فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هفدهم، شماره ۵۳، تابستان ۹۸
صفحات ۱۵۸-۱۲۷

ارائه و حل یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه جهت انتخاب تأمین‌کننده با در نظرگرفتن 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 کاراتر 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. دراین مدل تحقق دو هدف، یکی کمینه‌سازی هزینه خریدار و دیگری بیشینه‌سازی سطح کیفیت محصول مد نظر است. به‌منظور حل مدل پیشنهادی انتخاب تأمین‌کننده، الگوریتم جستجوی‌هارمونی بهبود یافته به‌کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم به‌کار 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 تأمین کننده، تصمیم گیری چند هدفه، تخفیف تدریجی، سفارش عقب افتاده، الگوریتم جستجوی‌هارمونی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* 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).

مسأله‌ی انتخاب تأمین‌کننده یک مسأله‌ی تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که تحت تأثیر عوامل متعددی است که اغلب در تقابل با یکدیگرند (عمید و همکارن، ۲۰۰۶). دیکسون[1] در سال ۱۹۶۶، ۲۳ معیار را که توسط مدیران خرید در مسائل گوناگون انتخاب تأمین‌کننده در نظر گرفته می‌شوند، شناسایی کرد. در نظرگرفتن توابع هدفی مانند مینیمم‌کردن هزینه‌ها، ماکزیمم‌کردن کیفیت و مینیمم‌کردن زمان تحویل به‌صورت هم‌زمان، ماهیت مسأله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را به یک مسأله‌ی چندهدفه تبدیل کرده است (شالگرام[2]، ۲۰۰۸). به‌علاوه تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده به این علت که توابع هدف مختلفی باید به‌طور هم زمان 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[3]، 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[4]، 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 تأمین کننده، در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ منتشر شد؛ در زمانی که کاربردهای برنامه‌ریزی خطی و محاسبات علمی در اول راه خود قرار داشت (آسای[1] 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[2] 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 تأمین‌کننده، حداقل سازد (گابالا، ۱۹۷۴).

در سال ۱۹۸۶، ناراسیمها و استویناف[1] 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 تأمین‌کننده را حداقل نمایند (قیدر خلجانی و همکاران، ۲۰۰۹). وبر[2] و همکاران در سال ۱۹۹۱، با مرور ۷۴ مقاله که معیارهای انتخاب تأمین‌کننده را مورد بحث و بررسی قرار داده بودند، نشان دادند که مهم‌ترین معیار برای انتخاب تأمین‌کننده، قیمت است. آنها به این نتیجه نیز رسیدند که انتخاب تأمین‌کننده، یک مسئله‌ی چند معیاره است و اولویت معیارها به موقعیت خرید بستگی دارد (وبر و همکاران، ۱۹۹۱).

سارکیس و سمپل[3] 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[4] و همکاران در سال ۲۰۰۰ مطالعه‌ای را انجام دادند که در آن، علاوه بر مروری بر مدل‌های به کاررفته در انتخاب تأمین‌کننده، استفاده از مفهوم هزینه‌ی کل مالکیت را به عنوان پایه و اساسی جهت مقایسه‌ی مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد دادند (عمید و قدسی‌پور، ۲۰۰۸). تمپلمیر[5] در سال ۲۰۰۲، یک الگوریتم ابتکاری را برای حل یک فرمول مختلط عدد صحیح خطی جهت انتخاب تأمین‌کننده و مسأله اندازه‌بندی برای یک محصول در صورت وجود تقاضای پویا و عدم وجود محدودیت ظرفیت تأمین‌کننده، ایجاد نمود (تمپلمیر، ۲۰۰۲).

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

چن[1] و همکاران در سال ۲۰۰۶، یک مدل فازی را برای تعیین درجه و رتبه تـأمین‌کننـده‌هـا بـر اساس مفاهیم تاپسیس[2] ارائه نمودند (چن و همکاران، ۲۰۰۶). ژیا و وو[3] در سال ۲۰۰۷، مـدلی را به روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP)[4]، مجموعه‌های هموار[5] و تصمیم‌گیری چنـدمعیاره، بـا 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[6] را بـا فـرض تخفیـف در خرید تعداد بیشتر کالا در زنجیره‌ی تأمین را ایجاد کردند (عمید و همکاران، ۲۰۰۹).

