

ارائه و حل یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه جهت انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن شرایط تخفیف و کمبود

مرضیه کریمی*، ابوالفضل کاظمی**، علیرضا نادری***

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۱

چکیده

امروزه، تأمین منابع موردنیاز سازمان‌ها، به یک رویکرد مهم تجاری تبدیل شده است، لذا انتخاب صحیح و اتحاد با تأمین‌کنندگان، می‌تواند یک مزیت رقابتی را در امر تولید مؤثرتر و کارا تر محصول یا خدمات در پی داشته باشد. برای حل مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده، مدل‌های زیادی تدوین و ارائه شده است. در این مقاله، علاوه بر در نظر گرفتن استراتژی تخفیف تدریجی، هزینه کمبود کالا نیز در نظر گرفته شده است که تا کنون مورد توجه نبوده است. در این مدل تحقق دو هدف، یکی کمینه‌سازی هزینه خریدار و دیگری بیشینه‌سازی سطح کیفیت محصول مدنظر است. به منظور حل مدل پیشنهادی انتخاب تأمین‌کننده، الگوریتم جستجوی هارمونی بهبود یافته به کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم به کار گرفته شده به خوبی با الگوریتم‌های دقیق چه از لحاظ زمان انجام و چه از لحاظ کیفیت پاسخ رقابت می‌نماید. در نهایت چند مثال عددی برای تجزیه و تحلیل مدل ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، تصمیم‌گیری چند هدفه، تخفیف تدریجی، سفارش عقب افتاده، الگوریتم جستجوی هارمونی

* دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

** استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران

(نویسنده مسئول) E-mail: abkaazemi@qiau.ac.ir

*** استادیار بخش مهندسی صنایع، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، کرمان، ایران

مقدمه

تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب، یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین مؤلفه‌ها در مدیریت زنجیره‌ی تأمین است و اهمیت آن در به موفقیت رساندن شرکت‌ها قابل انکار نیست؛ چرا که انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب، به‌طور قابل توجهی هزینه‌های خرید مواد اولیه و نیز زمان انتظار تا رسیدن محموله‌ی سفارش داده شده را کاهش می‌دهد؛ هم‌چنین موجب بالارفتن سطح رقابت‌پذیری شرکت می‌شود. به عقیده‌ی بسیاری از متخصصان، انتخاب تأمین‌کننده، مهم‌ترین فعالیت دپارتمان خرید است (شوندی، ۱۳۸۵).

مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که تحت تأثیر عوامل متعددی است که اغلب در تقابل با یکدیگرند (عمید و همکاران، ۲۰۰۶). دیکسون^۱ در سال ۱۹۶۶، ۲۳ معیار را که توسط مدیران خرید در مسائل گوناگون انتخاب تأمین‌کننده در نظر گرفته می‌شوند، شناسایی کرد. در نظر گرفتن توابع هدفی مانند مینیمم کردن هزینه‌ها، ماکزیمم کردن کیفیت و مینیمم کردن زمان تحویل به‌صورت هم‌زمان، ماهیت مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را به یک مسئله‌ی چندهدفه تبدیل کرده است (شالگرام^۲، ۲۰۰۸). به‌علاوه تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده به این علت که توابع هدف مختلفی باید به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شوند، پیچیده‌اند؛ از طرف دیگر در عالم واقع، در اکثر موارد این توابع هدف با یکدیگر در تعارض خواهند بود؛ بنابراین در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، تبادلات میان معیارها باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. تکنیک‌های MCDM^۳، تصمیم‌گیرندگان را در ارزیابی یک مجموعه از گزینه‌ها یاری می‌کنند. با توجه به موقعیت‌ها و وضعیت‌های خرید، اهمیت معیارها متفاوت است و لذا نیاز به وزن‌دهی معیارها وجود دارد (دلمین و مینینو^۴، ۲۰۰۳).

-
1. Dickson
 2. Shaligram
 3. Multiple Criteria Decision Making
 4. Dulmin and Mininno

همان‌طور که می‌دانیم، هزینه‌های موجودی به چهار هزینه اصلی: هزینه قیمت مواد، هزینه‌ی سفارش‌دهی، هزینه نگهداری و هزینه‌ی مواجهه با کمبود کالا تقسیم می‌شوند. اما تا کنون اغلب مدل‌های موجودی در ادبیات انتخاب تأمین‌کننده، تنها سه هزینه اول را در نظر گرفته و هزینه‌ی مواجهه با کمبود کالا را نادیده گرفته‌اند. هم‌چنین در این مدل‌ها هزینه خرید به طور مستقیم محاسبه شده، در حالی که در نظر گرفتن تخفیف با توجه به میزان سفارش از هر تأمین‌کننده از معیارهای مورد توجه دیگر است که در صنعت امروز، این موضوع بین تأمین‌کنندگان رواج یافته و منجر به ایجاد رقابت شده است. در ادبیات موضوع، این مدلی است که علاوه بر در نظر گرفتن هزینه کمبود کالا، استراتژی تخفیف تدریجی نیز در نظر گرفته شده است. به دلیل ماهیت چند هدفه بودن مسأله‌ی انتخاب تأمین‌کننده، علاوه بر تابع هدف مینیمم کردن هزینه خریدار، یک تابع هدف دیگر، به منظور ماکزیمم کردن سطح کیفیت محصول نیز در نظر گرفته شده است.

این مقاله در ۵ بخش سازماندهی شده است. در بخش ۲، مرور مقالات مرتبط با موضوع ارائه می‌شود. بخش ۳ شامل معرفی نمادها و مدل پیشنهادی است. در بخش ۴، الگوریتم حل مدل پیشنهادی ارائه شده و در نهایت در بخش ۵، نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

مروری بر ادبیات موضوع

اولین مقالات در حوزه انتخاب تأمین‌کننده، در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ منتشر شد؛ در زمانی که کاربردهای برنامه‌ریزی خطی و محاسبات علمی در اول راه خود قرار داشت (آسای^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). دیکسون در سال ۱۹۶۶، برای نخستین بار اهمیت ۲۳ معیار را برای انتخاب تأمین‌کننده بر اساس مطالعه روی مدیران خرید مشخص و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. وی نشان داد که کیفیت، مهم‌ترین معیار است (دیکسون، ۱۹۶۶). گابالا^۲ یک مدل برنامه‌ریزی

1. Assaoui
2. Gaballa

مختلط عدد صحیح را توسعه داد تا هزینه خرید را با توجه به تخفیف به ازای مقدار سفارش و محدودیت ظرفیت تأمین کننده، حداقل سازد (گابالا، ۱۹۷۴).

در سال ۱۹۸۶، ناراسیمها و استویناف^۱ از مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح تک هدفه بهره بردند تا مجموع هزینه‌های مرتبط با حمل و نقل و هزینه خطا برای بهره‌برداری غیر موثر از ظرفیت تأمین کننده را حداقل نمایند (قیدر خلجانی و همکاران، ۲۰۰۹). وبر^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۱، با مرور ۷۴ مقاله که معیارهای انتخاب تأمین کننده را مورد بحث و بررسی قرار داده بودند، نشان دادند که مهم‌ترین معیار برای انتخاب تأمین کننده، قیمت است. آنها به این نتیجه نیز رسیدند که انتخاب تأمین کننده، یک مسئله‌ی چند معیاره است و اولویت معیارها به موقعیت خرید بستگی دارد (وبر و همکاران، ۱۹۹۱).

سارکیس و سمپل^۳ در سال ۱۹۹۹، یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح را مطرح نمودند تا مجموع هزینه‌های خرید را با توجه به وجود حجم تخفیف تجاری بهینه نماید. در مدل ارائه شده، فقط به یک دوره توجه شده و سایر پارامترهای مرتبط با زمان همانند هزینه‌های موجودی در نظر گرفته نشده است (عمید و همکاران، ۲۰۰۹). دگراو^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۰ مطالعه‌ای را انجام دادند که در آن، علاوه بر مروری بر مدل‌های به کاررفته در انتخاب تأمین کننده، استفاده از مفهوم هزینه‌ی کل مالکیت را به عنوان پایه و اساسی جهت مقایسه‌ی مدل‌های انتخاب تأمین کننده پیشنهاد دادند (عمید و قدسی‌پور، ۲۰۰۸). تمپلمیر^۵ در سال ۲۰۰۲، یک الگوریتم ابتکاری را برای حل یک فرمول مختلط عدد صحیح خطی جهت انتخاب تأمین کننده و مسأله اندازه‌بندی برای یک محصول در صورت وجود تقاضای پویا و عدم وجود محدودیت ظرفیت تأمین کننده، ایجاد نمود (تمپلمیر، ۲۰۰۲).

