

## ارائه مدل خرید اقلام امدادی تحت مناقصه معکوس چند شاخصه با به کارگیری رویکرد ترکیبی برنامه ریزی فازی چندهدفه

مازیار خوش سیرت\*

رحیم دباغ\*\* علی بزرگی امیری\*\*\*

پذیرش: ۹۶/۸/۱۰

دریافت: ۹۶/۶/۱۴

زنجیره امداد بشردوستانه / خرید اقلام امدادی / مناقصه معکوس چند شاخصه / محدودیت  
اپسیلون تقویت شده / پرومتی فازی

### چکیده

تأمین اقلام امدادی مورد نیاز در شرایط پس از بحران به دلیل عدم قطعیت تقاضا و شدت وقوع فاجعه، مسأله‌ای زمان‌بر و پیچیده است. در این مقاله، با هدف تسهیل عملیات خرید و هماهنگی میان تأمین‌کنندگان و سازمان‌های امدادی، مدلی مبتنی بر مناقصه ارائه شده است. ساختار مناقصه پیشنهادی شامل دو فاز ساخت و ارزیابی است که به ترتیب توسط تأمین‌کنندگان (فروشنندگان) و سازمان‌های امدادی (خریدار) بررسی شده است. در فاز ساخت مناقصه، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی فازی چندهدفه ارائه شده که ریسک اختلال در مراکز تأمین و توزیع و همچنین عدم قطعیت در پارامترها را در نظر می‌گیرد. مدل پیشنهادی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون تقویت شده حل و بسته‌های پیشنهادی بهینه

\*. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه.

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

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

■ رحیم دباغ، نویسنده مسئول.

تأمین کنندگان شامل حجم، قیمت و زمان تحویل اقلام امدادی تعیین شده و در فاز ارزیابی مناقصه، برای رتبه‌بندی تأمین کنندگان از روش پرومیتی فازی استفاده شده است. در این مرحله از مناقصه، هر یک از تأمین کنندگان با توجه به بسته‌های پیشنهادی و سایر معیارهای کیفی، توسط خریدار ارزیابی شده و برنده مناقصه مشخص می‌شود. در نهایت، به جهت اعتبارسنجی مدل و کاربردپذیری آن مثال عددی ارائه و از جنبه‌های مختلف تحلیل شده است.

**طبقه‌بندی JEL: H57, H12, D81, D44, C61**

## مقدمه

پس از وقوع بحران پاسخ‌گویی به نیازهای افراد آسیب‌دیده از طریق پیش‌ذخیره‌سازی اقلام، کمک‌های مردمی و خرید فوری انجام می‌شود. خرید پس از بحران یکی از بخش‌های اصلی تأمین منابع است که سبب می‌شود عملیات امدادرسانی با سرعت و کارایی بهتری انجام شود. فرآیند خرید در زنجیره امداد انسانی شامل برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل مؤثر مواد و هزینه‌ها و ذخیره‌سازی اقلام امدادی از نقطه مبدأ تا نقطه مصرف، با هدف ارتقای سطح رفاه اجتماعی و کاهش اثرات مخرب بر روی افراد آسیب‌دیده تعریف شده است.<sup>۱</sup>

خرید پس از بحران به دلیل ماهیت غیرقابل پیش‌بینی بحران، فرآیندی پیچیده است.<sup>۲</sup> ناشناخته بودن مکان، زمان و شدت وقوع حادثه و همچنین عدم آگاهی دقیق از شمار افراد نیازمند از جمله فاکتورهایی است که موجب پیچیدگی عملیات خرید می‌شود. براساس برآوردهای انجام‌شده، ۶۵ درصد کل بودجه زنجیره امداد به خرید اقلام امدادی و تجهیزات اختصاص داده شده است.<sup>۳</sup> بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع، ارائه مدلی برای خرید اقلام امدادی با هدف سرعت بخشیدن و بهبود عملیات امدادرسانی بسیار حائز اهمیت است.

هدف اصلی مقاله حاضر، ارائه مدلی برای هماهنگی میان بخش خریدار و فروشنده در عملیات خرید زنجیره امداد بشردوستانه است. به این منظور، مناقصه معکوس چندشاخصه<sup>۴</sup> به‌عنوان مکانیزم هماهنگ‌سازی، در دو فاز ساخت<sup>۵</sup> و ارزیابی<sup>۶</sup> مناقصه بررسی شده است. فاز ساخت مناقصه در قالب یک مسأله بهینه‌سازی دوهدفه، فازی، غیرخطی و عدد صحیح مختلط با در نظر گرفتن ریسک اختلال در مراکز تأمین و توزیع از دیدگاه تأمین‌کننده فرموله شده است. مدل ارائه‌شده فاز ساخت مناقصه، با استفاده از روش محدودیت اِپسیلون تقویت شده<sup>۷</sup> حل گشته و بهترین بسته پیشنهادی از طرف تأمین‌کننده به خریدار (سازمان امدادی) پیشنهاد شده است. در فاز ارزیابی مناقصه نیز، تأمین‌کننده مناسب با در نظر گرفتن

1. Falasca and Zobel (2011); pp. 151-169.

2. Balcik et al. (2010); pp. 22-34.

3. Schulz (2009).

4. Multi-attribute Reverse Auction.

5. Bid Construction.

6. Bid Evaluation.

7. Augmented  $\epsilon$ -constraint Method – Augmecon.

معیارهای کمی و کیفی با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره پرومتی فازی<sup>۱</sup> از دیدگاه خریدار انتخاب می‌شود. مدل پیشنهادی به سازمان‌های امدادی کمک می‌کند تا در صورت کمبود اقلام در ساعات اولیه پس از وقوع بحران، تأمین‌کننده مناسب را انتخاب کرده و برای خرید اقلام موردنیاز اقدام به سفارش نمایند.

آنچه مقاله حاضر را از مطالعات پیشین متمایز می‌سازد عبارتند از:

۱. بهبود مدل فاز ساخت مناقصه برای خرید اقلام امدادی، به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی دوهدفه فازی.
۲. در نظر گرفتن ریسک اختلال پس از بحران در مدل فاز ساخت مناقصه.
۳. پیاده‌سازی روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده برای حل مدل چندهدفه.
۴. رتبه‌بندی جواب‌های پارتویی فاز ساخت با کمک روش تاپسیس جهت انتخاب بهترین بسته پیشنهادی از دیدگاه تأمین‌کننده.
۵. استفاده از روش پرومتی فازی در مدل ارزیابی مناقصه و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان (اعلام برنده مناقصه).

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است: پس از مقدمه، پیشینه تحقیق بیان شده است. در بخش دوم، مدل‌سازی فاز ساخت و ارزیابی مناقصه تشریح می‌شود. در بخش سوم، رویکرد حل مدل چندهدفه ارائه شده و در بخش چهارم، یک مثال عددی حل و نتایج آن تحلیل شده است. و در نهایت، بخش آخر به جمع‌بندی و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی اختصاص یافته است.

## ۱. پیشینه تحقیق

مدل‌های خرید مبتنی بر مناقصه شامل دو فاز ساخت و ارزیابی مناقصه هستند که به ترتیب توسط تأمین‌کنندگان (پیشنهاددهندگان<sup>۲</sup>) و خریدار (مناقصه‌گزار<sup>۳</sup>) مدیریت می‌شوند. علی‌رغم اهمیت فراوان عملیات خرید در زنجیره امداد بشردوستانه تاکنون تحقیقات اندکی مسأله خرید را از دیدگاه خریداران و تأمین‌کنندگان مورد بررسی قرار داده است.