وو[7] و همکـاران در سـال ۲۰۱۰، یـک مـدل برنامـه‌ریـزی چنـد هدفـه فـازی را بـرای انتخـاب 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 تصمیم گیرنده 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[8] و همکاران یک رویکرد یکپارچه ای 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[1] در سال ۲۰۱۳، یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده چند منبعی را به صورت یک مسئله برنامه ریزی خطی چند هدفه در نظر گرفته است. توابع هدف شامل سه تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها، بیشینه سازی کیفیت و بیشینه سازی 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 نظرگرفتن فاکتورهای کمیتی، 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[2] و سلکوک کیلیک[3] در سال ۲۰۱۵، یک مدل دو مرحله ای ترکیبی شامل فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی(F-AHP[4]) و مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح حختلط (MILP[5]) 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 آیهان و سلکوک کیلیک،۲۰۱۵) .

سبی[1] و اتای[2] در سال ۲۰۱۶، یک رویکرد فازی دو مرحله‌ای برای انتخاب تأمین‌کننده و مسئله‌ی تخصیص سفارش توسعه دادند. در مرحله‌ی اول، رویکرد مولتیمورا[3] 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، چند منبعی و با درنظرگرفتن استراتژی تخفیف، زمان تحویل ارائه شده است (سبی و اتای، ۲۰۱۶).

ویتال سوتو[4] 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 تامین کننده 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[5] و همکاران در سال ۲۰۱۷، دو مدل برای یک مسئله انتخاب تامین کننده در یک شبکه زنجیره تامین تک خریدار، چند تامین کننده و دو سطحی ارائه داده‌اند. این مدل، تخصیص سفارشات و مسئله انتخاب تامین کننده 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 بهینه سازی

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

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

ووراویچیا و نائنا[1] 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 تأمین‌کننده، 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 تأمین‌کننده پیشنهاد می‌شود، به همراه یکی از تکنیک‌های تصمیم گیری چند هدفه باشد، به طوری‌که 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 تأمین‌کنندگان 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 تأمین‌کننده لحاظ کند.

تعریف مسئله

فرضیات

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

- هدف اصلی، برنامه‌ریزی برای تأمین 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 $(i=1,\ldots,n)$

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

D: تقاضای سالانه محصول نهایی؛

n: تعداد تأمین‌کنندگان؛

m: تعداد سطوح قیمت تأمین‌کننده‌ها؛

A_i: هزینه ثابت سفارش‌دهی به تأمین‌کننده iام؛

d_i: درصد کالاهای معیوب برای تأمین‌کننده iام؛

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 iام در هر دوره ($Q = DT$ و $\sum_{i=1}^{n} Q_i = Q$)؛

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 تأمین‌کننده 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 به‌دست می‌آید:

توابع هدف و محدودیت‌ها

$$Min = \frac{D}{Q}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}A_i Z_{ij} + \frac{Q}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(hx_{ij}^2 + \pi y_{ij}^2) + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{j-1}(p_{ij}(D(x_{ij}+y_{ij}) - L_{ij}) + p_{ik}(U_{ik} - L_{ik}))z_{ij} \quad (۱)$$

$$Min = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}D(x_{ij}+y_{ij})\,di \quad (۲)$$

Subject to:

$$(۳)\ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}x_{ij} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}y_{ij} = 1$$

$$(۴)\ \sum_{j=1}^{m}z_{ij} \le 1 \qquad i = 1,...,n$$

$$(۵)\ L_{ij}z_{ij} \le D(x_{ij}+y_{ij}) \le U_{ij}z_{ij} \qquad i = 1,...,n \quad , j = 1,...,m$$

$$(۶)\ x_{ij} \le z_{ij} \qquad i = 1,...,n \quad , j = 1,...,m$$

$$(۷)\ y_{ij} \le z_{ij} \qquad i = 1,...,n \quad , j = 1,...,m$$

$$(۸)\ 0 \le x_{ij} \le 1 \quad 0 \le y_{ij} \le 1 \qquad i = 1,...,n \quad , j = 1,...,m$$