-
1. Narasimhan and Stoyunof
 2. Weber
 3. Sarkis and Semple
 4. Degraeve
 5. Tempelmeier

چن^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶، یک مدل فازی را برای تعیین درجه و رتبه تأمین‌کننده‌ها بر اساس مفاهیم تاپسیس^۲ ارائه نمودند (چن و همکاران، ۲۰۰۶). ژیا و وو^۳ در سال ۲۰۰۷، مدلی را به روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP)^۴، مجموعه‌های هموار^۵ و تصمیم‌گیری چندمعیاره، با فرض تخفیف در صورت افزایش مقدار خرید پیشنهاد دادند (ژیا و وو، ۲۰۰۷).

عمید و همکاران در سال ۲۰۰۹، یک مدل چندهدفه‌ی فازی جمع‌پذیر وزنی^۶ را با فرض تخفیف در خرید تعداد بیشتر کالا در زنجیره‌ی تأمین را ایجاد کردند (عمید و همکاران، ۲۰۰۹).

وو^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۰، یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه فازی را برای انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن فاکتورهای عدم قطعیت و ریسک ارائه دادند و برای حل آن مدل از یک رویکرد احتمالی استفاده کرده‌اند (وو و همکاران، ۲۰۱۰).

عمید و همکاران در سال ۲۰۱۱، در ادامه مقاله‌ای که در سال ۲۰۰۶ ارائه دادند، یک مدل وزن‌دار با عملگر max-min فازی برای انتخاب تأمین‌کننده توسعه دادند تا ابهامات موجود در داده‌های ورودی و وزن‌های مختلف شاخص‌ها در این مسائل به طور مؤثر در نظر گرفته شود. در این مقاله برای تعیین وزن شاخص‌ها از رویکرد AHP، استفاده شده است. مدل ارائه شده به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا بداند که بهترین مقدار سفارش از هر تأمین‌کننده چقدر باید باشد و به مدیر (مدیران) خرید اجازه می‌دهد تا عملکرد مدیریت زنجیره تأمین را با استفاده از سه فاکتور هزینه، کیفیت و سرویس مدیریت کنند (عمید و همکاران، ۲۰۱۱).

در سال ۲۰۱۲، کنان^۸ و همکاران یک رویکرد یکپارچه‌ای از تئوری مطلوبیت چند شاخصه فازی و برنامه‌ریزی چند هدفه برای رتبه‌بندی و انتخاب بهترین تأمین‌کننده بر طبق معیار محیطی و اقتصادی و سپس تعیین مقدار سفارش بهینه در بین آن‌ها ارائه دادند. در مرحله اول

-
1. Chen
 2. TOPSIS
 3. Xia and Wu
 4. Analytic Hierarchy Process
 5. Rough Sets
 6. Weighted additive
 7. Wu
 8. Kannan

برای تحلیل اهمیت معیارها بر اساس ترکیب نظر تصمیم‌گیرندگان از روش تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس فازی استفاده کردند. سپس برنامه‌ریزی خطی چند هدفه برای در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف مانند کنترل کیفیت، ظرفیت و ... به کار گرفته می‌شود. تابع هدف مدل به طور هم‌زمان مقدار خرید را بیشینه و کل هزینه خرید را کمینه می‌سازد. کارایی و کاربرد رویکرد پیشنهادی با یک مطالعه موردی در شرکت تولیدی اتومبیل نشان داده شده است (کنان و همکاران، ۲۰۱۲).

اریکان^۱ در سال ۲۰۱۳، یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده چند منبعی را به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی چند هدفه در نظر گرفته است. توابع هدف شامل سه تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها، بیشینه‌سازی کیفیت و بیشینه‌سازی تحویل به موقع می‌باشد. برای حل مسئله، یک مدل ریاضی فازی و یک رویکرد حل جدید جهت برآوردن خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان برای اهداف فازی ارائه شده است. روش پیشنهادی می‌تواند به طور موثر برای به دست آوردن راه حل‌های غیر تحت سلطه مورد استفاده قرار گیرد. یک مثال عددی برای نشان دادن چگونگی این روش مورد استفاده قرار داده شده است (اریکان، ۲۰۱۳).

آقایی و همکاران، در سال ۲۰۱۴، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی برای انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن فاکتورهای کمی، کیفیتی و ریسک ارائه نمودند. همچنین در این مقاله، سیاست تخفیف مقداری نیز برای تعیین بهترین تأمین‌کننده و تخصیص مقادیر بهینه سفارش در نظر گرفته شده است. در مدل پیشنهادی، پنج تابع هدف برای کمینه کردن هزینه‌های خرید، موارد دیرکرد، قطعات برگشتی، ریسک و نرخ فروش فرموله شده بودند (آقایی و همکاران، ۲۰۱۴).

باتوهان آیهان^۲ و سلکوک کیلیک^۳ در سال ۲۰۱۵، یک مدل دو مرحله‌ای ترکیبی شامل فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (F-AHP^۴) و مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP^۵) ارائه نمودند. در مرحله‌ی اول، اوزان مربوط به هر شاخص برای هر نوع محصول

-
1. Erikan
 2. Batuhan Ayhan
 3. Selcuk Kilic
 4. Fuzzy-Analytical Hierarchy Process
 5. Mixed Integer Linear Programming

با تکنیک F-AHP تعیین می‌شود. در مرحله‌ی دوم، خروجی‌های مرحله‌ی اول به عنوان ورودی به مدل MILP استفاده می‌شود تا تأمین‌کننده و مقدار سفارش آن مشخص گردد (باتوهان آبهان و سلکووک کیلیک، ۲۰۱۵).

سبی^۱ و اتای^۲ در سال ۲۰۱۶، یک رویکرد فازی دو مرحله‌ای برای انتخاب تأمین‌کننده و مسئله‌ی تخصیص سفارش توسعه دادند. در مرحله‌ی اول، رویکرد مولتی‌مورا^۳ برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای استفاده شده است. در مرحله‌ی دوم، برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای تعیین مقدار سفارش تخصیص یافته به تأمین‌کنندگان منتخب مرحله‌ی قبل، استفاده شده است. مدل به صورت مسئله‌ی چندمحصولی، چندمنبعی و با در نظر گرفتن استراتژی تخفیف، زمان تحویل ارائه شده است (سبی و اتای، ۲۰۱۶).

ویتال سوتو^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۷، یک مسئله اندازه انباشته‌ی موجودی چند دوره‌ای با در نظر گرفتن کمبود موجودی، و سیاست تخفیف تدریجی و با هدف کمینه‌سازی هزینه سفارش، خرید و حمل و نقل برای تأمین‌کننده ارائه کردند. مدل ارائه شده برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط بوده است که برای سنجش اولیه، روش واگنر ویتین، روشهای برگشت پذیر و آزادسازی استفاده گردیده است. در نهایت، جهت اعتبار سنجی، مطالعه موردی از صنعت و ادبیات استفاده شده است (ویتال سوتو و همکاران، ۲۰۱۷).

ظاهری^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۷، دو مدل برای یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده در یک شبکه زنجیره تأمین تک خریدار، چند تأمین‌کننده و دو سطحی ارائه داده‌اند. این مدل، تخصیص سفارشات و مسئله انتخاب تأمین‌کننده را تحت سیاست تخفیف کلی هماهنگ می‌کند. برنامه ریزی دو سطحی برای به دست آوردن دو مدل استفاده شده است: (۱) مدل با خریدار به عنوان یک رهبر؛ (۲) مدل با فروشنده به عنوان یک رهبر. الگوریتم بهینه‌سازی

-
1. Cebi
 2. Otay
 3. MULTIMOORA
 4. Vital Soto
 5. Zaheri

از دحام ذرات (PSO) برای مقابله با پیچیدگی مدل و حل آن به کار برده شده است (ظاهری و همکاران، ۲۰۱۷).

ووراویچیا و نائنا^۱ در سال ۲۰۱۷، مسئله اندازه‌بندی موجودی چند محصولی و چند دوره ای را برای انتخاب تامین کننده تحت استراتژی تخفیف کلی در نظر گرفته‌اند. هدف، به حداقل رساندن هزینه کل موجودی، شامل هزینه خرید، سفارش، نگه داری و حمل و نقل برای تامین کننده در نظر گرفته شده است. مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط با نرم افزار لینگو حل شده است. در نهایت، مثال عددی برای نشان دادن روش راه حل ارائه شده است (ووراویچیا و نائنا، ۲۰۱۷).

