند هدفه، روش محدودیت اپسیلون تقویت شده در نظر گرفته شده است. در پایان، نتایج محاسباتی نشان از عملکرد بهتر و کارایی مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار چندهدفه برای مسأله خرید اقلام امدادی دارد.

طبقه‌بندی JEL: C61، D44، H12، H57

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

تأمین اقلام امدادی مورد نیاز در شرایط بحرانی یکی از چالش‌های اساسی زنجیره امداد بشردوستانه است. ساختار بودجه‌بندی سازمان‌های امدادی، تنوع ذینفعان، ماهیت غیر قابل پیش‌بینی بحران‌ها و کمبود منابع حیاتی از جمله فاکتورهایی است که سبب پیچیدگی عملیات خرید در زنجیره امداد شده است[1]. ناشناخته بودن مکان، زمان و شدت وقوع حادثه تصمیم‌گیری برای تعیین سطح موجودی کافی در قبل از بحران را دشوار کرده و در بیشتر مواقع مقادیر پیش‌ذخیره‌سازی پاسخگوی تقاضای بوجود آمده نیست و در اکثر بحران‌ها سازمان‌های امدادرسان با کمبود اقلام امدادی روبه‌رو می‌شوند. در چنین شرایطی اقلام موردنیاز بایستی با توجه به میزان تقاضای بعد از بحران جهت حفظ جان افراد بحران‌زده خریداری گردد. تاپیاک بیان می‌کند که در حدود ۶۰ درصد هزینه‌های فاز پس از بحران به خرید اقلام امدادی اختصاص داده شده است[2]. همچنین برآوردها نشان می‌دهد که ۶۵ درصد از کل بودجه زنجیره امداد برای خرید اقلام امدادی و تجهیزات، ۱۵ درصد حمل‌ونقل، ۱۰ درصد نیروی انسانی و ۱۰ درصد برای هزینه‌های مدیریت پرداخته می‌شود[3]. ازین‌رو خرید پس از بحران به عنوان یکی از وظایف اصلی سازمان‌های امدادی بسیار حائز اهمیت است.

مدیریت خرید در زنجیره تأمین تجاری اغلب با بکارگیری مکانیسم مناقصه مورد بررسی قرار گرفته است. تجارت الکترونیکی، معاملات شرکت‌های مخابراتی و خرید و فروش انواع کالاها از جمله کاربردهای اصلی مناقصه‌های تک شاخصه و چند شاخصه در زنجیره تأمین تجاری است[4]. علی رغم تحقیقات فراوان در زمینه طراحی مناقصه در زنجیره تأمین تجاری، مشاهده می‌شود که تعداد کمی از سازمان‌های بشر دوستانه برای انجام عملیات خرید از مناقصه استفاده کرده و ادبیات بسیار محدودی مربوط به این رویکرد در زنجیره امداد وجود دارد. ازین‌رو، در این مقاله قصد آن را داریم تا با استفاده از مدلسازی ریاضی مدل جدیدی برای برگزاری مناقصات ارائه دهیم. همچنین در این مقاله خرید اقلام

1. Balcik et al. (2010); pp. 22-34.
2. Taupiac (2001); pp. 7-10.
3. Schulz (2009)
4. Bichler (2000); pp. 249–268. Chen-Ritzo et al. (2005); pp. 1753–1762. David et al. (2006); pp. 527–556. Cheng (2008); pp. 3261-3274. Petric and Jezic (2010); 261-270. Qian et al. (2014); 1917-1921. Huang et al. (2016); pp. 184-200.

ضروری در شرایط بحران به عنوان یکی از مصداق‌های کاربردی برگزاری مناقصه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

مناقصه‌ها به دو دسته اصلی؛ سنتی (یا مستقیم[1]) و معکوس[2] تقسیم می‌شوند. مناقصه‌های مستقیم با یک فروشنده و چندین خریدار مبتنی بر فروش هستند. در این نوع مناقصه، مناقصه‌گزار (فروشنده) تعدادی محصول یا خدمت را با بیشترین قیمت پیشنهادی به خریدار می‌فروشد. در حالی که مناقصه‌های معکوس با یک خریدار و چند فروشنده مبتنی بر خرید هستند. در مناقصه معکوس، طرف خریدار برای تأمین محصول یا خدمت در اندازه‌ای مشخص به تعدادی از تأمین‌کنندگان آگهی کرده و پس از دریافت پیشنهادهای طرف تأمین، براساس قوانین ارزیابی از پیش تعریف شده، برندگان مناقصه را تعیین کرده و تخصیص سفارش می‌دهد. علاوه‌براین، مناقصه‌های معکوس در دو نوع تک شاخصه و چند شاخصه بوده و شامل سه فاز اصلی؛ فراخوان، ساخت و ارزیابی هستند[3].

هدف اصلی این مقاله ارائه مدلی ترکیبی برای تعیین برندگان مناقصه و تخصیص سفارش به هر یک از آن‌ها است. چارچوب ارائه شده برای مدلسازی فاز ارزیابی مناقصه معکوس چند شاخصه پیشنهاد شده و شامل یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه و یک مدل ریاضی چند هدفه است. در مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه، تأمین‌کنندگان (شرکت‌کنندگان مناقصه) با توجه به معیارهای کمی و کیفی با استفاده از روش پرومتی فازی اولویت‌بندی و امتیازدهی می‌شوند و در مدل ریاضی چند هدفه نیز، برندگان مناقصه مشخص شده و تخصیص سفارش صورت می‌گیرد. در مدل ریاضی ارائه شده، به دلیل ماهیت غیر قابل پیش‌بینی بحران برخی از پارامترهای ورودی با عدم قطعیت همراه است. علاوه بر این در نظر گرفتن ریسک اختلال در مراکز تأمین و توزیع به دلیل ساختار آسیب‌دیده محیط پس از بحران از سایر ویژگی‌های مدل پیشنهادی است.

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش یک پیشینه تحقیق بیان شده است. در بخش دو به بیان مسأله و مدلسازی ریاضی پرداخته شده است. در بخش سه رویکرد مواجه با عدم قطعیت و همچنین روش حل مدل چند هدفه تشریح شده است. در

1. Traditional (or forward auctions)
2. Reverse auctions
3. Shokr and Torabi (2017)

بخش چهار مثال عددی ارائه شده و نتایج مدل پیشنهادی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است و در پایان، جمع‌بندی و پیشنهادها برای تحقیقات آتی آورده شده است.

۱. پیشینه تحقیق

علی رغم اهمیت فراوان مسأله انتخاب تأمین‌کننده مناسب و تخصیص سفارش در فرآیند خرید اقلام امدادی، تاکنون تحقیقات اندکی در این زمینه انجام شده است. ادبیات موجود در این حوزه از دو منظر برگزاری مناقصه و رویکرد مدلسازی ریاضی قابل بررسی است که در ادامه به پژوهش‌های صورت گرفته در این دو بخش اشاره شده است.

ترستریال و همکاران در سال ۲۰۰۹ به منظور تخمین وضعیت آینده مناقصه‌گزاری در بخش کشاورزی ایالات متحده، از مدلسازی ریاضی عدد صحیح مختلط برای فرموله کردن مناقصه استفاده کردند. مدل پیشنهادی آن‌ها با هدف کاهش هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل اقلام امدادی، حجم تخصیص مواد غذایی به هر یک از تأمین‌کنندگان را تعیین می‌کند[1]. بطور مشابه، باگچی و همکاران در سال ۲۰۱۱ از رویکرد مدلسازی مناقصه برای خرید کمک‌های غذایی در زنجیره امداد بشر دوستانه بهره گرفتند. افزایش مشارکت و هماهنگی بین تأمین‌کنندگان و حاملان مواد غذایی و همچنین افزایش حجم ارسال کمک‌های غذایی به مناطق آسیب‌دیده از عمده نتایج مدل آن‌ها است[2]. ارتم و همکاران در سال ۲۰۱۰ با هدف بهبود کارآیی تخصیص منابع در زنجیره امداد بشردوستانه چارچوبی مبتنی بر مناقصه برای خرید اقلام امدادی پیشنهاد دادند. در مطالعات آن‌ها دو مدل ریاضی طراحی شده‌است. مدل اول از دیدگاه تأمین‌کنندگان حجم بهینه پیشنهادی را تعیین می‌کند. در مدل دوم نیز، خریداران با بهره‌گیری از یک مدل ریاضی عدد صحیح، بسته‌های پیشنهادی تأمین‌کنندگان را ارزیابی کرده و تخصیص سفارش می‌دهند[3]. در تحقیقی دیگر، ارتم و بویورگان در سال ۲۰۱۱ مدل مناقصه را توسعه داده و برای ایجاد هماهنگی مناسب میان تأمین‌کنندگان و خریدار از یک زیرساخت هماهنگ‌کننده استفاده کردند. زیرساخت پیشنهادی تقاضا

1. Trestrail et al. (2009); pp. 428-441.
2. Bagchi et al. (2011); pp. 238-245.
3. Ertem et al. (2010); pp. 202-227.

را از سازمان امدادی جمع‌آوری کرده و در اختیار بخش تأمین‌کننده قرار می‌دهد[1]. ارتم و همکاران درسال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ فاز ساخت مناقصه را از دیدگاه تأمین‌کننده مورد بررسی قرار دادند، در مدل پیشنهادی‌شان، اگر تأمین‌کننده‌ای برای کالایی موجودی به اندازه کافی نداشته باشد می‌تواند با هر سطح موجودی در مناقصه شرکت کند (تأمین جزئی) و در صورت عدم موجودی در انبار، اقلام با کارکرد مشابه را پیشنهاد دهد (تأمین جایگزین). نتایج پیاده‌سازی مدل نشان داد که افزودن گزینه‌های تأمین جزئی و جایگزین به مدل ساخت مناقصه، سبب استفاده بهتر از موجودی تأمین‌کنندگان شده‌است[2]. در مطالعه دیگری، شکر و ترابی به منظور تأمین اقلام امدادی مورد نیاز در پس از بحران مدل مناقصه معکوس را توسعه دادند. در مطالعات آن‌ها با توجه به عدم قطعیت پارامترهای ورودی، دو مدل امکانی برای مدل‌سازی فاز ساخت و ارزیابی مناقصه ارائه شده‌است. مدل مربوط به فاز ساخت تک‌هدفه بوده و سود حاصل از فروش اقلام را از دیدگاه تأمین‌کننده نشان می‌دهد. در مدل ارزیابی مناقصه نیز با هدف کاهش هزینه‌های خرید و زمان تحویل اقلام امدادی، حجم بهینه خرید تعیین می‌گردد[3].