$$(۹)\ z_{ij} \in \{0,1\} \qquad i = 1,...,n \quad , j = 1,...,m$$

تابع هدف (۱) به منظور کمینه‌سازی هزینه کل سالیانه خریدار و تابع هدف (۲) به منظور کمینه‌سازی حجم سالانه‌ی محصولات دریافتی معیوب از تامین‌کنندگان یا به عبارت دیگر بیشینه سازی 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 تأمین کننده 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 تأمین‌کالاها صفر خواهد بود، به عبارتی دیگر اگر تأمین‌کننده توسط خریدار انتخاب نشود کسر تأمین‌تقاضای 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 کمینه کردن هزینه خریدار و دیگری کمینه کردن تعداد محصول معیوب یا بیشینه سازی سطح کیفیت). به عبارت دیگر، نمی توان 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 چند معیاره، روش وزن‌دهی است. روش وزن‌دهی، یکی از قدیمی‌ترین تکنیک‌های حل مسائل چند معیاره است. در این روش با اعمال وزن، مسئله‌ی چند معیاره، به مسئله‌ی تک معیاره تبدیل می‌شود (عمید و قدسی پور، ۱۳۸۶).

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

$$Min\ \ Z = w_1 \times \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 \times \frac{Z_2 - Z_2^*}{Z_2^*} \qquad (۱۰)$$

که در رابطه‌ی (۱۰)، W_1 و W_2 ($W_2 =< W_1$) به ترتیب وزن مربوط به تابع هدف اول و دوم می‌باشد. Z^* نیز، حل بهینه تابع هدف Z با محدودیت‌ها و بدون در نظرگرفتن تابع هدف دیگر است (اصغرپور، ۱۳۸۸؛چوبینه[1] و همکاران،۲۰۰۶).

مدل پیشنهادی مورد نظر، یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی و دودویی می‌باشد. حل چنین مدل-هایی 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 مسأله ای NP-hard را به وجود می‌آورد (بارکه[2] 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 جستجوی‌هارمونی بهبود یافته استفاده شده است (مهدوی[3] و همکاران، ۲۰۰۷ و عمران[4] 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 می توان به الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم زنبور عسل، الگوریتم تکامل تصادفی جوامع و الگوریتم جستجوی ممنوعه اشاره کرد.
اخیرا الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی‌هارمونی[1]، توسط گیم[2] و همکاران (۲۰۰۱) ارائه شده است که برای حل مسائل بهینه سازی از پدیده موسیقی الهام گرفته شده است. در فرآیند نواختن موسیقی، یک حالت خارق‌العاده ازهارمونی جستجو می‌شود که بر اساس استانداردهای زیباشناسی برآورد می گردد، همین‌طور در فرآیند بهینه‌سازی نیز جواب بهینه سراسری که توسط تابع هدف ارزیابی می‌شود مورد جستجو قرار می گیرد. این عمده تشابه بین پدیده موسیقی و بهینه‌سازی در الگوریتم جستجوی‌هارمونی است.

الگوریتم جستجوی‌هارمونی

اساس کار الگوریتم جستجوی‌هارمونی از نحوه عملکرد موزیسین‌ها هنگام اجرای موسیقی الهام گرفته شده است. این الگوریتم اولین بار در سال ۲۰۰۱ توسط گیم 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 (گیم و همکاران، ۲۰۰۱).
مراحل و فازهای این الگوریتم به قرار زیرند: (لی[3] و گیم، ۲۰۰۴).

