Archive of SID

فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۶، بهار ۱۳۹۷، ۲۱۸-۱۸۹

ارائه مدل خرید اقلام امدادی تحت مناقصه معکوس چند شاخصه با به‌کارگیری رویکرد ترکیبی برنامه‌ریزی فازی چندهدفه

مازیار خوش‌سیرت*

رحیم دباغ** علی بزرگی امیری***

دریافت: ۹۶/۶/۱۴ پذیرش: ۹۶/۸/۱۰

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

چکیده

تأمین اقلام امدادی مورد نیاز در شرایط پس از بحران به‌دلیل 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 به‌ترتیب توسط تأمین‌کنندگان (فروشندگان) و سازمان‌امدادی (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.

www.SID.ir

Archive of SID

تأمین‌کنندگان شامل حجم، قیمت و زمان تحویل اقلام امدادی تعیین شده و در فاز ارزیابی مناقصه، برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش پرومتی فازی استفاده شده است. در این مرحله از مناقصه، هریک از تأمین‌کنندگان 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 کارآیی 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[1].

خرید پس از بحران به‌دلیل ماهیت غیرقابل پیش‌بینی بحران، فرآیندی پیچیده است[2]. 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[3]. 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[4] به‌عنوان مکانیزم هماهنگ‌سازی، در دو فاز ساخت[5] و ارزیابی[6] مناقصه بررسی شده است. فاز ساخت مناقصه در قالب یک مسأله بهینه‌سازی دوهدفه، فازی، غیرخطی و عدد صحیح مختلط با در نظرگرفتن ریسک اختلال در مراکز تأمین و توزیع از دیدگاه تأمین‌کننده فرموله شده است. مدل ارائه‌شده فاز ساخت مناقصه، با استفاده از روش محدودیت اپسیلون تقویت شده[7] 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 ε-constraint Method – Augmecon.

www.SID.ir

Archive of SID

معیارهای کمّی و کیفی با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره پرومتی فازی[1] 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 به‌صورت 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 به‌ترتیب توسط تأمین‌کنندگان (پیشنهاددهندگان[2]) و خریدار (مناقصه‌گزار[3]) 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.

www.SID.ir

Archive of SID

ترستریال و همکارانش در سال ۲۰۰۹ مسأله خرید را از دیدگاه مناقصه‌گزار بررسی کرده و برای تحلیل وضعیت مناقصه‌گزاری بخش کشاورزی ایالات‌متحده، مدل ریاضی دو مرحله‌ای را توسعه دادند. تعیین استراتژی بهینه قیمت‌گذاری و کاهش هزینه‌های کلی از نتایج مدل ایشان است[1]. 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 علاوه‌بر افزایش مشارکت تأمین‌کنندگان در مناقصه حجم بیشتری از کمک‌های غذایی به مناطق آسیب‌دیده ارسال شود[2]. 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 به‌کارگیری مدل مناقصه در سناریوهای مختلف می‌تواند موجب افزایش کارایی تأمین اقلام مورد نیاز سازمان‌های امدادی شود[3]. در تحقیقی مشابه، 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 را از سازمان امدادی جمع‌آوری کرده و در اختیار بخش تأمین‌کننده قرار می‌دهد[4]. ارتم و همکاران درسال‌های 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[5]. 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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[1].