برخی دیگر از محققان با بهره‌گیری از رویکرد مدلسازی ریاضی فرآیند خرید در زنجیره امداد بشردوستانه را مورد توجه قرار داده‌اند. برای مثال، فالاسکا و زوبل در سال ۲۰۱۰ با ارائه یک مدل ریاضی تصادفی دو مرحله‌ای، مدلی کمّی برای بهبود عملیات خرید پیشنهاد دادند. در مطالعات آن‌ها در مرحله اول (قبل از بحران) مقدار بهینه سفارش‌گذاری به هر یک از تأمین‌کنندگان مشخص شده و سپس در مرحله دوم (بعد از بحران) برای خرید اقلام اضافی جهت پاسخگویی به تقاضاهای جدید تصمیم‌گیری شده‌است[4]. بالسیک و آک در سال ۲۰۱۴ برای تأمین سریع و مقرون‌به‌صرفه اقلام امدادی مسأله انتخاب تأمین‌کننده و انعقاد قرارداد را بررسی کردند. در مقاله‌ی آنها، در مرحله اول (پیش از بحران) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی تصادفی تأمین‌کننده مناسب انتخاب و در مرحله دوم (بعد از بحران) حجم بهینه خرید تعیین شده‌است[5].

1. Ertem and Buyurgan (2011); pp. 170-188.
2. Ertem et al. (2012); pp. 306-314. Ertem and Buyurgan (2013); pp. 111-127.
3. Shokr and Torabi (2017).
4. Falasca and Zobel (2011); pp. 606-613.
5. Balcik, B., Ak, D. (2014); pp. 1028-1041.

با بررسی پژوهش‌های ارائه شده مشخص شد که هیچ یک از محققان در فاز ارزیابی مناقصه، معیارهای کیفی مانند قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و سایر معیارهای کیفی را در نظر نگرفته‌اند. این در حالی است که در فرایند انتخاب تأمین‌کننده، معیارهای کمّی و کیفی به‌طور همزمان بر تصمیم سازمان امدادی (خریدار) اثر می‌گذارند. همچنین در هیچ یک از پژوهش‌های انجام شده در زمینه مدلسازی خرید اقلام امدادی، برای مقابله با عدم قطعیت پارامترهای محیط زنجیره امداد از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه استفاده نشده است. این در حالی است که استفاده از این رویکرد با درنظر گرفتن استواری بهینگی و استواری شدنی بودن موجب کاهش هزینه‌ها می‌شود. از دیگر نوآوری‌های بارز این مقاله، توسعه مدل ریاضی سه هدفه فازی با در نظر گرفتن اختلال در مراکز تأمین و توزیع و همچنین عدم قطعیت پارامترهای ورودی است. بنابراین با توجه به شکاف‌ها و نوآوری‌های ارائه شده، در این مقاله رویکردی ترکیبی مبتنی بر مناقصه معکوس چند شاخصه برای حل مسأله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در زنجیره امداد بشر دوستانه معرفی شده است.

۲. بیان مسأله و روش تحقیق

سازمان‌های امدادرسان علی رغم پیش‌ذخیره‌سازی اقلام ضروری در انبارها و مراکز توزیع محلی، در بیشتر مواقع ممکن است در ساعات اولیه پس از وقوع بحران به علت افزایش میزان تقاضا، با کمبود منابع حیاتی مواجه شوند. در چنین شرایطی اقلام اضافی موردنیاز از تأمین‌کنندگان موجود خریداری می‌شود. انتخاب تأمین‌کننده مناسب، تخصیص بهینه و مقرون به صرفه و همچنین توزیع سریع اقلام امدادی با توجه به محدودیت زمانی پس از بحران و تنوع تأمین‌کنندگان یکی از چالش‌های اساسی زنجیره امداد بشردوستانه است. در این مقاله با هدف تسهیل عملیات خرید از یک زیرساخت هماهنگ‌کننده مبتنی بر مناقصه معکوس چندشاخصه استفاده شده است. مناقصه پیشنهادی شامل یک خریدار (سازمان امدادی) و چندین تأمین‌کننده است. مناقصه معکوس چند شاخصه شامل سه فاز اصلی؛ فراخوان، ساخت و ارزیابی است. فازهای فراخوان و ارزیابی مناقصه توسط خریدار و فاز ساخت مناقصه نیز توسط تأمین‌کنندگان مدیریت می‌شود. در فاز فراخوان، سازمان‌امدادی پس از تخمین تقاضا توسط تیم‌های ارزیابی، حجم درخواستی را در اختیار

بخش RFQ قرار می‌دهد. در ادامه در فاز ساخت مناقصه، هر یک از تأمین‌کنندگان مقادیر درخواستی را با سطح موجودی خود مقایسه کرده و بسته‌های پیشنهادی (حجم، قیمت و زمان تحویل) را به خریدار ارسال می‌کنند. در نهایت در آخرین فاز مناقصه، تأمین‌کنندگان ارزیابی شده و تخصیص سفارش انجام می‌شود و سپس اقلام خریداری شده به مناطق آسیب‌دیده منتقل می‌شوند.

پژوهش حاضر بر روی فاز ارزیابی مناقصه متمرکز بوده و هدف آن تعیین برندگان مناقصه (انتخاب تأمین‌کنندگان) و تعیین حجم بهینه تخصیص به هر یک از آن‌ها است. ساختار چارچوب پیشنهادی دو مرحله دارد: ۱- رتبه‌بندی و امتیازدهی تأمین‌کنندگان ۲- انتخاب و تخصیص سفارش. در مرحله اول، با استفاده از روش پرومتی فازی هر یک از شرکت‌کنندگان مناقصه با توجه به بسته‌های پیشنهادی و سایر معیارهای کیفی اولویت‌بندی شده و به هر یک از آن‌ها امتیاز خاصی داده می‌شود و در مرحله دوم نیز، با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه فازی برندگان مناقصه مشخص شده و سفارش‌گذاری و خرید انجام می‌گردد. چارچوب مناقصه پیشنهادی در (نمودار ۱) نشان داده شده است.

نمودار ۱ـ ساختار مناقصه پیشنهادی

در ادامه هر یک از مراحل فاز ارزیابی مناقصه با جزئیات بیشتر تشریح شده است.

۲-۱. مرحله اول: مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه برای ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان

ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب جهت خرید اقلام امدادی یکی از وظایف اصلی مدیران خرید سازمان‌های امدادی است. در چنین مواقعی فرآیند ارزیابی و مقایسه صحیح بین گزینه‌های مختلف با در نظر داشتن معیارهای متنوعی انجام شده و این امر تصمیم‌گیری را پیچیده‌تر می‌نماید. در راستای حل این مشکل می‌توان از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده کرد. در این بخش از مقاله، برای اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان یکی از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند شاخصه تحت عنوان روش پرومتی فازی استفاده شده است. این روش در سال ۲۰۰۰ توسط گومز و لیگرو[1] و گل‌درمن و همکاران[2] با در نظر گرفتن ورودی‌ها، اولویت‌ها و وزن‌های فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها معرفی شده است. در روش پرومتی فازی، ارجحیت گزینه‌ها نسبت به معیارهای مسأله با استفاده از اعداد فازی بیان می‌شود. در این بخش به دلیل محدودیت فضا نمایش گام‌های روش مذکور امکان‌پذیر نبوده است. بنابراین خوانندگان محترم برای آگاهی از جزئیات روش به مقالات گومز و لیگرو و گل‌درمن و همکاران ارجاع داده می‌شوند.

۲-۲. مرحله دوم: مدل تصمیم‌گیری چند هدفه‌ی امکانی برای انتخاب و تخصیص سفارشات

مدل چند هدفه فاز ارزیابی مناقصه ماهیت انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش دارد. مفروضات این مدل عبارتند از:

۱. مراکز توزیع محلی می‌توانند از چندین تأمین‌کننده کالا دریافت کرده و به چندین نقطه آسیب‌دیده ارسال کنند.

۲. در مدل فاز ارزیابی مناقصه، منظور از زمان تحویل، زمان حمل‌ونقل اقلام امدادی از نقاط تأمین تا نقاط آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است (زمان تحویل سراسری زنجیره امداد).

۳. هزینه حمل‌ونقل اقلام امدادی از مراکز توزیع به نقاط آسیب‌دیده بر عهده خریدار (سازمان امدادی) است.

1. Goumas and Lygerou (2000); pp. 606-613.
2. Geldermann et al. (2000); pp. 45-65.

۴. در مدل ارزیابی مناقصه، ممکن است خریدار برای تأمین یک کالای امدادی، چندین تأمین‌کننده را به‌عنوان برنده مناقصه تعیین کند.
۵. مدل ارزیابی مناقصه به صورت چند کالایی در نظر گرفته شده و ۴ نوع اقلام امدادی با هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل مختلفی از مراکز توزیع به نقاط آسیب‌دیده ارسال می‌شوند.
۶. هزینه کمبود در مدل ارزیابی مناقصه لحاظ شده است.

مجموعه‌ها و شناساگرها

I:	مجموعه مراکز تأمین‌کننده $i \in I$
J:	مجموعه مراکز توزیع محلی $j \in J$
K:	مجموعه نقاط آسیب دیده $k \in K$
C:	مجموعه اقلام امدادی $c \in C$
M:	مجموعه روش‌های حمل و نقل $m \in M$

پارامترها

$\tilde{T}_{jc}$:	مدت زمان تحویل بهینه و پیشنهادی برای تحویل اقلام امدادی c به مراکز توزیع محلی j
p_{ic}:	قیمت پیشنهادی برای اقلام امدادی c توسط تأمین‌کننده i
x_{imcj}:	حجم پیشنهادی اقلام امدادی c توسط تأمین‌کننده i
$\tilde{c}_{jmck}$:	هزینه حمل و نقل اقلام امدادی c از مراکز توزیع محلی j به منطقه آسیب‌دیده k با روش حمل و نقل m
$\tilde{t}_{jmck}$:	زمان تحویل اقلام امدادی c از مراکز توزیع محلی j به منطقه آسیب دیده k با روش حمل و نقل m
$\tilde{D}_{ck}$:	تقاضای اقلام امدادی c در منطقه آسیب‌دیده k
$\tilde{B}$:	بودجه در دسترس برای خرید
g_i:	هزینه ثابت خرید اقلام امدادی از تأمین‌کننده i
w_{ic}:	امتیاز تأمین‌کننده i نسبت به تأمین اقلام امدادی c

cap_{jc}:	ظرفیت مراکز توزیع محلی j برای اقلام امدادی c
γ_{ck}:	هزینه کمبود هر واحد اقلام امدادی c در منطقه آسیب‌دیده k
A_{jc}:	مقدار پیش‌ذخیره سازی اقلام امدادی c در مراکز توزیع محلی j
ρ_i:	احتمال اختلال در تأمین‌کننده i
ℓ_j:	احتمال اختلال در مراکز توزیع محلی j