مقداردهی اولیه پارامترهای مسأله و الگوریتم

تنظیم مسئله بهینه‌سازی و تعیین پارامترهای الگوریتم: تابع هدف، قیود، پارامترهای الگوریتم، متغیرها و دامنه تغییرات مقادیر آنها در این مرحله تعریف می گردد. پارامترهای الگوریتم شامل HMS[4] (اندازه حافظه‌هارمونی)، HMCR[1] (نرخ بازبینی حافظه)، PAR[2] (نرخ تعدیل گام) و NI[3] (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 هریک 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 صورتی‌که اقدام به خرید از تامین-کننده i در سطح قیمت j نماییم ، مقدار ۱ و درغیر اینصورت مقدار صفر در ماتریس مربوطه تخصیص می‌یابد. لازم به‌ذکر است از هر تامین کننده، حداکثر در یک سطح قیمت امکان خرید وجود دارد. جواب بصورت یک رشته تشکیل می‌گردد که در فرآیند حل به‌صورت یک ماتریس تغییر شکل می‌دهد. نمونه ساختار تشریح شده جهت مثالی با ۴ تامین کننده که در آن، تامین کننده ۱ دارای ۱ سطح قیمت، تامین کننده ۲ دارای ۴ سطح قیمت، تامین کننده ۳ دارای ۶ سطح قیمت و تامین کننده 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 تامین کننده 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(x)** تعریف می‌گردد که حاصل تلفیق تابع برازش اصلی **f(x)** و چندین تابع جریمه **P(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:

$$F(x) = f(x) + \sum_{i=1}^{m} w_i \; P_i(x) \qquad i = 1,\ldots,m \tag{۱۱}$$

در معادله فوق، W_iها 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:

$$g(x) = 0 \;\rightarrow\; P(x) = \max\left[0, |g(x)|\right] \tag{۱۲}$$

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

$$g(x) \le 0 \;\rightarrow\; P(x) = \max\left[0, g(x)\right] \tag{۱۳}$$

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 می‌شود.

مقداردهی اولیه حافظه‌هارمونی

تنظیم حافظه‌هارمونی (HM[1]): در این مرحله ماتریس حافظه‌هارمونی ایجاد می‌گردد. مقادیر متغیرهای تصمیم که به صورت تصادفی تولید می‌شوند درایه‌های این ماتریس را تشکیل می‌دهند. بردارهای حل ذخیره شده در حافظه‌هارمونی بر اساس مقدار تابع برازش مرتب می‌شوند.

$$HM = \begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ \cdots \\ x^{HMS} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cccc|c} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_N^1 & f(x^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_N^2 & f(x^2) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_N^{HMS} & f(x^{HMS}) \end{array}\right] \qquad (۱۴)$$

در ماتریس (۱۴) پارامترهای N،x، f(x) به ترتیب نشان‌دهنده متغیر تصمیم، تعداد متغیرهای تصمیم و تابع برازش می‌باشند.

ایجاد یک‌هارمونی جدید از حافظه‌هارمونی

تولید بردارهارمونی جدید: الگوریتم جستجوی‌هارمونی در انتخاب مقادیر متغیرهای تصمیم از سه قاعده بازبینی حافظه، تعدیل گام و آرایش تصادفی پیروی می‌کند. در این مرحله بردارهارمونی جدید بر اساس این قواعد تولید می‌گردد.

بازبینی حافظه: به هنگام تولید بردارهارمونی جدید مقادیر متغیرهای تصمیم می‌توانند با احتمال HMCR (w.p.) از مقادیر متغیرهایی که قبلا در ماتریس حافظه ذخیره شده‌اند، انتخاب شوند.

1. Harmony Memory

آرایش تصادفی: به هنگام تولید بردارهارمونی 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 () ran مقداری تصادفی در بازه[۰و۱] و bw[1] یک پهنای باند دلخواه می‌باشد.