1. Fuzzy-Promethee.

2. Bidders.

3. Auctioneer.

ترستریال و همکارانش در سال ۲۰۰۹ مسأله خرید را از دیدگاه مناقصه‌گزار بررسی کرده و برای تحلیل وضعیت مناقصه‌گزاری بخش کشاورزی ایالات متحده، مدل ریاضی دو مرحله‌ای را توسعه دادند. تعیین استراتژی بهینه قیمت‌گذاری و کاهش هزینه‌های کلی از نتایج مدل ایشان است.<sup>۱</sup> باگچی و همکارانش نیز برای تأمین مواد غذایی و خدمات حمل و نقل، مدلی برای بهبود مکانیزم مناقصه ارائه دادند. در مدل ایشان، هماهنگی میان تأمین‌کنندگان و حاملان اقلام امدادی سبب شد تا علاوه بر افزایش مشارکت تأمین‌کنندگان در مناقصه حجم بیشتری از کمک‌های غذایی به مناطق آسیب‌دیده ارسال شود.<sup>۲</sup> ارتم و همکارانش 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 ایشان، دو مدل ریاضی طراحی شده است: مدل اول از دیدگاه تأمین‌کنندگان حجم بهینه پیشنهادی را تعیین می‌کند و در مدل دوم نیز خریداران با بهره‌گیری از یک مدل ریاضی عدد صحیح، بسته‌های پیشنهادی تأمین‌کنندگان را ارزیابی می‌کنند. نتایج پیاده‌سازی مدل پیشنهادی نشان داد که به کارگیری مدل مناقصه در سناریوهای مختلف می‌تواند موجب افزایش کارایی تأمین اقلام مورد نیاز سازمان‌های امدادی شود.<sup>۳</sup> در تحقیقی مشابه، ارتم و بویورگان در سال ۲۰۱۱ مدل مناقصه را توسعه داده و برای ایجاد هماهنگی مناسب میان تأمین‌کنندگان و خریداران از یک زیرساخت هماهنگ‌کننده استفاده کردند. زیرساخت پیشنهادی، تقاضا را از سازمان امدادی جمع‌آوری کرده و در اختیار بخش تأمین‌کننده قرار می‌دهد.<sup>۴</sup> ارتم و همکاران در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ فاز ساخت مناقصه را از دیدگاه تأمین‌کننده بررسی کردند. در مدل پیشنهادی ایشان، 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 (تأمین جایگزین) را پیشنهاد دهد. نتایج پیاده‌سازی مدل نشان داد که افزودن گزینه‌های تأمین جزئی و جایگزین به مدل ساخت مناقصه، سبب استفاده بهتر از موجودی تأمین‌کنندگان شده است.<sup>۵</sup> شکر و ترابی برای تأمین اقلام امدادی مورد نیاز در

1. Trestrail et al. (2009); pp. 428-441.

2. Bagchi et al. (2011); pp. 238-245.

3. Ertem et al. (2010); pp. 202-227.

4. Ertem and Buyurgan (2011); pp. 170-188.

5. Ertem et al. (2012); pp. 306-314. Ertem and Buyurgan (2013); pp. 111-127.

پس از بحران مناقصه معکوس را توسعه دادند. در مدل پیشنهادی‌شان با توجه به عدم قطعیت پارامترهای ورودی، دو مدل امکانی برای مدل‌سازی فاز ساخت و ارزیابی مناقصه ارائه شده است. مدل مربوط به فاز ساخت تک‌هدفه بوده و سود حاصل از فروش اقلام را از دیدگاه تأمین‌کننده نشان می‌دهد. مدل ارزیابی مناقصه نیز با هدف کاهش هزینه‌های خرید و زمان تحویل اقلام امدادی ماهیت انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش دارد.<sup>۱</sup>

مناقصه‌های معکوس در زنجیره تأمین تجاری در دو نوع تک‌شاخصه و چندشاخصه برای کاربردهای متنوعی بررسی شده است. بیچلر<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۰ دو نوع مناقصه معکوس تک‌شاخصه و چندشاخصه را تحلیل کرده و با مقایسه آن‌ها نشان داد که مناقصه‌های چندشاخصه در تجارت الکترونیکی کارایی بهتری دارند. چن ریتزو و همکاران<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۵ نیز مدل‌های مناقصه مبتنی بر معیار قیمت را با مدل‌های چندشاخصه (شامل کیفیت، زمان تحویل و قیمت کالا) بررسی کردند. در مدل پیشنهادی آن‌ها مشاهده شد که مناقصه‌های چندشاخصه برای هر دو طرف خریدار و تأمین‌کننده مطلوبیت بهتری دارند. دیوید و همکارانش<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۶ مکانیسم مناقصه سنتی را برای خرید و فروش کالاهایی با چند ویژگی مختلف در قالب یک مناقصه معکوس چندشاخصه توسعه دادند. چنگ<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۸ و پتریک و جزیک<sup>۶</sup> در سال ۲۰۱۰ نیز مدل‌های مناقصه معکوس چندشاخصه را به ترتیب برای خرید الکترونیکی کالاها و تسهیل معاملات شرکت‌های مخابراتی به کار بردند. برخی محققان مانند کیان و همکاران<sup>۷</sup> و هوآنگ و همکاران<sup>۸</sup> بر مسأله تعیین برندگان مناقصه متمرکز شده و از الگوریتم‌های فراابتکاری و رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه برای انتخاب برنده مناقصه استفاده کرده‌اند. علی‌رغم کاربرد فراوان مناقصه معکوس چندشاخصه در زنجیره تأمین تجاری، این نوع مناقصه در زنجیره امداد بشردوستانه به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است.

1. Shokr and Torabi (2017).

2. Bichler (2000); pp. 249–268.

3. Chen-Ritzo et al. (2005); pp. 1753–1762.

4. David et al. (2006); pp. 527–556.

5. Cheng (2008); pp. 3261–3274.

6. Petric and Jezic (2010); 261–270.

7. Qian et al. (2014); 1917–1921.

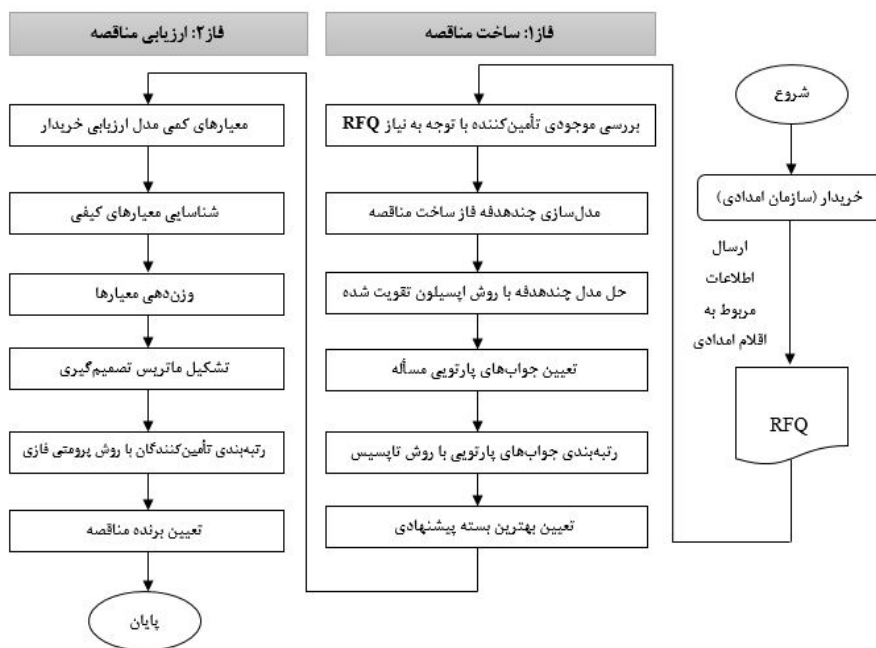
8. Huang et al. (2016); pp. 184–200.