مناقصه‌های معکوس در زنجیره تأمین تجاری در دو نوع تک شاخصه و چند شاخصه برای کاربردهای متنوعی بررسی شده است. بیچلر[2] در سال ۲۰۰۰ دو نوع مناقصه معکوس تک‌شاخصه و چندشاخصه را تحلیل کرده و با مقایسه آن‌ها نشان داد که مناقصه‌های چند شاخصه در تجارت الکترونیکی کارایی بهتری دارند. چن ریتزو و همکاران[3] در سال ۲۰۰۵ نیز مدل‌های مناقصه مبتنی بر معیار قیمت را با مدل‌های چند شاخصه (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[4] در سال ۲۰۰۶ مکانیسم مناقصه سنتی را برای خرید و فروش کالاهایی با چند ویژگی مختلف در قالب یک مناقصه معکوس چند شاخصه توسعه دادند. چِنگ[5] در سال ۲۰۰۸ و پتریک و جزیک[6] در سال ۲۰۱۰ نیز مدل‌های مناقصه معکوس چندشاخصه را به‌ترتیب برای خرید الکترونیکی کالاها و تسهیل معاملات شرکت‌های مخابراتی به‌کار بردند. برخی محققان مانند کیان و همکاران[7] و هوآنگ و همکاران[8] بر مسأله تعیین برندگان مناقصه متمرکز شده‌و 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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، به‌دنبال کمینه‌کردن 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 به‌صورت یک مسأله بهینه‌سازی دو هدفه غیرخطی فازی ارائه شده است. علاوه بر این، در شرایط بحرانی به‌علت 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 این‌رو، 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 اپسیلون تقویت‌شده 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 این‌رو، در پژوهش حاضر، ارزیابی تأمین‌کنندگان و تعیین برنده مناقصه در حضور معیارهای کمّی و کیفی در قالب یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی بررسی شده است. بنابراین، در این تحقیق با توجه به نوآوری‌های ارائه‌شده، از مکانیزم مناقصه معکوس چندشاخصه تحت ریسک اختلال به‌منظور افزایش کارآیی عملیات خرید اقلام امدادی و هماهنگی میان دو بخش خریدار (سازمان امدادی) و فروشنده (تأمین‌کننده) استفاده شده است.

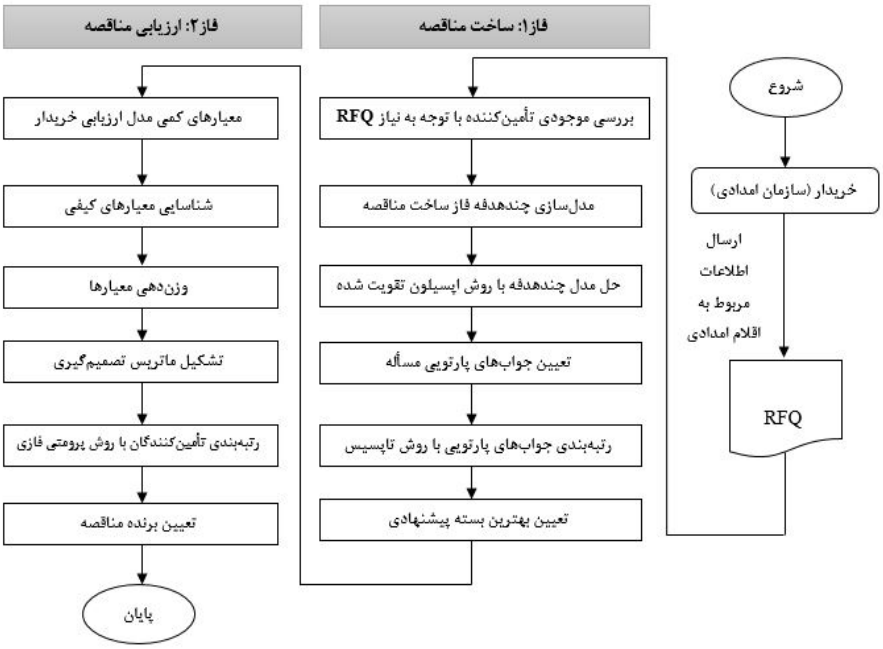
۲. مدل‌سازی مسأله

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

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۱) ساختار مناقصه پیشنهادی را نشان می‌دهد. مناقصه معکوس با ایجاد فراخوان مناقصه (RFQ[1]) 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[2]. 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 ۱ـ ساختار مناقصه پیشنهادی

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

www.SID.ir

Archive of SID

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

۲-۱. فاز۱: 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 این‌رو تأمین‌کننده با یک مسأله تصمیم‌گیری چند هدفه با اهدافی متضاد روبه‌رو است. در ادامه مدل چند هدفه فاز ساخت مناقصه آورده شده است.

۲-۱-۱. 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

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

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

ρ_i: احتمال اختلال در تأمین‌کننده i

α_{ic}: کسری از عرضه اقلام امدادی C از تأمین‌کننده i که به‌دلیل اختلال از بین رفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

ℓ_j: احتمال اختلال در مراکز توزیع محلی j

β_{jc}: کسری از عرضه اقلام امدادی C از مراکز توزیع محلی j که به‌دلیل اختلال از بین رفته است.