به‌روز کردن حافظه‌هارمونی

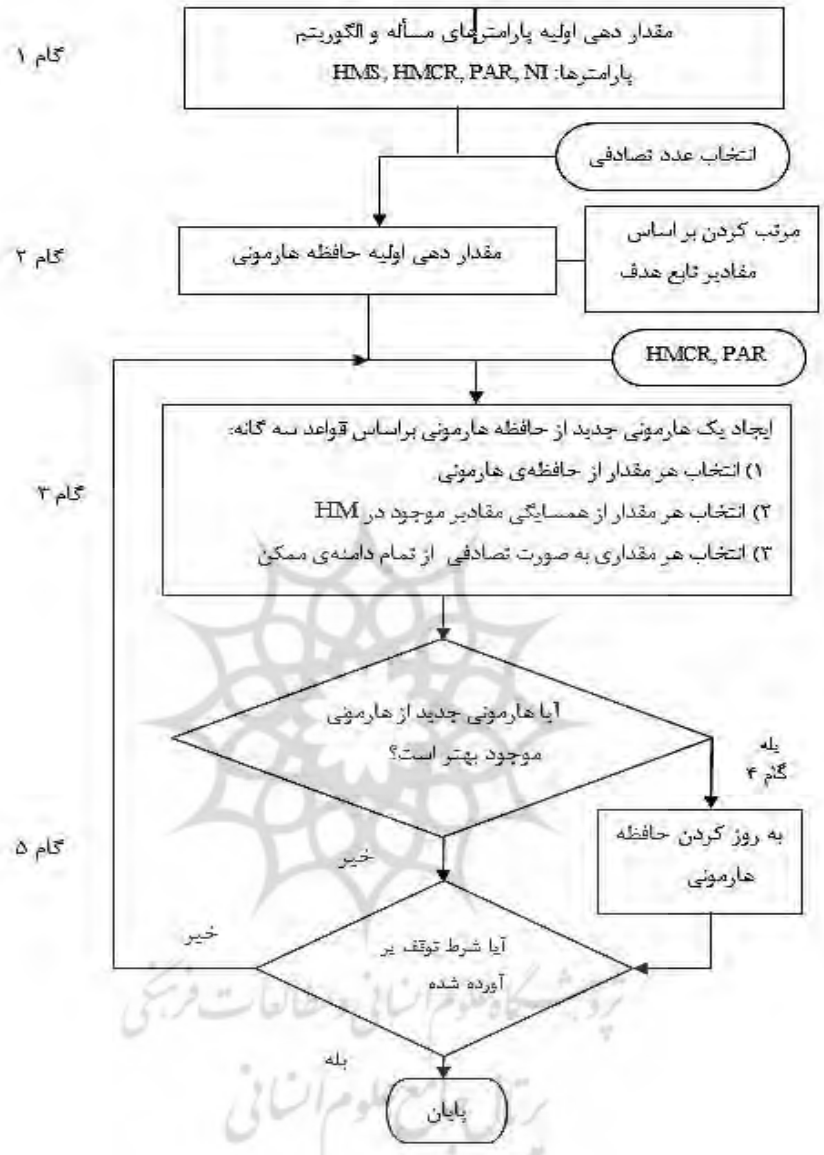
بروزرسانی حافظه‌هارمونی: اگر بردارهارمونی جدید از بدترین‌هارمونی موجود در ماتریس حافظه‌هارمونی بهتر باشد،هارمونی جدید وارد و بدترین‌هارمونی موجود از ماتریس خارج می‌شود و سپس ماتریس مرتب می‌گردد. معیار مقایسه بردارهای‌هارمونی مقدار تابع برازش می‌باشد.

شرط توقف

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Band width



شکل ۳. روش بهینه سازی الگوریتم جستجوی‌هارمونی (لی و گیم، ۲۰۰٤)

اعتبارسنجی الگوریتم جستجوی‌هارمونی

برای نشان دادن درستی عملکرد الگوریتم جستجوی‌هارمونی، از این الگوریتم برای به دست آوردن جواب بهینه چند تابع استاندارد استفاده شده است. تابع رزنبراک[1] از جمله این توابع استاندارد است که به صورت رابطه‌ی (۱۵) تعریف می‌شود:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{N_d} (100(x_i - x_{i-1}^2)^2 + (x_{i-1} - 1)^2) \qquad (۱۵)$$

هدف یافتن مینیمم سراسری تابع فوق می‌باشد. دامنه متغیرهای آن $-2.048 \le x_i \le 2.048$ (i=1,…,n) می‌باشد. مقدار بهینه تابع در نقاط x_i برای i=1,…,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 جستجوی‌هارمونی پیشنهاد شده در این مسأله عبارت است از:

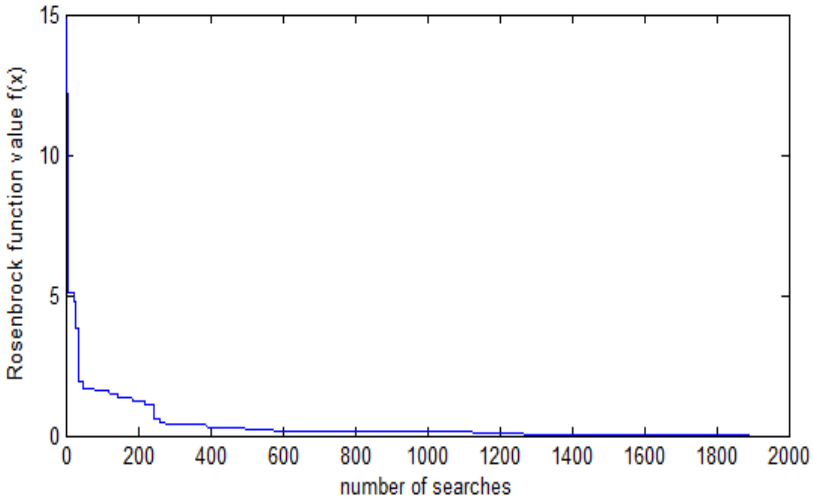
HMS=۱۰, HMCR=۰,۹, PAR=۰,٤٦, BW=۰,۰۹٦

ابتدا مقادیر متغیرهای x_1 و x_2 از دامنه [۲/۰٤۸ ,۲/۰٤۸-] با استفاده از رابطه (۱۴) به تعداد HMS عدد گذاری می‌شوند:

$$X_i^j = LBx_i + (UBx_i - LBx_i) * r \quad \text{for i=1,2,…,n \& j=1,2,…,MMM} \qquad (۱۶)$$

که n تعداد متغیرها و HMS اندازه حافظه‌هارمونی است. ترتیب قرارگیری آن‌ها بر اساس مقدار تابع هدف انجام شده است. عملیات الگوریتم جستجوی‌هارمونی 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 (۱و۱) می‌باشند.

1. Rosenbrock



شکل ٤. مقدار همگرایی به سمت مقدار مینیمم تابع Rosenbrock

پارامترهای الگوریتم جستجوی‌هارمونی

کیفیت پاسخ و سرعت همگرایی در الگوریتم جستجوی‌هارمونی به پارامترهای الگوریتم مربوط می‌باشد. از آنجایی‌که خروجی مسائل به شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند، لذا از روش تاگوچی به‌منظور 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[1] 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[2] مناسبی را انتخاب نمود. در جدول (۱) مقادیر کاندیدا برای هر کدام از عوامل آورده شده است.

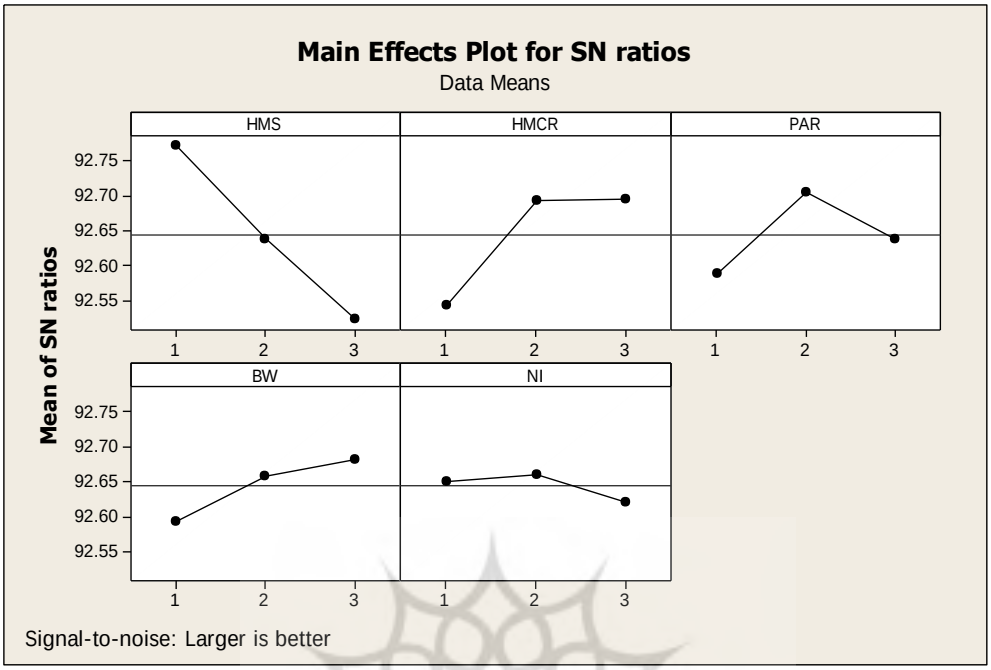
1. Fraley
2. Orthogonal array (OA)