با توجه به مطالعات انجام شده، پیش فرض اکثر مقالات در زمینه‌ی انتخاب تامین کننده، مجاز نبودن کمبود موجودی برای خریدار است تا مدل ساده‌تر گردد. همچنین به ندرت موردی مشاهده شد که حداقل یکی از انواع تخفیف در قیمت خرید که از طرف تامین کننده پیشنهاد می‌شود، به همراه یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند هدفه باشد، به طوری که در تعدادی از این تحقیقات، در نظر گرفتن تخفیف به عنوان یکی از پیشنهادات برای تحقیقات آتی ذکر شده است. در حالی که در دنیای واقعی، موضوع تخفیف یکی از شیوه‌های تشویق خریداران به تهیه مقدار بیشتر مواد و احتیاجات خود از تامین کنندگان به شمار می‌آید. حال این مقاله در صدد است تا فرض وجود مجاز بودن کمبود موجودی برای خریدار و فرض وجود تخفیف را در مسئله انتخاب تامین کننده لحاظ کند.

تعریف مسئله

فرضیات

در این بخش، مفروضات مدل پیشنهادی به شرح زیر خواهد بود:

- هدف اصلی، برنامه‌ریزی برای تامین سفارش خریدار می‌باشد.
- مسئله برای حالت تک محصولی در نظر گرفته می‌شود.
- مسئله با وجود استراتژی تخفیف مدل‌سازی خواهد شد.

1. Woarawichai, Naenna

- تعداد سطوح قیمت تأمین‌کنندگان یکسان فرض می‌شود.
- همه متغیرها و عوامل مسئله قطعی هستند.
- در تأمین قطعات، تعداد تأمین‌کنندگان مهم نیست.
- تقاضای سالانه مشتری نهایی ثابت است.
- سفارشات به صورت ترتیبی دریافت می‌شود. بدین معنی که همواره بعد از دریافت سفارش و مصرف کامل آن، سفارش بعدی دریافت می‌شود.

نمادها و پارامترها

i : اندیس تعداد تأمین‌کنندگان ($i=1, \dots, n$)

j : اندیس تعداد سطوح قیمت ($j=1, \dots, m$)

D : تقاضای سالانه محصول نهایی؛

n : تعداد تأمین‌کنندگان؛

m : تعداد سطوح قیمت تأمین‌کننده‌ها؛

A_i : هزینه ثابت سفارش‌دهی به تأمین‌کننده i ام؛

d_i : درصد کالاهای معیوب برای تأمین‌کننده i ام؛

p_{ij} : سطح قیمت پیشنهاد شده توسط تأمین‌کننده i در سطح قیمت j ؛

L_{ij} : حداقل میزان خریداری شده توسط تأمین‌کننده i در سطح قیمت j ؛

U_{ij} : حداکثر میزان خریداری شده توسط تأمین‌کننده i در سطح قیمت j ؛

h : هزینه نگهداری در واحد زمان برای خریدار؛

π : هزینه کمبود در واحد زمان برای خریدار؛

متغیرهای تصمیم

Q : مجموع مقدار سفارش به تأمین‌کنندگان در هر دوره؛

Q_i : تقاضای برآورده شده توسط تأمین‌کننده i ام در هر دوره ($\sum_{i=1}^n Q_i = Q$ و $Q = DT$)؛

b : مقدار کمبود (سفارش عقب افتاده) کل؛

b_i : مقدار سفارش عقب افتاده‌ای که توسط تأمین کننده i تأمین می‌شود.

x_{ij} : درصدی از تقاضا که توسط تأمین کننده i در سطح قیمت j برآورده می‌شود.

y_{ij} : درصدی از تقاضا که به عنوان سفارش عقب افتاده توسط تأمین کننده i در سطح قیمت j تأمین می‌شود.

z_{ij} : متغیر صفر و یک که در صورت انتخاب تأمین کننده i در سطح قیمت j مقدار ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است.

بر اساس تعاریف انجام شده، مدل پیشنهادی به صورت زیر به دست می‌آید:

توابع هدف و محدودیت‌ها

$$Min = \frac{D}{Q} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_i Z_{ij} + \frac{Q}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (hx_{ij}^2 + \pi y_{ij}^2) + \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{j-1} (p_{ij}(D(x_{ij} + y_{ij}) - L_{ij}) + p_{ik}(U_{ik} - L_{ik}))z_{ij}$$

$$Min = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D(x_{ij} + y_{ij}) d_i \quad (2)$$

Subject to:

$$(3) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} = 1$$

$$(4) \sum_{j=1}^m z_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, n$$

$$(5) L_{ij} z_{ij} \leq D(x_{ij} + y_{ij}) \leq U_{ij} z_{ij} \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m$$

$$(6) x_{ij} \leq z_{ij} \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m$$

$$(7) y_{ij} \leq z_{ij} \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m$$

$$(8) 0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad 0 \leq y_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m$$

$$(9) z_{ij} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m$$

تابع هدف (۱) به منظور کمیته‌سازی هزینه کل سالیانه خریدار و تابع هدف (۲) به منظور کمیته‌سازی حجم سالانه‌ی محصولات دریافتی معیوب از تأمین‌کنندگان یا به عبارت دیگر بیشینه‌سازی کیفیت محصول ایجاد شده است. محدودیت (۳) اطمینان می‌دهد که مجموع سفارشات از تأمین‌کنندگان برابر با تقاضای محصول در واحد زمان می‌باشد. محدودیت (۴) نشان می‌دهد که اگر تأمین‌کننده جهت تأمین تقاضا انتخاب شود، از لیست سطوح قیمت تأمین‌کننده فقط یک سطح قیمت انتخاب می‌شود. محدودیت (۵) مربوط به حدود بالا و پایین مقادیر تخفیف می‌باشد. محدودیت (۶) نشان می‌دهد که اگر تأمین‌کننده جهت تأمین تقاضا انتخاب نشود، میزان مشارکت تأمین‌کننده‌ی موردنظر در تأمین کالاها صفر خواهد بود، به عبارتی دیگر اگر تأمین‌کننده توسط خریدار انتخاب نشود کسر تأمین تقاضای محصول که به این تأمین‌کننده واگذار می‌شود صفر خواهد بود و به دنبال آن محدودیت (۷) نشان می‌دهد که اگر تأمین‌کننده توسط خریدار انتخاب نشود، کسر کمبود تقاضا توسط تأمین‌کننده‌ی موردنظر نیز صفر خواهد بود. محدودیت (۸) دامنه‌ی متغیرها را که بین صفر و یک می‌باشد را نشان می‌دهد و در آخر ماهیت دودویی تصمیم انتخاب تأمین‌کننده در محدودیت (۹) در نظر گرفته شده است.

دو تابع هدف تعریف شده در روابط (۱) و (۲) با یکدیگر در تعارضند (یکی کمیته‌کردن هزینه خریدار و دیگری کمیته‌کردن تعداد محصول معیوب یا بیشینه‌سازی سطح کیفیت). به عبارت دیگر، نمی‌توان جوابی را برای مسئله پیدا کرد که هر دو هدف در آن بهینه گردند. برای حل چنین مسائلی، از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان استفاده کرد. یک روش عمده برای حل مسائل چندمعیاره، روش وزن‌دهی است. روش وزن‌دهی، یکی از قدیمی‌ترین تکنیک‌های حل مسائل چندمعیاره است. در این روش با اعمال وزن، مسئله‌ی چندمعیاره، به مسئله‌ی تک‌معیاره تبدیل می‌شود (عمید و قدسی پور، ۱۳۸۶).

از آنجایی که هر دو تابع هدف کمیته‌سازی می‌باشند، بنابراین از رابطه‌ی (۱۰) برای روش وزن‌دهی استفاده می‌گردد:

$$\text{Min } Z = w_1 \times \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 \times \frac{Z_2 - Z_2^*}{Z_2^*} \quad (10)$$

که در رابطه‌ی (۱۰)، W_1 و W_2 ($W_2 \leq W_1$) به ترتیب وزن مربوط به تابع هدف اول و دوم می‌باشد. Z^* نیز، حل بهینه تابع هدف Z با محدودیت‌ها و بدون در نظر گرفتن تابع هدف دیگر است (اصغرپور، ۱۳۸۸؛ چوبینه^۱ و همکاران، ۲۰۰۶).

مدل پیشنهادی مورد نظر، یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی و دودویی می‌باشد. حل چنین مدل‌هایی با توجه به دودویی بودن آن‌ها، به وسیله‌ی روش‌های دقیق مشکل است. تابع هدفی که تنها هزینه‌ی خرید به صورت تخفیف افزایشی در آن وجود دارد مسأله‌ی NP-hard را به وجود می‌آورد (بارکه^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). مدل ارائه شده در این پژوهش علاوه بر هزینه‌ی خرید به صورت تخفیف افزایشی، هزینه‌ی سفارش دهی، نگهداری و کمبود نیز به آن اضافه شده است. بنابراین مدل برنامه‌ریزی غیر خطی ارائه شده نیز NP-hard است. برای حل مدل پیشنهادی از ترکیب دو الگوریتم جستجوی هارمونی بهبود یافته استفاده شده است (مهدوی^۳ و همکاران، ۲۰۰۷ و عمران^۴ و مهدوی، ۲۰۰۸).