با مرور ادبیات مشاهده می‌شود که اغلب مدل‌های خرید مبتنی بر مناقصه در فاز ساخت، تک‌هدفه بوده و تمام اهداف مدنظر تأمین‌کننده را پوشش نمی‌دهند. در ساختار مناقصه پیشنهادی پژوهش حاضر، هر تأمین‌کننده برای افزایش شانس برنده شدن در مناقصه، علاوه بر هدف افزایش سود حاصل از فروش اقلام امدادی، به دنبال کمینه کردن زمان تحویل پیشنهادی خود نسبت به سایر تأمین‌کنندگان (رقبا) است. لازم به ذکر است پیشنهاد مدت زمان کمتر از سوی تأمین‌کننده، مستلزم استفاده از روش‌های حمل‌ونقل سریع‌تر بوده و به طبع آن، هزینه‌های ارسال اقلام افزایش یافته و سود تأمین‌کننده کاهش می‌یابد. به این جهت در این مقاله مدل ساخت مناقصه پیشنهادی به صورت یک مسأله بهینه‌سازی دو هدفه غیرخطی فازی ارائه شده است. علاوه بر این، در شرایط بحرانی به علت شدت وقوع حادثه درصدی از ظرفیت انبار تأمین‌کنندگان و مراکز توزیع از بین رفته و عملیات خرید پس از بحران با نوعی ریسک اختلال همراه می‌شود. از این رو، افزودن ریسک اختلال در فاز ساخت مناقصه از دیگر نوآوری‌های این مقاله است. مدل پیشنهادی فاز ساخت با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای ورودی (تقاضا، بودجه، هزینه حمل و نقل و تخمین تأمین‌کنندگان از قیمت پیشنهادی رقیب) با استفاده از روش محدودیت افسیلون تقویت شده حل شده است. همچنین، در فاز ارزیابی مناقصه چنین ملاحظه می‌شود که بیشتر محققان تنها بر معیار هزینه تمرکز دارند. این در حالی است که به هنگام انتخاب تأمین‌کننده مناسب و خرید اقلام امدادی معیارهایی نظیر زمان تحویل، کیفیت اقلام و سایر معیارهای کیفی بر تصمیم خریدار اثر می‌گذارد و این نکته در مطالعات اخیر لحاظ نشده است. از این رو، در پژوهش حاضر، ارزیابی تأمین‌کنندگان و تعیین برنده مناقصه در حضور معیارهای کمی و کیفی در قالب یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی بررسی شده است. بنابراین، در این تحقیق با توجه به نوآوری‌های ارائه شده، از مکانیزم مناقصه معکوس چندشاخصه تحت ریسک اختلال به منظور افزایش کارآیی عملیات خرید اقلام امدادی و هماهنگی میان دو بخش خریدار (سازمان امدادی) و فروشنده (تأمین‌کننده) استفاده شده است.

## ۲. مدل سازی مسأله

در این مقاله مدل سازی عملیات خرید اقلام امدادی در چارچوب مناقصه معکوس چندشاخصه بررسی شده است. ساختار مناقصه پیشنهادی شامل یک خریدار و چندین تأمین‌کننده است.

شکل (۱) ساختار مناقصه پیشنهادی را نشان می‌دهد. مناقصه معکوس با ایجاد فراخوان مناقصه (RFQ) آغاز می‌شود. در RFQ تعاریف کاملی از الزامات خریدار تشریح شده است. همچنین، مقدار، زمان تحویل مورد انتظار، مشخصات محصول، درجه کیفیت، شرایط پرداخت، شرایط بیمه و غیره از جمله مواردی است که در فراخوان مناقصه مشخص می‌شود. در واقع، سازمان امدادی پس از وقوع بحران و تخمین تقاضا، اطلاعات مربوط به اقلام مورد نیاز را در RFQ اعلام می‌کند و در گام بعدی، تأمین‌کنندگان مقادیر درخواستی سازمان امدادی را با موجودی خود مقایسه کرده و مدل ساخت مناقصه را ایجاد می‌کنند. در این مرحله، بسته‌های پیشنهادی تأمین‌کنندگان شامل حجم، قیمت و زمان تحویل بهینه تعیین شده و در اختیار خریدار قرار می‌گیرد. در پایان، سازمان امدادی با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره بسته‌های پیشنهادی تأمین‌کنندگان را ارزیابی کرده و برنده مناقصه را تعیین می‌کند.



شکل ۱- ساختار مناقصه پیشنهادی

1. Request for Quotation (RFQ).
2. Cheng (2008); pp. 3261-3274.



در ادامه مدل تصمیم‌گیری تأمین‌کننده (مدل ساخت مناقصه) و مدل تصمیم‌گیری خریدار (مدل ارزیابی مناقصه) توضیح داده شده است.

## ۱-۲. فاز ۱: مدل ساخت مناقصه

برای افزایش شانس برنده شدن در مناقصه بهتر است تأمین‌کنندگان حجم بالاتر و قیمت و زمان تحویل کمتری را به خریدار پیشنهاد دهند اما از طرفی ممکن است با کاهش قیمت، سود حاصل از فروش تأمین‌کننده کمتر شده و یا اینکه کاهش مدت زمان تحویل سبب شود هزینه‌های ارسال اقلام افزایش یابد. از این رو تأمین‌کننده با یک مسأله تصمیم‌گیری چند هدفه با اهدافی متضاد روبرو است. در ادامه مدل چند هدفه فاز ساخت مناقصه آورده شده است.

## ۱-۱-۲. مدل‌سازی چندهدفه فاز ساخت مناقصه

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  $m \in M$

پارامترهای قطعی مدل:

$cap_{jc}$ : ظرفیت مراکز توزیع محلی  $J$  برای اقلام امدادی  $C$

$\pi_{ic}$ : حداقل قیمت واحد پیشنهادی برای اقلام امدادی  $C$  که برای تأمین‌کننده  $i$  توجیه‌پذیر است.

$I_{ic}$ : موجودی تأمین‌کننده  $i$  از اقلام امدادی  $C$

$\rho_i$ : احتمال اختلال در تأمین‌کننده  $i$

$\alpha_{ic}$ : کسری از عرضه اقلام امدادی  $C$  از تأمین‌کننده  $i$  که به دلیل اختلال از بین رفته است.

$l_j$ : احتمال اختلال در مراکز توزیع محلی  $j$   
 $\beta_{jc}$ : کسری از عرضه اقلام امدادی  $C$  از مراکز توزیع محلی  $j$  که به دلیل اختلال از بین رفته است.

$t_{imcj}$ : زمان تحویل اقلام امدادی  $C$  توسط تأمین کننده  $i$  با روش حمل و نقل  $m$  به مراکز توزیع محلی  $j$

$\delta_c$ : اگر برای اقلام امدادی  $C$  اجازه تأمین جزئی داده شود، ۱ و در غیر این صورت ۰  
 $\omega_{ic}$ : اگر تأمین کننده  $i$  موجودی کافی برای برآوردن حداقل حجم مورد نیاز اقلام امدادی  $C$  را داشته باشد، ۰ و در غیر این صورت ۱.

#### پارامترهای فازی مدل:

$\tilde{C}_{imcj}$ : هزینه حمل و نقل اقلام امدادی  $C$  از تأمین کننده  $i$  به مراکز توزیع محلی  $j$  با روش حمل و نقل  $m$

$\tilde{l}_{ic}$ : تخمین تأمین کننده  $i$  از حداکثر قیمت پیشنهادی برای اقلام امدادی  $C$  توسط دیگر تأمین کنندگان

$\tilde{D}_{ck}$ : تقاضای اقلام امدادی  $C$  در منطقه آسیب دیده  $K$

$\tilde{B}$ : بودجه در دسترس برای خرید اقلام امدادی

#### متغیرهای تصمیم:

$P_{ic}$ : قیمت پیشنهادی برای اقلام امدادی  $C$  توسط تأمین کننده  $i$

$x_{imcj}$ : حجم پیشنهادی اقلام امدادی  $C$  توسط تأمین کننده  $i$  برای ارسال به مراکز توزیع محلی  $j$  با روش حمل و نقل  $m$

$z_{imcj}$ : اگر تأمین کننده  $i$  برای حمل اقلام امدادی  $C$  به مراکز توزیع محلی  $j$  از روش حمل و نقل  $m$  استفاده کند، ۱ و در غیر این صورت ۰

#### توابع هدف و محدودیت‌ها:

$$\min t_i = \sum_m \sum_c \sum_j f_{imcj} z_{imcj} \quad (1)$$

$$\max z_i = \sum_c p_{ic} \sum_m \sum_j x_{imcj} - \sum_m \sum_c \sum_j x_{imcj} \tilde{C}_{imcj} z_{imcj} \quad (2)$$

st :

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \leq (1 - \rho_i \alpha_{ic}) I_{ic} \quad \forall i, c \quad (3)$$

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \geq \tilde{D}_{ck} \quad \forall i, c, k \quad (4)$$

$$p_{ic} \sum_j \sum_m x_{ijc} \leq \tilde{B} \quad \forall i, c \quad (5)$$

$$\pi_{ic} \leq p_{ic} \leq \tilde{u}_{ic} \quad \forall i, c \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \geq \delta_c I_{ic} - M(1 - \omega_{ic}) \quad \forall i, c \quad (7)$$

$$\sum_m x_{imcj} \leq (1 - \ell_j \beta_{jc}) cap_{jc} \quad \forall i, j, c \quad (8)$$

$$\sum_m z_{imcj} \geq 1 \quad \forall i, c, j \quad (9)$$

$$x_{imcj} \leq Mz_{imcj} \quad \forall i, m, c, j \quad (10)$$

$$z_{imcj} \in \{0, 1\} \quad \forall i, m, c, j \quad (11)$$

$$p_{ic}, x_{imcj} \geq 0 \quad \forall i, c, j \quad (12)$$

تابع هدف (۱) کمینه کردن مدت زمان تحویل اقلام امدادی و تابع هدف (۲) بیشینه کردن سود هر تأمین کننده حاصل از فروش اقلام را نشان می دهد. محدودیت (۳) به این معنا است که حجم پیشنهادی از سوی هر یک از تأمین کنندگان از مقدار موجودی آن کمتر باشد. محدودیت (۴) بیان می کند که حجم پیشنهادی تأمین کنندگان باید از مقدار تقاضای سازمان امدادی بیشتر شود. محدودیت (۵) نشان می دهد حداکثر درآمد فروش تأمین کننده به اندازه بودجه سازمان امدادی است. محدودیت (۶) تضمین می کند که قیمت پیشنهادی تأمین کننده از حداقل قیمت قابل قبول بیشتر و از قیمت پیشنهادی رقیب کمتر باشد و در واقع، این محدودیت ضمن توجیه مشارکت تأمین کننده در مناقصه سبب می شود تأمین کننده

با تخمین قیمت پیشنهادی رقیب شانس برنده شدن خود را افزایش دهد. محدودیت (۷) به تأمین کنندگانی که به اندازه کافی موجودی ندارند، اجازه می‌دهد با هر سطحی از موجودی انبار در مناقصه شرکت کنند. محدودیت (۸) مربوط به ظرفیت مراکز توزیع محلی برای پیش‌ذخیره‌سازی اقلام خریداری شده است. محدودیت (۹) نشان می‌دهد هر تأمین‌کننده باید حداقل یکی از روش‌های حمل‌هوایی و یا زمینی را برای ارسال اقلام امدادی انتخاب کند. محدودیت (۱۰) بیان می‌کند که اگر یکی از روش‌های حمل از سوی تأمین‌کننده انتخاب شده باشد، آنگاه اقلام امدادی به مراکز توزیع ارسال می‌شوند. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) مربوط به صفر و یک بودن و غیرمنفی بودن متغیرها است.

## ۲-۱-۲. خطی‌سازی مدل پیشنهادی

مدل ارائه شده به دلیل ضرب دو متغیر پیوسته  $P_{ic}$  و  $x_{imcj}$  و همچنین ضرب متغیر باینری  $z_{imcj}$  در متغیر پیوسته  $x_{imcj}$  غیرخطی است. برای خطی کردن ضرب دو متغیر پیوسته، با توجه به مقاله ویدال و گوتس چالاکس<sup>۱</sup> متغیر جدید  $r_{ic}$  به صورت زیر تعریف شده است:

$$P_{ic} \sum_m \sum_j x_{imcj} = r_{ic} \quad \forall i, c \quad (13)$$

بدین ترتیب با ضرب عبارت  $\sum_m \sum_j x_{imcj}$  در محدودیت (۶)، این محدودیت به دو صورت زیر بازنویسی شده است:

$$r_{ic} \geq \pi_{ic} \sum_m \sum_j x_{imcj} \quad \forall i, c \quad (14)$$

$$r_{ic} \leq \tilde{u}_{ic} \sum_m \sum_j x_{imcj} \quad \forall i, c \quad (15)$$

همچنین برای خطی کردن عبارت  $x_{imcj} z_{imcj}$ ، با توجه به مقاله گلور<sup>۲</sup> از تغییر متغیر  $x_{imcj} z_{imcj} = w_{imcj}$  استفاده شده و به سبب آن، محدودیت‌های زیر به مدل اصلی اضافه می‌شود:

$$w_{imcj} \leq M z_{imcj} \quad \forall i, m, c, j \quad (16)$$

1. Vidal and Goetschalckx (2001); pp. 134-158.

2. Glover (1975); pp. 455-460.

$$W_{imcj} \leq x_{imcj} \quad \forall i, m, c, j \quad (17)$$

$$W_{imcj} \geq x_{imcj} + M(z_{imcj} - 1) \quad \forall i, m, c, j \quad (18)$$

بنابراین مدل غیرخطی ارائه شده به صورت خطی زیر بازنویسی می شود:

$$\min t_i = \sum_m \sum_c \sum_j t_{imcj} z_{imcj} \quad (19)$$

$$\max z_i = \sum_c r_{ic} - \sum_m \sum_c \sum_j \tilde{c}_{imcj} W_{imcj} \quad (20)$$

st :

$$(3) - (4)$$

$$\sum_c r_{ic} \leq \tilde{B} \quad \forall i \quad (21)$$

$$(7) - (12), (14) - (18)$$

### ۲-۱-۳. رتبه بندی جواب های پارتویی

در این بخش برای رتبه بندی جواب های پارتویی مدل چندهدفه و انتخاب بهترین جواب برای اجرای مراحل بعدی روش حل مسأله، از روش تاپسیس<sup>۱</sup> استفاده شده است. گام های رتبه بندی جواب های پارتویی مدل چندهدفه با روش تاپسیس به تفصیل در مقاله دانالاکشمی و همکاران<sup>۲</sup> آمده است.

### ۲-۲. فاز ۲: مدل ارزیابی مناقصه (مدل تصمیم گیری خریدار)

در این بخش برای رتبه بندی تأمین کنندگان از روش پرومتی فازی استفاده شده است. خوانندگان محترم برای مطالعه گام های روش پرومتی فازی به مقاله الولی<sup>۳</sup> ارجاع داده می شوند.

### ۳. روش حل مدل فازی

برای حل مدل دو هدفه فازی بخش ۲-۱-۱، یک رویکرد حل دو مرحله ای اجرا شده است.

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

2. Dhanalakshmi et al. (2011); pp. 992-1002.

3. Eleveli (2014); pp. 412-418.

در مرحله اول با بهره‌گیری از روش خیمنز مدل غیر قطعی اولیه به یک مدل قطعی معادل تبدیل شده است. در مرحله دوم از روش محدودیت اپسیلون تقویت شده برای حل مدل چند هدفه و یافتن جواب‌های پارتویی استفاده شده است.

### ۳-۱. مرحله ۱: تبدیل مدل فازی به مدل قطعی

در مرحله اول برای تبدیل مدل غیر قطعی فازی به مدل قطعی از روش خیمنز و همکاران<sup>۱</sup> استفاده شده است. در این روش از مفهوم امید ریاضی و بازه انتظاری اعداد فازی برای غیرفازی کردن یک مدل امکانی استفاده می‌شود. روش مذکور ضمن حفظ خطی‌پذیری مدل تعداد توابع هدف و محدودیت‌های نامساوی را افزایش نمی‌دهد. فرض کنید  $\tilde{c} = (c^p, c^m, c^o)$  یک عدد فازی مثلثی باشد، آن‌گاه بازه انتظاری و امید ریاضی عدد فازی  $\tilde{c}$  به ترتیب برابر است با:

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_2^c] = \left[ \frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^m + c^o) \right] \quad (22)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2} = \frac{c^p + 2c^m + c^o}{4} \quad (23)$$

حال مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی زیر را در نظر بگیرید که پارامترهای آن به صورت عدد فازی مثلثی تعریف شده‌اند:

$$\min Z = \tilde{c}x \quad (24)$$

st :

$$\tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i \quad i = 1, \dots, l \quad (25)$$

$$\tilde{a}_i x = \tilde{b}_i \quad i = l + 1, \dots, m \quad (26)$$

$$x \geq 0 \quad (27)$$

با توجه به روش خیمنز برای محدودیت‌های فازی به شکل نامساوی و مساوی به ترتیب خواهیم داشت:

$$\left[ (1-\alpha)E_2^{a_i} + \alpha E_1^{a_i} \right] x \geq \alpha E_2^{b_i} + (1-\alpha)E_1^{b_i} \quad i = 1, \dots, l \quad (28)$$

$$\left[ \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_2^{a_i} + \frac{\alpha}{2}E_1^{a_i} \right] x \geq \frac{\alpha}{2}E_2^{b_i} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_1^{b_i} \quad i = l+1, \dots, m \quad (29)$$

$$\left[ \frac{\alpha}{2}E_2^{a_i} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_1^{a_i} \right] x \leq \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_2^{b_i} + \frac{\alpha}{2}E_1^{b_i} \quad i = l+1, \dots, m \quad (30)$$

لازم به ذکر است که  $\alpha$  حداقل درجه ارضای محدودیت‌های امکانی بوده که به ازای مقادیر مختلف آن در بازه (۰، ۱) می‌توان جواب‌های مختلفی را تولید کرد. بنابراین، با توجه به تعاریف بالا مدل فازی به مدل قطعی زیر تبدیل می‌شود:

$$\min Z = EV(\tilde{c})x \quad (31)$$

st :

$$(28) - (30)$$

$$x \geq 0 \quad (32)$$

در ادامه، مطابق گام‌های روش خیمنز و همکاران، مدل قطعی معادل مسأله اصلی نشان داده شده است:

$$\max z_i = \sum_c r_{ic} - \sum_m \sum_c \sum_j w_{imcj} \left( \frac{c_{imcj}^p + 2c_{imcj}^m + c_{imcj}^o}{4} \right) \quad (33)$$

معادلات فازی مدل (محدودیت‌های ۴، ۱۵ و ۲۱) نیز به حالت قطعی تبدیل می‌شوند:

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \geq (1-\alpha) \left( \frac{D_{ck}^p + D_{ck}^m}{2} \right) + \alpha \left( \frac{D_{ck}^m + D_{ck}^o}{2} \right) \quad (34)$$

$$\sum_c r_{ic} \leq \alpha \left( \frac{B^p + B^m}{2} \right) + (1-\alpha) \left( \frac{B^m + B^o}{2} \right) \quad (35)$$

$$r_{ic} \leq \left( \alpha \left( \frac{u_{ic}^m + u_{ic}^p}{2} \right) + (1-\alpha) \left( \frac{u_{ic}^p + u_{ic}^m}{2} \right) \right) \sum_m \sum_j x_{imcj} \quad (36)$$

محدودیت‌های غیرفازی مدل به همان صورت باقی می‌مانند.

### ۲-۳. مرحله ۲: رویکرد حل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه

از جمله اشکالات روش محدودیت اپسیلون معمولی تولید جواب‌های پارتویی ضعیف است. همچنین، در این روش هیچ‌گونه تضمینی برای تولید جواب‌های کارا وجود نداشته و ممکن است به تولید جواب‌های ناکارا منجر شود. از این‌رو، برای پوشش نقاط ضعف مذکور روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده نخستین‌بار در سال ۲۰۰۹ توسط ماوروتاس ارائه شد.<sup>۱</sup> این روش از اجرای تکرارهای بیش از حد جلوگیری کرده و سبب بالارفتن سرعت حل مسأله شده است. روش AUGMECON محدودیت نامساوی روش محدودیت اپسیلون معمولی را با افزودن یک متغیر مازاد مثبت به یک محدودیت مساوی تبدیل کرده و سپس با اضافه کردن مجموع وزن‌دار متغیرهای مازاد به تابع هدف تقویت تابع هدف اصلی می‌شود.<sup>۲</sup>

گام‌های روش AUGMECON به‌طور خلاصه عبارت است از:

گام ۱: تشکیل جدول موازنه: در این گام به‌جهت تولید جواب‌های پارتویی بهینه در جدول موازنه از بهینه‌سازی لکسیکوگرافیک<sup>۳</sup> استفاده می‌شود.  
گام ۲: محاسبه حد پایین تابع هدف: حد پایین توابع با استفاده از جدول موازنه گام قبل قابل محاسبه است.

گام ۳: تعیین محدوده تابع هدف  $K$  ام  $(R_k)$ :

$$r_k = f_k^{\max} - f_k^{\min} \quad k=2, \dots, p \quad (48)$$

گام ۴: تقسیم محدوده هر تابع هدف به  $g_k$  فاصله مساوی و تعیین مقادیر  $e_k$ :

$$e_k = f_k^{\min} + \frac{r_k \times i_k}{g_k} \quad i_k = 0, 1, \dots, g_k \quad (49)$$

گام ۵: تبدیل مدل قطعی چندهدفه به یک مدل تک‌هدفه براساس روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده:

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

2. Zhang and Reimann (2014); pp. 15-24.

3. Lexicographic Optimization.



$$\max (f_1(x) + \text{eps}(\frac{s_2}{r_2} + \frac{s_3}{r_3} + \dots + \frac{s_p}{r_p})) \quad (50)$$

st :

$$f_2(x) - s_2 = e_2$$

$$f_3(x) - s_3 = e_3$$

...

$$f_p(x) - s_p = e_p$$

$$x \in S, s_i \in R^+,$$

$x$  بردار متغیرهای تصمیم،  $r_2, r_3, \dots, r_p$  محدوده تابع هدف،  $s_2, s_3, \dots, s_p$  متغیر مازاد محدودیت،  $e_2, e_3, \dots, e_p$  مقادیر سمت راست محدودیت مربوط به تابع هدف و  $S$  فضای شدنی مسأله است. همچنین در مدل فوق eps عددی بین ۶-۱۰ و ۳-۱۰ در نظر گرفته شده است.

گام ۶: حل مدل به ازای  $e_k$  های مختلف برای تولید جواب‌های پارتویی.

لازم به ذکر است در روش محدودیت اپسیلون تقویت شده فقط جواب‌های کارا تولید می‌شود و در صورت نشدنی بودن مسأله در تکرار  $i_k$  الگوریتم حل متوقف شده و برای تکرار  $i_{k+1}$  حل نمی‌شود.

#### ۴. نتایج محاسباتی

در این بخش برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی و عملی بودن آن یک مثال عددی ارائه شده است. در مثال فرض شده است که یک سازمان امدادی نظیر هلال احمر در ساعات اولیه پس از بحران با کمبود اقلام امدادی مواجه شده و باید از طریق برگزاری مناقصه با پنج تأمین کننده، اقلام لازم را بخرد. همچنین، در این مسأله فرض بر این است که سازمان امدادی فقط یک تأمین کننده را انتخاب کرده و به عنوان برنده مناقصه اعلام می‌کند. اطلاعات مربوط به هریک از تأمین کنندگان شامل سطح موجودی، درصد اختلال، و تخمین قیمت رقبا در جدول (۱) نشان داده شده است. در ساختار مناقصه پیشنهادی تأمین کنندگان از قیمت پیشنهادی رقیب اطلاعی نداشته و از این رو در جدول (۱) پارامتر  $\bar{u}_{ic}$  به صورت یک عدد فازی مثلثی بیان شده است. افزون بر آن، اطلاعات بخش خریدار (سازمان امدادی)

نیز مقادیر تقاضا و سطح بودجه خرید است که به ترتیب معادل (۹۰۰،۱۰۰۰،۱۱۰۰) واحد و (۲۰۰،۲۵۰،۲۷۰) هزار واحد پولی لحاظ شده و علاوه بر آن، ظرفیت مراکز توزیع برای هر نوع کالا برابر ۱۵۰۰ واحد بوده و درصد اختلال هر یک با استفاده از توزیع یکنواخت پیوسته در بازه (۰/۱، ۰/۲) تولید شده است.

### جدول ۱- اطلاعات تأمین کنندگان

تخمین قیمت رقبا				سطح موجودی تأمین کننده				درصد اختلال	
کالا ۴	کالا ۳	کالا ۲	کالا ۱	کالا ۴	کالا ۳	کالا ۲	کالا ۱		
(۲۸،۴۵،۷۳)	(۳۸،۶۰،۹۸)	(۳۲،۵۰،۸۲)	(۲۵،۴۰،۶۵)	۴۵۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۰/۱	تأمین کننده ۱
(۳۲،۵۰،۸۲)	(۴۱،۶۵،۱۰۶)	(۳۵،۵۵،۹۰)	(۲۲،۳۵،۵۷)	۵۰۰	۴۰۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰	۰/۲	تأمین کننده ۲
(۲۷،۴۳،۷۰)	(۴۳،۶۷،۱۱۰)	(۳۴،۵۳،۸۷)	(۳۰،۴۸،۷۸)	۶۰۰	۸۰۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۰/۱۵	تأمین کننده ۳
(۳۵،۵۵،۹۰)	(۳۵،۵۵،۹۰)	(۳۶،۵۷،۹۳)	(۲۳،۳۷،۶۰)	۷۰۰	۶۰۰۰	۱۲۰۰	۵۰۰	۰/۲	تأمین کننده ۴
(۳۶،۵۶،۹۲)	(۴۳،۶۸،۱۱۱)	(۳۸،۶۰،۹۸)	(۳۲،۵۰،۸۲)	۸۰۰	۵۰۰۰	۱۳۰۰	۶۰۰	۰/۲۵	تأمین کننده ۵

### ۴-۱. نتایج فاز یک مناقصه

در مدل ساخت مناقصه هریک از تأمین کنندگان با هدف افزایش سود ناشی از فروش و کاهش مدت زمان تحویل سعی دارند شانس برنده شدن خود را در مناقصه افزایش دهند. حجم، قیمت و زمان تحویل از جمله معیارهای خروجی این فاز است که در قالب بسته‌های پیشنهادی در اختیار سازمان امدادی جهت فرآیند ارزیابی قرار می‌گیرد. مدل مربوط به ساخت مناقصه برای مثال طراحی شده بالا با استفاده از نرم‌افزار GAMS 24/1 روی رایانه‌ای با مشخصات Core i5 CPU and 4GB RAM اجرا شده است.

با توجه به گام‌های روش محدودیت آپسیلون تقویت شده، حد پایین و بالای هریک از توابع محاسبه شده است. در ادامه، تابع هدف اول به‌عنوان تابع هدف اصلی تعیین شده و

سپس مدل تک هدفه برای هر تأمین کننده با تقسیم محدوده هدف دوم به چهار بازه مساوی حل شده و جواب‌های پارتویی به دست آمده به ازای  $\alpha = 0.5$  در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به این که هدف اول کمینه‌سازی و هدف دوم بیشینه‌سازی است، از روند جواب در جدول (۲) چنین نتیجه می‌شود که دو تابع متضاد یکدیگرند.

### جدول ۲- جواب‌های پارتویی مسأله

$\varepsilon_5$	$\varepsilon_4$	$\varepsilon_3$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_1$		
462/5	852/3	99/2	99/2	14/2	$F_1$	تأمین کننده ۱
32/187585	24/178152	16/168719	08/159286	01/149853	$F_2$	
338/6	455/4	815/3	187/3	56/2	$F_1$	تأمین کننده ۲
10/186655	63/182957	15/179260	67/175562	19/171865	$F_2$	
91/5	620/4	365/3	77/2	19/2	$F_1$	تأمین کننده ۳
182628	15/174825	3/167021	45/159217	59/151413	$F_2$	
67/5	06/4	77/2	21/2	7/1	$F_1$	تأمین کننده ۴
02/170020	92/157320	82/144621	72/131922	62/119223	$F_2$	
287/4	64/3	993/2	347/2	7/1	$F_1$	تأمین کننده ۵
65/182548	22/178533	79/174517	35/170502	92/166486	$F_2$	

در این بخش لازم است از میان جواب‌های پارتویی جدول (۲) تنها یک جواب به عنوان بسته پیشنهادی نهایی هر تأمین کننده به عنوان ورودی فاز ارزیابی انتخاب شود؛ از این رو،

برای رتبه‌بندی جواب‌های پارتویی به‌دست‌آمده از روش تاپسیس استفاده شده است. جدول (۳) نیز بسته‌های پیشنهادی هریک از تأمین‌کنندگان را با توجه به بهترین جواب پارتویی حاصل از رتبه‌بندی روش تاپسیس نشان می‌دهد.

### جدول ۳- بسته‌های پیشنهادی تأمین‌کنندگان

زمان تحویل پیشنهادی	قیمت پیشنهادی بهینه تأمین‌کنندگان				حجم پیشنهادی بهینه تأمین‌کنندگان				
	۴لاکا	۳لاکا	۲لاکا	۱لاکا	۴لاکا	۳لاکا	۲لاکا	۱لاکا	
۲/۱۴	۴۸/۲۰	۶۴/۲۸	۵۳/۵۹	۴۲/۸۵	۴۴۲	۱۴۷۹	۱۴۷۳	۴۹۲	تأمین‌کننده ۱
۲/۵۶	۵۳/۵۹	۶۹/۶۳	۵۸/۹۳	۳۷/۵	۴۸۶	۱۴۶۸	۱۴۵۵	۵۸۲	تأمین‌کننده ۲
۲/۱۶	۴۶/۰۸	۷۱/۷۵	۵۶/۷۵	۵۱/۴۳	۵۸۷	۱۴۷۹	۱۰۷۶	۶۷۹	تأمین‌کننده ۳
۱/۷	۵۸/۹۳	۵۸/۹۳	۶۱/۰۹	۳۹/۶۳	۶۷۶	۱۴۷۹	۱۱۵۳	۴۸۶	تأمین‌کننده ۴
۱/۷	۶۰	۷۲/۸۵	۶۴/۲۸	۵۳/۵۹	۷۷۹	۱۳۸۳	۱۰۰۰	۵۷۲	تأمین‌کننده ۵

### ۴-۲. نتایج فاز دو مناقصه

در این بخش برای ارزیابی بسته‌های پیشنهادی تأمین‌کنندگان و تعیین برنده مناقصه از روش پرومیتی فازی استفاده شده است. در این مرحله معیارهای مدل تصمیم‌گیری خریدار شامل دو نوع معیار کمی و کیفی است که از طریق مرور ادبیات<sup>۱</sup> و تعامل با خبرگان موضوع استخراج شده است. معیارهای کمی حجم، قیمت و زمان تحویل پیشنهادی بوده که از فاز ساخت مناقصه تعیین شده است (نتایج جدول ۳). معیارهای کیفی نیز شامل کیفیت، قابلیت فنی، قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و عکس‌العمل نسبت به تغییر تقاضا است. برای اجرای روش پرومیتی فازی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان تیم ارزیابی سازمان امدادی از پنج نفر خبره و کارشناس خرید تشکیل شده است. هریک از خبرگان برای تعیین اهمیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر و همچنین میزان اولویت تأمین‌کنندگان نسبت به معیارهای موجود از متغیرهای کلامی جدول (۴) استفاده می‌کنند. جدول (۵) درجه اهمیت معیارها و وزن‌های مربوطه را با توجه به نظر خبرگان نشان می‌دهد.

1. Chen et al. (2006); pp. 289-301. Boran et al. (2009); pp. 11363-11368. Chang et al. (2011); pp. 1850-1858. Chen et al. (2016); pp. 1475-1490. Mukherjee (2016); pp. 356-373.

## جدول ۴- 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)

## جدول ۵- اهمیت معیارها با توجه به نظر خبرگان

معیار	تصمیم‌گیرنده ۱	تصمیم‌گیرنده ۲	تصمیم‌گیرنده ۳	تصمیم‌گیرنده ۴	تصمیم‌گیرنده ۵	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 در قالب متغیرهای کلامی در جدول (۶) ارائه شده است. عناصر موجود در ماتریس تصمیم به صورت فازی بوده و سپس با استفاده از روابط مربوط به گام‌های روش پرومیتی فازی به یک عدد قطعی تبدیل شده است. دو ستون آخر جدول (۶) نتایج مربوط به اوزان هر یک از معیارها را نشان می‌دهد. در مراحل پایانی روش پرومیتی، جریان‌های ورودی، خروجی و خالص مربوط به هر گزینه محاسبه شده و گزینه‌ها براساس جریان خالص به صورت نزولی رتبه‌بندی می‌شوند. جدول (۷) نیز نتایج رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد.

جدول ۶- ماتریس تصمیم‌گیری

مقدار قطعی	مقدار فازی	تصمیم گیرنده ۵	تصمیم گیرنده ۴	تصمیم گیرنده ۳	تصمیم گیرنده ۲	تصمیم گیرنده 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	

مقدار قطعی	مقدار فازی	تضمیم گیرنده ۵	تضمیم گیرنده ۴	تضمیم گیرنده ۳	تضمیم گیرنده ۲	تضمیم گیرنده ۱	گزینه	معیار
۰/۶۹	(۰، ۰/۴۹، ۰/۸)	M	MH	M	W	MH	تأمین کننده ۱	C7: در دسترس بودن
۰/۸۹۳	(۰/۱۵، ۰/۶۸، ۱)	MH	M	H	MW	MH	تأمین کننده ۲	
۰/۷۹۵	(۰/۳، ۰/۶۲، ۱)	M	H	M	M	H	تأمین کننده ۳	
۰/۸۹۵	(۰/۳، ۰/۷۲، ۱)	M	M	VH	H	H	تأمین کننده ۴	
۰/۹۳۵	(۰/۵، ۰/۸۱، ۱)	H	H	H	MH	VH	تأمین کننده ۵	
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	

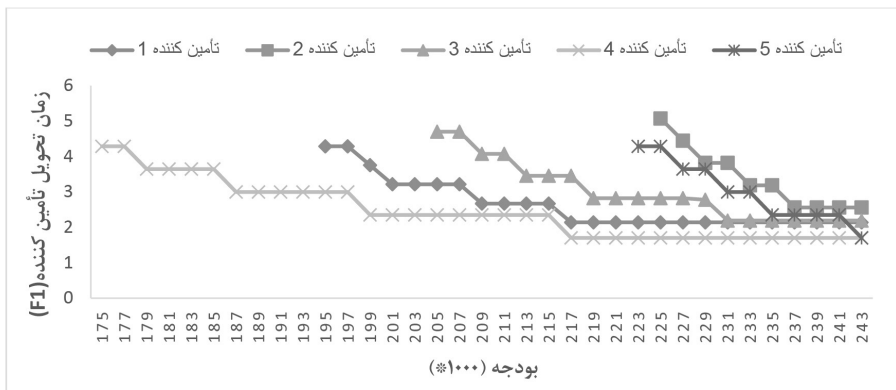
### جدول ۷- نتایج رتبه‌بندی روش پرومیتی فازی

تأمین کننده ۵	تأمین کننده ۴	تأمین کننده ۳	تأمین کننده ۲	تأمین کننده ۱	
۱/۰۲	۰/۰۲۴	۰/۱۴۷	۰/۲۲۶	-۱/۴۲	میزان خروجی مثبت ( $\varphi^+$ )
-۱/۰۲	-۰/۰۲۳	-۰/۱۴۷	-۰/۲۲	۱/۴۲	میزان ورودی منفی ( $\varphi^-$ )
۲/۰۴	۰/۰۴۷	۰/۲۹	۰/۴۵	-۲/۸۴	جریان خالص ( $\varphi^{net}$ )
۱	۴	۳	۲	۵	رتبه‌بندی

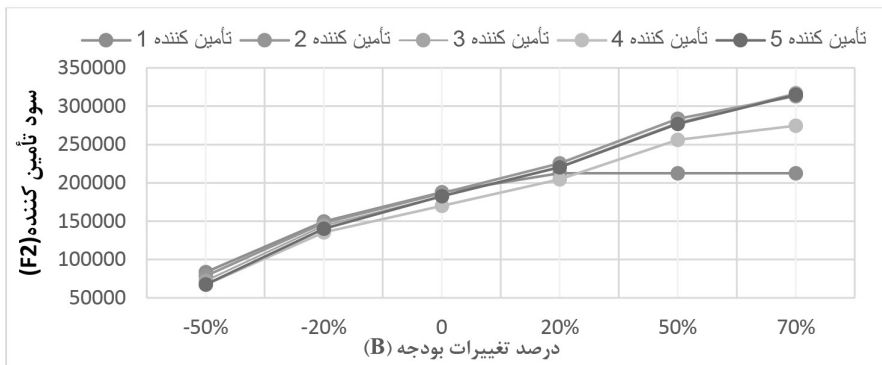
### ۴-۳. تحلیل حساسیت

در این قسمت، تحلیل حساسیت بر پارامترهای اصلی مدل انجام شده است. در ابتدا تغییرات تابع هدف ۱ و ۲ در مقایسه با تغییرات بودجه خرید بررسی شد. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، افزایش بودجه موجب کاهش زمان تحویل اقلام امدادی شده است. در شکل (۳) نیز با افزایش سطح بودجه خرید سازمان امدادی، سود تأمین‌کنندگان افزایش

می‌یابد. بنابراین، با افزایش سطح بودجه خرید از سوی سازمان امدادی، سود زیاد و مدت زمان تحویل کاهش یافته و هر یک از تأمین‌کنندگان شانس بیشتری برای برنده شدن خواهند داشت.



شکل ۲- تغییرات زمان تحویل تأمین‌کننده نسبت به تغییرات بودجه

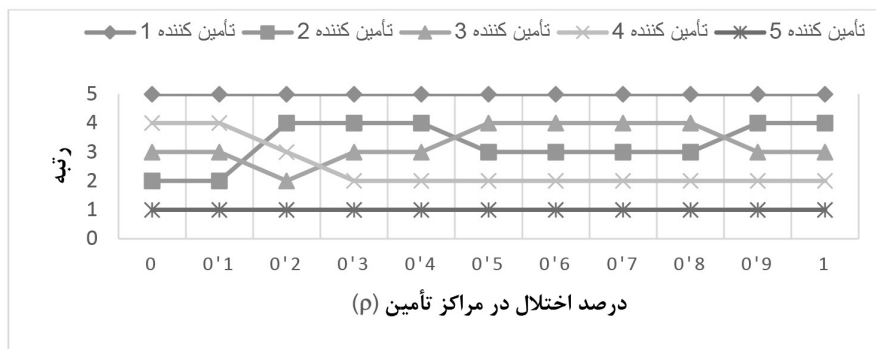


شکل ۳- تغییرات سود تأمین‌کننده نسبت به تغییرات بودجه

در ادامه، تحلیل حساسیت رتبه‌های به‌دست‌آمده نسبت به تغییرات درصد اختلال تأمین‌کننده و وزن معیارها انجام شده است. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود با افزایش درصد اختلال، رتبه‌های اول و پنجم تغییر نکرده و یا به عبارت دیگر، جایگاه بهترین و بدترین رتبه به‌ازای درصد اختلال‌های مختلف ثابت مانده است. اما با تغییر میزان اختلال



در مراکز تأمین مشاهده می‌شود که جایگاه تأمین کنندگان شماره دو، سه و چهار در یکی از رتبه‌های دوم، سوم و چهارم نوسان داشته است.



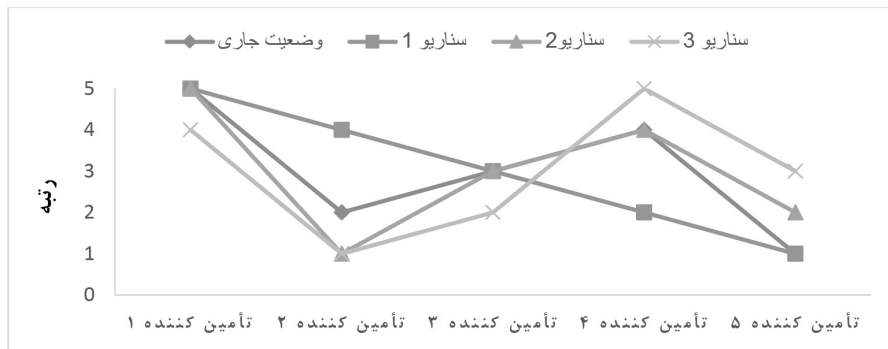
شکل ۸- تغییرات رتبه نسبت به تغییرات درصد اختلال تأمین کننده

جدول (۸) ترکیبات مختلفی از وزن معیارها را در سه سناریو نشان می‌دهد.

جدول ۸- وزن معیارها در سناریوهای مختلف

C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	
۰/۱۰۴	۰/۱۴۲	۰/۱۳۲	۰/۰۷	۰/۱۲۷	۰/۱۸۲	۰/۱۲۶	۰/۱۱۷	وزن‌های جاری
۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	سناریو ۱
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	سناریو ۲
۰/۰۶۶۷	۰/۰۶۶۷	۰/۰۶۶۷	۰/۰۶۶۷	۰/۰۶۶۷	۰/۳	۰/۳	۰/۰۶۶۷	سناریو ۳

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود در سناریو ۱ و در شرایطی که وزن تمام معیارها یکسان فرض شده، نتایج رتبه‌های تأمین کننده ۲ و ۴ نسبت به وضعیت جاری جابه‌جا شده و مابقی رتبه‌ها ثابت مانده است. در سناریو ۲ نیز، سه معیار قیمت، حجم اقلام و زمان تحویل نسبت به سایر معیارها مهم‌تر لحاظ شده که در این حالت، تأمین کننده ۲ به‌عنوان برنده مناقصه انتخاب شده است. در سناریو ۳، حجم اقلام و مدت زمان تحویل هر کدام با وزن ۰/۳ مهم‌ترین معیار در نظر گرفته شده که در این شرایط تأمین کننده ۲ و ۴ به ترتیب در رتبه‌های اول و پنجم قرار دارد.



شکل ۵- تحلیل حساسیت رتبه‌ها نسبت به تغییرات وزن معیارها

## جمع‌بندی و ملاحظات

در این نوشتار مدل‌سازی خرید اقلام امدادی برای شرایط پس از بحران، با بهره‌گیری از مکانیزم مناقصه معکوس چندشاخصه انجام شده است. مناقصه مورد بررسی دو فاز ساخت و ارزیابی دارد که به ترتیب از دیدگاه تأمین‌کنندگان (فروشنندگان) و سازمان امدادی (خریدار) تحلیل شده است. مدل مربوط به فاز ساخت مناقصه با در نظر گرفتن ریسک اختلال پس از بحران، در قالب یک مدل دو هدفه فازی فرموله شده است. اهداف مدل شامل بیشینه کردن سود حاصل از فروش اقلام و کمینه کردن مدت زمان تحویل اقلام امدادی است. همچنین، هر تأمین‌کننده با توجه به تقاضای اقلام امدادی و سطح موجودی، مدل مربوط به فاز ساخت را حل کرده و بسته‌های پیشنهادی بهینه شامل حجم، قیمت و زمان تحویل اقلام امدادی را در اختیار خریدار قرار می‌دهد. افزون بر آن، مدل ارزیابی مناقصه به صورت یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره در نظر گرفته شده است.

در فاز ارزیابی مناقصه، سازمان امدادی بسته‌های پیشنهادی دریافتی را بررسی کرده و برنده مناقصه را اعلام می‌کند. در این مرحله از مناقصه، مسأله تصمیم‌گیری خریدار در حضور معیارهای کمی و کیفی با استفاده از روش پرومیتی فازی انجام شده است. معیارهای کمی عبارتند از: اطلاعات مربوط به بسته‌های پیشنهادی و معیارهای کیفی مسأله کیفیت، قابلیت فنی، قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و عکس‌العمل نسبت به تغییر تقاضا. همچنین، مدل مناقصه پیشنهادی برای یک مثال عددی حل شده و نتایج آن نشان می‌دهد قابلیت

پیاده‌سازی در مسایل واقعی را دارد و می‌تواند به سازمان‌های امدادی به تصمیم‌گیری خرید اقلام امدادی کمک کند.

در آخر، مواردی که برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود عبارتند از: (۱) پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی؛ (۲) در نظر گرفتن تخفیف تأمین‌کننده در مدل ساخت مناقصه؛ (۳) مدل‌سازی فاز ساخت مناقصه در شرایط عدم قطعیت با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار؛ (۴) به کارگیری سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در فاز ارزیابی مناقصه و مقایسه نتایج رتبه‌بندی روش‌ها.

## منابع

- Bagchi, A.; Paul, J. A. and Maloni, M. (2011); "Improving Bid Efficiency for Humanitarian Food Aid Procurement", *International Journal of Production Economics*, Vol. 134, No. 1, pp. 238-245.
- Balcik, B.; Beamon, B.M.; Krejci, C.C.; Muramatsu, K.M. and M. Ramirez (2010); "Coordination in Humanitarian Relief Chains: Practices, Challenges and Opportunities", *International Journal of Production Economics*, Vol. 126, No. 1, pp. 22-34.
- Bichler, M. (2000); "Experimental Analysis of Multi-attribute Auctions", *Decision Support Systems*, Vol. 29, No. 3, pp. 249-268.
- Boran, F.E.; Genç, S.; Kurt, M. and D. Akay (2009); "A Multi-criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 8, pp. 11363-11368.
- Chang, B.; Chang, C.W. and C.H. Wu (2011); "Fuzzy DEMATEL Method for Developing Supplier Selection Criteria", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 3, pp. 1850-1858.
- Chen, C.T.; Lin, C.T. and S.F. Huang (2006); "A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management", *International Journal of Production Economics*, Vol. 102, No. 2, pp. 289-301.
- Chen, A.; Hsieh, C.Y. and H.M. Wee (2016); "A Resilient Global Supplier Selection Strategy—A Case Study of an Automotive Company", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 87, No. (5-8), pp. 1475-1490.
- Chen-Ritzo, C.; Harrison, T. P.; Kwasnica, A.M. and D.J. Thomas (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.
- 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.
- 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.
- Dhanalakshmi, S.; Kannan, S.; Mahadevan, K. and S. Baskar (2011); "Application of Modified NSGA-II algorithm to Combined Economic and Emission Dispatch Problem", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 33, No. 4, pp. 992-1002.
- Elevli, B. (2014); "Logistics Freight Center Locations Decision by Using Fuzzy-PROMETHEE", *Transport*, Vol. 29, No. 4, pp. 412-418.
- Ertem, M.A.; Buyurgan, N. and M.D. Rossetti (2010); "Multiple-buyer Procurement Auctions Framework for Humanitarian Supply Chain Management", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 40, No. 3, pp. 202-227.

- Ertem, M.A. and N. Buyurgan (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., Buyurgan, N. and E. A. Pohl (2012); "Using Announcement Options in the Bid Construction Phase for Disaster Relief Procurement", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 46, No. 4, pp. 306-314.
- Ertem, M.A. and N. Buyurgan (2013); "A Procurement Auctions-based Framework for Coordinating Platforms in Humanitarian Logistics", *In Humanitarian and Relief Logistics*, Springer New York, pp. 111-127.
- Falasca, M. and C.W. Zobel (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.
- Glover, F. (1975); "Improved Linear Integer Programming Formulations of Nonlinear Integer Problems", *Management Science*, Vol. 22, No. 4, pp. 455-460.
- Huang, M.; Qian, X.; Fang, S. C. and X. Wang (2016); "Winner Determination for Risk Aversion Buyers in Multi-attribute Reverse Auction", *Omega*, 59, pp. 184-200.
- Jiménez, M.; Arenas, M.; Bilbao, A. and M.V. Rodri (2007); "Linear Programming with Fuzzy Parameters: An Interactive Method Resolution", *European Journal of Operational Research*, Vol.177, No. 3, 1599-1609.
- 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.
- Mukherjee, K. (2016); "Supplier Selection Criteria and Methods: Past, Present and Future", *International Journal Of Operational Research*, Vol. 27, No. (1-2), pp. 356-373.
- Petric, A. and G. Jezic (2010); "Multi-attribute Auction Model for Agent-based Content Trading in Telecom Markets", *Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, pp. 261-270.
- Qian, X.; Huang, M.; Gao, T. and X. Wang (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. and S. A. Torabi (2017); "An Enhanced Reverse Auction Framework for Relief Procurement Management", *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- Trestrail, J.; Paul, J. and M. Maloni (2009); "Improving Bid Pricing for Humanitarian Logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 39, No. 5, pp. 428-441.
- Vidal, C. J. and M. Goetschalckx (2001); "A Global Supply Chain Model with Transfer

---

Pricing and Transportation Cost Allocation”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, No. 1, pp. 134-158.

Zhang, W. and Reimann, M. (2014); “A Simple Augmented E-constraint Method for Multi-objective Mathematical Integer Programming Problems”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 234, No. 1, pp. 15-24.