جدول ۱. مقادیر کاندیدای متغیرهای الگوریتم جستجوی‌هارمونی

فاکتورها		HMS	HMCR	PAR	BW	NI
	۱	۳۰	۰/۷	۰/۲	۰/۰۱	۵۰۰۰
مقادیر	۲	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، آرایه‌ی $L27(3^5)$ به عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد تحت عنوان نسبت S/N[1] را در نظر می‌گیرد که این نسبت در برگیرنده میانگین و تغییرات است که این نسبت در هر سطحی بیشتر باشد مطلوب‌تر است (تاگوچی[2]، 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 جستجوی‌هارمونی 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/Nتوسط 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 جستجوی‌هارمونی پیشنهادی

جدول ۲. مقادیر بهینه متغیرهای الگوریتم جستجوی‌هارمونی

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 جستجوی‌هارمونی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین منظور از نرم‌افزار لینگو۱۱ جهت بهینه‌سازی مسأله و یافتن پاسخ‌های نزدیک به بهینه برای مسائل در مقیاس کوچک استفاده شده است. مدل‌های ایجاد شده به‌علت 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 بزرگ‌تر لینگو قادر به حل نبوده (حتی در زمان‌های طولانی) و نتایج این مثال‌ها با استفاده از الگوریتم جستجوی‌هارمونی به‌دست 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 ۰/۲ 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

تأمین کننده	سطح سفارش	قیمت واحد	درصد کالای معیوب
۱	≤≤۳۹۹	۱۷/۵	۰/۵
۲	≤≤۵۹۹	۱۶/۵	۰/۵

مثال دو: در این مثال دو تأمین کننده با دو سطح قیمت در نظر گرفته شده است. تقاضای محصول ۴۰۰، نرخ هزینه‌ی نگهداری ۰/۴ و هزینه هر واحد کمبود ۰/۲ 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 ٤. اطلاعات هزینه و میزان سطح سفارش مثال شماره دو

تأمین کننده	سطح سفارش	قیمت واحد	هزینه ی ثابت سفارش دهی	درصد کالای معیوب
۱	۳۹۹≤≤	۱۲	۳۰	۰/۴
	۶۰۰≤Q≤۴۰۰	۱۰		
۲	۲۹۹≤≤	۱۳	۵	۰/۲
	۵۰۰≤Q≤۳۰۰	۹		

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

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

$$\text{میزان انحراف} = (C_{HS}-C_{LINGO}/C_{LINGO}*۱۰۰) \qquad (۱۴)$$

در فرمول (۱۴) C_{HS} همان تابع هزینه (تابع هدف) به‌دست آمده با الگوریتم جستجوی‌هارمونی و C_{LINGO} تابع هدف به‌دست آمده در لینگو می‌باشد.

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

شماره مسأله	n	m	HS		LINGO		انحراف ٪
			تابع هدف	زمان CPU (s)	تابع هدف	زمان CPU (s)	
۱	۲	۱	۰/۹۸۵۹	۳۰	۰/۹۸۶۷	۳	-۰/۰۸۱۰۸
۲	۲	۲	۰/۴۵۱۸	۵۶	۰/۴۵۲۰	۱۵	-۰/۰۴۴۲۵

همان‌طور که مشخص است، لینگو مسائل کوچک را در زمان کمتر و تا حدی بهتر از الگوریتم جستجوی‌هارمونی حل می‌کند اما جوابگوی حل مسائل با مقیاس بزرگ نمی‌باشد. با توجه به این‌که الگوریتم جستجوی‌هارمونی در دو مسأله کوچک جوابی بسیار نزدیک به بهینه به‌دست 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 ٦. 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 جستجوی‌هارمونی برای مسائل مقیاس بزرگ

شماره مسأله	n	m	HS	
			تابع هدف	زمان CPU (s)
۳	۲	۳	۰/۵۱۹۴۲۸	۷۱
٤	۳	۲	۰/۴۱۹۵۸۲	۴۵
٥	۳	۳	۰/۸۱۳۳۰۵	۷۰
٦	۳	۵	۰/۲۴۲۲۴۱	۱۱۶
۷	۴	۴	۰/۹۷۲۷۴	۸۸
۸	۵	۵	۰/۸۸۸۹۲۲	۱۰۱

جدول (۷) نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی‌هارمونی 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 تأمین‌کننده 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 تأمین‌کنندگان پیچیدگی مسأله به شدت زیاد می‌شود. تنها مثال شماره‌ی یک که شامل دو تأمین‌کننده و هر کدام یک سطح قیمت و مثال شماره‌ی دو که دو تأمین‌کننده 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 نرم‌افزار لینگو قابل حل نبودند. با به‌کارگیری الگوریتم جستجوی‌هارمونی 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 تأمین‌کننده 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 به‌دست آمده متغیرهای تصمیم مسأله را نشان می-دهد.

جدول (۸). نتایج HS برای مثال شماره‌ی پنج

متغیر	جواب HS	متغیر	جواب HS	متغیر	جواب HS
X_{11}	۰	X_{21}	۰	X_{31}	۰/۲۲۵۷۲۹
X_{12}	۰/۳۲۷۸۰۹	X_{22}	۰/۴۴۶۴۶۱	X_{32}	۰
X_{13}	۰	X_{33}	۰	X_{33}	۰
Y_{11}	۰	Y_{21}	۰	Y_{31}	۰
Y_{12}	۰	Y_{22}	۰	Y_{32}	۰
Y_{13}	۰	Y_{33}	۰	Y_{33}	۰
Z_{11}	۰	Z_{21}	۰	Z_{31}	۱
Z_{12}	۱	Z_{22}	۱	Z_{32}	۰
Z_{13}	۰	Z_{33}	۰	Z_{33}	۰

جدول (۸) نشان می‌دهد که هرسه تأمین‌کننده برای تأمین تقاضای خریدار انتخاب شده اند. 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 دومِ تأمین‌کننده‌ی یک انتخاب می‌شود. به همین ترتیب مقادیر متغیرهای Z_{22} و Z_{31} نیز یک می‌باشد و این بدین معناست که سطح قیمت دومِ تأمین‌کننده‌ی دوم و سطح قیمت اولِ 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 درصورت 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 برمی‌گزینند.

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 این‌که 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، معمولا 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 جستجوی‌هارمونی استفاده شد. نتایج حاصل از الگوریتم برای مسائل در مقیاس کوچک با لینگو مقایسه شد و نتایج نشان داد که الگوریتم جستجوی‌هارمونی، 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. مثلا 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 بلند مدت و راهبردی با تأمین‌کنندگان است. بدین سبب در نظر گرفتن نگرشی که در آن تولیدکنندگان (خریداران) به جای این‌که 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 جستجوی‌هارمونی 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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 ۷۶-۵۳.

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, AA,ooods ouuur, S..., .. Brein, C. (2006). *Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain*. International Journal of Production Economics, 104, 394-407.

Amid, AA,ooods ouuur, S..., .. 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, AA,yyydsy yyyr, S..., .. Brien, C. (2009)9*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.

eee idar hh eljani, J., ooods ouuur, S. .., ’’ 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