روش حل

در چهار دهه گذشته الگوریتم‌های زیادی برای حل کردن مسائل بهینه‌سازی مهندسی ارائه شده‌اند که بیشتر آن‌ها بر اساس روش‌های برنامه‌ریزی عددی خطی و غیرخطی هستند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی عددی در یافتن جواب بهینه سراسری در مدل‌های ساده و ایده‌آل مفیدند اما در مواجهه با مسائل بهینه‌سازی واقعی و پیچیده محدودیت‌هایی داشته و کارآیی لازم را ندارند. مشکلات محاسباتی موجود در مسائل بهینه‌سازی مهندسی، محققین را وادار به استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مبتنی بر شبیه‌سازی جهت حل مسائل بهینه‌سازی نمود.

-
1. choobineh
 2. Burke
 3. Mahdavi
 4. Omran

فاکتور کلی الگوریتم‌های فرا ابتکاری ترکیب قواعد و احتمالات جهت پیروی از پدیده‌های طبیعی است. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم زنبور عسل، الگوریتم تکامل تصادفی جوامع و الگوریتم جستجوی ممنوعه اشاره کرد. اخیراً الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی هارمونی^۱، توسط گیمل^۲ و همکاران (۲۰۰۱) ارائه شده است که برای حل مسائل بهینه‌سازی از پدیده موسیقی الهام گرفته شده است. در فرآیند نواختن موسیقی، یک حالت خارق‌العاده از هارمونی جستجو می‌شود که بر اساس استانداردهای زیباشناسی برآورد می‌گردد، همین‌طور در فرآیند بهینه‌سازی نیز جواب بهینه سراسری که توسط تابع هدف ارزیابی می‌شود مورد جستجو قرار می‌گیرد. این عمده تشابه بین پدیده موسیقی و بهینه‌سازی در الگوریتم جستجوی هارمونی است.

الگوریتم جستجوی هارمونی

اساس کار الگوریتم جستجوی هارمونی از نحوه عملکرد موزیسین‌ها هنگام اجرای موسیقی الهام گرفته شده است. این الگوریتم اولین بار در سال ۲۰۰۱ توسط گیمل و همکاران به عنوان یک روش بهینه‌سازی فرا ابتکاری معرفی گردید. این الگوریتم دارای مفهومی ساده و به راحتی قابل پیاده‌سازی است. این الگوریتم در ابتدا برای محیط‌های گسسته طراحی شده و سپس در روند توسعه خود برای محیط‌های پیوسته نیز پیاده شد (گیمل و همکاران، ۲۰۰۱). مراحل و فازهای این الگوریتم به قرار زیرند: (لی^۳ و گیمل، ۲۰۰۴).

مقداردهی اولیه پارامترهای مسئله و الگوریتم

تنظیم مسئله بهینه‌سازی و تعیین پارامترهای الگوریتم: تابع هدف، قیود، پارامترهای الگوریتم، متغیرها و دامنه تغییرات مقادیر آنها در این مرحله تعریف می‌گردد. پارامترهای الگوریتم شامل HMS^۴ (اندازه حافظه هارمونی)، HMCR^۱ (نرخ بازبینی حافظه)، PAR^۲ (نرخ تعدیل گام) و NI^۳ (معیار توقف) می‌باشند.

1. Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm
2. Geem
3. Lee
4. Harmony Memory Size

در این قسمت، از متغیرهای ساختاری استفاده شده است. بدین صورت که هر یک از ساختارهای موجود در جواب‌های ایجاد شده، مبین یکی از ویژگی‌های جواب نیز می‌باشد. ساختار مربوط به متغیرهای مسئله در شکل (۱) ارائه شده است.

$$Z_{ij} : [i * j] double; X_{ij} : [i * j] double; Y_{ij} : [i * j] double$$

شکل ۱. ساختار جواب‌های مسئله

به عنوان مثال، در مورد ساختار جواب مربوط به Z_{ij} ، در صورتی که اقدام به خرید از تامین‌کننده i در سطح قیمت j نماییم، مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر در ماتریس مربوطه تخصیص می‌یابد. لازم به ذکر است از هر تامین‌کننده، حداکثر در یک سطح قیمت امکان خرید وجود دارد. جواب بصورت یک رشته تشکیل می‌گردد که در فرآیند حل به صورت یک ماتریس تغییر شکل می‌دهد. نمونه ساختار تشریح شده جهت مثالی با ۴ تامین‌کننده که در آن، تامین‌کننده ۱ دارای ۱ سطح قیمت، تامین‌کننده ۲ دارای ۴ سطح قیمت، تامین‌کننده ۳ دارای ۶ سطح قیمت و تامین‌کننده ۴ دارای ۵ سطح قیمت می‌باشند، در شکل (۲) نشان داده شده است.

۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$Z_{11}=1$	$Z_{12}=0$	0	0	0	0
$Z_{21}=0$	$Z_{22}=1$	$Z_{23}=0$	$Z_{24}=0$	0	0
$Z_{31}=0$	$Z_{32}=0$	$Z_{33}=1$	$Z_{34}=0$	$Z_{35}=0$	$Z_{36}=0$
$Z_{41}=0$	$Z_{42}=0$	$Z_{43}=0$	$Z_{44}=0$	$Z_{45}=1$	0

شکل ۲. ساختار مربوط به نحوه خرید از تامین‌کنندگان در سطوح قیمتی آنها

1. Harmony Memory Consideration Rate
2. Pitch Adjusting Rate
3. Number of Improvisation

جهت ایجاد مقادیر مربوط به X_{ij} و Y_{ij} نیز به همین صورت اقدام گردیده است با این تفاوت که اعداد بصورت تصادفی در بازه بین صفر و یک ایجاد می‌شوند و ماتریس‌های حاصل در ماتریس Z_{ij} ضرب و نتیجه بعنوان مقادیر اصلی وارد الگوریتم می‌گردند. بدین ترتیب اگر سطح قیمتی تأمین‌کننده ای در ماتریس Z_{ij} انتخاب نشده باشد، مقادیر متناظر آن نیز در ماتریسهای X_{ij} و Y_{ij} نیز برابر صفر خواهند بود.

برای بررسی محدودیت‌ها از روش تابع جریمه استفاده شده است. برای این منظور تابع برازش جدید $F(\mathbf{x})$ تعریف می‌گردد که حاصل تلفیق تابع برازش اصلی $f(\mathbf{x})$ و چندین تابع جریمه $P(\mathbf{x})$ می‌باشد. در واقع این توابع جریمه هر کدام مقدار تخطی از محدودیت‌ها را بیان می‌کنند. هر کدام از محدودیت‌ها که اهمیت بیشتری برای ما داشته باشد توسط تابع جریمه با وزن بیشتر کنترل می‌گردد. شکل کلی تابع برازش جدید به صورت معادله (۱۱) می‌باشد:

$$F(x) = f(x) + \sum_{i=1}^m w_i P_i(x) \quad i = 1, \dots, m \quad (11)$$

در معادله فوق، W_i ها وزن هر کدام از توابع جریمه می‌باشند. بنابراین اگر محدودیتی ارضا نگردد این عدم ارضا در تابع برازش ظاهر می‌شود تا الگوریتم بعد از چندین تکرار به سمت ارضای این محدودیت‌ها پیش رود. برای تبدیل محدودیت‌ها به توابع جریمه ابتدا محدودیت‌ها به صورت استاندارد تبدیل می‌شود. بنابراین دو دسته محدودیت وجود خواهد داشت. دسته‌ی اول محدودیت‌های کوچکتر یا مساوی و دسته دوم محدودیت‌های تساوی. برای محدودیت‌های تساوی، تابع جریمه به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود:

$$g(x) = 0 \rightarrow P(x) = \max [0, |g(x)|] \quad (12)$$

برای محدودیت‌های کوچکتر مساوی، تابع جریمه به صورت رابطه (۱۳) تعریف می‌شود:

$$g(x) \leq 0 \rightarrow P(x) = \max [0, g(x)] \quad (13)$$

در معادلات (۱۲) و (۱۳) مقدار $g(x)$ برابر با مقدار تخطی محدودیت از مقدار تعیین شده است. در مورد محدودیت تساوی چون تخطی چه مثبت و چه در حالت منفی وجود دارد، بنابراین از تابع قدرمطلق برای تابع جریمه استفاده می شود.

مقداردهی اولیه حافظه هارمونی

تنظیم حافظه هارمونی (HM^1): در این مرحله ماتریس حافظه هارمونی ایجاد می گردد. مقادیر متغیرهای تصمیم که به صورت تصادفی تولید می شوند درایه های این ماتریس را تشکیل می دهند. بردارهای حل ذخیره شده در حافظه هارمونی بر اساس مقدار تابع برازش مرتب می شوند.

$$HM = \begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ \dots \\ x^{HMS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_N^1 & f(x^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_N^2 & f(x^2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_N^{HMS} & f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (14)$$

در ماتریس (۱۴) پارامترهای $N, x, f(x)$ به ترتیب نشان دهنده متغیر تصمیم، تعداد متغیرهای تصمیم و تابع برازش می باشند.

ایجاد یک هارمونی جدید از حافظه هارمونی

تولید بردار هارمونی جدید: الگوریتم جستجوی هارمونی در انتخاب مقادیر متغیرهای تصمیم از سه قاعده بازبینی حافظه، تعدیل گام و آرایش تصادفی پیروی می کند. در این مرحله بردار هارمونی جدید بر اساس این قواعد تولید می گردد.

بازبینی حافظه: به هنگام تولید بردار هارمونی جدید مقادیر متغیرهای تصمیم می توانند با احتمال $HMCR (w.p.)$ از مقادیر متغیرهایی که قبلاً در ماتریس حافظه ذخیره شده اند، انتخاب شوند.

1. Harmony Memory

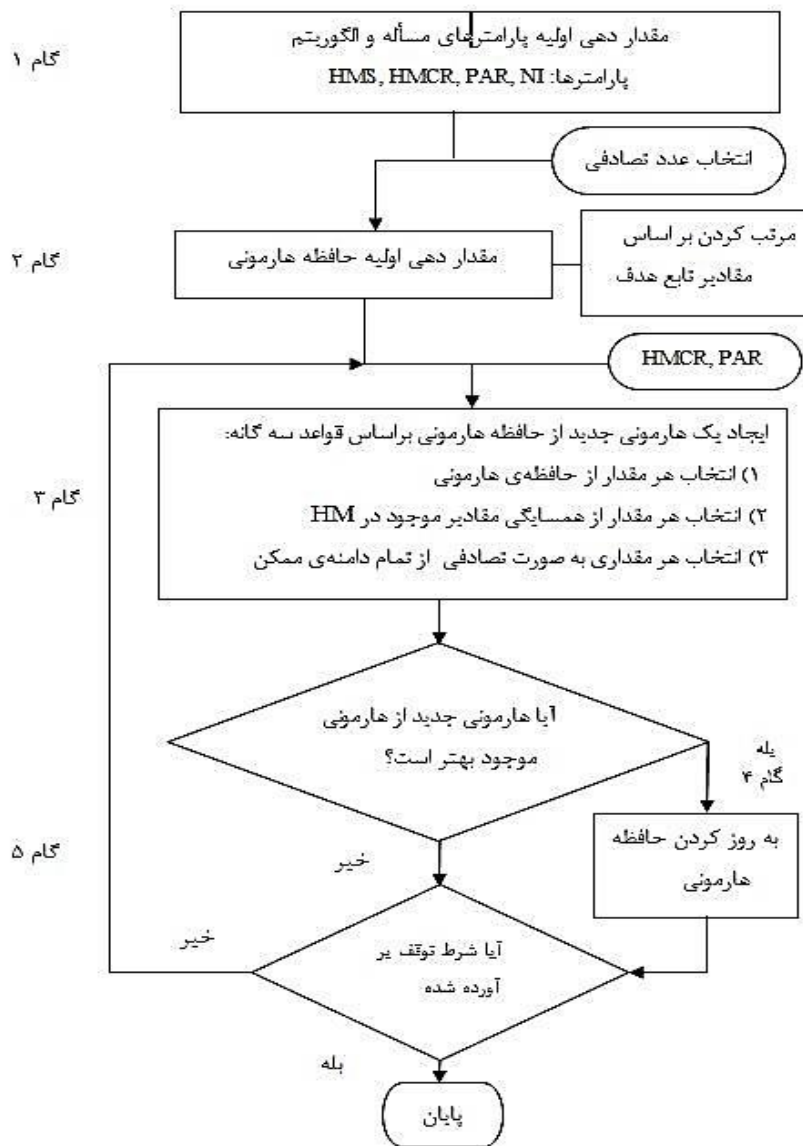
آرایش تصادفی: به هنگام تولید بردار هارمونی جدید مقادیر متغیرهای تصمیم می‌توانند با احتمال $(1-HMCR)$ از دامنه تعریف مقادیر به صورت تصادفی انتخاب شوند. تعدیل گام: متغیرهایی که بر اساس قاعده بازبینی حافظه تولید شده‌اند، می‌توانند با احتمال $(HMCR*PAR)$ مقادیری در همسایگی مقادیر فعلی اختیار کنند. این بدان معناست که مقادیر این دسته از متغیرها به احتمال $(HMCR*(1-PAR))$ دست نخورده باقی می‌ماند. در رابطه (\cdot) مقدار تصادفی در بازه $[0, 1]$ و bw^1 یک پهنای باند دلخواه می‌باشد.

به‌روز کردن حافظه هارمونی

بروزرسانی حافظه هارمونی: اگر بردار هارمونی جدید از بدترین هارمونی موجود در ماتریس حافظه هارمونی بهتر باشد، هارمونی جدید وارد و بدترین هارمونی موجود از ماتریس خارج می‌شود و سپس ماتریس مرتب می‌گردد. معیار مقایسه بردارهای هارمونی مقدار تابع برازش می‌باشد.

شرط توقف

اگر معیار توقف ارضاشود، محاسبه متوقف می‌گردد. در غیر این صورت، مراحل ۳ و ۴ تکرار می‌شوند. شکل (۳) مراحل الگوریتم جستجوی هارمونی را به طور خلاصه نشان می‌دهد (لی و گیم، ۲۰۰۴).



شکل ۳. روش بهینه سازی الگوریتم جستجوی هارمونی (لی و گیم، ۲۰۰۴)

اعتبارسنجی الگوریتم جستجوی هارمونی

برای نشان دادن درستی عملکرد الگوریتم جستجوی هارمونی، از این الگوریتم برای به دست آوردن جواب بهینه چند تابع استاندارد استفاده شده است. تابع رزبراک ۱ از جمله این توابع استاندارد است که به صورت رابطه‌ی (۱۵) تعریف می‌شود:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{Nd} (100(x_i - x_{i-1}^2)^2 + (x_{i-1} - 1)^2) \quad (15)$$

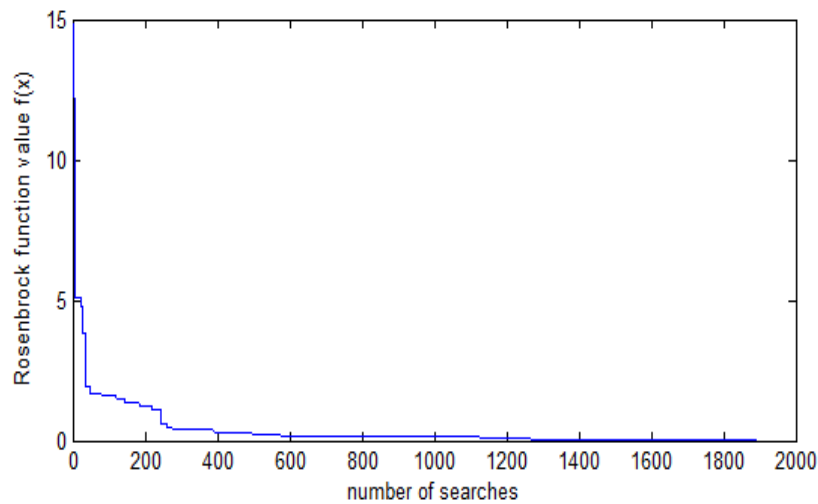
هدف یافتن مینیمم سراسری تابع فوق می‌باشد. دامنه متغیرهای آن $-2.048 \leq x_i \leq 2.048$ می‌باشد ($i=1, \dots, n$). مقدار بهینه تابع در نقاط x_i برای $i=1, \dots, n$ برابر است با $f(x_i)=0$. در این تحقیق برای تابع، دو متغیر در نظر گرفته شده است که برای $x_1=x_2=1$ مقدار مینیمم تابع صفر است. پارامترهای الگوریتم جستجوی هارمونی پیشنهاد شده در این مسأله عبارت است از:

$$HMS=10, HMCR=0.9, PAR=0.46, BW=0.96$$

ابتدا مقادیر متغیرهای x_1 و x_2 از دامنه $[-2.048, 2.048]$ با استفاده از رابطه (۱۴) به تعداد HMS عدد گذاری می‌شوند:

$$X_i^j = LBx_i + (UBx_i - LBx_i) * r \quad \text{for } i=1,2,\dots,n \ \& \ j=1,2,\dots,HMS \quad (16)$$

که n تعداد متغیرها و HMS اندازه حافظه هارمونی است. ترتیب قرارگیری آن‌ها بر اساس مقدار تابع هدف انجام شده است. عملیات الگوریتم جستجوی هارمونی روی حافظه ایجاد شده صورت می‌گیرد. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود بعد از ۲۰۰۰ تکرار مقدار تابع هدف برابر با مقدار بهینه‌اش (صفر) می‌شود و مقادیر متغیرها نیز تا حدود بسیار زیادی نزدیک به مقادیر بردار جواب بهینه (۱۰۱) می‌باشند.



شکل ۴. مقدار همگرایی به سمت مقدار مینیمم تابع Rosenbrock

پارامترهای الگوریتم جستجوی هارمونی

کیفیت پاسخ و سرعت همگرایی در الگوریتم جستجوی هارمونی به پارامترهای الگوریتم مربوط می‌باشد. از آنجایی که خروجی مسائل به شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند، لذا از روش تاگوچی به منظور تنظیم پارامترهای آن‌ها استفاده می‌کنیم. مزیت روش تاگوچی نسبت به دیگر روش‌های طراحی آزمایشات علاوه بر هزینه، بدست آوردن سطوح بهینه پارامترها در زمان کمتر است (فرالی^۱ و همکاران، ۲۰۰۶).

روش تاگوچی

برای تنظیم به روش تاگوچی ابتدا می‌بایست برای هر پارامتر تعدادی مقدار تعیین و سپس با مراجعه به جدول استاندارد آرایه‌های تاگوچی، آرایه متعامد^۲ مناسبی را انتخاب نمود. در جدول (۱) مقادیر کاندیدا برای هر کدام از عوامل آورده شده است.

1. Fraley

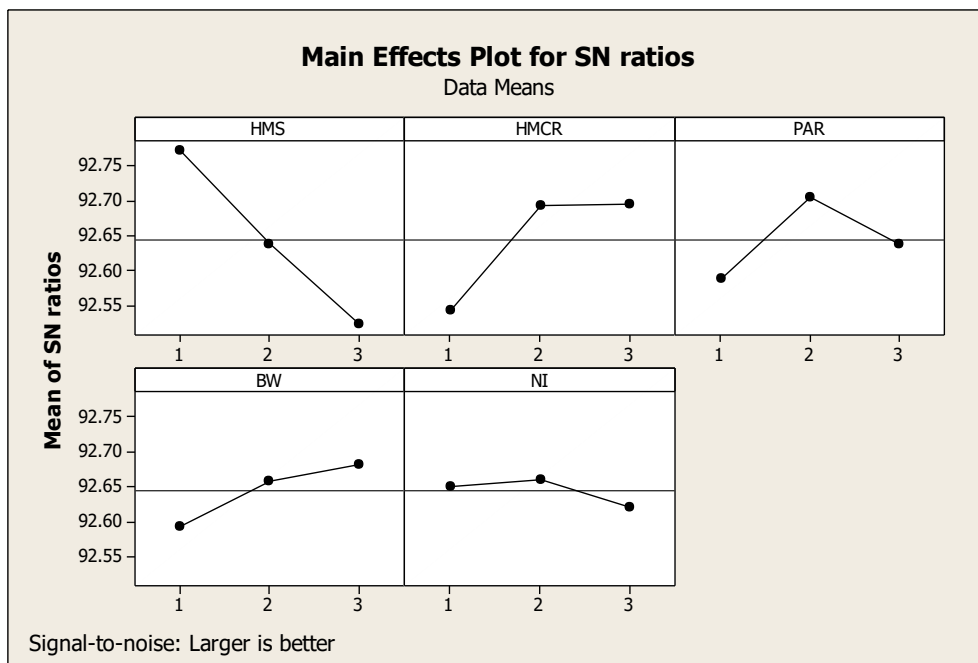
2. Orthogonal array (OA)

جدول ۱. مقادیر کاندیدای متغیرهای الگوریتم جستجوی هارمونی

فاکتورها	HMS	HMCR	PAR	BW	NI
۱	۳۰	۰/۷	۰/۲	۰/۰۱	۵۰۰۰
مقادیر	۴۰	۰/۸	۰/۴۵	۰/۰۲	۴۰۰۰
۳	۵۰	۰/۹	۰/۷	۰/۰۰۱	۲۵۰

در این تحقیق، مناسب‌ترین طرح، آزمایش‌های سه سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه $L27(3^3)$ به عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. تاگوچی به منظور تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد تحت عنوان نسبت S/N^1 را در نظر می‌گیرد که این نسبت در برگزیده میانگین و تغییرات است که این نسبت در هر سطحی بیشتر باشد مطلوب‌تر است (تاگوچی^۲، ۱۹۸۶). برای هر آزمایش (هر سطر) تعداد پنج تکرار انجام می‌شود و چون تمامی فاکتورها در جدول (۱) دارای تعدادی برابر با مقادیر کاندید می‌باشند، پس احتیاجی به استفاده از تکنیک‌های تطبیقی همانند سطح مجازی نمی‌باشد. حال با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول (۱)، نمودار متوسط پارامترها برای نرخ‌های S/N در سطوح مختلف در شکل (۳) آمده است. از شکل (۵) و تابع S/N اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر بهینه از پارامترهای الگوریتم جستجوی هارمونی بر اساس کیفیت پاسخ، همان سلولهایی از جدول (۱) می‌باشد که دور آن خط کشیده شده است که این مقادیر در جدول (۲) نشان داده شده است. الگوریتم فراابتکاری برای هر آزمایش تاگوچی اجرا می‌شود و سپس نسبت‌های S/N توسط نرم‌افزار Minitab 14.1 محاسبه می‌گردد.

1. Signal to noise (S/N)
2. Taghuchi



شکل ۵. مقادیر سطوح مختلف پارامترها در نسبت S/N در الگوریتم جستجوی هارمونی پیشنهادی

جدول ۲. مقادیر بهینه متغیرهای الگوریتم جستجوی هارمونی

فاکتورها	HMS	HMCR	PAR	BW	NI
مقادیر بهینه	۳۰	۰/۹	۰/۴۵	۰/۰۰۱	۴۰۰۰

تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش کیفیت پاسخ‌های تولید شده توسط الگوریتم جستجوی هارمونی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین منظور از نرم‌افزار لینگو ۱۱ جهت بهینه‌سازی مسأله و یافتن پاسخ‌های نزدیک به بهینه برای مسائل در مقیاس کوچک استفاده شده است. مدل‌های ایجاد شده به علت پیچیدگی مسأله از پیچیدگی بسیاری برخوردار بودند و حتی کوچک‌ترین مدل نیز از طول و پیچیدگی زیادی برخوردار بود. مثال‌های عددی در دو بخش ارائه می‌شوند. به دلیل پیچیدگی زیاد مدل ارائه شده، تنها مثال‌های عددی در مقیاس کوچک با نرم‌افزار لینگو قابل حل بود.

برای مثال‌های با مقیاس بزرگ تر لینگو قادر به حل نبوده (حتی در زمان‌های طولانی) و نتایج این مثال‌ها با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی به دست آمده است.

❖ مثال‌های عددی در مقیاس کوچک

مثال یک: در این مثال، دو تأمین‌کننده با یک سطح قیمت در نظر گرفته شده است. تقاضای محصول ۵۰۰، نرخ هزینهی نگهداری $0/2$ و هزینه هر واحد کمبود ۲۵ در نظر گرفته شده است.

اطلاعات حدود مقدار سفارش بر اساس توزیع یکنواخت بین (۴۰۰،۶۰۰) قیمت هر واحد محصول با توزیع یکنواخت بین (۱۶،۱۸) و هزینهی ثابت سفارش دهی بر اساس توزیع یکنواخت بین (۱۰،۲۰) در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳. اطلاعات هزینه و میزان سطح سفارش مثال شماره یک

تأمین‌کننده	سطح سفارش	قیمت واحد	درصد کالای معیوب
۱	$399Q \leq$	۱۷/۵	۰/۵
۲	$599Q \leq$	۱۶/۵	۰/۵

مثال دو: در این مثال دو تأمین‌کننده با دو سطح قیمت در نظر گرفته شده است. تقاضای محصول ۴۰۰، نرخ هزینهی نگهداری $0/4$ و هزینه هر واحد کمبود $0/2$ در نظر گرفته شده است.

اطلاعات حدود مقدار سفارش بر اساس توزیع یکنواخت بین (۲۰۰،۶۰۰)، قیمت هر واحد محصول با توزیع یکنواخت بین (۸،۱۵) و هزینهی ثابت سفارش دهی بر اساس توزیع یکنواخت بین (۱۰،۲۰) در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴. اطلاعات هزینه و میزان سطح سفارش مثال شماره دو

تأمین کننده	سطح سفارش	قیمت واحد	هزینه ی ثابت سفارش دهی	درصد کالای معیوب
۱	$399Q \leq$	۱۲	۳۰	۰/۴
	$600 \leq Q \leq 400$	۱۰		
۲	$299Q \leq$	۱۳	۵	۰/۲
	$500 \leq Q \leq 300$	۹		

مقایسه نتایج جستجوی هارمونی و پاسخ دریافتی از لینگو برای دو مثال در مقیاس کوچک می تواند به تخمین میزان نزدیکی به پاسخ بهینه الگوریتم کمک نماید. جدول (۵) مقایسه بین این دو روش حل را نمایش می دهد. مقدار تابع هدف بدست آمده در جدول (۵)، همان تابع هدف Z (تابع تک هدفه حاصل از دو تابع هدف اصلی با روش وزن دهی) می باشد که فرمول آن از رابطه ی (۱۰) مشخص شده است. همچنین فرض شده است که مقادیر وزن ها توسط تصمیم گیرنده برابر با: ($w_1=0.7, w_2=0.3$) اعلام شده باشد.

به منظور تجزیه و تحلیل نتایج این دو روش، از میزان انحراف بین نتایج دو تابع هدف از فرمول (۱۴) برای محاسبه آن استفاده شده است.

$$(14) \quad \text{میزان انحراف} = (C_{HS} - C_{LINGO} / C_{LINGO} * 100)$$

در فرمول (۱۴) همان C_{HS} همان تابع هزینه (تابع هدف) به دست آمده با الگوریتم جستجوی هارمونی و C_{LINGO} تابع هدف به دست آمده در لینگو می باشد.

جدول ۵. مقایسه نتایج و زمان حل جستجوی هارمونی و لینگو برای مسائل مقیاس کوچک

شماره مسأله	n	m	HS		LINGO	
			تابع هدف	زمان CPU (s)	تابع هدف	زمان CPU (s)
۱	۲	۱	۰/۹۸۵۹	۳۰	۰/۹۸۶۷	۳
۲	۲	۲	۰/۴۵۱۸	۵۶	۰/۴۵۲۰	۱۵

همان‌طور که مشخص است، لینگو مسائل کوچک را در زمان کمتر و تا حدی بهتر از الگوریتم جستجوی هارمونی حل می‌کند اما جوابگوی حل مسائل با مقیاس بزرگ نمی‌باشد. با توجه به این که الگوریتم جستجوی هارمونی در دو مسأله کوچک جوابی بسیار نزدیک به بهینه به دست آورده است، بنابراین می‌توان انتظار داشت که مسائل بزرگ را در زمان قابل قبول و کیفیت مناسب حل کند.

❖ مثال‌های عددی در مقیاس بزرگ

اطلاعات مربوط به مثال‌های عددی (به جز اطلاعات مربوط به هزینه و سطح سفارش به دلیل حجم زیاد)، در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶. اطلاعات تقاضا، نرخ هزینه نگهداری و کمبود مثال‌های عددی بزرگ

شماره مساله	مقدار تقاضا	نرخ هزینه نگهداری	هزینه هر واحد کمبود
۳	۲۵۰۰	۱۵	۱۵
۴	۳۰۰۰	۰/۲	۰/۲۵
۵	۱۰۰۰۰	۰/۲	۲۰۰
۶	۱۴۰۰۰	۱۱	۱۲
۷	۵۰۰۰	۱۰۰	۵۰
۸	۱۵۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱

جدول (۷) نتایج و زمان حل برای شش مسأله را نشان می‌دهد.

جدول ۷. نتایج و زمان حل جستجوی هارمونی برای مسائل مقیاس بزرگ

HS		m	n	شماره مسأله
زمان CPU (s)	تابع هدف			
۷۱	۰/۵۱۹۴۲۸	۳	۲	۳
۴۵	۰/۴۱۹۵۸۲	۲	۳	۴
۷۰	۰/۸۱۳۳۰۵	۳	۳	۵
۱۱۶	۰/۲۴۲۲۴۱	۵	۳	۶
۸۸	۰/۹۷۲۷۴	۴	۴	۷
۱۰۱	۰/۸۸۸۹۲۲	۵	۵	۸

جدول (۷) نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی هارمونی به کار رفته قادر به حل مسائل در مقیاس بزرگ و در زمان قابل قبول است، همانند مسائل شش، هفت و هشت که دارای بیشترین تأمین کننده و به خصوص بیشترین سطح قیمت می‌باشند. همان‌طور که پیشتر نیز گفته شد، مدل ارائه شده در این تحقیق بسیار پیچیده است، به طوری که با افزایش سطح قیمت تأمین کنندگان پیچیدگی مسأله به شدت زیاد می‌شود. تنها مثال شماره‌ی یک که شامل دو تأمین کننده و هر کدام یک سطح قیمت و مثال شماره‌ی دو که دو تأمین کننده و هر کدام شامل دو سطح قیمت می‌باشند با نرم افزار لینگو قابل حل بودند. به علت افزایش تعداد تأمین کنندگان و به خصوص افزایش سطح قیمت، مثال‌های سه تا هشت با نرم افزار لینگو قابل حل نبودند. با به کارگیری الگوریتم جستجوی هارمونی بهبود یافته، شش مثال در مقیاس بزرگ در زمانی قابل قبول حل شدند.

برای نمونه، مثال پنج را در نظر می‌گیریم. این مسأله شامل سه تأمین کننده برای تأمین تقاضای خریدار است که هر کدام از آن‌ها نیز محصول را بر اساس میزان سفارش خریدار در سه سطح قیمت عرضه می‌کنند. جدول (۸) مقادیر به دست آمده متغیرهای تصمیم مسأله را نشان می‌دهد.

جدول (۸). نتایج HS برای مثال شماره‌ی پنج

متغیر	جواب HS	متغیر	جواب HS	متغیر	جواب HS
۱۱X	۰	۲۱X	۰	۳۱X	۰/۲۲۵۷۲۹
۱۲X	۰/۳۲۷۸۰۹	۲۲X	۰/۴۴۶۶۶۱	۳۲X	۰
۱۳X	۰	۲۳X	۰	۳۳X	۰
۱۱Y	۰	۲۱Y	۰	۳۱Y	۰
۱۲Y	۰	۲۲Y	۰	۳۲Y	۰
۱۳Y	۰	۲۳Y	۰	۳۳Y	۰
۱۱Z	۰	۲۱Z	۰	۳۱Z	۱
۱۲Z	۱	۲۲Z	۱	۳۲Z	۰
۱۳Z	۰	۲۳Z	۰	۳۳Z	۰

جدول (۸) نشان می‌دهد که هر سه تأمین‌کننده برای تأمین تقاضای خریدار انتخاب شده‌اند. متغیر Z_{12} مقدار یک را به خود اختصاص داده است، و این بدین معناست که با توجه به مقدار بهینه‌ی سفارشی که خریدار از تأمین‌کننده‌ی یک دارد، سطح قیمت دوم تأمین‌کننده‌ی یک انتخاب می‌شود. به همین ترتیب مقادیر متغیرهای Z_{22} و Z_{31} نیز یک می‌باشد و این بدین معناست که سطح قیمت دوم تأمین‌کننده‌ی دوم و سطح قیمت اول تأمین‌کننده‌ی سوم انتخاب شده‌اند.

با توجه به اطلاعات ذکر شده برای مثال پنج، هزینه‌ی نگهداری $۰/۲$ و هزینه‌ی کمبود ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد با توجه به هزینه‌ی بسیار زیادی که در صورت کمبود موجودی برای خریدار ایجاد می‌شود، متغیرهای عدم تأمین تقاضا (Y_{ij}) مقداری را به خود اختصاص نداده و صفر شده‌اند. در مقابل چون هزینه نگهداری محصول برای خریدار به مراتب کمتر از هزینه‌ی کمبود آن است (هزینه‌ی نگهداری $۰/۰۰۱$ برابر هزینه‌ی کمبود)، بنابراین خریدار سیاست نگهداری موجودی را برمی‌گزیند.

قابل ذکر است که در مدل پیشنهادی، هزینه‌ی نگهداری موجودی و هزینه‌ی کمبود به صورت متقابل عمل می‌کنند. بدین صورت که اگر هزینه‌ی کمبود و نگهداری هر دو مقداری

نزدیک به هم داشته باشند، خریدار به یک نسبت نزدیک به هم محصول را نگهداری یا اجازه‌ی کمبود آن را می‌دهد. اگر هزینه‌ی نگهداری محصول بیشتر از هزینه‌ی کمبود آن باشد، خریدار به جای نگهداری محصول دریافتی از تأمین‌کنندگان، تأمین تقاضا را به تأخیر می‌اندازد و در مقابل اگر هزینه‌ی کمبود موجودی از نگهداری آن در انبار بیشتر باشد، خریدار ترجیح می‌دهد که محصول را بیشتر سفارش دهد و در انبار نگهداری کند تا این که با کمبود موجودی روبرو شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

همان‌گونه که عنوان شد، مسأله‌ی انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های دپارتمان خرید است که به دلیل استراتژی‌هایی که در زنجیره‌ی تأمین وجود دارد، روز به روز بر اهمیت آن افزوده می‌شود. انتخاب تأمین‌کننده، یک مسأله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره است که در آن اهداف از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. این تحقیق با ارائه مدل چندهدفه با در نظر گرفتن امکان کمبود موجودی برای خریدار، این امکان را برای خریدار به وجود می‌آورد که در صورت رسیدن تقاضا و خالی بودن سیستم از موجودی، تأمین تقاضاهای رسیده از ذخیره به تأخیر افتد تا زمانی که کالای خریداری شده برسد. هم‌چنین با توجه به این امر که در دنیای واقعی، معمولاً میزانی تخفیف در پرداخت‌ها از طرف تأمین‌کنندگان و به منظور جلب توجه خریداران در نظر گرفته می‌شود، مدلی که در این تحقیق به کار رفت می‌تواند به تصمیم‌گیرنده در انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب کمک کند. مدل ریاضی ارائه شده یک مدل غیرخطی دودیی می‌باشد که برای حل آن از الگوریتم جستجوی هارمونی استفاده شد. نتایج حاصل از الگوریتم برای مسائل در مقیاس کوچک با لینگو مقایسه شد و نتایج نشان داد که الگوریتم جستجوی هارمونی، پاسخی موثق در زمان حلی منطقی به دست می‌آورد.

با توجه به نتایج و یافته‌های این تحقیق می‌توان پیشنهادهایی را برای تحقیقات آتی و در ارتباط با مسأله‌ی انتخاب تأمین‌کننده ارائه داد. مدل به کار رفته برای انتخاب تأمین‌کننده در این تحقیق برای حالتی بود که تنها یک محصول مدنظر خریدار است. لذا می‌توان حالتی را که

خریدار قصد خرید چندین محصول را از تأمین‌کنندگان مختلف دارد، مورد تحقیق و بررسی قرار داد. می‌توان معیارهای دیگری را در مسأله مدنظر قرار داد. مثلاً می‌توان از توابع هدف دیگری مانند کاهش سطح ریسک و افزایش سطح سرویس و خدمت‌دهی به مشتریان (به معنی تحویل به موقع کالا) نیز استفاده کرد. در این تحقیق برای تابع هدف تنها هزینه‌های مربوط به خریدار در نظر گرفته شده است، اما امروزه توجه به منافع تأمین‌کنندگان در استراتژی‌های مدیریت زنجیره‌ی تأمین، یکی از عوامل کلیدی موفقیت برای ارتباط بلندمدت و راهبردی با تأمین‌کنندگان است. بدین سبب در نظر گرفتن نگرشی که در آن تولیدکنندگان (خریداران) به جای این که فقط به افزایش سود خود توجه داشته باشند، منافع تأمین‌کنندگان را نیز مدنظر قرار دهند و مدل یکپارچه‌ی خریدار-تأمین‌کننده در نظر گرفته شود. این تحقیق می‌تواند از نظر رویکرد حل نیز توسعه یابد. گرچه روش جستجوی هارمونی کارآیی خوبی را از خود نشان داد ولی در این تحقیق هدف یافتن بهترین روش برای حل مدل فوق نبود. بنابراین تحقیق در رابطه با یافتن روشی دقیق یا ابتکاری برای حل مدل مهم است و می‌تواند دارای ارزش باشد.

منابع

اصغرپور محمدجواد، (۱۳۸۸). *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم.

شوندی حسن، (۱۳۸۵). *نظریه‌ی مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مهندسی صنایع و مدیریت*، انتشارات گسترش علوم پایه، تهران.

عمید امین، قدسی پور سید حسن، (۱۳۸۶). *مدل چند هدفه فازی وزن‌دار برای تخصیص سفارشات خرید به تأمین‌کنندگان در یک زنجیره تأمین*، پیام مدیریت، شماره ۲۳ و ۲۴، ص ۵۳-۷۶.

Aghai, sh., Mollaverdi, N., Sabbagh, M.S. (2014). *A fuzzy multi-objective programming model for supplier selection with volume discount and risk criteria*. International Journal of Advance Manufacturing Technology, 71, 1483-1492.

AlejandroVital, Soto, Nusrat, T.Chowdhury, Maral Z.Allahyari, Ahmed Azab, Mohammed F.Baki, (2017). *Mathematical modeling and hybridized evolutionary LP local search method for lot-sizing with supplier selection, inventory shortage, and quantity discounts*. Computers & Industrial Engineering, 109, 96-112

Amid, A., Ghodsypour, S.H. (2008). *An additive weighted fuzzy programming for supplier selection problem in a supply chain*. International Journal of Industrial Engineering & Production Research, 19, 1-8.

Amid, A., Ghodsypour, S.H., O'Brein, C. (2006). *Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain*. International Journal of Production Economics, 104, 394-407.

Amid, A., Ghodsypour, S.H., O'Brein, C. (2011). *A weighted max-min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain*. International Journal of Production Economics, 131, 139-145.

Amid, A., Ghodsypour, S.H., O'Brien, C. (2009). *A weighted additive fuzzy multi objective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain*. Int. J. Production Economics, 121, 323-332.

Assaoui, N., Haouari, M., Hassini, E. (2007). *Supplier selection and order lot sizing modeling: A review*. Computers & Operations Research, 34, 3516-3540.

Batuhan Ayhan, M., Selcuk Kilic, H., (2015). *A two stage approach for supplier selection problem in multi-item/multi-supplier environment with quantity discounts*. Computers & Industrial Engineering, 85, 1-12.

Burke, G. J., Carrillo, J., Vakharia, A. J. (2008). *Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts*. European Journal of Operational Research, 186, 317-329.

Cebi, F., Otay, I. (2016). *A two-stage fuzzy approach for supplier evaluation and order allocation problem with quantity discounts and lead time*. Information Sciences, 339, 143-157.

Chen, C.T., Lin, C.T., Huang, S.F. (2006). *A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management*. International Journal of Production Economics, 102, 289-301.

Choobineh F.F., Mohebbi E., Khoo H., (2006). *A multi-objective tabu search for a single-machine scheduling problem with sequence-dependent setup times*. European Journal of Operational Research, 175, 318-337.

Dickson, G.W. (1966). *An analysis of vendor selection systems and decisions*. Journal of Purchasing, 2, 5-17.

Dulmin, R., Mininno, V. (2003). *Supplier selection using a multi-criteria decision aid method*. Journal of purchasing and supply management, 9, 177-187.

Fraley, S., Oom, M., Terrien, B., & Date, J.Z. (2006). *Design of experiments via Taguchi methods. Orthogonal Arrays*. The Michigan Chemical Process Dynamic and Controls Open Text Book, USA.

Gaballa A. A (1974). *Minimum cost allocation of tenders*. Operational Research Quarterly, 25, 389-398.

Geem, Z.W., Kim, J.H., Loganathan, G.V. (2001). *A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony search*. Simulation, 76, 60-68.

- Gheidar Kheljani, J., Ghodsypour, S. H., O'Brein, C. (2009). *Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection*. Int. J. Production Economics, 121, 482-493.
- Lee, K.S., Geem, Z. W., (2004). *A new structural optimization method based on the harmony search algorithm*. Computers and Structures, 82, 781-798.
- Mahdavi, M., Fesanghary, M., Damangir, E. (2007). *An improved harmony search algorithm for solving optimization problems*, Applied Mathematics and Computation, 188, 1567-1579.
- Omran, M. G. H., Mahdavi, M. (2008). *Global-best harmony search*. Applied Mathematics and Computation, 198, 643-656.
- Shaligram, P. (2008). *A two objective model for decision making in a supply chain*. Int. J. Production Economics, 111, 378-388.
- Taguchi, G., (1986). *Introduction to quality engineering*. White Plains: Asian Productivity Organization/UNIPUB.
- Tempelmeier, H. (2002). *A simple heuristic for dynamic order sizing and supplier selection with time varying data*. Production and Operations Management, 11, 499-515.
- Weber, C. A., Current, J. R., Benton, W. C. (1991). *Vendor selection criteria and methods*. European Journal of Operation Research, 50, 2-18.
- Woarawichai, C., Naenna, T., (2017). *Multi-product and multi-period inventory lot-sizing with supplier selection under quantity discount*, International Journal of Services and Operations Management, 28, 2, 264 – 277.
- Wu, D.D., Zhang, Y., Wu, D., Olson, D. L. (2010). *Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and a possibility approach*. European Journal of Operational Research, 200, 774-787.
- Xia, W., Wu, Z. (2007). *Supplier selection with multiple criteria in volume discount environment*. OMEGA-International Journal of Management Science, 35, 494-504.
- Zaheri, F., Zandieh, M., Taghavifard, M.T., (2017). *Bi-level programming for supplier selection under quantity discount policy*. Scientia Iranica, 24, 4, 2095-2104