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

δ_c: اگر برای اقلام امدادی C اجازه تأمین جزئی داده شود، ۱ و در غیر این صورت ۰

ω_{ic}: اگر تأمین‌کننده i موجودی کافی برای برآوردن حداقل حجم موردنیاز 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 تأمین‌کننده i به مراکز توزیع محلی j با روش حمل و نقل m

$\tilde{u}_{ic}$: تخمین تأمین‌کننده i از حداکثر قیمت پیشنهادی برای اقلام امدادی C توسط دیگر تأمین‌کنندگان

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

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

متغیرهای تصمیم:

p_{ic}: قیمت پیشنهادی برای اقلام امدادی C توسط تأمین‌کننده i

x_{imcj}: حجم پیشنهادی اقلام امدادی C توسط تأمین‌کننده i برای ارسال به مراکز توزیع محلی j با روش حمل‌ونقل m

z_{imcj}: اگر تأمین‌کننده 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:

$$\min t_i = \sum_m \sum_c \sum_j t_{imcj} z_{imcj} \qquad (۱$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\max\ z_i = \sum_c p_{ic} \sum_m \sum_j x_{imcj} - \sum_m \sum_c \sum_j x_{imcj} \tilde{c}_{imcj} z_{imcj} \quad (۲)$$

st :

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \le (1-\rho_i \alpha_{ic}) I_{ic} \qquad \forall i, c \quad (۳)$$

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \ge \tilde{D}_{ck} \qquad \forall i, c, k \quad (۴)$$

$$p_{ic} \sum_j \sum_m x_{ijc} \le \tilde{B} \qquad \forall i, c \quad (۵)$$

$$\pi_{ic} \le p_{ic} \le \tilde{u}_{ic} \qquad \forall i, c \quad (۶)$$

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \ge \delta_c I_{ic} - M\left(1-\omega_{ic}\right) \qquad \forall i, c \quad (۷)$$

$$\sum_m x_{imcj} \le (1-\ell_j \beta_{jc}) cap_{jc} \qquad \forall i, \mathrm{j}, \mathrm{c} \quad (۸)$$

$$\sum_m z_{imcj} \ge 1 \qquad \forall i, c, j \quad (۹)$$

$$x_{imcj} \le M z_{imcj} \qquad \forall i, m, c, j \quad (۱۰)$$

$$z_{imcj} \in \{0,1\} \qquad \forall i, m, c, j \quad (۱۱)$$

$$p_{ic}, x_{imcj} \ge 0 \qquad \forall i, c, j \quad (۱۲)$$

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

www.SID.ir

Archive of SID

با تخمین قیمت پیشنهادی رقیب شانس برنده شدن خود را افزایش دهد. محدودیت (۷) به تأمین‌کنندگانی 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 حمل هوایی 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[1] متغیر جدید r_{ic} به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$p_{ic}\sum_{m}\sum_{j}x_{imcj}=r_{ic} \qquad \forall i,c \tag{۱۳}$$

بدین‌ترتیب با ضرب عبارت $\sum_{m}\sum_{j}x_{imcj}$ در محدودیت (۶)، این محدودیت به دو صورت زیر بازنویسی شده است:

$$r_{ic}\geq \pi_{ic}\sum_{m}\sum_{j}x_{imcj} \qquad \forall i,c \tag{۱۴}$$

$$r_{ic}\leq \tilde{u}_{ic}\sum_{m}\sum_{j}x_{imcj} \qquad \forall i,c \tag{۱۵}$$

همچنین برای خطی‌کردن عبارت $x_{imcj}z_{imcj}$، با توجه به مقاله گلور[2] از تغییر متغیر $x_{imcj}z_{imcj}=w_{imcj}$ استفاده شده و به سبب آن، محدودیت‌های زیر به مدل اصلی اضافه می‌شود:

$$w_{imcj}\leq Mz_{imcj} \qquad \forall i,m,c,j \tag{۱۶}$$

1. Vidal and Goetschalckx (2001); pp. 134-158.
2. Glover (1975); pp. 455-460.

www.SID.ir

Archive of SID

$$w_{imcj} \le x_{imcj} \qquad \forall i, m, c, j \qquad (۱۷$$

$$w_{imcj} \ge x_{imcj} + M\left(z_{imcj} - 1\right) \qquad \forall i, m, c, j \qquad (۱۸$$

بنابراین مدل غیرخطی ارائه شده به‌صورت خطی زیر بازنویسی می‌شود:

$$\min \mathrm{t}_i = \sum_m \sum_c \sum_j t_{imcj} z_{imcj} \qquad (۱۹$$

$$\max \mathrm{z}_i = \sum_c r_{ic} - \sum_m \sum_c \sum_j \tilde{c}_{imcj} w_{imcj} \qquad (۲۰$$

st :

(۴) –(۳)

$$\sum_c r_{ic} \le \tilde{B} \qquad \forall i \qquad (۲۱$$

(۱۸)–(۱۴),(۱۲)–(۷)

۲-۱-۳. رتبه‌بندی جواب‌های پارتویی

در این بخش برای رتبه‌بندی جواب‌های پارتویی مدل چندهدفه و انتخاب بهترین جواب برای اجرای مراحل بعدی روش حل مسأله، از روش تاپسیس[1] استفاده شده است. گام‌های رتبه‌بندی جواب‌های پارتویی مدل چندهدفه با روش تاپسیس به تفصیل در مقاله دانالاکشمی و همکاران[2] آمده است.

۲-۲. فاز ۲: مدل ارزیابی مناقصه (مدل تصمیم‌گیری خریدار)

در این بخش برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش پرومتی فازی استفاده شده است. خوانندگان محترم برای مطالعه گام‌های روش پرومتی فازی به مقاله اِلِولی[3] ارجاع داده می‌شوند.

۳. روش حل مدل فازی

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

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).
2. Dhanalakshmi et al. (2011); pp. 992-1002.
3. Elevli (2014); pp. 412-418.

www.SID.ir

Archive of SID

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[1] 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 $\tilde{c}$ به‌ترتیب برابر است با:

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_2^c] = [\frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^m + c^o)] \quad (۲۲$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^C + E_2^C}{2} = \frac{c^p + 2c^m + c^o}{4} \quad (۲۳$$

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

$$\min \ Z = \tilde{c}x \quad (۲۴$$

$$st:$$

$$\tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i \qquad i = 1, \ldots, l \quad (۲۵$$

$$\tilde{a}_i x = \tilde{b}_i \qquad i = l+1, \ldots, m \quad (۲۶$$

$$x \geq 0 \quad (۲۷$$

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

1. Jiménez et al. (2007); pp. 1599-1609.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\left[(1-\alpha)E_2^{a_i}+\alpha E_1^{a_i}\right]x \geq \alpha E_2^{b_i}+(1-\alpha)E_1^{b_i} \qquad i=1,\ldots,l \qquad (۲۸$$

$$\left[\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_2^{a_i}+\frac{\alpha}{2}E_1^{a_i}\right]x \geq \frac{\alpha}{2}E_2^{b_i}+\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_1^{b_i} \qquad i=l+1,\ldots,m \qquad (۲۹$$

$$\left[\frac{\alpha}{2}E_2^{a_i}+\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_1^{a_i}\right]x \leq \left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_2^{b_i}+\frac{\alpha}{2}E_1^{b_i} \qquad i=l+1,\ldots,m \qquad (۳۰$$

لازم به ذکر است که α 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:

$$\min\ Z = EV\left(\tilde{c}\right)x \qquad (۳۱$$

st :

(۲۸) – (۳۰)

$$x \geq 0 \qquad (۳۲$$

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

$$\max\ z_i = \sum_c r_{ic} - \sum_m \sum_c \sum_j w_{imcj}\left(\frac{c^p_{imcj}+2c^m_{imcj}+c^o_{imcj}}{4}\right) \qquad (۳۳$$

معادلات فازی مدل (محدودیت‌های۴، ۱۵ و ۲۱) نیز به حالت قطعی تبدیل می‌شوند:

$$\sum_j \sum_m x_{imcj} \geq (1-\alpha)\left(\frac{D^p_{ck}+D^m_{ck}}{2}\right)+\alpha\left(\frac{D^m_{ck}+D^o_{ck}}{2}\right) \qquad (۳۴$$

$$\sum_c r_{ic} \leq \alpha\left(\frac{B^p+B^m}{2}\right)+(1-\alpha)\left(\frac{B^m+B^o}{2}\right) \qquad (۳۵$$

$$r_{ic} \leq \left(\alpha\left(\frac{u^m_{ic}+u^p_{ic}}{2}\right)+(1-\alpha)\left(\frac{u^p_{ic}+u^m_{ic}}{2}\right)\right)\sum_m \sum_j x_{imcj} \qquad (۳۶$$

محدودیت‌های غیرفازی مدل به همان صورت باقی می‌مانند.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲. 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[1]. این روش از اجرای تکرارهای بیش ازحد 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 سبب تقویت تابع هدف اصلی می‌شود[2].

گام‌های روش AUGMECON به‌طور خلاصه عبارت است از:

گام۱: تشکیل جدول موازنه: در این گام به‌جهت تولید جواب‌های پارتویی بهینه در جدول موازنه از بهینه‌سازی لکسیکوگرافیک[3] استفاده می‌شود.

گام۲: محاسبه حد پایین تابع هدف: حد پایین توابع با استفاده از جدول موازنه گام قبل قابل محاسبه است.

گام۳: تعیین محدوده تابع هدف K ام (r_k):

$$r_k = f_k^{\max} - f_k^{\min} \qquad k=2,...,p \tag{۴۸}$$

$f_k^{\min}$ و $f_k^{\max}$ به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار تابع هدف k ام در جدول موازنه است.

گام۴: تقسیم محدوده هر تابع هدف به g_k فاصله مساوی و تعیین مقادیر e_k:

$$e_k = f_k^{\min} + \frac{r_k \times i_k}{g_k} \qquad i_k = 0,1,...,g_k \tag{۴۹}$$

گام۵ : 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.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\max \quad (f_1(x) + eps(\frac{s_2}{r_2} + \frac{s_3}{r_3} + ... + \frac{s_P}{r_P}) \qquad (۵۰$$

$$st:$$

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

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

$$...$$

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

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

x بردار متغیرهای تصمیم، $r_2, r_3, ..., r_p$ محدوده تابع هدف، $s_2, s_3, ..., s_p$ متغیر مازاد محدودیت، $e_2, e_3, ..., e_p$ 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_kهای مختلف برای تولید جواب‌های پارتویی.

لازم به ذکر است در روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده 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 تأمین‌کننده، اقلام لازم را بخرد. همچنین، در این مسأله فرض بر این است که سازمان امدادی فقط یک تأمین‌کننده را انتخاب کرده و به‌عنوان برنده مناقصه اعلام می‌کند. اطلاعات مربوط به هریک از تأمین‌کنندگان شامل سطح موجودی، درصد اختلال، و تخمین قیمت رقبا در جدول (۱) نشان داده شده است. در ساختار مناقصه پیشنهادی تأمین‌کنندگان از قیمت پیشنهادی رقیب اطلاعی نداشته و از این‌رو در جدول (۱) پارامتر $\tilde{u}_{ic}$ به‌صورت یک عدد فازی مثلثی بیان شده است. افزون بر آن، اطلاعات بخش خریدار (سازمان امدادی)

www.SID.ir

Archive of SID

نیز مقادیر تقاضا و سطح بودجه خرید است که به‌ترتیب معادل (۱۱۰۰،۱۰۰۰،۹۰۰) واحد و (۲۷۰،۲۵۰،۲۰۰) 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 (۰/۲، ۰/۱) تولید شده است.

جدول ۱ـ اطلاعات تأمین‌کنندگان

	درصد اختلال	سطح موجودی تأمین‌کننده				تخمین قیمت رقبا			
		کالا۱	کالا۲	کالا۳	کالا۴	کالا۱	کالا۲	کالا۳	کالا۴
تأمین‌کننده ۱	۰/۱	۵۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۴۵۰	(۲۵،۴۰،۶۵)	(۳۲،۵۰،۸۲)	(۳۸،۶۰،۹۸)	(۲۸،۴۵،۷۳)
تأمین‌کننده ۲	۰/۲	۶۰۰	۱۵۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰	(۲۲،۳۵،۵۷)	(۳۵،۵۵،۹۰)	(۴۱،۶۵،۱۰۶)	(۳۲،۵۰،۸۲)
تأمین‌کننده ۳	۰/۱۵	۷۰۰	۱۱۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰	(۳۰،۴۸،۷۸)	(۳۴،۵۳،۸۷)	(۴۳،۶۷،۱۱۰)	(۲۷،۴۳،۷۰)
تأمین‌کننده ۴	۰/۲	۵۰۰	۱۲۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰	(۲۳،۳۷،۶۰)	(۳۶،۵۷،۹۳)	(۳۵،۵۵،۹۰)	(۳۵،۵۵،۹۰)
تأمین‌کننده ۵	۰/۲۵	۶۰۰	۱۳۰۰	۵۰۰۰	۸۰۰	(۳۲،۵۰،۸۲)	(۳۸،۶۰،۹۸)	(۴۳،۶۸،۱۱۱)	(۳۶،۵۶،۹۲)

۴-۱. نتایج فاز یک مناقصه

در مدل ساخت مناقصه هریک از تأمین‌کنندگان 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 اپسیلون تقویت‌شده، حد پایین و بالای هریک از توابع محاسبه شده است. در ادامه، تابع هدف اول به‌عنوان تابع هدف اصلی تعیین شده و

www.SID.ir

Archive of SID

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

جدول ۲ـ جواب‌های پارتویی مسأله

		ε_1	ε_2	ε_3	ε_4	ε_5
تأمین‌کننده ۱	F_1	14/2	99/2	99/2	852/3	462/5
	F_2	01/149853	08/159286	16/168719	24/178152	32/187585
تأمین‌کننده ۲	F_1	56/2	187/3	815/3	455/4	338/6
	F_2	19/171865	67/175562	15/179260	63/182957	10/186655
تأمین‌کننده ۳	F_1	19/2	77/2	365/3	620/4	91/5
	F_2	59/151413	45/159217	3/167021	15/174825	182628
تأمین‌کننده ۴	F_1	7/1	21/2	77/2	06/4	67/5
	F_2	62/119223	72/131922	82/144621	92/157320	02/170020
تأمین‌کننده ۵	F_1	7/1	347/2	993/2	64/3	287/4
	F_2	92/166486	35/170502	79/174517	22/178533	65/182548

در این بخش لازم است از میان جواب‌های پارتویی جدول (۲) تنها یک جواب به‌عنوان بسته پیشنهادی نهایی هر تأمین‌کننده به‌عنوان ورودی فاز ارزیابی انتخاب شود؛ ازاین‌رو،

www.SID.ir

Archive of SID

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 ۳ـ بسته‌های پیشنهادی تأمین کنندگان

	حجم پیشنهادی بهینه تأمین‌کنندگان				قیمت پیشنهادی بهینه تأمین‌کنندگان				زمان تحویل پیشنهادی
	کالا۱	کالا۲	کالا۳	کالا۴	کالا۱	کالا۲	کالا۳	کالا۴	
تأمین‌کننده ۱	۴۹۲	۱۴۷۳	۱۴۷۹	۴۴۲	۴۲/۸۵	۵۳/۵۹	۶۴/۲۸	۴۸/۲۰	۲/۱۴
تأمین‌کننده ۲	۵۸۲	۱۴۵۵	۱۴۶۸	۴۸۶	۳۷/۵	۵۸/۹۳	۶۹/۶۳	۵۳/۵۹	۲/۵۶
تأمین‌کننده ۳	۶۷۹	۱۰۷۶	۱۴۷۹	۵۸۷	۵۱/۴۳	۵۶/۷۵	۷۱/۷۵	۴۶/۰۸	۲/۱۶
تأمین‌کننده ۴	۴۸۶	۱۱۵۳	۱۴۷۹	۶۷۶	۳۹/۶۳	۶۱/۰۹	۵۸/۹۳	۵۸/۹۳	۱/۷
تأمین‌کننده ۵	۵۷۲	۱۰۰۰	۱۳۸۳	۷۷۹	۵۳/۵۹	۶۴/۲۸	۷۲/۸۵	۶۰	۱/۷

۴-۲. نتایج فاز دو مناقصه

در این بخش برای ارزیابی بسته‌های پیشنهادی تأمین‌کنندگان و تعیین برنده مناقصه از روش پرومتی فازی استفاده شده است. در این مرحله معیارهای مدل تصمیم‌گیری خریدار شامل دو نوع معیار کمّی و کیفی است که از طریق مرور ادبیات[1] و تعامل با خبرگان موضوع استخراج شده است. معیارهای کمّی 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 پرومتی 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.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤ـ متغیرهای کلامی

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

جدول ۵- اهمیت معیارها با توجه به نظر خبرگان

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

www.SID.ir

Archive of SID

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 پرومتی 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 پرومتی، جریان‌های ورودی، خروجی و خالص مربوط به هر گزینه محاسبه شده و گزینه‌ها براساس جریان خالص به‌صورت نزولی رتبه‌بندی می‌شوند. جدول (۷) نیز نتایج رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد.

جدول ۶ـ ماتریس تصمیم‌گیری

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

www.SID.ir

Archive of SID

معیار	گزینه	تصمیم گیرنده ۱	تصمیم گیرنده ۲	تصمیم گیرنده ۳	تصمیم گیرنده ۴	تصمیم گیرنده ۵	مقدار فازی	مقدار قطعی
C7: در دسترس بودن	تأمین کننده ۱	MH	W	M	MH	M	(۰/۸، ۰/۴۹، ۰)	۰/۶۹
	تأمین کننده ۲	MH	MW	H	M	MH	(۱، ۰/۶۸، ۰/۱۵)	۰/۸۹۳
	تأمین کننده ۳	H	M	M	H	M	(۱، ۰/۶۲، ۰/۳)	۰/۷۹۵
	تأمین کننده ۴	H	H	VH	M	M	(۱، ۰/۷۲، ۰/۳)	۰/۸۹۵
	تأمین کننده ۵	VH	MH	H	H	H	(۱، ۰/۸۱، ۰/۵)	۰/۹۳۵
C8: عکس‌العمل به تغییر تقاضا	تأمین کننده ۱	H	M	MW	MH	M	(۱، ۰/۵۵، ۰/۱۵)	۰/۷۶۳
	تأمین کننده ۲	M	MH	M	M	MW	(۰/۸، ۰/۴۹، ۰/۱۵)	۰/۶۵۳
	تأمین کننده ۳	MH	H	MH	MH	H	(۱، ۰/۷۱، ۰/۵)	۰/۸۳۵
	تأمین کننده ۴	VH	H	H	MH	M	(۱، ۰/۷۵، ۰/۳)	۰/۹۲۵
	تأمین کننده ۵	MH	VH	VH	H	H	(۱، ۰/۸۵، ۰/۵)	۰/۹۷۵

جدول ۷- نتایج رتبه‌بندی روش پرومتی فازی

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

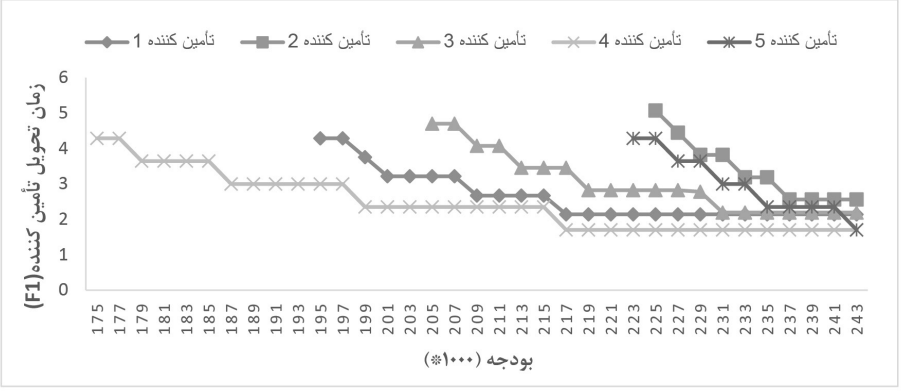
۴-۳. تحلیل حساسیت

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. همان‌طورکه 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

www.SID.ir

Archive of SID

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



شکل ۲ـ تغییرات زمان تحویل تأمین‌کننده نسبت به تغییرات بودجه

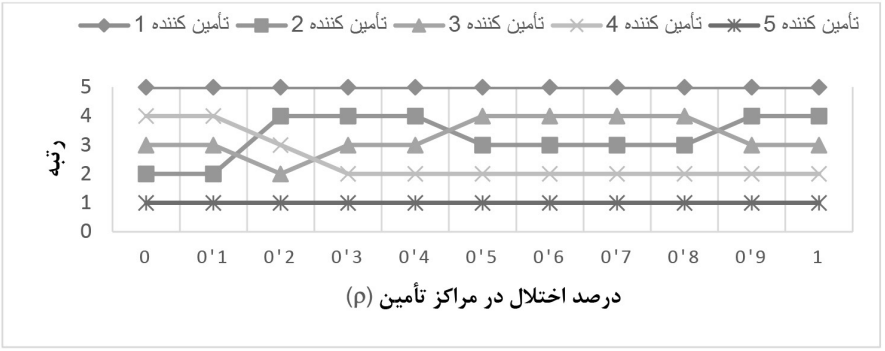
شکل ۳ـ تغییرات سود تأمین‌کننده نسبت به تغییرات بودجه

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

www.SID.ir

Archive of SID

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



شکل ٤ـ تغییرات رتبه نسبت به تغییرات درصد اختلال تأمین‌کننده

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

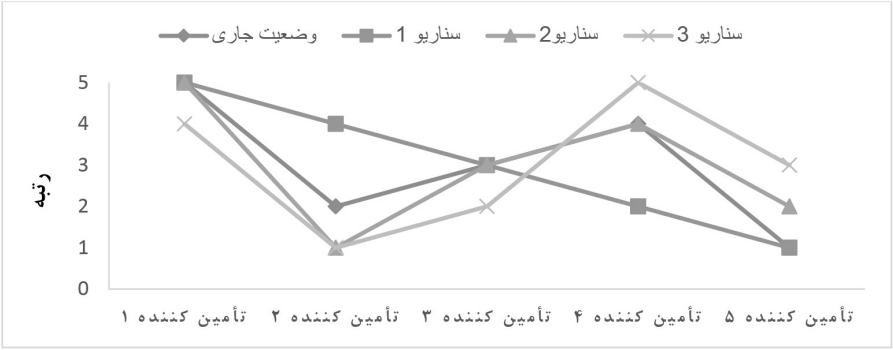
جدول ۸ـ وزن معیارها در سناریوهای مختلف

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

همان‌طورکه در شکل (۵) مشاهده می‌شود در سناریو ۱ و در شرایطی که وزن تمام معیارها یکسان فرض‌شده، نتایج رتبه‌های تأمین‌کننده 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، تأمین‌کننده ۲ به‌عنوان برنده مناقصه انتخاب شده است. در سناریو ۳، حجم اقلام و مدت زمان تحویل هرکدام با وزن ۰/۳ مهم‌ترین معیار در نظر گرفته شده که در این شرایط تأمین‌کننده ۲ و ۴ به‌ترتیب در رتبه‌های اول و پنجم قرار دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ـ 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 به‌ترتیب از دیدگاه تأمین‌کنندگان (فروشندگان) و سازمان امدادی (خریدار) تحلیل شده است. مدل مربوط به فاز ساخت مناقصه با درنظرگرفتن ریسک اختلال پس از بحران، در قالب یک مدل دو هدفه فازی فرموله شده است. اهداف مدل شامل بیشینه‌کردن سود حاصل از فروش اقلام و کمینه‌کردن 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 به‌صورت 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 کمّی و کیفی با استفاده از روش پرومتی فازی انجام شده است. معیارهای کمّی 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

www.SID.ir

Archive of SID

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) به‌کارگیری سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در فاز ارزیابی مناقصه و مقایسه نتایج رتبه‌بندی روش‌ها.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir

Archive of SID

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. Rodrı (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

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir