International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

September 2017, Volume 28, Number 3
Pp 459- 469

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

Robust Optimization Approach for Supplier Selection Under Lean Procurement

Mahdieh Babaei & Hashem Omrani*

Mahdieh Babaei, *M.Sc. Student of Industrial Engineering, Urmia University of Technology*
Hashem Omrani, *Assistant Professor of Industrial and Systems Engineering, Urmia University of Technology*

Keywords

Supplier selection, multi-objective decision making, robust optimization, lean procurement, soft time window.

ABSTRACT

Since, in the new strategy of purchasing and production, suppliers play a key role in achieving to compete with big companies, so, the selection of the proper supplier is a key component in this strategy. However, the supplier selection is practically difficult process due to ambiguity and imprecision in the objectives, constraints and parameters of the model. Despite of the issue importance, few studies have been done in this area. In order to overcome the ambiguity of information, in this paper, a multi-objective linear programming model is developed for supplier selection based on robust optimization. The aim is to select suppliers under a lean procurement based on minimizing the cost and delivery schedule violation and maximizing the quality level of the purchased quantity considering the perturbation in data. In addition, using soft time window mechanism helps the decision maker in vendor evaluation. The proposed robust model of this paper is linear and can be used for optimization under uncertainty in all industries.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 3, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد
شمـــاره ۳، جلـــد ۲۸، پاییز ۱۳۹۶
صفحـــه ۴۶۰- ۴۶۹
ISSN: 2008-4870
http://IJIEPM.iust.ac.ir/

رویکردبهینه‌سازی استوار در انتخاب تامین‌کننده تحت تدارکات ناب

مهدیه بابایی و هاشم عمرانی*

کلمات کلیدی

انتخاب تامین‌کننده،
تصمیم‌گیری چند هدفه،
بهینه‌سازی استوار،
تدارکات ناب،
بازه‌ی زمانی نرم.

چکیده:

از آنجا که در استراتژی‌های جدید خرید وتولید، تامین‌کنندگان نقشی کلیدی در دستیابی به رقابت با شرکت‌های بزرگ بازی می‌کنند، از این رو انتخاب تامین‌کننده مناسب یک جزء کلیدی در این استراتژی‌ها می‌باشد. با وجود این، انتخاب تامین کنده به دلیل ابهام و عدم دقت در اهداف، محدودیت‌ها و پارامترهای مدل، فرآینده پیچیده و سخت است. به رغم اهمیت مساله، تحقیقات در این موضوع نسبتا اندک می‌باشد. از این رو در این مقاله یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه جهت انتخاب تامین‌کننده بر اساس تکنیک بهینه‌سازی استوار توسعه داده شده است تا بر ابهام اطلاعات غلبه کند. هدف از این تحقیق، انتخاب تامین‌کننده تحت تدارکات ناب بر اساس کاهش هزینه، کاهش خطای برنامه زمانی تحویل و افزایش سطح کیفیت مقادیر خریداری شده با در نظر گرفتن اغتشاش در داده‌ها می‌باشد. علاوه بر آن استفاده از مکانیزم بازه زمانی نرم در مدل انتخاب تامین‌کننده، تصمیم‌گیرندگان را در ارزیابی تامین کنندگان یاری می‌رساند. مدل استوار مساله انتخاب تامین‌کننده در این مقاله به صورت خطی بوده و از آن برای بهینه‌سازی تحت شرایط عدم قطعیت در تمامی‌صنایع می‌توان بهره گرفت.

۱. مقدمه

در دنیای رقابتی امروز، ارائه‌ی محصولات و خدمات با کیفیت برتر، قیمت پائین و به موقع به مشتریان، لازمه حیات بنگاه‌های تولیدی و اقتصادی به شمار می‌آید. منشا این معیارهای ارزیابی در مورد محصولات و خدمات را باید در نهاده‌های ورودی جستجو کرد که توسط تامین‌کنندگان یک بنگاه مهیا می شوند. این نوع نگرش به فرآیند تامین و تدارک، ارزش به کارگیری تکنیکهای دقیق و کارآ را برای ارزیابی تامین‌کنندگان روشن می‌کند. امروزه سازمان‌ها برای کاهش ضایعات، بهبود کارایی و در نتیجه رقابت‌پذیری، تکنیک‌های ناب را در مدیریت زنجیره تامین به کارمی‌برند. استراتژی ناب توسط ووماک و همکارانش در سال ۱۹۹۰ در قالب یک کار تحقیقاتی با عنوان "ماشینی که جهان را تغییر داد" ارائه شد و به عنوان رویکرد بهبوددهنده برای زنجیره تامین شناخته شده است[۱]. نیل استراتژی ناب را ۵ ابتکار عمل سازمانی سطح بالا معرفی می‌کند که شامل برنامه‌های بهبود تامین‌کننده، حذف ضایعات، بهبود مستمر، نقص کیفی صفر و انعطاف پذیری تامین‌کننده می‌شود[۲].

تجربه و تحقیقات ثابت کرده است که یکی از راه های بکار بردن تدارکات ناب و حذف ضایعات، تولید و نگهداری مقادیر مورد نیاز می‌باشد.

برای سازمان‌هایی که تحت تدارکات ناب عمل می‌کنند تحویل قطعات و اجزا به صورت کارا و اقتصادی می‌باشد و در نتیجه تولید، پیوسته خواهد بود و به دنبال آن کاهش سطح موجودی، حذف ضایعات و بهبود سرمایه در گردش به وجود می‌آید.

مین-چینیو شرح می‌دهد که تامین‌کنندگانی که زیر نظر یک برنامه‌ی تدارکات ناب هستند با تنظیم زمان و مقادیر سفارش، اطمینان حاصل می‌کنند که منبع قطعات آنها، خط تولید را به موقع تغذیه می‌کند و برای دست یابی به جریان نسبتاً پیوسته از قطعات، تامین‌کنندگان برنامه‌ی زمانی تحویل خود را با برنامه‌ی زمانی تولید خریداران تنظیم می‌کنند[۳].

تاریخ وصول: ۹۳/۱۰/۰۸
تاریخ تصویب: ۹۵/۱۲/۱۵

مهدیه بابایی، کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه. Babaei.Mahdieh@yahoo.com
*نویسنده مسئول مقاله: **هاشم عمرانی**، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه. h.omrani@uut.ac.ir

در تحقیقات گذشته فرض بر این بود که تحویل قطعات باید در یک بازه زمانی مشخص انجام شود و تحویل دیر هنگام و خارج از بازه مورد قبول نخواهد بود. اما در عمل، تحویلات دیر هنگام به علت ترافیک انبوه و اختلالات تولیدی غیر منتظره در مراکز تامین‌کنندگان متداول می‌باشد. نورنگ و مالک، دیرکرد در تحویل را به عنوان یکی از مسائل مشکل آفرین در زنجیره‌تامین، که موجب به وجود آمدن کمبود در تمام مراحل زنجیره‌تامین می‌شود، معرفی می‌کنند[۴]. از این رو ضرورت استفاده از روشی پویا در مدیریت تامین‌کنندگان وجود دارد. از آنجایی که استراتژی انتخاب تامین کننده در این پژوهش براساس تدارکات ناب می‌باشد، از این رو در این مقاله طبق پیشنهاد ایانو از مکانیزم بازه‌ی زمانی نرم استفاده می‌شودکه تامین‌کنندگان فرصت عملکرد کارا تحت شرایط واقع بینانه را داشته باشند[۵]. در این رابطه فرنز و لی بیان داشته اند که به جای فرض یک دوره زمانی واحد به عنوان زمان تحویل سفارش، خریدار می‌تواند قطعات را طی یک بازه‌زمانی مشخص و بدون تاثیر بر عملکرد تامین‌کننده بپذیرد و این بازه‌زمانی، مابین زودترین و دیرترین زمان تحویل، به عنوان بازه تحویل ذکر می‌شود و تمام قطعات درخواستی تحویل داده شده طی بازه تحویل شامل جریمه نمی‌شوند[۶]. مکانیزم بازه زمانی نرم نیز مشابه با مفهوم بازه تحویل بوده تا قطعات طی یک دوره زمانی منطقی تحویل داده شوند که این بازه زمانی مورد قبول تامین‌کنندگان می‌باشد، زیرا در استراتژی ناب روابط بین تامین‌کننده و خریدار براساس تعهدات بلندمدت و طبق منافع مشترک شکل می‌گیرد.

قبادیان و همکاران برای بسیاری از بنگاه‌های تولیدی و خدماتی، تصمیمات انتخاب تامین کننده را، یک بخش مهم از مدیریت تامین و تولید معرفی می‌کنند که این تصمیمات، مستلزم انتخاب تامین کنندگان جهت به کارگیری و تعیین مقادیر سفارش به تامین کنندگان انتخاب شده است و عنوان می‌کنند هزینه تامین مواد اولیه و قطعات از طریق فروشندگان، بخش قابل توجهی از هزینه‌ی تمام شده‌ی کالاها را تشکیل می‌دهد و بطور متوسط ۷۰ درصد ارزش محصول نهایی کارخانجات را هزینه خرید مواد خام و خدمات دریافتی از بیرون تشکیل می‌دهد[۷]. از این رو انتخاب تامین کنندگان مناسب، به شکل معناداری منجر به کاهش هزینه‌های خرید مواد و بهبود شرایط رقابتی می گردد. به همین دلیل، ویلیس و همکاران باور دارند که انتخاب تامین کننده، مهمترین فعالیت دپارتمان است[۸]. فاکتورهای بسیاری بر عملکرد تامین کننده، تاثیرمی گذارند. دیکسون، ۲۳ معیار را شناسایی کرد که توسط مدیران خرید در مسائل متفاوتی از انتخاب تامین کننده، شناسایی شده بودند[۹]. همچنین، مروری بر روشها و معیارهای انتخاب تامین کننده توسط وبر و همکاران مشخص نمود که در بیش از ۶۳٪ از ۷۴ مقاله که در رابطه با حل مساله انتخاب تامین‌کننده تهیه شده، موضوع را در محیط چند معیاره مد نظر قرار داده اند[۱۰]. از این رو، مسأله انتخاب تامین کننده، یک مسأله چند معیاره محسوب می شود و ضروری است تبادلات بین فاکتورهای محسوس و غیر محسوس به منظور یافتن بهترین تامین‌کنندگان، بررسی شود. مسأله انتخاب تامین‌کنندگان به واسطه بررسی معیارهای متفاوت، پیچیده است. علاوه بر آن، این مسأله به خاطر این حقیقت که ممکن است تامین‌کنندگان، مشخصه‌های عملکردی متفاوتی به ازای معیارهای متفاوت داشته باشند، پیچیده‌تر به نظر می‌رسد. به عنوان مثال، ممکن است یک تامین کننده با کمترین هزینه در واحد محصول، بهترین کیفیت یا سرویس دهی را در بین سایر تامین کنندگان نداشته باشد. بنابراین، انتخاب تامین کننده ذاتاً یک تصمیم گیری چند هدفه است که به دنبال حداقل کردن هزینه ی تدارکات، حداکثر کردن کیفیت و سرویس دهی و بهینه کردن سایر اهداف است. در ادبیات موضوع، چندین مطالعه در زمینه‌ی به کارگیری برنامه ریزی چند هدفه در مسأله انتخاب تامین کننده صورت گرفته است. شودری و همکاران مسأله‌ی انتخاب تامین کننده را در حالتی بررسی کرده اند که فرآیند انتخاب، تحت تاثیر توابع هدف کیفیت، زمان تحویل و قیمت قرار دارد. در مدل آنها، نقاط شکست قیمت بر حسب حجم سفارشات خریدار پیشنهاد می شود. آنها در مطالعه خود، برنامه ریزی خطی و عدد صحیح صفر و یک را برای مدل بندی این مسئله به کار گرفته اند[۱۱]. وبر و کورنتیک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه را برای تجزیه و تحلیل تبادلات موجود در مسائل چندمعیاره انتخاب تامین کننده، به کار برده اند[۱۲]. همچنین وبر و همکاران در سال ۱۹۹۸ ترکیب یک مدل چند هدفه با یک مدل DEA را پیشنهاد دادند[۱۳]. تیمرمن یک مدل پایه ای خطی وزن دار را جهت انتخاب تامین‌کننده با بالاترین رتبه ی کلی بکار برده است[۱۴]. در حالی که چان و همکاران روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی را برای انتخاب تامین‌کننده مناسب استفاده کرده اند[۱۵].

ساکراواستیا و همکاران مدلی را برای یک شبکه زنجیره تامین توسعه دادند که توابع هدف آن بر مبنای کاهش عدم رضایتمندی مشتری تعیین می شود. این عدم رضایتمندی برحسب دو معیار قیمت و زمان تحویل ارزیابی می شود. مدل ارائه شده توسط آنها، در دو سطح تصمیم گیری عمل می کند: سطح "عملیاتی" که تصمیمات مرتبط با بهینه کردن فعالیت‌های تدارکاتی و تولیدی را در بر می‌گیرد و سطح "زنجیره" که تمام قیمت‌های خرید تامین‌کنندگان را ارزیابی می نماید و ترکیب نهایی زنجیره تامین را تعیین می‌کند[۱۶]. اما مقوله انتخاب تامین‌کننده، صرفا به تامین قطعات تولیدی محدود نمی‌شود. دگریو و همکاران در مطالعه خود، یک مدل ریاضی برای انتخاب تامین‌کنندگان ارائه دادند که به طور هم زمان سهم بازار هر یک از تامین‌کنندگان را نیز تعیین می نماید. روش به کار رفته در مقاله آنها بر مبنای جمع‌آوری اطلاعات، مالکیت هزینه کل و تمام هزینه‌های مرتبط با فرآیند خرید را از طریق زنجیره ارزش کل محاسبه می کند[۱۷]. دمیرتاش و اوستان

یک مدل ترکیبی از فرآیند تحلیل شبکه (ANP) و برنامه‌ریزی خطی چند هدفه عدد صحیح مرکب را پیشنهاد کردند که برای انتخاب بهترین تامین کننده و تعیین مقادیر بهینه در بین تامین‌کنندگان انتخاب شده، فاکتورهای محسوس و غیرمحسوس را در نظر می گیرد. آنها از ANP برای تعیین اولویت بین چهار دسته از معیارها و از MOMILP برای به دست آوردن جواب‌های موثر با در نظرگرفتن ترجیحیات تصمیم گیرنده استفاده کردند[۱۸].

اکسیا و وو یک مدل ترکیبی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی چند هدفه عدد صحیح مرکب را برای پشتیبانی از تصمیمات انتخاب تامین‌کننده در شرایط تخفیف معرفی نمودند به طوری که تخفیف به مقدار کل سفارشات تعلق می گیرد. در مدل پیشنهادی آنها، یک مدل برنامه ریزی چند هدفه به طور همزمان، تعداد تامین کنندگان و مقدار سفارشات تخصیص یافته به هر یک را در نظر می گیرد. توابع هدف به کارگرفته شده در این مدل برنامه ریزی چند هدفه، حداقل کردن هزینه کل خرید و تعداد محصولات معیوب و همچنین حداکثر کردن مقدار موزون خریداری شده و تعداد محصولات به موقع تحویل داده شده‌است به نحوی که محدودیت‌های مربوط به تقاضا و ظرفیت تامین برآورده شود[۱۹].

عدم قطعیت در دنیای واقعی، مشکلی است که همواره تصمیم گیرندگان را در فرآیند تصمیم گیری دچار مشکل می‌کند که در تصمیم گیری مساله انتخاب تامین‌کننده نیز عدم قطعیت وجود دارد. به عنوان مثال سود هر محصول، مقدار تقاضا و ... مثال‌هایی از عدم قطعیت است که در تعیین جواب بهینه مدل با آن مواجهه می‌شویم. زیرا در عمل اطلاعات مورد نیاز در مورد عملکرد تامین‌کنندگان جهت انتخاب هدفمند آنها، خارج از دسترس بوده یا در بهترین حالت مبهم است. از طرفی این اطلاعات مبهم باید در ساختار هر مدل واقعی انتخاب تامین‌کننده در نظر گرفته شوند.

امید و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی فازی چند هدفه را برای مسئله انتخاب تامین‌کننده با ترکیب اطلاعات غیرقطعی و مبهم و تخصیص اوزان مختلف به معیارهای متفاوت توسعه داد[۲۰]. یو و همکاران برای پوشش حالات مبهم تصمیم‌گیری برای انتخاب تامین‌کننده تحت تدارکات ناب از یک مدل فازی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه استفاده کردند[۳]. لین برای مقابله با چند معیاری و عدم قطعیت ذاتی در انتخاب تامین‌کننده، یک مدل ترکیبی برای انتخاب تامین‌کننده تحت شرایط فازی ارائه کرده و بهترین تامین‌کننده را با ادغام FANP و FMOLP تعیین کرده است[۲۱].

علاوه بر تئوری فازی، بهینه سازی استوار از جمله رویکردهایی است که در شرایطی که عدم قطعیت وجود دارد بسیار کارا عمل می کند. سویستردر سال ۱۹۷۳ بهینه سازی استوار را معرفی کرد. مدل ارائه شده توسط سویستر به شدت محافظه کارانه عمل می کند و بدبینانه ترین رویکرد می باشد. در دو دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای ارایه مدل‌های استوار مهار پذیر مناسب برای حل انواع مسائل بهینه سازی با داده‌های غیر قطعی به عمل آمده است[۲۲]. بن-تال و نمیروسکی مدل‌هایی را ارائه کرده اند که همتای استوار برنامه‌ریزی خطی، یک مدل برنامه ریزی مخروطی درجه دو شده‌است. این مدل‌ها از محافظه کاری قابل تنظیم برخوردار بوده و جواب‌های بهتری ارائه می کنند[۲۳]. ولی در این بین برتسیماس و سیم با ارائه مدلی که میزان محافظه کاری آن قابل تنظیم است و همتای استوار یک مساله خطی، خود یک مساله برنامه ریزی خطی است، تحولی در بهینه سازی استوار به وجود آوردند[۲۴].

در فرآیندهای تصمیم‌گیری در زنجیره تامین، عدم قطعیت از فاکتورهای اصلی می‌باشد که ممکن است اثربخشی، پیکربندی و هماهنگی را در طول زنجیره را تحت تاثیر قرار ده. در حقیقت توجه به بهینه‌سازی در زنجیره‌تامین در شرایط عدم قطعیت، موجب کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت و رسیدن به یک موقعیت رقابتی خواهد شد[۲۵]. پن و ناگی در سال ۲۰۱۰ به مسأله طراحی زنجیره تامین با تقاضای غیرقطعی و تنظیمات تولید چابک در زنجیره تامین پرداختند. آنها برای مقابله با تقاضای غیرقطعی از روش تعریف سناریو استفاده کرده که مدل استوار و پاسخ استوار در آن بر اساس تعریف مولوی و همکاران ارائه شده است[۲۶، ۲۷]. لی و زابینسکینیز عدم قطعیت تقاضا و ظرفیت تامین‌کنندگان را در مسأله انتخاب تامین‌کننده در نظر گرفته و سناریوهای احتمالی را برای آنها تعریف کردند و با بهینه‌سازی استوار مجموعه تامین‌کنندگان استوار را تعیین نمودند[۲۸].

در این تحقیق برای انتخاب تامین‌کننده تحت تدارکات ناب، از مدل استوار برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق، ارائه یک مدل ریاضی جهت حل مسأله انتخاب تامین‌کننده تحت تدارکات ناب و مکانیزم بازه‌ی زمانی نرم می‌باشد. در مدل پیشنهادی، مهمترین فاکتورها و معیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان در اکثر صنایع بررسی شود. زیرا تصمیمات انتخاب تامین کننده برای بسیاری از بنگاه‌های تولیدی و خدماتی، یک بخش مهم از مدیریت تامین و تولید می‌باشد که موجب کاهش هزینه‌ها و بهبود شرایط رقابتی می‌گردد.

در این مقاله فرض شده است که خریدار می‌تواند قطعات متعدد را از چندین تامین‌کننده با صلاحیت و دارای شرایط لازم تهیه کند که معیارهای ارزیابی آن‌ها عبارتند از: هزینه ثابت خرید قطعه از هر تامین کننده، هزینه متغیر واحد خرید قطعه از هر تامین کننده، هزینه حمل و نقل، سطح کیفی محصولات خریداری شده، برنامه زمانی تحویل، محدودیت حداقل سفارش برای هر قطعه، محدودیت تقاضا برای هر قطعه و محدودیت ظرفیت هر تامین کننده. هر معیار به اندازه گیری جزئی از عملکرد تامین‌کنندگان می‌پردازد به طوری که برخی از معیارها در قالب تابع هدف و برخی از معیارها در قالب محدودیت وارد مدل مساله شده‌اند. در نتیجه یک مدل خطی با سه تابع هدف فرموله می‌شود که شامل دو تابع هدف مینیمم سازی و یک تابع هدف ماکزیمم سازی است. سپس برای

وارد کردن اطلاعات غیر دقیق در طول فرایند تامین و تدارکات، از رویکرد بهینه‌سازی استوار پیشنهاد شده توسط برتسیماس و سیم با قابلیت محافظه کاری قابل تنظیم استفاده شده است [۲۴]. دلیل استفاده از رویکرد برتسیماس و سیم این است که همتای استوار مساله برنامه ریزی خطی، خود یک مساله برنامه‌ریزی خطی می‌باشد.

۲. تعریف مساله

یک تامین‌کننده تحت تدارکات ناب بر روی وقت شناسی زمان تحویل و کیفیت قطعات تمرکز می‌کند به طوری که قطعات خریداریشده به موقع دریافت شده و پردازش شوند.

نماد گذاری در مدل ارائه شده به صورت جدول ۱ می باشد:

جدول. ۱. نمادگذاری

متغیرهای تصمیم

Q_{ij} : تعداد واحد قطعه i که از تامین‌کننده j خریداریخواهد شد.

X_{ij} : متغیر صفر و یک،اگر قطعه i توسط تامین‌کننده j تهیه شده باشد، مقداریک در غیر اینصورت مقدار صفر خواهدداشت.

پارامترها

C_j : ظرفیت تامین‌کننده j

Cp_{ij} : هزینه ثابت خرید قطعه i از تامین‌کننده j

C_{ij} : هزینه واحد خرید قطعه i از تامین‌کننده j

D_i : کل تقاضا برای قطعه i

Dis_j : فاصله از تامین‌کننده j

Cd_{ij} هزینه واحد حمل قطعه i از تامین‌کننده j

E_{ij} : زودترین تاریخ تحویل برای قطعه i از تامین‌کننده j

L_{ij} : دیرترین تاریخ تحویل برای قطعه i از تامین‌کننده j

l_{ij} : $Leadtime$ برای قطعه i ، تحویل توسط تامین‌کننده j

LE_{ij} : حد پایین برای زودترین تاریخ تحویل برای قطعه i از تامین‌کننده j

UL_{ij} : حد بالا برای دیرترین تاریخ تحویل برای قطعه i از تامین‌کننده j

Ce_{ij} : هزینه واحد جریمه وارد شده در صورتی که قطعه i بین LE_{ij} و E_{ij} توسط تامین‌کننده j تحویل داده شود.

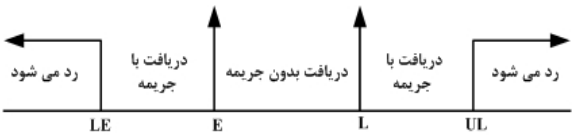
Cl_{ij} : هزینه واحد جریمه وارد شده در صورتی که قطعه i بین L_{ij} و UL_{ij} توسط تامین‌کننده j تحویل داده شود.

q_{ij} : درصد قطعات معیوب ازنوع قطعه i تهیه شده به وسیله تامین‌کننده j

m_{ij} : حداقل مقدار سفارش قابل قبول برای قطعه i توسط تامین‌کننده j

M: یک عدد مثبت بزرگ

برای مدلسازی بازه زمانی نرم، E_{ij} و L_{ij} تعریف شده اند که در حالت ایده آل اگر قطعات بین این دو زمان تحویل داده شوند، پذیرفته می‌شوند و تمام قطعاتی که قبل از LE_{ij} و بعد از UL_{ij} تحویل داده شوند رد شده و به خریدار برگردانده می‌شود. اما قطعات تحویلی در بازه‌ی زمانی بین LE_{ij} و E_{ij} و همچنین L_{ij} و UL_{ij} به همراه جریمه پرداختی توسط تامین‌کننده پذیرفته می‌شود. نمودار (۱) محدوده‌های زمانی رد و پذیرش قطعات را در بازه‌ی زمانی نرم نشان می‌دهد.



نمودار. ۱. نمایش گرافیکی بازه زمانی نرم

در این تحقیق، تابع جریمه برای قطعه i که توسط تامین‌کننده j تحویل داده می‌شود، مطابق رابطه (۱) می‌باشد[۵]:

$$P_{ij}=\begin{cases}\infty & l_{ij}<LE_{ij}\\ Ce_{ij}(E_{ij}-l_{ij}) & LE_{ij}\le l_{ij}<E_{ij}\\ 0 & E_{ij}\le l_{ij}\le L_{ij}\\ Cl_{ij}(l_{ij}-L_{ij}) & L_{ij}\le l_{ij}<UL_{ij}\\ \infty & UL_{ij}<l_{ij}\end{cases} \quad (۱)$$

در این مطالعه، فرض می شود که خریدار می‌تواند قطعات متعدد را از چندین تامین‌کننده با صلاحیت و دارای شرایط لازم مطابق با بعضی از معیارها تهیه کند. هر معیار به اندازه‌گیری جزئی از عملکرد تامین‌کنندگان می‌پردازد به طوری که برخی از معیارها در قالب تابع هدف و برخی از معیارها در قالب محدودیت وارد مدل مساله شده‌اند. در نتیجه یک مدل خطی با سه تابع هدف فرموله

می‌شود که شامل دو تابع هدف مینیمم سازی و یک تابع هدف ماکزیمم سازی است. در مدل (۲-۱) تابع هدف z_1 بیانگر مینیمم سازی هزینه خرید کل است، در حالی که تابع هدف z_2 یک تابع هدف ماکزیمم سازی است که جهت ماکزیمم کردن سطح کیفی تولید استفاده شده‌است و نهایتاً تابع هدف z_3 نیز برای مینیمم سازی جریمه مرتبط با نقض برنامه‌ی زمانی تحویل می‌باشد. رابطه (۵) مقدار تقاضا برای هر قطعه که باید تامین شود، (۶) محدودیت ظرفیت هر تامین‌کننده، (۷) محدودیت ظرفیت کلی، (۸) محدودیت حداقل مقدار سفارش برای هر تامین‌کننده، (۹) ماکزیمم زمان تحویل جهت تحویل قطعات توسط تامین‌کنندگان، (۱۰) اعمال محدودیت به طوری که زمان تحویل زودتر از حد پایین زودترین زمان تحویل نباشد، (۱۱) جهت جلوگیری از تضاد متغیرهای تصمیم، (۱۲) رابطه غیر منفی بودن متغیر تصمیم و (۱۳) جهت تحمیل درستی متغیرهای تصمیم می‌باشد.

مدل (۲-۱)

$$\min Z_1 = \sum_i \sum_j Q_{ij} C_{ij} + \sum_i \sum_j x_{ij} Cp_{ij} + \sum_i \sum_j Q_{ij} Dis_j\, Cd_{ij} \quad (۲)$$

$$\max Z_2 = \sum_i \sum_j Q_{ij}(1 - q_{ij}) \quad (۳)$$

$$\min Z_3 = \sum_i \sum_j Q_{ij}\, Ce_{ij}(E_{ij} - l_{ij}) + \sum_i \sum_j Q_{ij}\, Cl_{ij}(l_{ij} - L_{ij}) \quad (۴)$$

s.t:

$$\sum_j Q_{ij}\,(1 - q_{ij}) \geq D_i \qquad \forall i \quad (۵)$$

$$\sum_i Q_{ij} \leq C_j \qquad \forall j \quad (۶)$$

$$\sum_i Q_{ij} \leq \sum_i x_{ij} C_j \qquad \forall j \quad (۷)$$

$$Q_{ij} \geq m_{ij} x_{ij} \qquad \forall i,j \quad (۸)$$

$$x_{ij}\, l_{ij} \leq UL_{ij} \qquad \forall i,j \quad (۹)$$

$$x_{ij}(l_{ij} - LE_{ij}) \geq 0 \qquad \forall i,j \quad (۱۰)$$

$$Q_{ij} \leq M x_{ij} \qquad \forall i,j \quad (۱۱)$$

$$Q_{ij} \geq 0 \qquad \forall i,j \quad (۱۲)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \quad (۱۳)$$

در تحقیقی که بن-تال و نمیروسکی انجام داده‌اند، مشاهده شد که در صورتی که ۰٫۰۱٪ نوسان در داده‌های مدل بوجود آید، با یک احتمال که قابل صرف نظر کردن نیست، مثلا ۵۰٪، موجه بودن جواب به مخاطره می‌افتد[۲۳]. از این رو در این پژوهش، به علت عدم‌قطعیت در فرآیند تصمیم‌گیری انتخاب تامین‌کننده، از مدل استوار ارائه شده توسط برتسیماس و سیم استفاده شده است. زیرا مدل آنها برخلاف مدل‌های دیگر یک مدل خطی می‌باشد که به تعدیل سطح محافظه کاری جواب استوار می‌پردازد و قابلیت کنترل محافظه کاری جوابهای استوار به کمک پارامتری به عنوان هزینه استواری دارد[۲۴].

۱-۲. فرمولبندی استوار برتسیماس و سیم

مدل بهینه سازی خطی زیر را در نظر بگیرید:

مدل (۲-۲)

$$Max\ \ c'x \quad (۱۴)$$

$$S.t:$$

$$Ax \leq b \quad (۱۵)$$

$$l < x < u \quad (۱۶)$$

درفرمول بندی

مدل فرض می شود که عدم قطعیت داده‌ها فقط بر روی عناصر ماتریس A اثر می‌گذارد. یک سطر خاص i در ماتریس A را در نظر بگیرید و J_i را مجموعه ضرایب غیرقطعی در سطر i بگیرید. هر کدام از $a_{ij}, j\epsilon J_i$ به صورت یک متغییر تصادفی مستقل، متقارن و محدود $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ مدل می شود که دربازه $\tilde{a}_{ij}, j\epsilon J_i$ مقدار می گیرد. متغیرتصادفی $\eta_{ij} = (\tilde{a}_{ij} - a_{ij})/\hat{a}_{ij}$ مرتبط با داده غیر قطعی $\tilde{a}_{ij}$ تعریف می شود که ازیک توزیع نا شناخته، امامتقارن، دربازه [-1,1] پیروی می کند. محدودیت iام مساله اسمی، $a_i x \leq b_i$ را در نظر بگیرید و J_i را مجموعه ضرایب غیرقطعی در سطر i بگیرید. یعنی هر کدام از $\tilde{a}_{ij}, j\epsilon J_i$ از یک توزیع متقارن با میانگین a_{ij} پیروی می‌کنند و در بازه $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ مقدار می‌گیرند. به Γ_i سطح حفاظت می گویند و یک عدد نامنفی کوچکتر یا مساوی تعداد داده های غیرقطعی در محدودیت‌ها یا تابع هدف می‌باشد. در واقع برای هر سطر i، پارامتر Γ_i را که لزوما عدد صحیح نمی‌باشد، معرفی می‌شود که در بازه $[0, |J_i|]$ مقدار می‌گیرد و فرض می‌شود که حداکثر به تعداد کل Γ_i ها ضرایب محدودیت‌ها یا تابع هدف تغییر می‌کند. نقش پارامتر Γ_i در محدودیت‌ها، تنظیم نمودن میزان استواری در مقابل سطح محافظه کاری جواب می‌باشد. به نظر می‌رسد کمتر احتمال دارد که همه $a_{ij}, j\epsilon J_i$ همزمان تغییر کنند. بنابراین در همه حالاتی که حداکثر $\lfloor\Gamma_i\rfloor$ تا از این ضرائب مجاز به تغییر می‌باشند و یک ضریب a_{it} نیز حداکثر به اندازه $(\Gamma_i - \lfloor\Gamma_i\rfloor)\hat{a}_{it}$ تغییر می کند، جواب میبایست موجه باقی بماند. از سویی دیگر در مواقعی که بیش از تعداد Γ_iها از ضرائب تغییر کنند، جواب موجه با احتمال بالایی موجه و نزدیک به بهینه باقی می ماند. بنابراین Γ_i سطح حفاظت برای محدودیت iام نامیده می

شود. مدل ارائه شده توسط برتسیماس وسیم به صورت مدل (۲-۳) ۰ارائه می‌شود:

مدل (۲-۳) ۰

$$Max \;\; c'x \qquad (۱۷)$$

$$S.t: \qquad (۱۸)$$

$$\sum_j a_{ij}x_j + \max_{\{S_i\cup\{t_i\}|S_i\subseteq J_i,|S_i|=\lfloor\Gamma_i\rfloor,\; t_i\in J_i/S_i\}} \left\{\sum_{j\in S_i}\hat{a}_{ij}y_j + (\Gamma_i-\lfloor\Gamma_i\rfloor)\hat{a}_{it}y_t\right\} \le b_i \qquad \forall i$$

$$-y_j \le x_j \le y_j \qquad \forall j \qquad (۱۹)$$

$$l \le x \le u \qquad (۲۰)$$

$$y \ge 0 \qquad (۲۱)$$

برتسیماس و سیم ثابت کردند مدل (۲-۳) ۰ یک مدل همنام استوار به صورت (۲-۴) دارد[۲۴]:

مدل (۲-۴)

$$Max \;\; c'x \qquad (۲۲)$$

$$S.t: \qquad (۲۳)$$

$$\sum_j a_{ij}x_j + z_i\Gamma_i + \sum_{j\in J_i} p_{ij} \le b_i \qquad \forall i$$

$$z_i + p_{ij} \ge \hat{a}_{ij}y_j \qquad \forall i, j \in J_i \qquad (۲۴)$$

$$-y_j \le x_j \le y_j \qquad \forall j \qquad (۲۵)$$

$$l_j \le x_j \le u_j \qquad \forall j \qquad (۲۶)$$

$$y_j \ge 0 \qquad \forall j \qquad (۲۷)$$

$$p_{ij} \ge 0 \qquad \forall i, j \in J_i \qquad (۲۸)$$

$$z_i \ge 0 \qquad \forall i \qquad (۲۹)$$

لازم به ذکر است که متغیرهای اضافه شده (z_i, p_{ij}, y_j) برای تنظیم استوار بودن جواب و اعمال سطوح حفاظت در مدل آورده شده‌اند و به عنوان رابط بین محدودیت‌ها مقدار می گیرند.

۳. طراحی مدل

بهینه‌سازی استوار از جمله رویکردهایی است که در شرایطی که عدم قطعیت در داده ها وجود دارد بسیار کارا عمل می‌کند.

در مدل ارائه شده در این مقاله، سه پارامتر مدل انتخاب تامین‌کننده که دارای عدم قطعیت می‌باشد، عبارتند از: تقاضا برای هر قطعه، ظرفیت تامین‌کننده و درصد قطعات معیوب. تقاضایی که برای هر قطعه وجود دارد، کاملا ماهیت غیرقطعی دارد. هیچ گاه نمی‌توان مقدار دقیقی از تقاضا را بدست آورد. چراکه ماهیتاً تقاضا با استفاده از روش‌های پیش‌بینی به دست می‌آید که خود روش‌های پیش‌بینی، احتمالی هستند. همچنین به علت یک سری مشکلات پیش‌بینی نشده و اختلالات تولیدی، ظرفیت تامین‌کننده و درصد قطعات معیوب نیز ماهیت غیرقطعی دارد. برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت و برای موجه ماندن جواب با در نظر گرفتن نوسانی که در این پارامترها رخ می‌دهد، در اینجا از برنامه‌ریزی خطی استوار که توسط برتسیماس و سیم ارائه گردیده، استفاده شده‌است[۲۴].

مدل (۳-۱)

$$\min Z_1 = \sum_i\sum_j Q_{ij}C_{ij} + \sum_i\sum_j x_{ij}Cp_{ij} + \sum_i\sum_j Q_{ij}Dis_j\, Cd_{ij} \qquad (۳۰)$$

$$\max Z_2 = \sum_i\sum_j q_{ij}Q_{ij} - \sum_i\sum_j Q_{ij} + z_0\Gamma_0 + \sum_i\sum_j p_{ij} \qquad (۳۱)$$

$$\min Z_3 = \sum_i\sum_j Q_{ij}\, Ce_{ij}(E_{ij} - l_{ij}) + \sum_i\sum_j Q_{ij}\, Cl_{ij}(l_{ij} - L_{ij}) \qquad (۳۲)$$

S.t:

$$z_0 + p_{ij} \ge \hat{q}_{ij}y_{ij} \qquad (۳۳)$$

$$-y_{ij} \le Q_{ij} \le y_{ij} \qquad (۳۴)$$

$$\sum_j q_{ij}Q_{ij} - \sum_j Q_{ij} + D_iB_i + z_i\Gamma_1 + \sum_i\sum_j p'_{ij} + p_i \le 0 \qquad \forall i \qquad (۳۵)$$

$$z_i + p'_{ij} \ge \hat{q}_{ij}y'_{ij} \qquad \forall i,j \qquad (۳۶)$$

$$z_i + p_i \ge \hat{D}_i y_i \qquad \forall i \qquad (۳۷)$$

$$-y'_{ij} \le Q_{ij} \le y'_{ij} \qquad \forall i,j \qquad (۳۸)$$

$$-y_i \le B_i \le y_i \qquad \forall i \qquad (۳۹)$$

$$\sum_i Q_{ij} - C_jBB_j + zz_j\Gamma + pp_j \le 0 \qquad \forall j \qquad (۴۰)$$

$$zz_j + pp_j \ge \hat{C}_j yy_j \qquad \forall j \qquad (۴۱)$$

$$-yy_j \le BB_j \le yy_j \qquad \forall j \qquad (۴۲)$$

$$\sum_i Q_{ij} - \sum_i C_jx_{ij} + zzz_j\Gamma + \sum_i ppp_{ij} \le 0 \qquad \forall j \qquad (۴۳)$$

$$zzz_j + ppp_{ij} \ge \hat{C}_j yyy_{ij} \qquad \forall i,j \qquad (۴۴)$$

$$-yyy_{ij} \le x_{ij} \le yyy_{ij} \qquad \forall i,j \qquad (۴۵)$$

$$B_i = 1 \qquad \forall i \qquad (۴۶)$$

$$BB_j = 1 \quad \forall j \quad (۴۷)$$
$$z_0 \geq 0 \quad (۴۸)$$
$$p_{ij} \geq 0 \, , \, p'_{ij} \geq 0 \, , \, ppp_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \quad (۴۹)$$
$$y_{ij} \geq 0 \, , \, y'_{ij} \geq 0 \, , \, yyy_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \quad (۵۰)$$
$$yy_j \geq 0 \quad \forall j \quad (۵۱)$$
$$p_i \geq 0 \, , \, z_i \geq 0 \, , \, y_i \geq 0 \quad \forall i \quad (۵۲)$$
$$pp_j \geq 0 \, , \, zz_j \geq 0 \, , \, zzz_j \geq 0 \quad \forall j \quad (۵۳)$$
$$Q_{ij} \geq m_{ij} x_{ij} \quad \forall i,j \quad (۵۴)$$
$$x_{ij} \, l_{ij} \leq UL_{ij} \quad \forall i,j \quad (۵۵)$$
$$x_{ij}\left(l_{ij} - LE_{ij}\right) \geq 0 \quad \forall i,j \quad (۵۶)$$
$$Q_{ij} \leq M x_{ij} \quad \forall i,j \quad (۵۷)$$
$$Q_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \quad (۵۸)$$
$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \quad (۵۹)$$

که در مدل بالا Γ_0 سطح حفاظت تابع هدف و Γ_1 سطح حفاظت محدودیت‌ها را تعیین می کند و $\widehat{D}_i$،$\hat{q}_{ij}$ و $\hat{C}_j$ به ترتیب میزان عدم قطعیت *درصد قطعات معیوب*، تقاضای قطعه i و ظرفیت تامین‌کننده j می‌باشد. سایر متغیرهای موجود در مساله مشابه مدل (۲-۱) است و متغیرهای p_{ij}،p'_{ij}،ppp_{ij}،pp_j،p_i،z_i،zz_j،zzz_j و همچنین y_{ij}،y'_{ij}،yy_j،yyy_{ij} و y_i برای تنظیم استوار بودن جواب و اعمال سطوح حفاظت در مدل آورده شده‌اند.

محدودیت‌های (۳۳)، (۳۴)، (۳۵) و (۳۶) مربوط به عدم قطعیت درصد قطعات معیوب ازنوع قطعه i تهیه شده به وسیله تامین‌کنندهj، (۳۵) و (۳۷) مربوط به عدم قطعیت در تقاضای قطعه iام، (۴۰)، (۴۱)، (۴۳) و (۴۴) عدم قطعیت در ظرفیت تامین‌کننده jام، محدودیت (۴۶) و (۴۷) متغیرهای اضافی برای تبدیل اعداد سمت راست مربوط به محدودیت‌های مقدار تقاضا برای هر قطعه و ظرفیت هر تامین‌کننده به ضرائب تکنولوژیکی، (۳۸)، (۳۹)، (۴۲) و (۴۵) برای ایجاد تبادل بین میزان عدم قطعیت‌ها و جواب مساله، همچنین (۴۸)، (۴۹)، (۵۰)، (۵۱)، (۵۲) و (۵۳) مربوط به بزرگتر و مساوی صفر بودن متغیرهای مساله می‌باشند. سایر محدودیت‌ها نیز مشابه مدل (۲-۱) می‌باشد.

لازم به توضیح است که تابع هدف (۳۱) و محدودیت‌های (۳۳)، (۳۴) و (۴۸) جهت روباست‌سازی تابع هدف (۳)، محدودیت‌های (۳۵)، (۳۶)، (۳۷)، (۳۸)، (۳۹) و (۴۶) جهت روباست‌سازی محدودیت (۵)، محدودیت‌های (۴۰)، (۴۱)، (۴۲) و (۴۷) جهت روباست‌سازی محدودیت (۶) و محدودیت‌های (۴۳)، (۴۴) و (۴۵) جهت روباست‌سازی (۷) می‌باشند. همچنین محدودیت های (۴۸)، (۴۹)، (۵۰)، (۵۱)، (۵۲) و (۵۳) به منظور مثبت بودن متغیرهای مساله روباست درنظر گرفته شده‌اند.

۴. مثال عددی

مدل (۳-۱) برای ۴ نوع قطعه و ۵ تامین‌کننده حل شده‌است. داده‌ها در جداول (۲) تا (۹) قابل مشاهده است. در این تحقیق، فرض شده است که داده‌های ورودی مدل، دارای نوسان ۱٪ باشند. جواب حل شده توسط نرم افزار لینگو طبق روش معیار جامع در جدول (۱۰) آورده شده‌است. این جدول شامل جواب های بدست آمده از حل مدل (۳-۱) به ازای سطح حفاظت مختلف از ضرائب تابع هدف و محدودیت ها می باشد. همچنین مقادیر سفارش بهینه، به ازای سطوح حفاظت مختلف در نمودار (۲) مقایسه شده است. تغییرات تابع هدف کلی که به صورت کمینه سازی در نظر گرفته شده است به ازای گاماهای مختلف در نمودار (۳) نشان داده شده است.

همچنین در راستای بررسی تاثیر مکانیزیم بازه زمانی نرم بر روی مسئله انتخاب تامین کننده، تحلیل حساسیت انجام شده است. برای این کار بازه بین دو پارامتر E_{ij} و L_{ij} بین یک تا چهار روز تغییر داده شده است (بازه های $(LE_{i-}\ E_{ij})$و $(L_{ij}\text{-}UL_{ij})$بر روی دو روز ثابت نگه داشته شده‌اند). ارتباط تغییرات بازه مورد نظر و مقادیر نرمال شده تابع هدف در نمودار (۴) آورده شده است.

جدول. ۲. ظرفیت و فاصله تامین‌کنندگان

فروشنده j	ظرفیت	فاصله
۱	۱۴۸۳	۹۹۰
۲	۱۴۰۰	۶۹۷
۳	۱۶۵۰	۴۲۴
۴	۱۶۳۳	۵۶۳
۵	۱۵۶۶	۷۵۶

جدول. ۳. میزان تقاضا برای هر قطعه

تقاضا	قطعه i
۱۰۰۰	۱
۱۲۰۰	۲
۲۰۰۰	۳
۱۵۰۰	۴

جدول. ۴. درصد قطعات معیوب

فروشنده / نوع قطعه	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱۵
۲	۰/۳	۰/۲۵	۰/۳	۰/۱	۰/۰۵
۳	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱	۰/۲
۴	۰/۱	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱

جدول. ۵. زمان تحویل (روز)

نوع قطعه / فروشنده	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۱۶/۵	۲۰	۱۵	۱۷	۱۸
۲	۱۱	۱۳/۵	۱۲/۵	۱۰/۵	۱۳
۳	۷	۱۱	۱۲	۸/۵	۹
۴	۸	۱۰/۵	۱۳	۹	۱۰

جدول. ۶. بازه زمانی تحویل (روز)

قطعه	LE_{ij}	E_{ij}	L_{ij}	UL_{ij}
۱	۱۴	۱۶	۱۷	۱۹
۲	۱۰	۱۲	۱۳	۱۵
۳	۸	۱۰	۱۱	۱۳
۴	۷	۹	۱۰	۱۲

جدول. ۷. جریمه نقض بازه زمانی تحویل

Cl_{ij}	Ce_{ij}
۰/۰۸	۰/۰۵
۰/۱۶	۰/۱
۰/۲۴	۰/۱۵
۰/۳۱	۰/۲

جدول. ۸. هزینه حمل

نوع قطعه / فروشنده	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۵	۸	۳	۶	۵.۵
۲	۴	۳	۶	۸	۱۱
۳	۶	۱۰	۸	۵	۶,۵
۴	۸	۵	۷	۴	۹

جدول. ۹. هزینه خرید

فروشنده j	هزینه ثابت	هزینه متغیر برای قطعه i: ۱	۲	۳	۴
۱	۲۰	۱	۲	۳/۱	۴
۲	۱۸	۱/۰۵	۲/۱	۳/۱	۳/۸
۳	۲۲	۱/۱۸	۱/۸	۳/۲	۳/۹
۴	۲۰	۰/۹۵	۱/۹	۲/۸	۴
۵	۲۱	۰/۹	۲/۲	۲/۹	۴/۱

۵. نتیجه گیری

در تامین قطعات از تامین‌کنندگان، تحویلات دیر هنگام به علت ترافیک انبوه و اختلالات تولیدی غیر منتظره، به امری رایج در مراکز تامین‌کنندگان تبدیل شده است. از این رو در این پژوهش مکانیزم بازه‌ی زمانی نرم استفاده شده است تا فرصت عملکرد کارا تحت شرایط واقع بینانه را برای تامین‌کنندگان فراهم کند. تحلیل حساسیت انجام شده بر روی بازه زمانی تحویل نشان می دهد درحالتی که بازه زمانی مجاز بدون جریمه افزایش می‌یابد، به همان اندازه تابع هدف کلی نیز بهبود می‌یابد. زیرا با افزایش زمان این بازه، هرگونه نقض تحویل به موقع کاهش می‌یابد و در نتیجه معیار انتخاب تامین‌کننده بر اساس کیفیت بالا و هزینه پایین می‌شود. در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند نسبت به دستیابی به اهداف مختلف هزینه،کیفیت و زمان، محدوده زمانی مناسب را جهت تکمیل تدارکات ناب عملی تعیین کند.

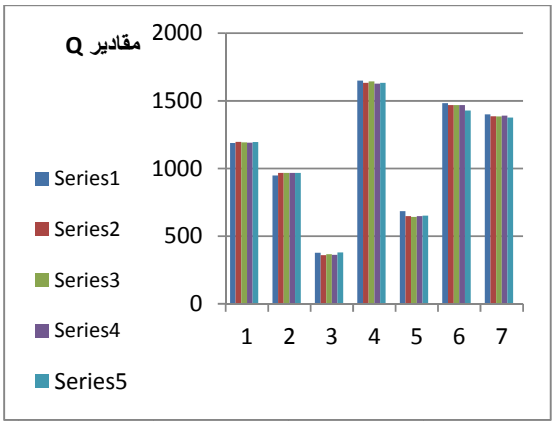
مشکل دیگری که در دنیای واقعی در رابطه با تصمیم گیری انتخاب تامین‌کننده مناسب وجود دارد، غیر قطعی بودن داده‌های ورودی می باشد. اثر این عدم قطعیت بر روی جواب موجه به قدری است که تنها درصد کوچکی از تغییرات در داده‌های ورودی ممکن است احتمال غیرموجه شدن جواب را به شدت افزایش دهد. بنابراین رویکردی که داده‌ها را به صورت غیر قطعی در نظر می‌گیرد باید اتخاذ شود.

رویکرد مورد استفاده در مدل‌سازی استوار، الگوریتم پیشنهادی برتسیماس و سیم می‌باشد [۲۴] که تصمیم گیرنده قادر است با توجه به حساسیت مساله و میزان عدم قطعیت، به گونه‌ای سطوح حفاظت را تنظیم کند که به جواب موجه پایدار مناسب دست پیدا کند. در این پژوهش نیز تاثیر عدم قطعیت پارامترهای مختلف مساله در مدل ارائه شده بررسی شد که نتایج نمایانگر این موضوع می‌باشندکه با افزایش مقدار گاما، تابع هدف کمینه سازی بیشتر می‌شود. شایان ذکر ایت که بدتر شدن تابع هدف به علت ایمن کردن محدودیت ها در مقابل وجود اغتشاش در داده ها و جلوگیری از نقض شدن محدودیت هاست. مدل ارائه شده در این مقاله، قابل استفاده در تمامی صنایع برای انتخاب تامین‌کننده در شرایط عدم قطعیت می باشد.

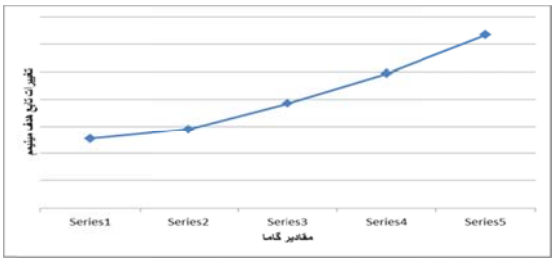
زیرا تامین‌کنندگان انتخاب شده، با در نظر گرفتن داده های غیر قطعی به دست آمده اند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل و راه حل پیشنهادی برای حل این مسأله مناسب می‌باشد و می‌توان از آن برای انتخاب تامین کنندگان در شرایط وجود اعتشاش در داده ها استفاده نمود. همچنین مطابق نتایج خروجی، مقدار Q به ازای سطوح حفاظت مختلف، متفاوت می‌باشدکه نیاز است به یک سطح حفاظتی دست یافت که در آن احتمال نقض بسیار پایین باشد.

جدول. ۱۰. جواب‌های بدست آمده به ازای Γ_0، Γ_1 و Γ مختلف

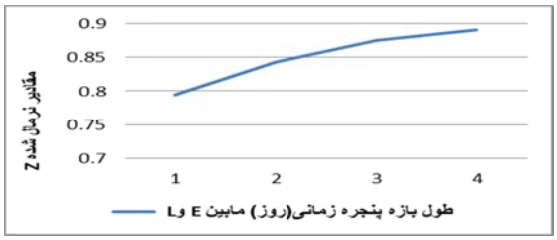
شماره ستون		Series 1	Series 5	Series 13	Series 17	Series 20
	Γ_0	1	5	13	17	20
	Γ_1	1	2	4	5	6
	Γ	0	1	1	1	1
	Z^*	۴۸/۷	۴۸/۹۱	۴۹/۱	۴۹/۶	۵۱/۱
۱	Q1	۱۱۸۸	۱۱۹۱	۱۱۹۴	۱۱۹۳	۴119
۲	$\bar{Q2}$	۹۴۷	۹۶۸	۹۶۴	۹۶۷	۹۷۹
۳	$\dot{Q2}$	۳۷۸	۳۶۰	۳۶۷	۳۶۲	۳۵۸
۴	$\bar{Q3}$	۱۶۵۰	۱۶۳۳	۱۶۴۵	۱۶۲۵	۱۶۳۳
۵	$\bar{Q3}$	۶۸۵	۶۴۹	۶۴۱	۶۴۸	۶۴۵
۶	$\dot{Q4}$	۱۴۸۳	۱۴۶۲	۱۴۵۱	۱۴۶۲	۱۴۷۱
۷	Q4	۱۴۰۰	۱۳۸۶	۱۳۸۲	۱۳۹۱	۱۳۷۶



نمودار. ۲. مقادیر Q به ازای گاماهای مختلف



نمودار. ۳. تغییرات تابع هدف کمینه سازی به ازای مقادیر گاما



نمودار ۴. تحلیل حساسیت بازه زمانی نرم

۶. مراجع

[۱] پ. م. بروجنی, ا. صادقیه, و م. فخرزاد, "تولید و توزیع در زنجیره تامین سه سطحی بر اساس تفکر ناب با رویکردGA," نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید, شماره ۳,جلد ۲۵, صفحه ۳۷۵-۳۶۶,۱۳۹۳.

[2] B. Knill, "How lean manufacturing matches today's business ",*Material Handling Engineering,* vol. 54, pp. 87-91, 1999.

[3] M.-C. Yu, M. Goh, and H.-C. Lin, "Fuzzy multi-objective vendor selection under lean procurement," *European Journal of Operational Research,* vol. 219, pp. 305-311, 2012.

[۴] ا. نورنگ و م. مالک, "توسعه یک مدل دو هدفه فازی جهت تنظیم ذخیره اطمینان در واحدهای ذخیره موجودیزنجیره تامین," نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید, شماره ۲, جلد۲۳ , صفحه ۲۲۵-۲۱۲, ۱۳۹۱.

[5] G. Ioannou, M. Kritikos, and G. Prastacos, "A problem generator-solver heuristic for vehicle routing with soft time windows," *Omega,* vol. 31, pp. 41-53, 2003.

[6] F. J. KRÄMER and C. Y. LEE, "COMMON DUE-WINDOW SCHEDULING," *Production and Operations Management,* vol. 2, pp. 262-275, 1993.

[7] A. Ghobadian, A. Stainer, and T. Kiss, "A computerized vendor rating system," in *Proceedings of the first international symposium on logistics*, 1993, pp. 321-328.

[8] T. H. Willis, C. R. Huston, and F. Pohlkamp, "Evaluation measures of just-in-time supplier performance," *Production and Inventory Management Journal,* vol. 34, pp. 1-1, 1993.

[9] G. W. Dickson, "An analysis of vendor selection systems and decisions," *Journal of purchasing,* vol. 2, pp. 5-17, 1966.

[10] C. A. Weber, J. R. Current, and W. Benton, "Vendor selection criteria and methods," *European journal of operational research,* vol. 50, pp. 2-18, 1991.

[11] S. S. Chaudhry, F. G. Forst, and J. L. Zydiak, "Vendor selection with price breaks," *European Journal of Operational Research,* vol. 70, pp. 52-66, 1993.

[12] C. A. Weber and J. R. Current" ,A multiobjective approach to vendor selection," *European Journal of Operational Research,* vol. 68, pp. 173-184, 1993.

[13] C. A. Weber, J. R. Current, and A. Desai, "Non-cooperative negotiation strategies for vendor selection," *European Journal of Operational Research,* vol. 108, pp. 208-223, 1998.

[14] E. Timmerman, "An approach to vendor performance evaluation," *Engineering Management Review, IEEE,* vol. 15, pp. 14-20, 1987.

[15] L. M. A. Chan, A. Muriel, Z.-J. M. Shen, D. Simchi-Levi, and C.-P. Teo, "Effective zero-inventory-ordering policies for the single-warehouse multiretailer problem with piecewise linear cost structures," *Management Science,* vol. 48, pp. 1446-1460, 2002.

[16] A. Cakravastia, I. S. Toha, and N. Nakamura, "A two-stage model for thedesign of supply chain networks," *International Journal of Production Economics,* vol. 80, pp. 231-248, 2002.

[17] Z. Degraeve, E. Labro, and F. Roodhooft, "Total cost of ownership purchasing of a service: The case of airline selection at Alcatel Bell," *European Journal of Operational Research,* vol. 156, pp. 23-40, 2004.

[18] E. A. Demirtas and Ö. Üstün, "An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation," *Omega,* vol. 36, pp. 76-90, 2008.

[19] W. Xia and Z. Wu" ,Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments," *Omega,* vol. 35, pp. 494-504, 2007.

[20] A. Amid, S. Ghodsypour, and C. O'brien, "Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain," *International Journal of Production Economics,* vol. 104, pp. 394-407, 2006.

[21] R.-H. Lin, "An integrated model for supplier selection under a fuzzy situation," *International Journal of Production Economics,* vol. 138, pp. 55-61, 2012.

[22] A. L. Soyster, "Technical note—convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming," *Operations research,* vol. 21, pp. 1154-1157, 1973.

[23] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, "Robust solutions of uncertain linear programs," *Operations research letters,* vol. 25, pp. 1-13, 1999.

[24] D. Bertsimas and M. Sim, "The price of robustness," *Operations research,* vol. 52, pp. 35-53, 2004.

[۲۵] ع. آذر و س. موسوی, "طراحی مدل استوار برای تخصیص قطعات به تامین‌کنندگان," نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریتتولید, شماره۳, جلد ۲۵, صفحه ۲۷۲-۲۶۴, ۱۳۹۳.

[26] F. Pan and R. Nagi, "Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing," *Computers & Operations Research,* vol. 37, pp. 668-683, 2010.

[27] J. M. Mulvey, R. J. Vanderbei, and S. A. Zenios, "Robust optimization of large-scale systems," *Operations research,* vol. 43, pp. 264-281, 1995.

[28] L. Li and Z. B. Zabinsky, "Incorporating uncertainty into a supplier selection problem," *International Journal of Production Economics,* vol. 134, pp. 344-356 ,2011.