متغیرهای تصمیم

oq_{icj}:	حجم سفارش داده شده از اقلام امدادی c به تأمین‌کننده i که در مراکز توزیع محلی j ذخیره می‌شود
o_{jmck}:	مقادیر اقلام امدادی c که از مراکز توزیع محلی j با روش حمل‌ونقل m به منطقه آسیب‌دیده k منتقل شده است
φ_{ck}:	کمبود اقلام امدادی اصلی c در منطقه آسیب‌دیده k
ψ_{ic}:	اگر تأمین‌کننده i برای تأمین اقلام c انتخاب شود، ۱ و در غیر این صورت ۰
z_{jmck}:	اگر سازمان امدادی برای حمل اقلام امدادی c از از مراکز توزیع محلی j به منطقه آسیب‌دیده k از روش حمل‌ونقل m استفاده کند، ۱ و در غیر این صورت ۰

توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\max \ Z^1 = \sum_i \sum_c w_{ic} \psi_{ic} \qquad (۱)$$

$$\min \ Z^2 = \sum_i \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k \left(\tilde{t}_{jmck} + \tilde{T}_{imcj} \right) z_{jmck} \qquad (۲)$$

$$\min \ Z^3 = \sum_i g_i \sum_c \psi_{ic} + \sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} + \sum_c \sum_k \gamma_{ck} \varphi_{ck} + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k o_{jmck} \tilde{c}_{jmck} z_{jmck} \qquad (۳)$$

$$st:$$

$$oq_{icj} \le \sum_m x_{imcj} \qquad \forall i, c, j \qquad (۴)$$

$$\sum_i \sum_c oq_{icj} \le \sum_c cap_{jc} \left(1 - \ell_j\right) \qquad \forall j \qquad (۵)$$

$$\sum_k \sum_m o_{jmck} = \sum_i oq_{icj} \qquad \forall c, j \qquad (۶)$$

$$\sum_j \sum_m o_{jmck} \left(1-\ell_j\right) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} \left(1-\ell_j\right) = \tilde{D}_{ck} \qquad \forall c, k \qquad (۷)$$

$$\sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} \le \tilde{B} \qquad (۸)$$

$$oq_{icj} \le M * \psi_{ic} \qquad \forall i, c, j \qquad (۹)$$

$$\sum_i \psi_{ic} \ge 1 \qquad \forall c \qquad (۱۰)$$

$$\sum_m z_{jmck} \ge 1 \qquad \forall c, j, k \qquad (۱۱)$$

$$o_{jmck} \le M z_{jmck} \qquad \forall c, j, k, m \qquad (۱۲)$$

$$\psi_{ic} \text{ and } \psi'_{ic} \in \{0,1\} \qquad \forall i, c \qquad (۱۳)$$

$$oq_{icj}, o_{jck}, \varphi_{ck} \ge 0 \qquad \forall i, c, j, k \qquad (۱۴)$$

تابع هدف (۱) ماهیت انتخاب تأمین‌کننده دارد و تأمین‌کننده با امتیاز بیشتر را انتخاب می‌کند. تابع هدف (۲) زمان تحویل اقلام امدادی از نقطه تأمین تا نقطه مصرف (نقاط آسیب‌دیده) را کاهش می‌دهد. تابع هدف (۳) به دنبال کمینه کردن مجموع هزینه‌های خریدار است. محدودیت (۴) بیان می‌کند حجم تخصیص داده شده به هر یک از تأمین‌کنندگان از مقدار پیشنهادی آن‌ها کمتر است. محدودیت (۵) مربوط به ظرفیت انبارهای محلی است. محدودیت (۶) تعادل جریان برای هر کالا در هر مرکز توزیع امداد است و تضمین می‌کند که کل کالاهای وارد شده به یک مرکز توزیع از آن مرکز خارج می‌شود. محدودیت (۷) رابطه بین حجم اقلام امدادی ارسالی به نقاط آسیب‌دیده، مقدار تقاضا، سطح پیش‌ذخیره‌سازی و میزان کمبود در نقاط آسیب‌دیده را نشان می‌دهد. محدودیت (۸) سطح خرید سازمان امدادی را متناسب با بودجه در دسترس محدود می‌کند. محدودیت (۹) بیان می‌کند که تخصیص اقلام امدادی به هر یک از تأمین‌کنندگان، تنها در صورت انتخاب آن تأمین‌کننده انجام می‌شود. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که برای تأمین هر یک از اقلام امدادی مورد نیاز بایستی حداقل یک تأمین‌کننده انتخاب شود. محدودیت (۱۱) مشخص می‌کند برای

ارسال هر یک از اقلام امدادی به نقاط آسیب‌دیده، حداقل یکی از روش‌های حمل‌ونقل انتخاب شود. محدودیت (۱۲) بیان می‌کند که در صورت انتخاب روش حمل‌ونقل مناسب، کالاها از مراکز توزیع به نقاط آسیب‌دیده منتقل می‌شوند و محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) نیز مربوط به صفر و یک بودن و غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم مسأله است.

۲-۳. خطی‌سازی مدل چند هدفه

مدل ارائه شده در بخش ۲-۲ به دلیل ضرب یک متغیر پیوسته در متغیر باینری غیرخطی است. ازین رو با اضافه کردن متغیر جدید $o_{jmck} z_{jmck} = v_{jmck}$ مدل خطی زیر به‌دست می‌آید.

$$\min \ Z^3 = \sum_i g_i \sum_c \psi_{ic} + \sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} + \sum_c \sum_k \gamma_{ck} \varphi_{ck} + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k \tilde{c}_{jmck} v_{jmck} \qquad (۱۵)$$

st :

$$v_{jmck} \le M z_{jkmc} \qquad \forall c, j, k, m \qquad (۱۶)$$

$$v_{jmck} \le o_{jmck} \qquad \forall c, j, k, m \qquad (۱۷)$$

$$v_{jmck} \ge o_{jmck} - M\left(1 - z_{jkmc}\right) \qquad \forall c, j, k, m \qquad (۱۸)$$

(۱),(۲),(۴)–(۱۴)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳. روش حل

با توجه به ماهیت غیر قابل پیش‌بینی بحران برخی از پارامترهای ورودی مدل ریاضی ارائه شده در بخش ۲-۲ با عدم قطعیت همراه است. از این‌رو به جهت مقابله با عدم قطعیت پارامترهای مذکور از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس[1] و برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه[2] استفاده شده است. علاوه بر این، حل مدل چند هدفه و تعیین جواب‌های پارتویی مسأله با استفاده از روش محدودیت اپسیلون تقویت شده[3] صورت گرفته است.

1. Possibilistic Chance Constrained Programming (PCCP).
2. Multi-Objective Robust Possibilistic Programming (MORPP).
3. augmented e-constraint method – (AUGMECON).

۳ـ۱. رویکرد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس

مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی را می‌توان به دو گروه برنامه‌ریزی امکانی[1] و برنامه‌ریزی منعطف[2] تقسیم‌بندی کرد[3]. در میان روش‌های برنامه‌ریزی امکانی، مدل محدودیت شانس امکانی به دلیل توانایی کنترل سطح اطمینان محدودیت‌های شانس و همچنین پشتیبانی از اعداد فازی مختلف (ذوزنقه‌ای یا مثلثی) کاربرد گسترده‌ای دارد. در این روش، به منظور کنترل سطح اطمینان محدودیت‌های شانس، تصمیم‌گیرنده قادر است حداقل سطح اطمینانی را به عنوان یک حاشیه امنیت برای رضایت محدودیت‌های امکانی تعیین کند[4].

برای توضیحات بیشتر و فرموله کردن مدل PCCP همتای مدل اصلی مسأله، فرم بسته مدل ریاضی ذیل را در نظر بگیرید:

$$Min \quad Z = Ay + Bx \qquad (۱۹)$$

$$st:$$

$$cy \le 1 \qquad (۲۰)$$

$$Dy = x \qquad (۲۱)$$

$$Ey \le 0 \qquad (۲۲)$$

$$Fx \le Gy \qquad (۲۳)$$

$$Hx \le I \qquad (۲۴)$$

$$Jx \ge k \qquad (۲۵)$$

$$Lx = M \qquad (۲۶)$$

$$Nx = 0 \qquad (۲۷)$$

$$y \in \{0,1\}, x \ge 0 \qquad (۲۸)$$

حال فرض کنید که بردارهای A،B،F، I،K و M به عنوان پارامترهای غیردقیق مدل فوق باشند. در مدل PCCP پیشنهادی پارامترهای غیر دقیق دارای توزیع امکانی ذوزنقه‌ای هستند که این توزیع با چهار نقطه تعریف می‌شود $\left(\tilde{\xi}=\left(\xi_{(1)},\xi_{(2)},\xi_{(3)},\xi_{(4)}\right)\right)$. در این روش برای

دفازی کردن تابع هدف از عملگر ارزش انتظاری عدد فازی و برای مقابله با محدودیت‌های شانس شامل پارامترهای غیرقطعی، از اندازه لزوم استفاده می‌شود. بر این اساس مدل PCCP معادل عبارت است از:

1. Possibilistic programming.
2. Flexible programming.
3. Pishvaee et al. (2012); pp. 1-20.
4. Zahiri et al. (2014); pp. 139-148.

$$Min \quad Z = E\left[\tilde{A}\right]y + E\left[\tilde{B}\right]x \qquad (۲۹)$$

$$st:$$

$$cy \le 1 \qquad (۳۰)$$

$$Dy = x \qquad (۳۱)$$

$$Ey \le 0 \qquad (۳۲)$$

$$Nec\left\{\tilde{F}x \le Gy\right\} \ge \alpha_1 \qquad (۳۳)$$

$$Nec\left\{Hx \le \tilde{I}\right\} \ge \alpha_2 \qquad (۳۴)$$

$$Nec\left\{Jx \ge \tilde{k}\right\} \ge \alpha_3 \qquad (۳۵)$$

$$Nec\left\{Lx = \tilde{M}\right\} \ge \alpha_4 \qquad (۳۶)$$

$$Nx = 0 \qquad (۳۷)$$

$$y \in \{0,1\}, x \ge 0 \qquad (۳۸)$$

در مدل فوق α_i حداقل سطح اطمینان برای محدودیت شانس iام است. با توجه به مفاهیم ارزش انتظاری عدد فازی[1] و الزام محدویت‌های شامل پارامتر عدم قطعیت[2]، مدل قطعی معادل با مدل PCCP عبارت است از:

$$Min \quad Z = \left(\frac{A_{(1)} + A_{(2)} + A_{(3)} + A_{(4)}}{4}\right)y + \left(\frac{B_{(1)} + B_{(2)} + B_{(3)} + B_{(4)}}{4}\right)x \qquad (۳۹)$$

$$st:$$

$$cy \le 1 \qquad (۴۰)$$

$$Dy = x \qquad (۴۱)$$

$$Ey \le 0 \qquad (۴۲)$$

$$\left((1-\alpha_1)F_{(3)} + \alpha_1 F_{(4)}\right)x \le Gy \qquad (۴۳)$$

$$Hx \le (1-\alpha_2)I_{(2)} + \alpha_2 I_{(1)} \qquad (۴۴)$$

$$Jx \ge (1-\alpha_3)k_{(3)} + \alpha_3 k_{(4)} \qquad (۴۵)$$

$$Lx \le \left(\frac{\alpha_4}{2}\right)M_{(3)} + \left(1-\frac{\alpha_4}{2}\right)M_{(4)} \qquad (۴۶)$$

$$Lx \ge \left(\frac{\alpha_4}{2}\right)M_{(2)} + \left(1-\frac{\alpha_4}{2}\right)M_{(1)} \qquad (۴۷)$$

$$Nx = 0 \qquad (۴۸)$$

$$y \in \{0,1\}, x \ge 0 \qquad (۴۹)$$

براساس آنچه که توضیح داده شد مدل قطعی معادل با مدل PCCP بخش ۲-۲ به صورت زیر است:

1. Heilpern (1992); pp. 81-86.
2. Liu and Iwamura (1998); pp.227-237. Inuiguchi and Ramık (2000); pp.3-28.

$$\max\ Z^1 = \sum_i \sum_c w_{ic} \psi_{ic} \qquad (۵۰)$$

$$\min\ Z^2 = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m \sum_c \left(\left(\frac{t_{(1)jkmc} + t_{(2)jkmc} + t_{(3)jkmc} + t_{(4)jkmc}}{4} \right) + \left(\frac{T_{(1)imcj} + T_{(2)imcj} + T_{(3)imcj} + T_{(4)imcj}}{4} \right) \right) z_{jmck} \qquad (۵۱)$$

$$\min\ Z^3 = \sum_i g_i \sum_c \psi_{ic} + \sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} + \sum_c \sum_k \gamma_{ck} \varphi_{ck}$$
$$+ \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k \left(\frac{c_{(1)jmck} + c_{(2)jmck} + c_{(3)jmck} + c_{(4)jmck}}{4} \right) v_{jmck} \qquad (۵۲)$$

st :

$$\sum_j \sum_m o_{jmck} \left(1 - \ell_j\right) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} \le \left(\frac{\alpha_4}{2}\right) \sum_c D_{(3)ck} + \left(1 - \frac{\alpha_4}{2}\right) \sum_c D_{(4)ck} \qquad \forall c,k \qquad (۵۳)$$

$$\sum_j \sum_m o_{jmck} \left(1 - \ell_j\right) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} \ge \left(\frac{\alpha_4}{2}\right) \sum_c D_{(2)ck} + \left(1 - \frac{\alpha_4}{2}\right) \sum_c D_{(1)ck} \qquad \forall c,k \qquad (۵۴)$$

$$\sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} \le \left(1 - \alpha_5\right) B_2 + \alpha_5 B_1 \qquad (۵۵)$$

(۴)-(۶),(۹)-(۱۴) ,(۱۶)-(۱۸)

۳-۲. رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه

روش محدودیت شانس امکانی هیچ گونه کنترلی بر انحراف تابع هدف از سطح برنامه‌ریزی‌شده‌اش ندارد و همچنین شیوه ذهنی تصمیم‌گیرنده در تعیین سطح اطمینان محدودیت‌های شانس نمی‌تواند مقدار بهینه این سطح را تضمین کند[1]. بنابراین برای غلبه بر کاستی‌های ذکرشده در روش‌های برنامه‌ریزی امکانی سنتی، مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار ارائه شده است. برای نخستین بار بایرام‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۵ مدل استوار امکانی چندهدفه را معرفی کردند[2]. در ادامه توضیحات مربوط به این روش ارائه شده است.

مدل چندهدفه ذیل را در نظر بگیرید که توابع Z_1 و Z_2 دارای پارامتر عدم‌قطعیت هستند:

$$Max \quad Z_1 = \tilde{p} x_2 - q x_1 \qquad (۵۶)$$

1. Zahiri and Pishvaee (2017); pp. 2013-2033.
2. Bairamzadeh et al. (2015); pp. 237-256.

$$Min \quad Z_2 = \tilde{h}x \tag{۵۷}$$

$$Max \quad Z_3 = ty + sx \tag{۵۸}$$
$$st:$$

(۳۰)–(۳۸)

تابع هدف مدل استوار شامل سه بخش؛ متوسط عملکرد سیستم، استواری بهینگی و بیشینه کردن استواری شدنی بودن است. بنابراین برای ارائه برنامه‌ریزی امکانی استوار چندهدفه مفاهیم ذکر شده، در توابع هدف جداگانه لحاظ شده‌است.

$$Max \quad OF1 = \sum_{m=1}^{3} \lambda_m . \mu_m \tag{۵۹}$$

$$Min \quad OF2 = \sum_{m=1}^{2} \lambda'_m . \mu'_m \tag{۶۰}$$

$$\begin{aligned} Max \quad OF3 &= \delta_1 \left[F_{(4)} - (1-\alpha_1) F_{(3)} - \alpha_1 F_{(4)} \right] \\ &+ \delta_2 \left[(1-\alpha_2) I_{(2)} + \alpha_2 I_{(1)} - I_{(1)} \right] + \delta_3 \left[k_{(4)} - (1-\alpha_3) k_{(3)} + \alpha_3 k_{(4)} \right] \\ &+ \delta_4 \left[\left(\frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(3)} + \left(1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(4)} - M_{(3)} \right] \\ &+ \delta_4 \left[M_{(2)} - \left(1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(1)} - \left(\frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(2)} \right] \end{aligned} \tag{۶۱}$$

$$st:$$

(۴۰)–(۴۹)

OF1 مجموع وزن‌دار تابع ادغامی فازی است که سه تابع هدف پایه $E(Z_1)$، $E(Z_2)$ و $E(Z)_3$ را تجمیع می‌کند. بنابراین OF1 به دنبال افزایش عملکرد سیستم است و به عبارتی دیگر، مفهوم عبارت اول موجود در مدل استوار تک هدفه را نشان می‌دهد. λ_m (m بیانگر تعداد تابع هدف) میزان اهمیت هر تابع هدف مدل پایه و μ_m و μ'_m نیز درجه رضایت هر تابع هدف را نشان داده که با استفاده از توابع عضویت فازی خطی فرموله می‌شوند.

OF2 مجموع وزن‌دار تابع ادغامی فازی است که دوتابع هدف Obj_1 و Obj_2 را تجمیع می‌کند. توابع Obj_1 و Obj_2 به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$Obj_1 = Z_1^{\max} - Z_1^{\min} \quad (۶۲)$$

$$Obj_2 = Z_2^{\max} - Z_2^{\min} \quad (۶۳)$$

قابل ذکر است که توابع Obj_1 و Obj_2 به دنبال کمینه کردن حداکثر انحراف ممکن توابع هدف Z_1 و Z_2 هستند. از آن‌جایی‌که Z_1 و Z_2 شامل پارامترهای عدم قطعیت هستند می‌توان گفت که OF2 کنترل‌کننده استواری بهینگی بردار جواب را نشان می‌دهد (بیانگر مفهوم عبارت دوم مدل استوار تک هدفه).

مقادیر ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی توابع هدف با توجه به روابط ۶۴ و ۶۵ تعیین می‌شود:

$$Z_{m=1,2,3}^{PIS} = \begin{cases} min\left\{Z_m\left(x_m^*\right)\right\}, & m=2 \\ max\left\{Z_m\left(x_m^*\right)\right\}, & m=1,3 \end{cases} \quad (۶۴)$$

$$Z_{m=1,2,3}^{NIS} = \begin{cases} max\left\{Z_m\left(x_m^*\right)\right\}, & m=2 \\ min\left\{Z_m\left(x_m^*\right)\right\}, & m=1,3 \end{cases} \quad (۶۵)$$

OF3 نیز کنترل‌کننده استواری شدنی بودن بردار جواب است. δ_i واحد جریمه نقض محدودیت‌های شامل پارامتر عدم قطعیت و عبارت‌های داخل کروشه نیز نشان‌هنده تفاوت بین بدترین حالت ممکن پارامتر غیرقطعی و مقدار مورد استفاده در مدل محدودیت شانس هستند (بیانگر مفهوم عبارت سوم مدل استوار تک هدفه). شایان ذکر است که در مدل استوار امکانی چند هدفه نیز مانند مدل‌های استوار تک‌هدفه، سطح اطمینان ارضای محدودیت‌های شانس بین ۰/۵ و ۱ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به توضیحات داده شده مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه معادل با مدل مسأله به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$Max \quad OF1 = \lambda_1 . \frac{\sum_i \sum_c w_{ic} \psi_{ic} - Z_1^{NIS}}{Z_1^{PIS} - Z_1^{NIS}} + \lambda_2 . \frac{E\left[Z_2^{NIS}\right] - \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m \sum_c \left(\left(\frac{t_{(1)jkmc} + t_{(2)jkmc} + t_{(3)jkmc} + t_{(4)jkmc}}{4} \right) + \left(\frac{T_{(1)imcj} + T_{(2)imcj} + T_{(3)imcj} + T_{(4)imcj}}{4} \right) \right) z_{jmck}}{E\left[Z_2^{NIS}\right] - E\left[Z_2^{PIS}\right]} \quad (۶۶)$$

$$+\lambda_3.\frac{E\left[Z_3^{NIS}\right]-\left(\begin{array}{l}\sum_i g_i \sum_c \psi_{ic}+\sum_i\sum_c p_{ic}\sum_j oq_{icj}+\sum_c\sum_k \gamma_{ck}\varphi_{ck}\\ +\sum_j\sum_m\sum_c\sum_k\left(\frac{c_{(1)jmck}+c_{(2)jmck}+c_{(3)jmck}+c_{(4)jmck}}{4}\right)v_{jmck}\end{array}\right)}{E\left[Z_3^{NIS}\right]-E\left[Z_3^{PIS}\right]}$$

$$Min\quad OF2=\lambda_1.\frac{obj_2^{nis}-\left(\begin{array}{l}\sum_i\sum_j\sum_k\sum_m\sum_c\left(t_{(4)jkmc}+T_{(4)imcj}\right)\ z_{jmck}\\ -\sum_i\sum_j\sum_k\sum_m\sum_c\left(t_{(1)jkmc}+T_{(1)imcj}\right)\ z_{jmck}\end{array}\right)}{obj_2^{nis}-obj_2^{pis}}+$$

$$\lambda_2.\frac{obj_3^{nis}-\left(\sum_j\sum_m\sum_c\sum_k c_{(4)jmck}v_{jmck}-\sum_j\sum_m\sum_c\sum_k c_{(1)jmck}v_{jmck}\right)}{obj_3^{nis}-obj_3^{pis}} \qquad (۶۷)$$

$$\begin{aligned}Max\quad OF3=&\delta_1\left[\sum_c\sum_k\left(\frac{\alpha_4}{2}\right)D_{(3)ck}+\sum_c\sum_k\left(1-\frac{\alpha_4}{2}\right)D_{(4)ck}-\sum_c\sum_k D_{(3)ck}\right]\\&+\delta_1\left[\sum_c\sum_k D_{(2)ck}-\sum_c\sum_k\left(1-\frac{\alpha_4}{2}\right)D_{(1)ck}-\sum_c\sum_k\left(\frac{\alpha_4}{2}\right)D_{(2)ck}\right]\\&+\delta_2\left[(1-\alpha_2)B_{(2)}+\alpha_2B_{(1)}-B_{(1)}\right]\end{aligned} \qquad (۶۸)$$

st :

$$\sum_j\sum_c o_{jck}\left(1-\ell_j\right)+\varphi_{ck}+\sum_j A_{jc}\le\left(\frac{\alpha_4}{2}\right)\sum_c D_{(3)ck}+\left(1-\frac{\alpha_4}{2}\right)\sum_c D_{(4)ck}\qquad\forall c,k \qquad (۶۹)$$

$$\sum_j\sum_c o_{jck}\left(1-\ell_j\right)+\varphi_{ck}+\sum_j A_{jc}\ge\left(\frac{\alpha_4}{2}\right)\sum_c D_{(2)ck}+\left(1-\frac{\alpha_4}{2}\right)\sum_c D_{(1)ck}\qquad\forall c,k \qquad (۷۰)$$

$$\sum_i\sum_c p_{ic}\sum_j oq_{icj}\le(1-\alpha_5)B_2+\alpha_5B_1 \qquad (۷۱)$$

$$0.5\le\alpha_4\le1 \qquad (۷۲)$$

$$0.5\le\alpha_5\le1 \qquad (۷۳)$$

(۴)-(۶),(۹)-(۱۴) ,(۱۶)-(۱۸)

۳-۳. محدودیت اپسیلون تقویت شده

از جمله اشکالات روش محدودیت اپسیلون معمولی تولید جواب‌های پارتویی ضعیف است و هیچ‌گونه تضمینی برای تولید جواب‌های کارا وجود ندارد. ازاین‌رو، برای پوشش نقاط ضعف مذکور روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده نخستین بار در سال ۲۰۰۹ توسط ماوروتاس ارائه شد[1]. در این روش فقط جواب‌های کارا تولید می‌شود و هم‌چنین در صورت نشدنی

1. Mavrotas (2009); pp. 455-465.

بودن مسأله الگوریتم حل متوقف شده و برای تکرارهای بعدی حل نمی‌شود که این امر سبب افزایش سرعت حل آن نسبت به روش محدودیت اپسیلون معمولی شده است. علاوه‌براین بر خلاف روش محدودیت اپسیلون معمولی، در اولین گام نسخه تقویت شده، برای تشکیل جدول موازنه و تولید جواب‌های پارتویی بهینه از بهینه‌سازی لکسیکوگرافیک[1] استفاده می‌شود. خوانندگان محترم برای آگاهی از جزئیات روش به مقاله ماورتاس ارجاع داده می‌شوند.

۴. تحلیل نتایج

در این بخش به جهت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی و رویکرد حل مورد استفاده، مثال عددی ارائه شده است و نتایج مدل برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه با هم مقایسه شده‌اند. در مثال طراحی شده فرض بر این است که سازمان امدادی در ساعات اولیه پس از وقوع بحران با کمبود ۴ نوع اقلام ضروری مواجه شده و برای تهیه این اقلام، ۵ تأمین‌کننده را به مناقصه دعوت می‌نماید. در این مقاله، ساختار زنجیره امداد بشردوستانه با پنج نقطه تأمین، شش مرکز توزیع محلی و ده منطقه آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. همچنین در این مثال فرض شده است که بسته‌های پیشنهادی تأمین کنندگان و سایر اطلاعات آن‌ها از قبل مشخص بوده و در اختیار خریدار قرار گرفته است. جدول ۱ مقادیر پارامترهای مدل را با توزیع یکنواخت در بازه تعیین شده نشان می‌دهد.

جدول ۱ـ پارامترهای مدل

پارامتر	بازه مقدارگیری	پارامتر	بازه مقدارگیری
قیمت پیشنهادی (p_{ic})	[۲۵،۴۰]	زمان تحویل پیشنهادی ($\tilde{T}_{imcj}$)	[۰/۵ ،۲]
حجم پیشنهادی (x_{imcj})	[۱۰۰۰،۵۰۰۰]	هزینه حمل و نقل اقلام امدادی ($\tilde{c}_{jmck}$)	[۲۰ ،۵۰]
هزینه ثابت خرید اقلام امدادی (g_i)	[۵۰،۱۰۰]	زمان تحویل از مراکز توزیع تا نقطه تقاضا ($\tilde{t}_{jmck}$)	[۰/۵ ،۲]
ظرفیت مراکز توزیع محلی (cap_{jc})	[۱۵۰۰،۶۵۰۰]	تقاضای اقلام امدادی ($\tilde{D}_{ck}$)	[۷۰۰ ،۱۵۰۰]
هزینه کمبود هر واحد اقلام امدادی (γ_{ck})	[۵۰۰،۱۰۰۰]	بودجه در دسترس برای خرید ($\tilde{B}$)	[۲۰ ،۳۰]* ۱۰۶
مقدار پیش‌ذخیره‌سازی اقلام امدادی (A_{jc})	[۲۰۰،۵۰۰]	احتمال اختلال در مراکز تأمین و توزیع (ρ_i, ℓ_j)	[۰/۱ ،۰/۳]

1. Lexicographic optimization

۴-۱. نتایج مرحله اول: مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه برای ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان

همان‌طور که اشاره شد فاز ارزیابی مناقصه شامل یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه و یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه است. به این صورت که در ابتدا خریدار بسته‌های پیشنهادی دریافتی از هر یک از تأمین‌کنندگان را ارزیابی کرده و امتیازی را برای هر تأمین‌کننده در نظر می‌گیرد. در این مرحله معیارهای تصمیم‌گیری خریدار شامل دو نوع معیار کمّی و کیفی است و برای رتبه‌بندی بسته‌های پیشنهادی از روش پرومتی فازی استفاده شده است. معیارهای کمّی حجم، قیمت و زمان تحویل پیشنهادی است (این اطلاعات در جدول ۱ آورده شده است). معیارهای کیفی نیز شامل کیفیت، قابلیت فنی، قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و عکس‌العمل نسبت به تغییر تقاضا بوده که از طریق مرور ادبیات و مصاحبه با کارشناسان خبره استخراج شده است. در ادامه، برای اجرای روش فازی پرومتی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان تیم ارزیابی سازمان امدادی از ۵ نفر خبره و کارشناس خرید تشکیل شده است. هر یک از خبرگان برای تعیین اهمیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر و هم‌چنین اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان نسبت به معیارهای موجود از متغیرهای کلامی جدول ۲ استفاده می‌کنند.

جدول ۲ـ متغیرهای کلامی

میزان اهمیت گزینه‌ها	اولویت معیارها	عدد فازی متناظر
خیلی ضعیف (VW)	خیلی پایین (VL)	(۰،۰،۰/۱۵)
ضعیف (W)	پایین (L)	(۰،۰/۱۵ ،۰/۳)
ضعیف و متوسط (MW)	پایین و متوسط (ML)	(۰/۱۵ ،۰/۳ ،۰/۵)
متوسط (M)	متوسط (M)	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۶۵)
متوسط و زیاد (MH)	متوسط و زیاد (MH)	(۰/۵ ،۰/۶۵ ،۰/۸)
زیاد (H)	زیاد (H)	(۰/۶۵ ،۰/۸ ،۱)
خیلی زیاد (VH)	خیلی زیاد (VH)	(۰/۸ ،۱،۱)

بر این اساس جدول (۳) درجه اهمیت معیارها و وزن‌های مربوطه را با توجه به نظر خبرگان نشان می‌دهد.

جدول ۳ـ اهمیت معیارها با توجه به نظر خبرگان

معیار	تصمیم گیرنده۱	تصمیم گیرنده۲	تصمیم گیرنده۳	تصمیم گیرنده۴	تصمیم گیرنده۵	وزن فازی	وزن دفازی شده	وزن نرمال
C1: قیمت	H	M	MH	M	M	(۰/۴۱ ،۰/۵۹ ،۰/۷۵)	۰/۶۸	۰/۱۱۷
C2: حجم اقلام	MH	M	MH	MH	H	(۰/۴۹ ،۰/۶۵ ،۰/۸۱)	۰/۷۳	۰/۱۲۶
C3: مدت زمان تحویل	VH	VH	VH	VH	VH	(۰/۸ ،۱ ،۱)	۱/۰۵	۰/۱۸۲
C4: کیفیت	M	MH	H	M	H	(۰/۴۸ ،۰/۶۵ ،۰/۸۲)	۰/۷۴	۰/۱۲۷
C5: قابلیت فنی	L	M	ML	L	M	(۰/۱۵ ،۰/۳۲ ،۰/۴۸)	۰/۴۰	۰/۰۷۰
C6: قابلیت اطمینان	M	H	MH	H	MH	(۰/۵۲ ،۰/۶۸ ،۰/۸۵)	۰/۷۶	۰/۱۳۲
C7: در دسترس بودن	MH	M	MH	M	H	(۰/۴۵ ،۰/۷۴ ،۰/۷۸)	۰/۸۲	۰/۱۴۲
C8: عکس‌العمل به تغییر تقاضا	M	ML	M	MH	MH	(۰/۳۵ ،۰/۵۲ ،۰/۶۸)	۰/۶	۰/۱۰۴

در ادامه ماتریس تصمیم‌گیری مسأله با در نظر گرفتن معیارهای کیفی در جدول ۴ ارائه شده است. در ابتدا عناصر موجود در این ماتریس به صورت فازی درآمده و سپس به یک عدد قطعی تبدیل شده است. دو ستون آخر جدول ماتریس تصمیم‌گیری نتایج مربوط به اجرای گام‌های روش پرومتی فازی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که مقادیر معیارهای کمّی برای هر تأمین‌کننده به صورت یک عدد قطعی وجود داشته و از این رو در جدول ۴ ذکر نشده است.

جدول ٤ـ ماتریس تصمیم‌گیری ارزیابی تأمین‌کنندگان

معیار	گزینه	تصمیم گیرنده۱	تصمیم گیرنده۲	تصمیم گیرنده۳	تصمیم گیرنده۴	تصمیم گیرنده۵	مقدار فازی	مقدار قطعی
C4: کیفیت	تأمین کننده ۱	MW	M	W	M	MH	(۰، ۰/۴۲، ۰/۸)	۰/۶۲۰
	تأمین کننده ۲	M	M	MH	W	M	(۰، ۰/۴۶، ۰/۸)	۰/۶۶۰
	تأمین کننده ۳	H	MH	H	MH	H	(۰/۵، ۰/۷۴، ۱)	۰/۸۶۵
	تأمین کننده ۴	MH	H	M	MH	MH	(۰/۳، ۰/۶۵، ۱)	۰/۸۲۵
	تأمین کننده ۵	VH	H	H	VH	H	(۰/۶۵، ۰/۸۸، ۱)	۰/۹۶۸
C5: قابلیت فنی	تأمین کننده ۱	M	W	MH	M	W	(۰، ۰/۳۹، ۰/۸)	۰/۵۹۰
	تأمین کننده ۲	H	M	H	MH	M	(۰/۳، ۰/۶۵، ۱)	۰/۸۲۵
	تأمین کننده ۳	M	W	H	M	MW	(۰، ۰/۴۵، ۱)	۰/۷
	تأمین کننده ۴	VH	MW	VH	H	M	(۰/۵، ۰/۷۲، ۱)	۰/۸۴۵
	تأمین کننده ۵	M	M	VH	H	VH	(۰/۳، ۰/۷۶، ۱)	۰/۹۳۵
C6: قابلیت اطمینان	تأمین کننده ۱	W	MW	MH	M	MW	(۰، ۰/۳۸، ۰/۸)	۰/۵۸۰
	تأمین کننده ۲	MW	M	MH	W	M	(۰، ۰/۴۲، ۰/۸)	۰/۶۲۰
	تأمین کننده ۳	M	H	M	H	MH	(۰/۳، ۰/۶۵، ۱)	۰/۸۲۵
	تأمین کننده ۴	H	H	M	M	H	(۰/۳، ۰/۶۸، ۱)	۰/۸۵۵
	تأمین کننده ۵	H	VH	H	MH	H	(۰/۵، ۰/۸۱، ۱)	۰/۹۳۵
C7: در دسترس بودن	تأمین کننده ۱	MH	W	M	MH	M	(۰، ۰/۴۹، ۰/۸)	۰/۶۹
	تأمین کننده ۲	MH	MW	H	M	MH	(۰/۱۵، ۰/۶۸، ۱)	۰/۸۹۳
	تأمین کننده ۳	H	M	M	H	M	(۰/۳، ۰/۶۲، ۱)	۰/۷۹۵
	تأمین کننده ۴	H	H	VH	M	M	(۰/۳، ۰/۷۲، ۱)	۰/۸۹۵
	تأمین کننده ۵	VH	MH	H	H	H	(۰/۵، ۰/۸۱، ۱)	۰/۹۳۵

معیار	گزینه	تصمیم گیرنده۱	تصمیم گیرنده۲	تصمیم گیرنده۳	تصمیم گیرنده۴	تصمیم گیرنده۵	مقدار فازی	مقدار قطعی
C8: عکس‌العمل به تغییر تقاضا	تأمین‌کننده ۱	H	M	MW	MH	M	(۱، ۰/۵۵، ۰/۱۵)	۰/۷۶۳
	تأمین‌کننده ۲	M	MH	M	M	MW	(۰/۸، ۰/۴۹، ۰/۱۵)	۰/۶۵۳
	تأمین‌کننده ۳	MH	H	MH	MH	H	(۱، ۰/۷۱، ۰/۵)	۰/۸۳۵
	تأمین‌کننده ۴	VH	H	H	MH	M	(۱، ۰/۷۵، ۰/۳)	۰/۹۲۵
	تأمین‌کننده ۵	MH	VH	VH	H	H	(۱، ۰/۸۵، ۰/۵)	۰/۹۷۵

در نهایت با محاسبه جریان‌های ورودی و خروجی روش پرومتی فازی، نتایج رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان و امتیازهای نهایی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵ـ نتایج امتیاز بندی روش پرومتی فازی

	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۴	تأمین‌کننده ۵
میزان خروجی مثبت (ϕ^{+})	−۱/۲۸	−۱/۴۶	۰/۰۴	۱/۲۹	۱/۴۱
میزان ورودی منفی (φ^{-})	۱/۲۸	۱/۴۶	−۰/۰۴	−۱/۲۹	−۱/۴۱
جریان خالص (φ^{net})	−۲/۵۶	−۲/۹۳	−۰/۰۸	−۲/۵۹	−۲/۸۲
رتبه‌بندی	۴	۵	۳	۲	۱

در انتهای این مرحله، رتبه هر یک از تأمین‌کنندگان به عنوان امتیازی برای مرحله بعد مورد استفاده قرار گرفته که در تعیین برنده مناقصه و تخصیص سفارش تأثیر می‌گذارد.

۴-۲. نتایج مرحله دوم: مدل تصمیم‌گیری چند هدفه‌ی امکانی برای انتخاب و تخصیص سفارشات

در این مرحله با هدف انتخاب برندگان مناقصه و تخصیص سفارش یک مدل سه هدفه فازی توسعه داده شده است. برای اجرای این مرحله از مناقصه، مثال عددی ارائه شده نخست با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی به یک مدل قطعی چند هدفه تبدیل شده و سپس با

کمک روش محدودیت اپسیلون تقویت شده حل شده است. بدین صورت که در ابتدا، با استفاده از روش لکسیکوگرافیک حد پایین و بالای هر یک از توابع هدف (جدول عایدی) محاسبه شد. سپس تابع هدف دوم به عنوان تابع هدف اصلی مسأله انتخاب شده و سایر توابع به محدودیت اضافه شده است. سپس در گام بعدی با تقسیم محدوده توابع هدف اول و سوم به پنج بازه، جواب‌های پارتویی مدل سه هدفه فاز ارزیابی مناقصه در سطوح اطمینان ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ در قالب یک مدل امکانی محدودیت شانس محاسبه شده است. در جدول ۶ نتایج اجرای این فاز از مناقصه نمایش داده شده است.

جدول ۶ـ نتایج اجرای مدل برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس برای فاز ارزیابی مناقصه

سطح اطمینان	جدول عایدی			جواب‌های پارتویی				
	Z^1	Z^2	Z^3	e^1	e^3	Z^1	Z^2	Z^3
۰/۷	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۱۰۲۶۲۷۴۰	۰/۰۱۶	۱۰۱۷۵۳۱۰	۶/۵۶۹	۱۹۶۷/۲۲	۱۰۱۷۵۳۱۰
	۰/۰۱۶	۱۸۳۲/۱	۳۳۰۴۴۶۶۰	۴/۰۷۶	۱۵۸۹۲۶۴۷/۵	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۱۵۸۹۲۶۵۰
	۶/۵۶۹	۴۶۳۶/۱۵	۱۰۱۷۵۳۱۰	۸/۱۳۶	۲۱۶۰۹۹۸۵	۱۴/۱۷۳	۱۸۳۲/۱	۲۱۶۰۹۹۸۵
				۱۲/۲۷۱	۲۷۳۲۷۳۲۲/۵	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۳۸۶۵۹۳۰
				۱۶/۲۵۶	۳۳۰۴۴۶۶۰	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۳۸۶۵۹۳۰
۰/۸	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۱۰۴۴۷۴۱۰	۰/۰۱۶	۱۰۳۶۰۰۳۰	۱۲/۶۹۵	۱۸۳۲/۱	۱۰۳۶۰۰۳۰
	۰/۰۱۶	۱۸۳۲/۱	۳۲۸۴۳۶۶۰	۴/۰۷۶	۱۵۹۸۰۹۳۷/۵	۱۶/۱۳۵	۱۸۳۲/۱	۱۵۹۸۰۹۴۰
	۶/۵۶۹	۴۶۳۶/۱۵	۱۰۳۶۰۰۳۰	۸/۱۳۶	۲۱۶۰۱۸۴۵	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۱۶۰۱۸۴۵
				۱۲/۲۷۱	۲۷۲۲۲۷۵۲/۵	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۴۰۵۰۹۳۰
				۱۶/۲۵۶	۳۲۸۴۳۶۶۰	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۴۰۵۰۹۳۰
۰/۹	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۱۰۶۳۲۰۷۰	۰/۰۱۶	۱۰۵۴۴۷۵۰	۱۲/۸۱۶	۱۸۳۲/۱	۱۰۵۴۴۷۵۰
	۰/۰۱۶	۱۸۳۲/۱	۳۲۶۴۲۶۶۰	۴/۰۷۶	۱۶۰۶۹۲۲۷/۵	۱۳/۷۹۵	۱۸۳۲/۱	۱۶۰۶۹۲۳۰
	۶/۵۶۹	۴۶۳۶/۱۵	۱۰۵۴۴۷۵۰	۸/۱۳۶	۲۱۵۹۳۷۰۵	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۱۵۹۳۷۱۰
				۱۲/۲۷۱	۲۷۱۱۸۱۸۲/۵	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۴۲۳۵۹۳۰
				۱۶/۲۵۶	۳۲۶۴۲۶۶۰	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۲۴۲۳۵۹۳۰

سپس برای حل مسأله چند هدفه استوار مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی برای توابع هدف $E\left[Z^1\right]$، $E\left[Z^2\right]$، $E\left[Z^3\right]$، OF2 و OF3 مطابق جدول ۷ تعیین شده است. سپس جدول عایدی حاصل از بهینه‌سازی لکسیکوگرافیک و جواب‌های پارتویی مسأله در جدول ۸ نمایش داده شده است. شایان ذکر است که برای تبدیل مدل چند هدفه استوار به مدل تک هدفه، تابع هدف OF1 به عنوان تابع اصلی انتخاب شده و دو تابع دیگر به محدودیت اضافه شده است.

جدول ۷ـ مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی برای توابع هدف فاز ارزیابی

	$E\left[Z^1\right]$	$E\left[Z^2\right]$	$E\left[Z^3\right]$	obj_2	obj_3
مقدار ایده آل مثبت (PIS)	۱۶/۲۵۶	۱۸۳۲/۱	۶۰۱۷۴۱۲/۸۴۱	۳۱۰/۷	۱۰۱۹۸۲۹۰
مقدار ایده آل منفی (NIS)	−۱۶/۲۴	۴۶۳۶/۱۵	۳۳۴۴۶۶۶۰	۷۰۰/۳	۶۸۹۰۰۰۰۰

جدول ۸ـ نتایج اجرای مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه برای فاز ارزیابی مناقصه

جدول عایدی			جواب‌های پارتویی			
OF1	OF2	OF3	e_2	e_3	OF1	OF2	OF3
۰/۹۸۷	۰/۹۸۹	۱۱۴۶۸۵/۷۴۳	۰/۰۱۸	۷۷۲۰۰	۰/۹۸۷	۰/۹۹۱	۲۵۱۱۵۸۰۰
۰/۱۶۵	۰/۰۱۸	۲۵۱۱۵۸۰۰	۰/۲۶۰۷	۶۳۳۶۸۵۰	۰/۹۸۷	۰/۹۹۱	۲۵۱۱۵۸۰۰
۰/۱۷۷	۰/۰۳۵	۷۷۲۰۰	۰/۵۰۳۵	۱۲۵۹۶۵۰۰	۰/۹۸۸	۰/۹۹۱	۲۵۱۱۵۸۰۰
			۰/۷۴۶۲	۱۸۸۵۶۱۵۰	۰/۹۸۸	۰/۹۹۱	۲۵۱۱۵۸۰۰
			۰/۹۸۹	۲۵۱۱۵۸۰۰	۰/۹۸۸	۰/۹۹۱	۲۵۱۱۵۸۰۰

در انتهای مرحله دوم، در جدول ۹ برندگان مناقصه برای تأمین هر یک از اقلام امدادی مشخص شده است. از آن‌جایی‌که در مدل ارزیابی مناقصه سیاست چند منبعی لحاظ شده مشاهده می‌شود که برای یک کالای خاص بیش از یک تأمین‌کننده برنده یا انتخاب شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ به دلیل کسب امتیازهای پایین در مرحله اول به عنوان برنده مناقصه انتخاب نشده‌اند. علاوه‌براین در جدول ۹ حجم خریداری

شده از برندگان مناقصه ذکر شده که در انبارهای محلی جهت انتقال به نقاط تقاضا ذخیره شده است.

جدول ۹ـ برندگان مناقصه و حجم خرید اقلام امدادی در فاز ارزیابی مناقصه

سطح اطمینان	کالا	برنده/برندگان مناقصه					مقدار خرید					
		تأمین کننده ۱	تأمین کننده ۲	تأمین کننده ۳	تأمین کننده ۴	تأمین کننده ۵	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	انبار ۴	انبار ۵	انبار ۶
۰/۷	کالا ۱			✓	✓	✓			۸۲۴		۱۲۵۰	۱۷۰
	کالا۲			✓	✓	✓			۸۹۴	۱۳۸۲	۵۴۸	
	کالا۳			✓	✓	✓					۶۷۵	۱۵۲۰
	کالا۴			✓	✓	✓				۱۵۰۰	۷۲۰	۱۴۷۵
۰/۸	کالا ۱				✓	✓		۲۲۸			۱۰۰۰	۹۸۵
	کالا۲			✓	✓	✓			۱۰۰۰		۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا۳			✓	✓	✓				۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا۴			✓	✓	✓				۸۲۴	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۰/۹	کالا ۱			✓	✓	✓			۱۰۰۰	۱۰۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا۲				✓	✓		۱۲۸			۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا۳			✓	✓	✓		۱۰۰۰			۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا۴			✓	✓	✓				۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
مدل استوار	کالا ۱			✓	✓	✓	۱۱۰۰	۲۰۲۹	۱۳۰۰		۱۳۵۰	۲۴۰۰
	کالا۲			✓	✓	✓	۲۹۵			۸۲۶	۹۲۰	
	کالا۳			✓	✓	✓	۱۰۰۴	۳۷۰		۵۳۳	۱۲۹	
	کالا۴			✓	✓	✓			۱۱۰۰	۱۰۰۴		

۴-۳. تحلیل استواری

به منظور تحلیل عملکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه، شش شبیه‌سازی (واقع‌گرایی) به صورت تصادفی بر روی پارامترهای غیر قطعی تحت سطوح مختلف جریمه انجام شده است. روند شبیه‌سازی به این صورت است که در ابتدا برای هر تکرار شبیه‌سازی، برای هر پارامتر غیرقطعی که دارای تابع توزیع امکانی ذوزنقه‌ای $\left(\tilde{\xi}=\left(\xi_{(1)},\xi_{(2)},\xi_{(3)},\xi_{(4)}\right)\right)$ است، یک عدد تصادفی به صورت یکنواخت بین نقاط ابتدایی و انتهایی تابع امکانی به صورت $\varepsilon_{real}=\left[\xi_{(1)},\xi_{(4)}\right]$ تولید می‌گردد. سپس به منظور بررسی مطلوبیت خروجی‌های مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی (در سطوح مختلف اطمینان) و برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه پارامترهای تولید شده در هر شبیه‌سازی به همراه مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در مدل واقع‌نمایی زیر قرارداده می‌شوند:

$$\max\ of_{real}=\lambda_1.\frac{\sum_t\sum_c w_{ic}\psi^*_{ic}-Z_1^{NIS^*}}{Z_1^{PIS^*}-Z_1^{NIS^*}}+\lambda_2.\frac{Z_2^{NIS^*}-\sum_j\sum_h\sum_m\sum_e\left(t^{real}_{jkmc}+T^{real}_{jc}\right)E^*_{jmck}}{Z_2^{NIS^*}-Z_2^{PIS^*}}$$

$$+\lambda_3.\frac{Z_3^{NIS^*}-\sum_i g_j\sum_c\psi^*_{ic}+\sum_t\sum_e p_{ic}\left(1-d_{ic}\right)\sum_j oq^*_{icj}+\sum_c\sum_k\gamma_{ck}\varphi^*_{ck}+\sum_j\sum_m\sum_e\sum_h o^*_{jmck}c^{real}_{jmck}z^*_{jmck}}{Z_3^{NIS^*}-Z_3^{PIS^*}}$$

$$-\delta_1R_1-\delta_2R_2-\delta_3R_3$$

$$st:$$

$$\sum_j\sum_m o^*_{jmck}\left(1-\ell_j\right)+\varphi^*_{ck}+\sum_j A_{jc}\left(1-\ell_j\right)+R_1\geq D^{real}_{ck}\qquad\forall c,k \tag{۱-۴}$$

$$\sum_j\sum_m o^*_{jmck}\left(1-\ell_j\right)+\varphi^*_{ck}+\sum_j A_{jc}\left(1-\ell_j\right)\leq D^{real}_{ck}+R_2\qquad\forall c,k$$

$$\sum_i\sum_c p_{ic}\sum_j oq^*_{icj}\leq B^{real}+R_3$$

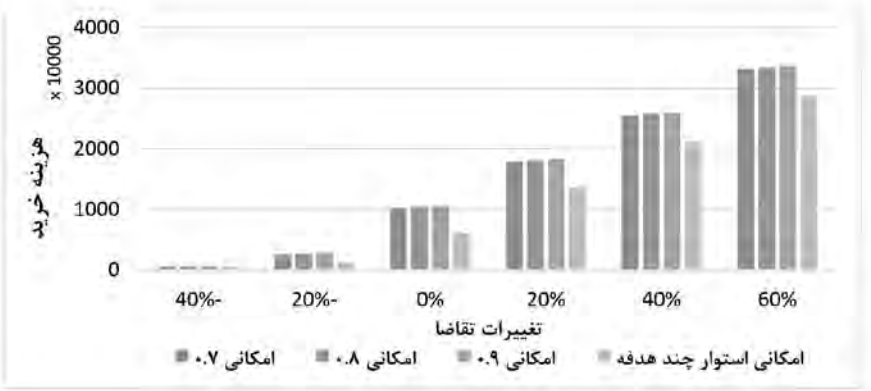
در مدل فوق، R_1، R_2 و R_3 متغیرهای تصمیم هستند که مقدار تجاوز محدودیت‌های شانس را در هر شبیه‌سازی نشان می‌دهند. δ_iها هزینه جریمه نقض محدودیت‌های متناظر است و از آن‌جایی‌که در شرایط بحران برآورده کردن تقاضا نسبت به سطح بودجه و قیمت پیشنهادی اهمیت زیادی دارد، هزینه جریمه نقض محدودیت شانس تقاضا بیشتر از سایر هزینه‌های جریمه لحاظ شده است ($\delta_1=\delta_2=40,\delta_3=20$). مقادیر بهینه تابع هدف مدل (۴-۱) به ازای شش بار آزمایش محاسبه شده و سپس برای مقایسه نتایج مدل استوار

چند هدفه و مدل برنامه‌ریزی امکانی، میانگین و انحراف استاندارد مقادیر تابع هدف در این شش بار آزمایش تعیین شده است. نتایج مربوط به تحلیل استواری مدل پیشنهادی در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰ـ مقایسه عملکرد مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار و مدل برنامه‌ریزی امکانی تحت ۶ بار آزمایش

شماره آزمایش	امکانی ۰/۷	امکانی ۰/۸	امکانی ۰/۹	استوار چندهدفه
۱	۱۱۵۳۲۷۴۰۰	۱۱۶۳۱۴۱۰۰	۱۱۳۹۴۰۰۰۰	۶۴۱۹۲۳۴۰
۲	۱۱۳۶۲۵۳۰۰	۱۱۴۶۱۰۸۰۰	۱۱۲۲۳۵۰۰۰	۶۴۲۹۹۴۳۰
۳	۱۱۱۹۶۶۲۰۰	۱۱۲۹۵۲۷۰۰	۱۱۰۵۷۵۴۰۰	۶۴۲۶۹۲۷۰
۴	۱۱۰۳۶۱۵۰۰	۱۱۱۳۴۶۵۰۰	۱۰۸۹۶۹۲۰۰	۶۴۲۴۶۳۷۰
۵	۱۰۹۴۴۲۰۰۰	۱۱۰۴۲۵۵۰۰	۱۰۸۰۴۷۸۰۰	۶۴۲۹۲۶۴۰
۶	۱۰۷۷۷۹۳۰۰	۱۰۸۷۶۲۳۰۰	۱۰۶۳۸۲۵۰۰	۶۴۲۵۸۱۲۰
میانگین توابع هدف	۱۱۲۱۴۴۴۸۰	۱۱۳۱۲۹۹۲۰	۱۱۰۷۵۳۴۸۰	۶۴۲۶۰۰۱۰
انحراف استاندارد	۲۳۸۹۴۵۶	۲۳۹۰۴۹۶	۲۳۹۱۹۰۷	۴۳۲۱۳,۶۵

همان‌گونه که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، مقدار میانگین و انحراف استاندارد تابع هدف مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه همواره از مدل برنامه‌ریزی امکانی در سطوح اطمینان ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ پایین‌تر است. این نتیجه به این معناست که اگر پارامتر عدم‌قطعیت در مدل هر مقداری را در آن بازه‌ای که با عدد فازی ذوزنقه‌ای مشخص شده به خود بگیرد، مقدار تابع هدف مدل استوار به میانگین نزدیک‌تر بوده و انحراف کمتری دارد. بر این اساس می‌توان ادعا کرد که مدل استوار چند هدفه پیشنهادی در مقاله حاضر نسبت به مدل برنامه‌ریزی امکانی عملکرد بهتری داشته است. در ادامه نیز، تغییرات هزینه‌های خرید اقلام امدادی در مقایسه با تغییر میزان تقاضا بررسی شده است. همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود با افزایش سطح تقاضا، هزینه خرید افزایش پیدا کرده است. نکته قابل تأمل این است که در تمامی سطوح تقاضا، مدل استوار نسبت به مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی بهتر بوده و هزینه‌های کمتری دارد.



نمودار ۲ـ روند تغییرات هزینه خرید نسبت به تغییر تقاضا

جمع‌بندی و ملاحظات

در این مقاله، مدلی ترکیبی با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه برای تعیین برندگان مناقصه و تخصیص سفارش در فرایند خرید زنجیره امداد بشردوستانه ارائه شد. چارچوب پیشنهادی با هدف مدلسازی فاز ارزیابی مناقصه معکوس چند شاخصه از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول، تأمین‌کنندگان و شرکت‌کنندگان مناقصه با استفاده از روش پرومتی فازی و با توجه به معیارهای کمّی و کیفی اولویت‌بندی شدند. معیارهای کمّی شامل قیمت، حجم و زمان تحویل هر تأمین‌کننده بوده و معیارهای کیفی نیز شامل کیفیت، قابلیت فنی، قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و عکس‌العمل نسبت به تغییر تقاضا در نظر گرفته شد. سپس در مرحله دوم، انتخاب تأمین‌کننده مناسب و تعیین حجم بهینه سفارش‌دهی به هر یک از آن‌ها براساس اولویت‌بندی مرحله اول انجام می‌شود. مدل چند هدفه مرحله دوم با در نظر گرفتن ریسک اختلال پس از بحران، درقالب یک مدل سه هدفه فازی فرموله شده است. اهداف مدل شامل بیشینه کردن مجموع امتیازات تأمین‌کنندگان (انتخاب تأمین‌کننده‌ای با بیشترین اولویت)، کمینه کردن زمان تحویل و همچنین کاهش هزینه‌های کل است. به واسطه‌ی ماهیت غیرقابل پیش‌بینی بحران و نبود اطلاعات کافی برخی از پارامترهای ورودی مانند تقاضا، زمان تحویل اقلام، بودجه و هزینه‌های حمل‌ونقل غیر قطعی فرض شدند. از جمله نوآوری‌های بارز این پژوهش

استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه برای مقابله با عدم قطعیت پارامترهای غیرقطعی در محیط زنجیره امداد بشر دوستانه است؛ به همین منظور ابتدا مدل برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس ارائه شده و سپس مدل همتای استوار آن برای یک مثال عددی طراحی شده است. مدل چند هدفه مقاله با کمک روش محدودیت اپسیلون تکمیل شده حل شده است که نتایج اجرای آن برای مثال عددی نشان داد میانگین و انحراف استاندارد مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه نسبت به مدل برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس کمتر بوده و قابلیت اتکای بیشتری دارد. در نهایت پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی به شرح زیر بیان می‌شود:

- استفاده از سایر رویکردهای بهینه سازی استوار برای مواجه با عدم قطعیت.
- مدلسازی مناقصه معکوس چند شاخصه با در نظر گرفتن سطح تخفیف تأمین‌کننده.
- پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی.
- استفاده از روش‌های حل فراابتکاری برای مسائل با مقیاس بزرگ.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

Bagchi, A., Paul, J. A., Maloni, M. (2011); "Improving Bid Efficiency for Humanitarian Food Aid Procurement", *International Journal of Production Economics*, vol. 134, No. 1, pp. 238-245.

Bairamzadeh, S., Pishvaee, M. S., Saidi-Mehrabad, M. (2015); "Multiobjective Robust Possibilistic Programming Approach To Sustainable Bioethanol Supply Chain Design under Multiple Uncertainties", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 55, No. 1, pp, 237-256.

Balcik, B., Beamon, B.M., Krejci, C.C., Muramatsu, K.M. and Ramirez, M. (2010); "Coordination In Humanitarian Relief Chains: Practices, Challenges and Opportunities", *International Journal of Production Economics*, vol. 126, No. 1, pp, 22-34.

Balcik, B., Ak, D. (2014); "Supplier Selection for Framework Agreements in Humanitarian Relief". *Production and Operations Management*, vol. 23, No. 6, pp: 1028-1041.

Bichler, M. (2000); "Experimental Analysis of Multi-attribute Auctions", *Decision Support Systems*, vol. 29, No. 3, pp. 249–268.

Cheng, C.B. (2008); "Solving a Sealed-Bid Reverse Auction Problem by Multiple-Criterion Decision-Making Methods", *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 56, No. 12, pp. 3261-3274.

Chen-Ritzo, C.; Harrison, T. P.; Kwasnica, A.M. and Thomas, D.J. (2005); "Better, Faster, Cheaper: An Experimental Analysis of Multi-Attribute Reverse Auction Mechanism with Restricted Information Feedback", *Management Science*, vol. 51, No. 12, pp. 1753–1762.

David, E.; Azoulay-Schwartz, R. and Kraus, S. (2006); "Bidding in Sealed-Bid and English Multi-Attribute Auctions", *Decision Support Systems*, vol. 42, No. 2, pp. 527–556.

Ertem, M. A., Buyurgan, N., Rossetti, M.D .(2010); "Multiple-Buyer Procurement Auctions Model for Humanitarian Supply Chain Management", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 40, No. 3, pp, 202-227.

Ertem, M.A., Buyurgan, N. (2011); "An Auction-Based Framework for Resource Allocation in Disaster Relief", *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, vol. 1, No. 2, pp: 170-188.

Ertem, M.A. and Buyurgan, N. (2013); "A Procurement Auctions-Based Framework for Coordinating Platforms in Humanitarian Logistics", *In Humanitarian and Relief Logistics*, pp, 111-127.

Ertem, M.A., Buyurgan, N., Pohl, E.A. (2013); "Using Announcement Options in the Bid Construction Phase for Disaster Relief Procurement", Socio-Economic Planning Sciences, vol. 46, No. 4, pp, 306-314.

Falasca, M. and Zobel, C.W. (2011); "A Two-stage Procurement Model for Humanitarian Relief Supply Chains", *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain*

Management, vol. 1, No. 2, pp, 151-169.

Goumas, M., Lygerou, V. (2000); "An Extension of the PROMETHEE Method for Decision Making in Fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploitation Projects", *European Journal of Operational Research*, vol. 123, No. 3, pp, 606-613.

Geldermann, J., Spengler, T., Rentz, O. (2000); "Fuzzy Outranking for Environmental Assessment, Case Study: Iron and Steel Making Industry", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 115, No. 1, pp: 45-65.

Heilpern, S. (1992); "The Expected Value of a Fuzzy Number", *Fuzzy sets and Systems*, vol. 47, no. 1, pp: 81-86.

Huang, M.; Qian, X.; Fang, S. C. and Wang, X. (2016); "Winner Determination for Risk Aversion Buyers in Multi-Attribute Reverse Auction", *Omega*, 59, pp, 184-200.

Inuiguchi, M., Ramık, 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*, vol. 111, No. 1, pp, 3–28.

Liu, B., Iwamura, K., (1998); "Chance Constrained Programming with Fuzzy Parameters". *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 94, No. 2, pp, 227–237.

Mavrotas, G. (2009); "Effective Implementation of the E-constraint Method in Multi-Objective Mathematical Programming Problems", *Applied Mathematics and Computation*, vol. 213, no. 2, pp: 455-465.

Petric, A., Jezic, G. (2010); "Multi-Attribute Auction Model for Agent-Based Content Trading in Telecom Markets", Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, pp, 261-270.

Pishvaee, M. S., Razmi, J., Torabi, S. A. (2012); "Robust Possibilistic Programming for Socially Responsible Supply Chain Network Design: A New Approach". *Fuzzy Sets and Systems*, 206, pp, 1-20.

Qian, X.; Huang, M.; Gao, T. and Wang, X. (2014); "An Improved ant Colony Algorithm for Winner Determination in Multi-attribute Combinatorial Reverse Auction", *In Evolutionary Computation (CEC)*, 2014 IEEE Congress on. IEEE. pp, 1917-1921.

Schulz, S. F. (2009); "Disaster Relief Logistics: Benefits of and Impediments To Cooperation between Humanitarian Organizations", Haupt Verlag AG, vol. 15.

Shokr, I., Torabi, S. A. (2017); "An Enhanced Reverse Auction Framework for relief Procurement Management", *International Journal of Disaster Risk Reduction*.

Taupiac, C., (2001); "Humanitarian and Development Procurement: A Vast and Growing Market", *International Trade Forum*, No. 4, pp, 7-10.

Trestrail, J., Paul, J., Maloni, M. (2009); "Improving Bid Pricing for Humanitarian Logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 39, No. 5, pp: 428-441.

Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Pishvaee, M. S. (2014); "A Robust Possibilistic Programming Approach to Multi-Period Location–Allocation of Organ Transplant

Centers Under Uncertainty", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 74, pp, 139-148.

Zahiri, B., Pishvaee, M. S. (2017); "Blood Supply Chain Network Design Considering Blood Group Compatibility Under Uncertainty", *International Journal of Production Research*, vol. 55, No. 7, pp, 2013-2033.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی