

## مدل سازی رویکرد برگزاری مناقصه و کاربرد آن برای خرید اقلام امدادی

مازیار خوش سبیرت\*

رحیم دباغ\*\* علی بزرگی امیری\*\*\*

پذیرش: ۹۷/۳/۲۷

دریافت: ۹۶/۱۲/۷

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

### چکیده:

انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش در فرایند خرید اقلام امدادی در شرایط بحران امری مهم و ضروری است. در این مقاله، رویکرد ترکیبی تصمیم گیری چند معیاره و مدل برنامه ریزی ریاضی برای انتخاب تأمین کنندگان و تخصیص سفارش در چارچوب مناقصه معکوس چند شاخصه ارائه شده است. رویکرد پیشنهادی با تمرکز بر فاز ارزیابی مناقصه در دو مرحله مدل سازی شده است. در مرحله اول، هر یک از شرکت کنندگان مناقصه به عنوان تأمین کنندگان اقلام امدادی با توجه به معیارهای کمی و کیفی تأثیرگذار، با استفاده از روش پرومتی فازی رتبه بندی می شوند. سپس در مرحله دوم، تأمین کنندگان مناسب براساس اولویت های 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 افسیلون 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**

## 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<sup>۱</sup>. 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 امدادگران 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<sup>۲</sup>. 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<sup>۳</sup>. 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<sup>۴</sup>. علی‌رغم تحقیقات فراوان در زمینه طراحی مناقصه در زنجیره تأمین تجاری، مشاهده می‌شود که تعداد کمی از سازمان‌های بشردوستانه 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)<sup>۱</sup> و معکوس<sup>۲</sup> 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. علاوه بر این، مناقصه‌های معکوس در دو نوع تک شاخصه و چند شاخصه بوده و شامل سه فاز اصلی؛ فراخوان، ساخت و ارزیابی هستند.<sup>۳</sup>

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 پرومیتی 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 مواجهه 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 پیشنهادهای برای تحقیقات آتی آورده شده است.

### ۱. پیشینه تحقیق

علی‌رغم 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.

ترسترال 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.<sup>۱</sup> 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.<sup>۲</sup> ارتم و همکاران در سال ۲۰۱۰ با هدف بهبود کارآیی تخصیص منابع در زنجیره امداد بشر دوستانه چارچوبی مبتنی بر مناقصه برای خرید اقلام امدادی پیشنهاد دادند. در مطالعات آن‌ها دو مدل ریاضی طراحی شده است. 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.<sup>۳</sup> 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.<sup>۱</sup> ارتم و همکاران در سال‌های 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، ارقام 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.<sup>۲</sup> در مطالعه دیگری، شکر و ترابی به منظور تأمین ارقام 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 ارقام را از دیدگاه تأمین‌کننده نشان می‌دهد. در مدل ارزیابی مناقصه نیز با هدف کاهش هزینه‌های خرید و زمان تحویل ارقام امدادی، حجم بهینه خرید تعیین می‌گردد.<sup>۳</sup>

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 کمی 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 ارقام اضافی جهت پاسخگویی به تقاضاهای جدید تصمیم‌گیری شده‌است.<sup>۴</sup> بالسیک و آک در سال ۲۰۱۴ برای تأمین سریع و مقرون‌به‌صرفه ارقام 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.<sup>۵</sup>

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.

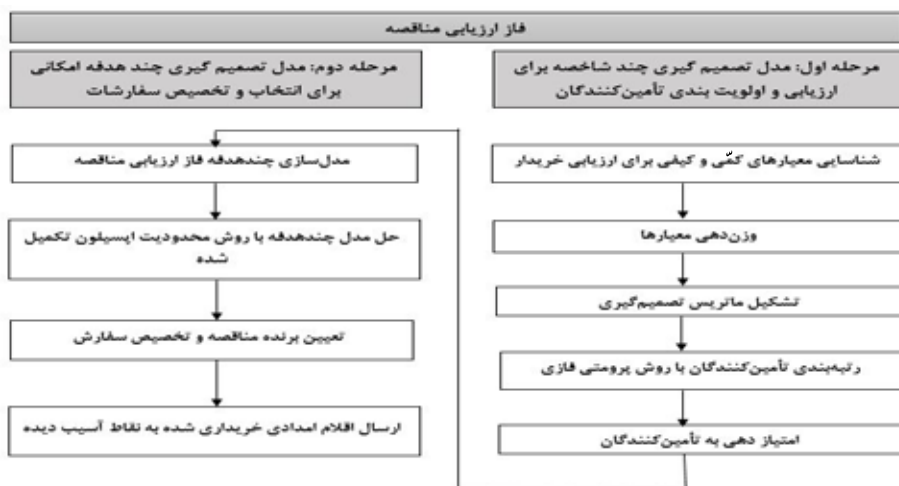
با بررسی پژوهش‌های ارائه شده مشخص شد که هیچ یک از محققان در فاز ارزیابی مناقصه، معیارهای کیفی مانند قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و سایر معیارهای کیفی را در نظر نگرفته‌اند. این در حالی است که در فرایند انتخاب تأمین کننده، معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان بر تصمیم سازمان امدادی (خریدار) اثر می‌گذارند. 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 در نظر 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 تأمین کننده و تخصیص سفارش در زنجیره امداد بشر دوستانه معرفی شده است.

## ۲. بیان مسأله و روش تحقیق

سازمان‌های امداد رسان علی‌رغم 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 مورد نیاز از تأمین کنندگان موجود خریداری می‌شود. انتخاب تأمین کننده مناسب، تخصیص بهینه و مقرون به صرفه و همچنین توزیع سریع اقلام امدادی با توجه به محدودیت زمانی پس از بحران و تنوع تأمین کنندگان یکی از چالش‌های اساسی زنجیره امداد بشر دوستانه است. در این مقاله با هدف تسهیل عملیات خرید از یک زیرساخت هماهنگ کننده مبتنی بر مناقصه معکوس چندشاخصه استفاده شده است. مناقصه پیشنهادی شامل یک خریدار (سازمان امدادی) و چندین تأمین کننده 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 تأمین کنندگان مدیریت می‌شود. در فاز فراخوان، سازمان امدادی 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 ارقام 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 پرومیتی 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 ۱- 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<sup>۱</sup> و گل‌درمن و همکاران<sup>۲</sup> 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 حمل و نقل اقلام امدادی از نقاط تأمین تا نقاط آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است (زمان تحویل سراسری زنجیره امداد).
۳. هزینه حمل و نقل 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 تأمین کننده را به عنوان 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 حمل و نقل مختلفی از مراکز توزیع به نقاط آسیب دیده ارسال می شوند.
۶. هزینه کمبود در مدل ارزیابی مناقصه لحاظ شده است.

### مجموعه‌ها و شناساگرها

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

### پارامترها

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

$cap_{jc}$ :	ظرفیت مراکز توزیع محلی ز برای اقلام امدادی c
$\gamma_{ck}$ :	هزینه کمبود هر واحد اقلام امدادی c در منطقه آسیب دیده k
$A_{jc}$ :	مقدار پیش ذخیره سازی اقلام امدادی c در مراکز توزیع محلی z
$\rho_i$ :	احتمال اختلال در تأمین کننده i
$\ell_j$ :	احتمال اختلال در مراکز توزیع محلی z

## متغیرهای تصمیم

$oq_{icj}$ :	حجم سفارش داده شده از اقلام امدادی c به تأمین کننده i که در مراکز توزیع محلی z ذخیره می شود
$o_{jmck}$ :	مقادیر اقلام امدادی c که از مراکز توزیع محلی z با روش حمل و نقل m به منطقه آسیب دیده k منتقل شده است
$\phi_{ck}$ :	کمبود اقلام امدادی اصلی c در منطقه آسیب دیده k
$\psi_{ic}$ :	اگر تأمین کننده 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 مراکز توزیع محلی z به منطقه آسیب دیده k از روش حمل و نقل m استفاده کند، ۱ و در غیر این صورت ۰

## توابع هدف و محدودیتها

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

$$\min Z^2 = \sum_i \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k (\tilde{t}_{jmck} + \tilde{T}_{imej}) \tilde{z}_{jmck} \quad (2)$$

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

st :

$$oq_{icj} \leq \sum_m x_{imej} \quad \forall i, c, j \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_c oq_{icj} \leq \sum_c cap_{jc} (1 - \ell_j) \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_k \sum_m o_{jmck} = \sum_i oq_{icj} \quad \forall c, j \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_m o_{jmck} (1 - \ell_j) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} (1 - \ell_j) = \tilde{D}_{ck} \quad \forall c, k \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} \leq \tilde{B} \quad (8)$$

$$oq_{icj} \leq M * \psi_{ic} \quad \forall i, c, j \quad (9)$$

$$\sum_i \psi_{ic} \geq 1 \quad \forall c \quad (10)$$

$$\sum_m z_{jmck} \geq 1 \quad \forall c, j, k \quad (11)$$

$$o_{jmck} \leq Mz_{jmck} \quad \forall c, j, k, m \quad (12)$$

$$\psi_{ic} \text{ and } \psi'_{ic} \in \{0, 1\} \quad \forall i, c \quad (13)$$

$$oq_{icj}, o_{jck}, \varphi_{ck} \geq 0 \quad \forall i, c, j, k \quad (14)$$

تابع هدف (۱) ماهیت انتخاب تأمین کننده دارد و تأمین کننده با امتیاز بیشتر را انتخاب می کند. تابع هدف (۲) زمان تحویل اقلام امدادی از نقطه تأمین تا نقطه مصرف (نقاط آسیب دیده) را کاهش می دهد. تابع هدف (۳) به دنبال کمینه کردن مجموع هزینه های خریدار است. محدودیت (۴) بیان می کند حجم تخصیص داده شده به هر یک از تأمین کنندگان از مقدار پیشنهادی آن ها 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 می کند که کل کالاهای وارد شده به یک مرکز توزیع از آن مرکز خارج می شود. محدودیت (۷) رابطه بین حجم اقلام امدادی ارسالی به نقاط آسیب دیده، مقدار تقاضا، سطح پیش ذخیره سازی و میزان کمبود در نقاط آسیب دیده را نشان می دهد. محدودیت (۸) سطح خرید سازمان امدادی را متناسب با بودجه در دسترس محدود می کند. محدودیت (۹) بیان می کند که تخصیص اقلام امدادی به هر یک از تأمین کنندگان، تنها در صورت انتخاب آن تأمین کننده انجام می شود. محدودیت (۱۰) نشان می دهد که برای تأمین هر یک از اقلام امدادی مورد نیاز بایستی حداقل یک تأمین کننده انتخاب شود. محدودیت (۱۱) مشخص می کند برای

ارسال هر یک از اقلام امدادی به نقاط آسیب دیده، حداقل یکی از روش های حمل و نقل انتخاب شود. محدودیت (۱۲) بیان می کند که در صورت انتخاب روش حمل و نقل مناسب، کالاها از مراکز توزیع به نقاط آسیب دیده منتقل می شوند و محدودیت های (۱۳) و (۱۴) نیز مربوط به صفر و یک بودن و غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم مسأله است.

### ۲-۳. خطی سازی مدل چند هدفه

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

$$\min Z^3 = \sum_i g_i \sum_c \psi_{ic} + \sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j o_{icj} + \sum_c \sum_k \gamma_{ck} \varphi_{ck} + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k \tilde{c}_{jmck} v_{jmck} \quad (15)$$

st :

$$v_{jmck} \leq M z_{jmck} \quad \forall c, j, k, m \quad (16)$$

$$v_{jmck} \leq o_{jmck} \quad \forall c, j, k, m \quad (17)$$

$$v_{jmck} \geq o_{jmck} - M(1 - z_{jmck}) \quad \forall c, j, k, m \quad (18)$$

(۱)،(۲)،(۴)-(۱۴)

### ۳. روش حل

با توجه به ماهیت غیر قابل پیش بینی بحران برخی از پارامترهای ورودی مدل ریاضی ارائه شده در بخش ۲-۲ با عدم قطعیت همراه است. از این رو به جهت مقابله با عدم قطعیت پارامترهای مذکور از رویکرد برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس<sup>۱</sup> و برنامه ریزی امکانی استوار چند هدفه<sup>۲</sup> استفاده شده است. علاوه بر این، حل مدل چند هدفه و تعیین جواب های پارتویی مسأله با استفاده از روش محدودیت افسیلون تقویت شده<sup>۳</sup> صورت گرفته است.

1. Possibilistic Chance Constrained Programming (PCCP).

2. Multi-Objective Robust Possibilistic Programming (MORPP).

3. augmented e-constraint method – (AUGMECON).

### ۱-۳. رویکرد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس

مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی را می‌توان به دو گروه برنامه‌ریزی امکانی<sup>۱</sup> و برنامه‌ریزی منعطف<sup>۲</sup> تقسیم‌بندی کرد<sup>۳</sup>. 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<sup>۴</sup>.

برای توضیحات بیشتر و فرموله کردن مدل PCCP همتای مدل اصلی مسأله، فرم بسته

مدل ریاضی ذیل را در نظر بگیرید:

$$\begin{array}{ll} \text{Min } Z = Ay + Bx & (19) \\ Hx \leq I & (24) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{st :} & \\ cy \leq 1 & (20) \\ Jx \geq k & (25) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} Dy = x & (21) \\ Lx = M & (26) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} Ey \leq 0 & (22) \\ Nx = 0 & (27) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} Fx \leq Gy & (23) \\ y \in \{0,1\}, x \geq 0 & (28) \end{array}$$

حال فرض کنید که بردارهای  $A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, M$  به عنوان پارامترهای غیردقیق مدل فوق باشند. در مدل PCCP پیشنهادی پارامترهای غیردقیق دارای توزیع امکانی ذوزنقه‌ای هستند که این توزیع با چهار نقطه تعریف می‌شود  $(\xi = (\xi_{(1)}, \xi_{(2)}, \xi_{(3)}, \xi_{(4)}))$ . در این روش برای

دفاعی کردن تابع هدف از عملکرد 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. Pishvaei et al. (2012); pp. 1-20.
4. Zahiri et al. (2014); pp. 139-148.

$$\text{Min } Z = E[\tilde{A}]y + E[\tilde{B}]x \quad (29) \quad \text{Nec}\{Hx \leq \tilde{I}\} \geq \alpha_2 \quad (34)$$

st :

$$cy \leq 1 \quad (30) \quad \text{Nec}\{Jx \geq \tilde{k}\} \geq \alpha_3 \quad (35)$$

$$Dy = x \quad (31) \quad \text{Nec}\{Lx = \tilde{M}\} \geq \alpha_4 \quad (36)$$

$$Ey \leq 0 \quad (32) \quad Nx = 0 \quad (37)$$

$$\text{Nec}\{\tilde{F}x \leq Gy\} \geq \alpha_1 \quad (33) \quad y \in \{0,1\}, x \geq 0 \quad (38)$$

در مدل فوق  $\alpha_i$  حداقل سطح اطمینان برای محدودیت شانس  $i$ ام است. با توجه به مفاهیم ارزش انتظاری عدد فازی<sup>۱</sup> و الزام محدودیت‌های شامل پارامتر عدم قطعیت<sup>۲</sup>، مدل قطعی معادل با مدل PCCP عبارت است از:

$$\text{Min } Z = \left( \frac{A_{(1)} + A_{(2)} + A_{(3)} + A_{(4)}}{4} \right) y + \left( \frac{B_{(1)} + B_{(2)} + B_{(3)} + B_{(4)}}{4} \right) x \quad (39)$$

st :

$$cy \leq 1 \quad (40) \quad Jx \geq (1 - \alpha_3)k_{(3)} + \alpha_3 k_{(4)} \quad (45)$$

$$Dy = x \quad (41) \quad Lx \leq \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(3)} + \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(4)} \quad (46)$$

$$Ey \leq 0 \quad (42) \quad Lx \geq \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(2)} + \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(1)} \quad (47)$$

$$\left( (1 - \alpha_1)F_{(3)} + \alpha_1 F_{(4)} \right) x \leq Gy \quad (43) \quad Nx = 0 \quad (48)$$

$$Hx \leq (1 - \alpha_2)I_{(2)} + \alpha_2 I_{(1)} \quad (44) \quad y \in \{0,1\}, x \geq 0 \quad (49)$$

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 Ramik (2000); pp.3-28.

$$\max Z^1 = \sum_i \sum_c w_{ic} \psi_{ic} \quad (50)$$

$$\min Z^2 = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m \sum_c \left( \left( \frac{t_{(1)jkmc} + t_{(2)jkmc} + t_{(3)jkmc} + t_{(4)jkmc}}{4} \right) + \left( \frac{T_{(1)imecj} + T_{(2)imecj} + T_{(3)imecj} + T_{(4)imecj}}{4} \right) \right) z_{jmck} \quad (51)$$

$$\min Z^3 = \sum_i g_i \sum_c \psi_{ic} + \sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} + \sum_c \sum_k \gamma_{ck} \varphi_{ck} + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k \left( \frac{c_{(1)jmck} + c_{(2)jmck} + c_{(3)jmck} + c_{(4)jmck}}{4} \right) v_{jmck} \quad (52)$$

st :

$$\sum_j \sum_m o_{jmck} (1 - \ell_j) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} \leq \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(3)ck} + \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(4)ck} \quad \forall c, k \quad (53)$$

$$\sum_j \sum_m o_{jmck} (1 - \ell_j) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} \geq \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(2)ck} + \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(1)ck} \quad \forall c, k \quad (54)$$

$$\sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} \leq (1 - \alpha_5) B_2 + \alpha_5 B_1 \quad (55)$$

(۴)-(۶), (۹)-(۱۴), (۱۶)-(۱۸)

### ۳-۲. رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار چند هدفه

روش محدودیت‌شناس امکانی هیچ‌گونه کنترلی بر انحراف تابع هدف از سطح برنامه‌ریزی شده‌اش ندارد و همچنین شیوه ذهنی تصمیم‌گیرنده در تعیین سطح اطمینان محدودیت‌های شناس نمی‌تواند مقدار بهینه این سطح را تضمین کند<sup>۱</sup>. بنابراین برای غلبه بر کاستی‌های ذکر شده 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<sup>۲</sup>. 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 عدم قطعیت هستند:

$$\text{Max } Z_1 = \tilde{p}x_2 - qx_1 \quad (56)$$

1. Zahiri and Pishvae (2017); pp. 2013-2033.

2. Bairamzadeh et al. (2015); pp. 237-256.



$$\text{Min } Z_2 = \tilde{h}x \quad (57)$$

$$\text{Max } Z_3 = ty + sx \quad (58)$$

st :

$$(30)-(38)$$

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.

$$\text{Max } OF1 = \sum_{m=1}^3 \lambda_m \cdot \mu_m \quad (59)$$

$$\text{Min } OF2 = \sum_{m=1}^2 \lambda'_m \cdot \mu'_m \quad (60)$$

$$\text{Max } OF3 = \delta_1 [F_{(4)} - (1 - \alpha_1)F_{(3)} - \alpha_1 F_{(4)}] \quad (61)$$

$$+ \delta_2 [(1 - \alpha_2)I_{(2)} + \alpha_2 I_{(1)} - I_{(1)}] + \delta_3 [k_{(4)} - (1 - \alpha_3)k_{(3)} + \alpha_3 k_{(4)}]$$

$$+ \delta_4 \left[ \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(3)} + \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(4)} - M_{(3)} \right]$$

$$+ \delta_4 \left[ M_{(2)} - \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(1)} - \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) M_{(2)} \right]$$

st :

$$(40)-(49)$$

OF1 مجموع وزن‌دار تابع ادغامی فازی است که سه تابع هدف پایه  $E(Z_2)$ ،  $E(Z_1)$  و  $E(Z_3)$  را تجمع 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.  $\lambda_m$  (میانگر تعداد تابع هدف) میزان اهمیت هر تابع هدف مدل پایه و  $\mu_m$  و  $\mu'_m$  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 دو تابع هدف  $Obj_1$  و  $Obj_2$  را تجمع

می‌کند. توابع  $Obj_1$  و  $Obj_2$  به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$Obj_1 = Z_1^{\max} - Z_1^{\min} \quad (62)$$

$$Obj_2 = Z_2^{\max} - Z_2^{\min} \quad (63)$$

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 آنجایی که  $Z_1$  و  $Z_2$  شامل پارامترهای عدم قطعیت هستند می توان گفت که OF2 کنترل کننده استواری بهینگی بردار جواب را نشان می دهد (بیانگر مفهوم عبارت دوم مدل استوار تک هدفه).

مقادیر ایده آل مثبت و ایده آل منفی توابع هدف با توجه به روابط ۶۴ و ۶۵ تعیین می شود:

$$Z_{m=1,2,3}^{PIS} = \begin{cases} \min \{Z_m(x_m^*)\}, & m = 2 \\ \max \{Z_m(x_m^*)\}, & m = 1, 3 \end{cases} \quad (64)$$

$$Z_{m=1,2,3}^{NIS} = \begin{cases} \max \{Z_m(x_m^*)\}, & m = 2 \\ \min \{Z_m(x_m^*)\}, & m = 1, 3 \end{cases} \quad (65)$$

OF3 نیز کنترل کننده استواری شدنی بودن بردار جواب است.  $\delta_i$  واحد جریمه نقض محدودیت های شامل پارامتر عدم قطعیت و عبارت های داخل کرشه نیز نشان دهنده تفاوت بین بدترین حالت ممکن پارامتر غیر قطعی 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 مدل های استوار تک هدفه، سطح اطمینان ارضای محدودیت های شانس بین ۰/۵ و ۱ در نظر گرفته می شود. با توجه به توضیحات داده شده مدل برنامه ریزی امکانی استوار چند هدفه معادل با مدل مسأله به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$Max \quad OF1 = \lambda_1 \cdot \frac{\sum_i \sum_c W_{ic} \psi_{ic} - Z_1^{NIS}}{Z_1^{PIS} - Z_1^{NIS}} \quad (66)$$

$$E [Z_2^{NIS}] - \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m \sum_c \left( \frac{t_{(1)jkm} + t_{(2)jkm} + t_{(3)jkm} + t_{(4)jkm}}{4} \right) + \left( \frac{T_{(1)imej} + T_{(2)imej} + T_{(3)imej} + T_{(4)imej}}{4} \right) \Bigg] z_{jmck} \\ + \lambda_2 \cdot \frac{E [Z_2^{NIS}] - E [Z_2^{PIS}]}{E [Z_2^{NIS}] - E [Z_2^{PIS}]}$$

$$\begin{aligned}
 & E \left[ Z_3^{NIS} \right] - \left( \frac{\sum_i g_i \sum_c \psi_{ic} + \sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} + \sum_c \sum_k \gamma_{ck} \varphi_{ck}}{\sum_j \sum_m \sum_c \sum_k \left( \frac{C_{(1)jmck} + C_{(2)jmck} + C_{(3)jmck} + C_{(4)jmck}}{4} \right) v_{jmck}} \right) \\
 & + \lambda_3 \cdot \frac{E \left[ Z_3^{NIS} \right] - E \left[ Z_3^{PIS} \right]}{E \left[ Z_3^{NIS} \right] - E \left[ Z_3^{PIS} \right]} \\
 & Min \ OF2 = \lambda_1 \cdot \frac{obj_2^{nis} - \left( \frac{\sum_i \sum_j \sum_k \sum_m \sum_c (t_{(4)jkmc} + T_{(4)imcj}) z_{jmck}}{-\sum_i \sum_j \sum_k \sum_m \sum_c (t_{(1)jkmc} + T_{(1)imcj}) z_{jmck}} \right)}{obj_2^{nis} - obj_2^{pis}} + \\
 & \lambda_2 \cdot \frac{obj_3^{nis} - \left( \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k c_{(4)jmck} v_{jmck} - \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k c_{(1)jmck} v_{jmck} \right)}{obj_3^{nis} - obj_3^{pis}} \quad (67)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Max \ OF3 = & \delta_1 \left[ \sum_c \sum_k \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) D_{(3)ck} + \sum_c \sum_k \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) D_{(4)ck} - \sum_c \sum_k D_{(3)ck} \right] \\
 & + \delta_1 \left[ \sum_c \sum_k D_{(2)ck} - \sum_c \sum_k \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) D_{(1)ck} - \sum_c \sum_k \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) D_{(2)ck} \right] \\
 & + \delta_2 \left[ (1 - \alpha_2) B_{(2)} + \alpha_2 B_{(1)} - B_{(1)} \right] \quad (68)
 \end{aligned}$$

st :

$$\sum_j \sum_c o_{jck} (1 - \ell_j) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} \leq \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(3)ck} + \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(4)ck} \quad \forall c, k \quad (69)$$

$$\sum_j \sum_c o_{jck} (1 - \ell_j) + \varphi_{ck} + \sum_j A_{jc} \geq \left( \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(2)ck} + \left( 1 - \frac{\alpha_4}{2} \right) \sum_c D_{(1)ck} \quad \forall c, k \quad (70)$$

$$\sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{icj} \leq (1 - \alpha_5) B_2 + \alpha_5 B_1 \quad (71)$$

$$0.5 \leq \alpha_4 \leq 1 \quad (72)$$

$$0.5 \leq \alpha_5 \leq 1 \quad (73)$$

(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. از این رو، برای پوشش نقاط ضعف مذکور روش محدودیت اپسیلون تقویت شده نخستین بار در سال ۲۰۰۹ توسط ماوروتاس ارائه شد.<sup>۱</sup> در این روش فقط جواب‌های کارا تولید می‌شود و هم‌چنین در صورت نشدنی

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. علاوه بر این بر خلاف روش محدودیت اپسیلون معمولی، در اولین گام نسخه تقویت شده، برای تشکیل جدول موازنه و تولید جواب‌های پارتویی بهینه از بهینه‌سازی لکسیکوگرافیک استفاده می‌شود. خوانندگان محترم برای آگاهی از جزئیات روش به مقاله ماور تاس 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 تأمین‌کنندگان 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 ۱- پارامترهای مدل

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

#### 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 کمی و کیفی است و برای رتبه‌بندی بسته‌های پیشنهادی از روش پرومیتی فازی استفاده شده است. معیارهای کمی 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 پرومیتی 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 ۲- متغیرهای کلامی

میزان اهمیت گزینه‌ها	اولویت معیارها	عدد فازی متناظر
خیلی ضعیف (VW)	خیلی پایین (VL)	(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 ۳- اهمیت معیارها با توجه به نظر خبرگان

وزن نرمال	وزن دفازی شده	وزن فازی	تصمیم گیرنده ۵	تصمیم گیرنده ۴	تصمیم گیرنده ۳	تصمیم گیرنده ۲	تصمیم گیرنده ۱	معیار
۰/۱۱۷	۰/۶۸	(۰/۴۱، ۰/۵۹، ۰/۷۵)	M	M	MH	M	H	C1: قیمت
۰/۱۲۶	۰/۷۳	(۰/۴۹، ۰/۶۵، ۰/۸۱)	H	MH	MH	M	MH	C2: حجم اقلام
۰/۱۸۲	۱/۰۵	(۰/۸، ۱، ۱)	VH	VH	VH	VH	VH	C3: مدت زمان تحویل
۰/۱۲۷	۰/۷۴	(۰/۴۸، ۰/۶۵، ۰/۸۲)	H	M	H	MH	M	C4: کیفیت
۰/۰۷۰	۰/۴۰	(۰/۱۵، ۰/۳۲، ۰/۴۸)	M	L	ML	M	L	C5: قابلیت فنی
۰/۱۳۲	۰/۷۶	(۰/۵۲، ۰/۶۸، ۰/۸۵)	MH	H	MH	H	M	C6: قابلیت اطمینان
۰/۱۴۲	۰/۸۲	(۰/۴۵، ۰/۷۴، ۰/۷۸)	H	M	MH	M	MH	C7: در دسترس بودن
۰/۱۰۴	۰/۶	(۰/۳۵، ۰/۵۲، ۰/۶۸)	MH	MH	M	ML	M	C8: عکس العمل به تغییر تقاضا

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 پرومیتی فازی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که مقادیر معیارهای کمی برای هر تأمین‌کننده به صورت یک عدد قطعی وجود داشته و از این رو در جدول ۴ ذکر نشده است.

جدول ۸- ماتریس تصمیم‌گیری ارزیابی تأمین‌کنندگان

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

مقدار فازی	مقدار فازی	تصمیم گیرنده ۵	تصمیم گیرنده ۴	تصمیم گیرنده ۳	تصمیم گیرنده ۲	تصمیم گیرنده ۱	گزینه	معیار
۰/۷۶۳	(۰/۱۵، ۰/۵۵، ۱)	M	MH	MW	M	H	تأمین کننده ۱	C8: عکس العمل به تغییر تقاضا
۰/۶۵۳	(۰/۱۵، ۰/۴۹، ۰/۸)	MW	M	M	MH	M	تأمین کننده ۲	
۰/۸۳۵	(۰/۵، ۰/۷۱، ۱)	H	MH	MH	H	MH	تأمین کننده ۳	
۰/۹۲۵	(۰/۳، ۰/۷۵، ۱)	M	MH	H	H	VH	تأمین کننده ۴	
۰/۹۷۵	(۰/۵، ۰/۸۵، ۱)	H	H	VH	VH	MH	تأمین کننده ۵	

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

#### جدول ۵- نتایج امتیاز بندی روش پرومیتی فازی

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

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 هدفه‌ای 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 مسئله 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 شناس محاسبه شده است. در جدول ۶ نتایج اجرای این فاز از مناقصه نمایش داده شده است.

**جدول ۶- نتایج اجرای مدل برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شناس برای فاز ارزیابی مناقصه**

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

سپس برای حل مسأله چند هدفه استوار مقادیر ایده آل مثبت و منفی برای توابع هدف  $E[Z^1]$ ،  $E[Z^2]$ ،  $E[Z^3]$ ، OF2 و OF3 مطابق جدول ۷ تعیین شده است. سپس جدول عایدی حاصل از بهینه سازی لکسیکو گرافیک و جواب های 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 ۷- مقادیر ایده آل مثبت و منفی برای توابع هدف فاز ارزیابی

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

### جدول ۸- نتایج اجرای مدل برنامه ریزی امکانی استوار چند هدفه برای فاز ارزیابی مناقصه

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

در انتهای مرحله دوم، در جدول ۹ برندگان مناقصه برای تأمین هر یک از اقلام امدادی مشخص شده است. از آنجایی که در مدل ارزیابی مناقصه سیاست چند منبعی لحاظ شده مشاهده می شود که برای یک کالای خاص بیش از یک تأمین کننده برنده یا انتخاب شده است. همان طور که مشاهده می شود تأمین کنندگان ۱ و ۲ به دلیل کسب امتیازهای پایین در مرحله اول به عنوان برنده مناقصه انتخاب نشده اند. علاوه بر این در جدول ۹ حجم خریداری

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

### جدول ۹- 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
	کالا ۲			✓	✓	✓		۸۹۴	۱۳۸۲	۵۴۸			
	کالا ۳			✓	✓	✓					۶۷۵	۱۵۲۰	
	کالا ۴			✓	✓	✓			۱۵۰۰	۷۲۰		۱۴۷۵	
۰/۸	کالا ۱				✓	✓		۲۲۸				۹۸۵	۱۰۰۰
	کالا ۲			✓	✓	✓		۱۰۰۰			۱۰۰۰	۱۰۰۰	
	کالا ۳			✓	✓	✓			۱۰۰۰		۱۰۰۰	۱۰۰۰	
	کالا ۴			✓	✓	✓			۸۲۴		۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۰/۹	کالا ۱			✓	✓	✓		۱۰۰۰	۱۰۲			۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا ۲			✓	✓			۱۲۸				۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا ۳			✓	✓	✓		۱۰۰۰				۱۰۰۰	۱۰۰۰
	کالا ۴			✓	✓	✓			۱۰۰۰		۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
مدل استوار	کالا ۱			✓	✓	✓		۱۱۰۰	۲۰۲۹	۱۳۰۰		۱۳۵۰	۲۴۰۰
	کالا ۲			✓	✓	✓		۲۹۵			۸۲۶	۹۲۰	
	کالا ۳			✓	✓	✓		۱۰۰۴	۳۷۰		۵۳۳	۱۲۹	
	کالا ۴			✓	✓	✓			۱۱۰۰	۱۰۰۴			

### ۳-۴. 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  $(\xi = (\xi_{(1)}, \xi_{(2)}, \xi_{(3)}, \xi_{(4)}))$  است، یک عدد تصادفی به صورت یکنواخت بین نقاط ابتدایی و انتهایی تابع امکانی به صورت  $\xi_{real} = [\xi_{(1)}, \xi_{(4)}]$  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 قراردادده می‌شوند:

$$\max \text{ of } \text{real} = \lambda_1 \cdot \frac{\sum_c \sum_{ic} w_{ic} \psi_{ic}^* - Z_1^{NIS^*}}{Z_1^{PIS^*} - Z_1^{NIS^*}} + \lambda_2 \cdot \frac{Z_2^{NIS^*} - \sum_j \sum_k \sum_m \sum_c (t_{jkmc}^{real} + T_{jc}^{real}) F_{jmck}^*}{Z_2^{NIS^*} - Z_2^{PIS^*}} + \lambda_3 \cdot \frac{Z_3^{NIS^*} - \sum_i g_i \sum_c \psi_{ic}^* + \sum_i \sum_c p_{ic} (1-d_{ic}) \sum_j oq_{iej}^* + \sum_c \sum_k \gamma_{ck} \phi_{ck}^* + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_k o_{jmck}^* c_{jmck}^{real} z_{jmck}^*}{Z_3^{NIS^*} - Z_3^{PIS^*}}$$

$$-\delta_1 R_1 - \delta_2 R_2 - \delta_3 R_3$$

st:

$$\sum_j \sum_m o_{jmck}^* (1 - \ell_j) + \phi_{ck}^* + \sum_j A_{jc} (1 - \ell_j) + R_1 \geq D_{ck}^{real} \quad \forall c, k \quad (1-4)$$

$$\sum_j \sum_m o_{jmck}^* (1 - \ell_j) + \phi_{ck}^* + \sum_j A_{jc} (1 - \ell_j) \leq D_{ck}^{real} + R_2 \quad \forall c, k$$

$$\sum_i \sum_c p_{ic} \sum_j oq_{iej}^* \leq B^{real} + R_3$$

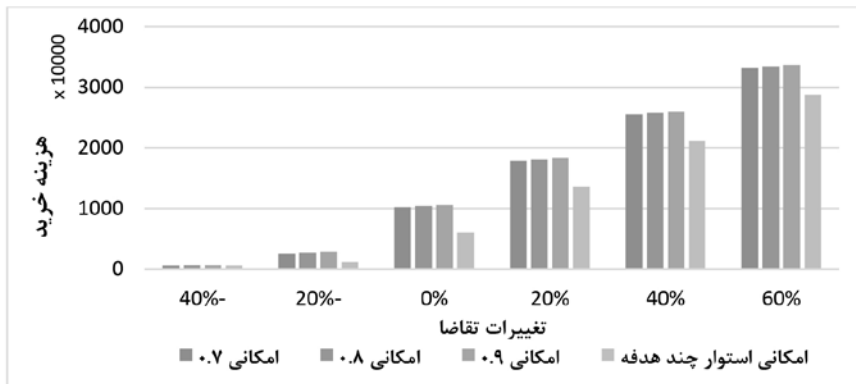
در مدل فوق،  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  متغیرهای تصمیم هستند که مقدار تجاوز محدودیت‌های شانس را در هر شبیه‌سازی نشان می‌دهند.  $\delta_i$  ها هزینه جریمه نقض محدودیت‌های متناظر است و از آن جایی که در شرایط بحران برآورده کردن تقاضا نسبت به سطح بودجه و قیمت پیشنهادی اهمیت زیادی دارد، هزینه جریمه نقض محدودیت شانس تقاضا بیشتر از سایر هزینه‌های جریمه لحاظ شده است ( $\delta_1 = \delta_2 = 40, \delta_3 = 20$ ). مقادیر بهینه تابع هدف مدل (۱-۴) 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 ۱۰- 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 عدم قطعیت در مدل هر مقداری را در آن بازه‌ای که با عدد فازی دوزنقه‌ای 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 ۲- 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 پرومتری فازی و با توجه به معیارهای کمی و کیفی اولویت‌بندی شدند. معیارهای کمی 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، در قالب 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 بهینه‌سازی استوار برای مواجهه 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.

## 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., Pishvae, 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., Ramík, J., (2000); "Possibilistic Linear Programming: A Brief Review of Fuzzy Mathematical Programming and a Comparison with Stochastic Programming in Portfolio Selection Problem", *Fuzzy Sets and Systems*, 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.
- Pishvaei, 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., Pishvaei, 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., Pishvae, 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.