



A Two-Objective Supplier Selection Model in Supply Chain and Solving by Meta-Heuristic Algorithm (Case Study: Automotive Industry)

Reza Samizadeh*, Parvaneh Afshari

Reza Samizadeh, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Alzahra University
Parvaneh Afshari, Master Students, Department of Industrial Engineering, Alzahra University

Keywords

Supplier selection,
stochastic demand,
Discounts,
Supplier's flexibility,
Non-dominated Sorting
Genetic Algorithm,
Non-dominated Ranked
Genetic Algorithm.

ABSTRACT

Globalization and the emergence of the extended enterprise, leading to a steady increase in outsourcing of parts and services. This process has forced manufacturers to focus more on purchase and related decisions; for instance, selection of suppliers is a crucial decision that has influence on all parts of the company. Given the complexity of this issue, this article provides the final step in the selection of suppliers, which includes the best combination of suppliers and allocating orders to meet purchase needs. This supplier selection problem considers only one manufacturer with probabilistic demands. Moreover, suppliers offer discounts for competing and increasing their sales. These discounts offered by suppliers are intended to be ascending. In addition, probabilistic of demand time and the flexibility of suppliers (in demand volume and delivery time) are considered. Potential suppliers have different prices and minimum and maximum order size limitations. One of the other parameters considered in the supplier selection model is fixed costs. By using the proposed model, a buyer can estimate the flexibility of potential supply chain partners to act judiciously. The purpose of this thesis is selecting suppliers with higher flexibility, better price, and lower cost and ultimately increasing profit. It is noted that the discounts offered by suppliers has the main role in the process of selection and order allocation. The model of supplier selection is designed for parallel decision-making in capacity, time management, demand volume and supplier's flexibility. This model is purposed as a dual-objective supplier selection problem under the circumstances of time and demand. Regarding the fact that this is a NP-hard problem, Meta-heuristic algorithms are used for solving the model and then the result of using Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II) and Non-dominated Ranking Genetic Algorithm (NRGA) are compared.

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



ارائه مدل دوهدفه انتخاب تأمین کننده در زنجیره تأمین و حل آن از طریق الگوریتم های فراابتکاری (مطالعه موردی در صنعت خودرو)

رضا سمیع زاده* و پروانه افشاری

چکیده:

جهانی شدن و پیدایش شرکت های توسعه یافته، منجر به افزایش دائمی برون سپاری قطعات و خدمات شده است. این امر شرکت ها را وادار به توجه بیشتر به فرآیند خرید و تصمیم های مرتبط کرده است؛ یکی از این تصمیم ها که بر تمامی حوزه های شرکت ها اثر گذار است، مسئله انتخاب تأمین کننده می باشد. با توجه به پیچیدگی این مسئله، این مقاله بر آخرین مرحله انتخاب تأمین کننده که شامل تعیین بهترین ترکیب از تأمین کنندگان و تخصیص سفارش به آن ها در جهت برآورده ساختن نیازمندی های خرید می باشد، متمرکز شده است. مسئله انتخاب تأمین کنندگان برای حالت تک تولید کننده که با تقاضای احتمالی مواجه است، در نظر گرفته شده است؛ بعلاوه، تأمین کنندگان برای رقابت و فروش بیشتر کالاهای خود را با ارائه تخفیف عرضه می دارند. تخفیف ارائه شده توسط تأمین کنندگان نمودی در نظر گرفته شده است. همچنین احتمالی بودن زمان تقاضا و انعطاف پذیر بودن تأمین کنندگان (در حجم تقاضا و زمان تحویل) لحاظ شده است. تأمین کنندگان بالقوه، قیمت های متفاوتی اظهار کرده و محدودیت حداقل و حداکثر اندازه سفارش را دارند؛ هزینه ثابت انتخاب تأمین کننده از دیگر پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل می باشد. با استفاده از مدل پیشنهادی یک خریدار می تواند انعطاف پذیری شرکای زنجیره تأمین بالقوه را تخمین زده و به صورت سنجیده عمل نماید. هدف از طرح این مسئله، انتخاب تأمین کنندگان با انعطاف پذیری بالاتر و قیمت بهتر، کاهش هزینه ها و در نهایت افزایش سود مورد انتظار می باشد. لازم به ذکر است میزان تخفیف پیشنهاد شده توسط تأمین کنندگان در فرآیند انتخاب و تخصیص سفارش به آن ها نقش کلیدی دارد. این مدل به صورت یک مسئله دو هدفه تحت شرایط زمان و حجم تقاضای احتمالی مدل سازی شده است. با توجه به اینکه مسئله مورد نظر جزء مسائل NP-hard به شمار می آید، الگوریتم های فراابتکاری جهت حل مدل به کار گرفته شده است و در نهایت الگوریتم ژنتیک رتبه بندی غلبه نشده (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک مرتب سازی غلبه نشده (NRGA) با هم مقایسه شده اند.

کلمات کلیدی

انتخاب تأمین کننده،
تقاضای احتمالی،
تخفیف،
انعطاف پذیری تأمین کننده،
الگوریتم ژنتیک مرتب سازی
غلبه نشده،
الگوریتم ژنتیک رتبه بندی
غلبه نشده.

به طور کلی، ادبیات انتخاب تأمین کنندگان را می توان به دو دسته اساسی تک منبعی و چند منبعی تقسیم کرد [3]. در حالت اول، هنگامی که از یک تأمین کننده استفاده می شود، هر یک از تأمین کنندگان بالقوه باید قادر باشند که نیازهای خریدار مانند مقدار مورد نیاز، کیفیت، زمان تحویل و دیگر فاکتورهای مورد نیاز را ارضا کنند. بنابراین در این حالت باید تنها در مورد انتخاب بهترین تأمین کننده از میان تأمین کنندگان تصمیم گیری شود. در مقابل، حالت دوم معمولاً هنگامی ایجاد می شود که هیچ یک از تأمین کنندگان به تنهایی قادر به پاسخ گویی به حداقل یکی از خصوصیات مورد نیاز خریدار نباشند. هم چنین ممکن است

۱. مقدمه

انتخاب مناسب تأمین کنندگان امری بسیار مهم و حیاتی در موفقیت شرکت هاست. تأمین کننده مناسب کسی است که نیازمندی های کوتاه مدت و بلندمدت سازمان طرف قراردادش را به طور کامل در نظر بگیرد [1]. مسئله انتخاب تأمین کنندگان یکی از مهمترین مسائلی است که در موفقیت زنجیره تأمین اثر می گذارد و در سال های اخیر محققان بسیاری به آن پرداخته اند [2].

تاریخ وصول: ۹۲/۰۷/۰۶

تاریخ تصویب: ۹۵/۰۲/۰۶

پروانه افشاری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه الزهراء، دانشکده مهندسی صنایع،

Parvaneh_Afshari@yahoo.com

*نویسنده مسئول مقاله: دکتر رضا سمیع زاده، دانشگاه الزهراء، دانشکده

مهندسی صنایع، Rsamizadeh@alzahra.ac.ir

بعدی در این زمینه انجام شد و تعداد زیادی از مطالعات به سمت در نظر گرفتن جنبه‌ها و نمونه‌های مختلف از مسئله هدایت شد. از دید شیوه به کار گرفته شده در مدل‌سازی می‌توان مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان را به دو دسته اساسی تقسیم کرد. این دو دسته عبارتند از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه. بزرگترین نقطه ضعف مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه عدم تضمین بهینگی و وابستگی به نظرات خبره می‌باشد. در مقابل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به دنبال پیدا کردن نقطه بهینه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده می‌باشند. این مدل‌ها را می‌توان به دو دسته کلی مدل‌های تک هدفه و مدل‌های چند هدفه تقسیم کرد. در این مقاله، مدل دوهدفه جهت بیشینه‌سازی سود و انعطاف‌پذیری معرفی خواهد شد. از نقطه نظری دیگر، زمانی که تعداد کالای خریداری شده در نظر گرفته شود چهار طبقه بندی اصلی برشمرده خواهد شد: سفارش به صورت تک محصولی یا چند محصولی با در نظر گرفتن انواع مختلف تخفیف پیشنهاد شده توسط فروشندگان.

مدل‌های موجودی کلاسیک به طور سنتی شامل تخفیف از نوع کلی، نموی و اندازه تجاری خواهند بود. گابالا [10] از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای کمینه کردن قیمت تخفیف کلی (مدل تمام واحدها) اقلام تخصیص داده شده به تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کننده و ارضای تقاضا استفاده کرد. پیرکال و ارس [11] در سال ۱۹۸۵ مسئله اندازه‌گیری حجم سفارش را برای مدل چند کالایی با در نظر گرفتن تخفیف کمی روی تمام واحدها تحلیل کردند. هدف، کمینه کردن مجموع هزینه‌های خرید تجمعی، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های سفارش دهی با در نظر گرفتن محدودیت منابع خطی بود. آن‌ها مسئله خود را به صورت برنامه غیرخطی فرموله کردند و الگوریتم حلی با استفاده از آزادسازی لاگرانژ ارائه دادند. پس از آن چادهری [12] در سال ۱۹۹۳ فرمولاسیون برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را برای کمینه کردن هزینه خرید برای مدل تک کالایی در طی یک دوره ارائه کرد. نویسندگان محدودیت ظرفیت، عملکرد تحویل و کیفیت با تخفیف کمی تجمعی و غیر تجمعی به صورت متوالی در نظر گرفتند. در نهایت در مدل تمپلیمیر [13] در سال ۲۰۰۲ تأمین‌کنندگان برای یک کالا تخفیف روی تمام واحدها یا تخفیف پله ای را پیشنهاد می‌کنند که در طول زمان تغییر می‌کند.

خریداران برای کاهش ریسک در زنجیره تأمین و پرهیز از وابستگی به یک تأمین‌کننده از چند تأمین‌کننده استفاده کنند. در این مقاله به دومین نوع از مسئله انتخاب تأمین‌کننده یعنی حالت چند منبعی پرداخته می‌شود. بنابراین پس از شناسایی تأمین‌کنندگان نهایی از میان تأمین‌کنندگان بالقوه باید میزان سفارش به طور موثری بین تأمین‌کنندگان شکسته شود، این کار باید به گونه ای انجام شود که هزینه‌های زنجیره تأمین کمینه شود. در مورد مدل‌های تک‌منبعی تاریخ اولین مطالعات به سال ۱۹۵۹ برمی‌گردد. فابین و همکاران [4] در سال ۱۹۵۹ برنامه پویایی برای بررسی مسئله حجم خرید ماهیانه برای زمانی که قیمت‌ها و مصرف متغیرهای تصادفی هستند ارائه دادند. آمر [5] در سال ۱۹۶۸ پیشنهاد داد که از درخت تصمیم برای آزمایش مراحل مختلف تصمیم‌گیری و احتمالات ممکن در مذاکرات تأمین‌کننده‌ها استفاده شود. در حالت مشابه، کینگزمن در سال ۱۹۸۶ با فرض تقاضای قطعی از برنامه‌ریزی ریاضی برای یافتن سیاست‌های خرید بهینه هنگامی که قیمت‌ها تصادفی است و از توزیع‌های احتمالی مختلف مشتق می‌شود، استفاده کرد. پلاتگلو و ساهین در سال ۲۰۰۰ استراتژی خرید چند دوره‌ای در جایی که تقاضا در هر دوره متغیر تصادفی بوده و توزیع احتمالی هر کدام به دوره و قیمت بستگی دارد، ارائه دادند [6]. یک رویکرد مفید برای تضمین قابلیت اطمینان جریان تأمین تولیدکنندگان پیروی از سیاست چند منبعی است. در این شرایط، خریدار کالاهای مشابه را از بیش از یک تأمین‌کننده خریداری می‌کند و تقاضای کل بین تأمین‌کنندگان تقسیم می‌شود. محققان از جمله هنگ و هایا [7] در سال ۱۹۹۲ در مورد اینکه استفاده از چندین تأمین‌کننده در اکثر موارد به ویژه در محیط تولید به هنگام هزینه خرید و موجودی کل را کاهش می‌دهد، بحث کردند. با توجه به توانایی آن‌ها برای بهینه کردن اهداف مرحله‌ای صریح و با توجه به محدودیت‌های بسیار، برنامه‌ریزی ریاضی مناسب‌ترین تکنیک برای فرموله کردن این مسائل تصمیم‌گیری می‌باشد. گابالا [8] در سال ۱۹۷۴ اولین نویسنده ای بود که از این تکنیک برای انتخاب تأمین‌کنندگان در یک مورد واقعی استفاده کرد. او از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای فرموله کردن این مسئله تصمیم‌گیری در اداره پست استرالیا استفاده کرد. تا زمانی که مطالعات وبر [9] منتشر نشده بود تنها ۱۰ مقاله استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی را پیشنهاد کرده بودند. اما از آن زمان کارهای

نمودند؛ آن‌ها مسئله را با الگوریتم دقیق شاخه و کران حل کردند. در مقالات ذکر شده تخفیف لحاظ نشده بود و از آنجایی که کاهش هزینه‌ها به ویژه هزینه خرید تأثیر بسزایی در موفقیت تولید کننده دارد، مدل‌های تخفیف ارائه شده توسط تأمین‌کنندگان نقش مهمی در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده ایفا می‌کند. در حوزه انعطاف‌پذیری، مطالعات اولیه بر انعطاف‌پذیری تولید متمرکز شده است، لیکن در سال‌های اخیر، انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین نیز مورد توجه قرار گرفته است [19].

پوزاوان [20] چارچوبی برای ارزیابی انعطاف‌پذیری یک زنجیره تأمین شامل انعطاف‌پذیری سیستم تحویل محصول، سیستم تولید، سیستم تأمین و توسعه محصول ارائه کرد. پس از آن، روشی برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین بین خریدار-تأمین‌کننده با در نظر گرفتن عدم قطعیت توسط داس و عبدالمالک [19] در میزان تقاضا و کاهش زمان توسعه داده شد. لیاو و ریچر [21] در سال ۲۰۰۷ مدل اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری ارائه شده توسط داس و عبدالمالک در سال ۲۰۰۳ را با در نظر گرفتن کران بالا برای سفارش (حد بالای پذیرش سفارش که توسط تأمین‌کننده بیان می‌شود) توسعه داده و مدل ریاضی انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده را توسعه دادند. آن‌ها از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل خود استفاده نمودند.



شکل ۱. دسته‌بندی فرضیات و پارامترهای مسأله‌یابان مسئله

بنابر مرور ادبیات انجام شده در هیچ یک از مدل‌ها فرض تقاضای احتمالی و تخفیف ارائه شده توسط تأمین‌کنندگان به صورت

مرور ادبیات نشان می‌دهد گستره وسیعی از رویکردها که تاکنون بررسی شده‌اند مدل‌های تک دوره ای بوده که تنها مسئله برنامه‌ریزی تک دوره ای را حل می‌کنند. در حقیقت، زمانی که افق برنامه‌ریزی چند دوره را پوشش می‌دهد، مسئله سخت‌تر می‌شود، اما با در نظر گرفتن مدیریت موجودی پتانسیل ایجاد برنامه خرید بهتر وجود دارد. این امر هزینه‌های نگهداری و سفارش دهی را متعادل کرده و زمانی که سفارشات مکرر جهت مدیریت موجودی ضروری است؛ اجازه می‌دهد که تأمین‌کننده با هزینه سفارش کمتر انتخاب شود. حجم انباشته موجودی چند دوره‌ای یکی از مسائلی است که در ادبیات مدیریت تولید و موجودی بسیار مطالعه شده است. مسئله مورد نظر در این مقاله، یک مسئله تک‌دوره‌ای می‌باشد. در شکل شماره (۱) ویژگی‌های مسئله مورد نظر نشان داده شده است.

۲. مرور ادبیات و بیان مسئله

۲-۱. مرور ادبیات

در مقاله‌های آغازین، پن [14] در سال ۱۹۸۹ مدل برنامه‌ریزی برای تعیین تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها ارائه داد. در مدل وی تأمین‌کنندگان محدودیتی نداشتند و تقاضا قطعی بود. چاوهران و پرات [15] در سال ۲۰۰۳ مدل انتخاب تأمین‌کننده برای یک یا چند خریدار با تقاضای قطعی ارائه کردند. در مدل آن‌ها کلیه تأمین‌کنندگان محدودیت اندازه سفارش برای هر خریدار را داشتند.

به سبب سختی حل مسئله که جزء مسائل NP-hard محسوب می‌شوند، بسیاری از پژوهشگران روی روش‌های مختلف ساده‌سازی مسئله تحقیق کرده‌اند که معمول‌ترین این روش‌ها، روش‌های ابتکاری و فراابتکاری می‌باشد [16] و [17]. در این راستا، برک و همکاران در سال ۲۰۰۸ روش‌های ابتکاری برای ایجاد جواب نزدیک به بهینه در حل مسئله چند منبعی و تک کالایی ارائه کرد. محمدابراهیم و همکاران [18] در سال ۲۰۰۹ الگوریتم جستجوی پراکنده (SS) برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده با برنامه‌های تخفیف مختلف ارائه کردند. آن‌ها بیان کرده‌اند که این مسئله NP-hard است و بر این اساس برای حل مدل از الگوریتم جستجوی پراکنده استفاده کردند. مدل‌های مذکور تقاضا را قطعی در نظر گرفتند. آواستی و همکاران [17] در سال ۲۰۰۹ مسئله انتخاب تأمین‌کننده را تحت شرایط تقاضای احتمالی با محدودیت روی حداقل و حداکثر اندازه سفارش در نظر گرفته با استفاده از الگوریتم ابتکاری مدل خود را حل نمودند. ژانگ و ژانگ [16] در سال ۲۰۱۰ رویکرد آواستی و همکاران در سال ۲۰۰۹ را توسعه داده و هزینه ثابت انتخاب تأمین‌کننده را در مدل خود لحاظ

همزمان در نظر گرفته نشده است. بنابراین، با توجه به پیشنهاد تحقیقات آتی ارائه شده توسط آواستی و همکاران در سال ۲۰۰۹ و ژانگ و ژانگ در سال ۲۰۱۰، اقدام به در نظر گرفتن فرضیات فوق (تقاضای احتمالی و سیاست تخفیف) به طور همزمان نموده، همچنین انعطاف پذیر بودن تأمین‌کننده و احتمالی بودن زمان تقاضا در مدل در نظر گرفته خواهد شد. شکل زیر ابعاد اصلی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۲. ابعاد مختلف مساله تعریف شده

❖ اندیس‌ها

N : تعداد تأمین‌کنندگان
 R : کل مقدار سفارش داده شده
 k_1, \dots, k_k : شاخص بازه تخفیف پیشنهاد شده توسط تأمین‌کننده i

❖ پارامترها

a_i : هزینه ثابت انتخاب تأمین‌کننده i
 h : هزینه نگهداری هر واحد
 s : هزینه کمبود هر واحد
 D : متغیر تصادفی تقاضا
 T : متغیر تصادفی زمان تقاضا
 P_{ik} : قیمت خرید هر واحد کالا از تأمین‌کننده i در بازه k
 v : قیمت فروش توسط خریدار
 M_i : حداکثر ظرفیت تأمین‌کننده i
 f_i : انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده i
 I_{ik} : حد پایین بازه تخفیف k که توسط تأمین‌کننده i پیشنهاد می‌شود.
 U_{ik} : حد بالای بازه تخفیف k که توسط تأمین‌کننده i پیشنهاد می‌شود.

۳-۳. پارامترهای انعطاف‌پذیری

شش پارامتر انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده در زیر معرفی شده‌اند:
 Q_i^{\min} : حداقل اندازه سفارش. اگر میزان سفارش کمتر از Q_i^{\min} شود، خریدار بایستی به تأمین‌کننده جریمه بدهد که این جریمه به عنوان جریمه کاهش میزان تقاضا (DQRP) شاخص گذاری می‌شود.
 β_i : ماکزیمم ارزش DQRP. زمانی که میزان سفارش به $Q_i^{\min} \cdot 0.6$ برسد، $\beta_i(1 - 0.6) = 0.4\beta_i$ برای DQRP هزینه می‌شود.
 Q_i^{\max} : حداکثر میزان سفارش. اگر میزان سفارش بیشتر از Q_i^{\max} شود، خریدار بایستی به تأمین‌کننده جریمه بدهد که این جریمه به عنوان جریمه افزایش میزان تقاضا (DQIP) شاخص گذاری می‌شود.
 γ_i : حداکثر ارزش DQIP. زمانی که اندازه سفارش بالای $Q_i^{\max} \cdot 0.1(M_i - Q_i^{\max})$ باشد، برای DQIP هزینه می‌شود.
 L_i^{\min} : حداقل Lead time تأمین‌کننده. هنگامی که برنامه زمانی تقاضا کمتر از L_i^{\min} شود، جریمه کاهش زمان تقاضا (DTRP) اتفاق می‌افتد.

۳. معرفی مدل

- ۳-۱. مفروضات مدل
- ✓ خریدار می‌تواند مقدار کالای مورد نیاز خود را از چند تأمین‌کننده تهیه کند.
 - ✓ خریدار تنها یک کالا از تأمین‌کنندگان خریداری می‌کند.
 - ✓ همه تأمین‌کنندگان یک مدل تخفیف و به صورت نموی را ارائه می‌کنند.
 - ✓ تقاضا احتمالی است و مقدار خریداری شده ممکن است کمتر یا بیشتر از میزان تقاضا باشد.
 - ✓ خریدار فقط برای یک دوره خرید می‌کند.
 - ✓ هر تأمین‌کننده به صورت مستقل عمل می‌کند، بنابراین فرصتی برای همکاری تأمین‌کنندگان وجود ندارد.

۳-۲. نمادهای به کار گرفته شده در مدل

پیش از ارائه مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده با تقاضای احتمالی، سیاست تخفیف و انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده، در این بخش اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم موجود در این مدل ارائه می‌شود:

$$DQIP_i = \begin{cases} 0 & x_{ik} < Q_i^{\min} \\ \frac{x_{ik} - Q_i^{\min}}{M_i - Q_i^{\min}} \cdot \gamma_i \cdot \beta_i & Q_i^{\min} \leq x_{ik} \leq M_i \end{cases} \quad (3)$$

EDTRP زمانی رخ می‌دهد که به دلیل عدم قطعیت در زمان تقاضا، برنامه زمانی تقاضا پیشتر از L_i^{\min} اتفاق افتد. جریمه کاهش زمان تقاضا برای تأمین‌کننده i که با $DTRP_i$ شاخص گذاری می‌شود، به کاهش زمان تقاضا $(L_i^{\min} - T)$ ، فاکتور جریمه متناسب α_i ، هزینه خرید p_{ik} و میزان سفارش x_{ik} بستگی دارد؛ بدین ترتیب، $DTRP_i = (L_i^{\min} - T) \cdot \alpha_i p_{ik} \cdot x_{ik}$ و در این رابطه فرض شده است که $0 \leq D$ و $0 \leq T \leq L_i^{\min}$ ، T مستقل از یکدیگر بوده، $\infty \leq \alpha_i$ می‌باشد. EDTRP در معادله (۴) نشان داده شده است.

$$EDTRP = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{k_i} \int_0^{L_i^{\min}} (L_i^{\min} - T) \cdot \alpha_i \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \cdot \varphi(T) dT \quad (4)$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{k_i} \alpha_i p_{ik} x_{ik} \left\{ \int_0^{L_i^{\min}} \varphi(T) dT + \frac{\sigma_T}{\sqrt{2\pi}} \left[e^{-\frac{(L_i^{\min} - \mu_T)^2}{2\sigma_T^2}} - e^{-\frac{\mu_T^2}{2\sigma_T^2}} \right] \right\}$$

در نهایت، یک مدل انتخاب تأمین‌کننده دو هدفه تحت شرایط تقاضا و زمان تقاضای احتمالی به شرح زیر ارائه می‌گردد.

۳-۵. محاسبه انعطاف‌پذیری تأمین‌کنندگان

لیا و ریچر در سال ۲۰۰۷ اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده که توسط داس و عبدالمالک در سال ۲۰۰۳ ارائه شده بود را با در نظر گرفتن فاکتورهای Q_i^{\max} و γ_i توسعه داده و به عبارت دیگر عدم قطعیت در تقاضا را به شکل افزایش تقاضا نیز لحاظ کرده و رابطه ای به شکل زیر پیشنهاد نمودند:

$$f_i = W_D \cdot \left(1 - \frac{a\beta_i}{p_i\mu_D} - \frac{bQ_i^{\min}}{\mu_D} - \frac{c\gamma_i}{p_i\mu_D} - \frac{d\mu_D}{Q_i^{\max}} \right) + W_T \cdot \left(1 - \frac{L_i^{\min} \sqrt{\alpha_i}}{\mu_T} \right) \quad (5)$$

در این مقاله با در نظر گرفتن سیاست تخفیف، رابطه فوق توسعه داده شده است، با توجه به اینکه قیمت پیشنهادی در بازه‌های مختلف متفاوت خواهد بود، بیشترین قیمت ارائه شده توسط تأمین‌کننده در بازه‌های کمتر از Q_i^{\min} و بیشتر از Q_i^{\max} لحاظ خواهد شد و رابطه به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$f_i = W_D \cdot \left(1 - \frac{a\beta_i}{p_i^{\max}\mu_D} - \frac{bQ_i^{\min}}{\mu_D} - \frac{c\gamma_i}{p_i^{\max}\mu_D} - \frac{d\mu_D}{Q_i^{\max}} \right) + W_T \cdot \left(1 - \frac{L_i^{\min} \sqrt{\alpha_i}}{\mu_T} \right) \quad (6)$$

✓ α_i : افزایشی متناسبی در قیمت محصول به واسطه کاهش زمان کمتر از L_i^{\min} .

❖ متغیرهای تصمیم

x_{ik} : مقدار خریداری شده از تأمین‌کننده i در بازه تخفیف k

در صورتی که از تأمین‌کننده i در بازه k تخفیف، خرید کنیم $y_{ik} = 1$
در غیر این صورت $y_{ik} = 0$

۳-۴. شرایط زمان و تقاضای احتمالی و انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده

هزینه کل مسئله پیشنهادی متشکل از اجزای زیر است:

- هزینه خرید (PC)
- جریمه کاهش میزان تقاضا (DQRP)
- جریمه افزایش میزان تقاضا (DQIP)
- امید ریاضی جریمه کاهش زمان تقاضا (EDTRP)
- هزینه ثابت انتخاب تأمین‌کننده

نماد PC نشان داده شده در رابطه (۲) بیانگر هزینه خرید

کل با در نظر گرفتن تخفیف نمودی می‌باشد.

$$PC = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{k_i} \sum_{j=1}^{k-1} (p_{ij} \cdot y_{ik} (u_{ij} - u_{i,j-1})) + \quad (1)$$

$$(p_{ik} y_{ik} (x_{ik} - l_{ik}))$$

DQRP زمانی رخ می‌دهد که به دلیل عدم قطعیت در تقاضا مقداری کمتر از Q_i^{\min} سفارش دهیم. جریمه کاهش مقدار تقاضا برای تأمین‌کننده i که با $DQRP_i$ شاخص گذاری می‌شود، بسته به نسبت کاهش میزان سفارش $(Q_i^{\min} - x_{ik})$ به حداکثر کاهش (Q_i^{\min}) و بسته به فاکتور جریمه، β_i ، به دست می‌آید [12].

$$DQRP_i = \begin{cases} 0 & x_{ik} > Q_i^{\min} \\ \frac{Q_i^{\min} - x_{ik}}{Q_i^{\min}} \cdot \gamma_i \cdot \beta_i & 0 \leq x_{ik} \leq Q_i^{\min} \end{cases} \quad (2)$$

به عنوان مثال $DQRP_i = \frac{Q_i^{\min} - x_{ik}}{Q_i^{\min}} y_{ik} \beta_i$ اگر $x_{ik} = 0$ آنگاه $DQRP_i = 0$ ، زیرا $y_{ik} = 0$ (تأمین‌کننده نام انتخاب نشده است). DQRP در معادله (۳) نشان داده شده است.

DQIP زمانی رخ می‌دهد که به دلیل عدم قطعیت در تقاضا مقداری بیشتر از Q_i^{\max} سفارش دهیم. جریمه افزایش مقدار تقاضا برای تأمین‌کننده i که با $DQIP_i$ شاخص گذاری می‌شود، بسته به نسبت افزایش میزان سفارش $(x_{ik} - Q_i^{\max})$ به حداکثر افزایش $(M_i - Q_i^{\max})$ و بسته به فاکتور جریمه، γ_i ، به دست می‌آید [12]. به عنوان مثال DQIP در معادله (۳) نشان داده شده است.

در این رابطه متغیرهای D و T مطابق با مقاله لیاو و ریچر در سال ۲۰۰۷، احتمالی با توزیع نرمال در نظر گرفته شده‌اند، بطوریکه $D \sim N(\mu_D, \sigma_D)$ و $T \sim N(\mu_T, \sigma_T)$ می‌باشند.

در رابطه فوق، W_D وزن انعطاف‌پذیری میزان تقاضا،

$$\left(1 - a\beta_i/p_i^{max}\mu_D - bQ_i^{min}/\mu_D - c\gamma_i/p_i^{max}\mu_D - d\mu_D/Q_i^{max} \right)$$

نشانه‌گر انعطاف‌پذیری میزان تقاضا بوده که در آن a, b, c و d نرخ کاهش برای هر فاکتور می‌باشد که می‌تواند برای موقعیت‌های خاص تنظیم شود؛ W_T وزن انعطاف‌پذیری زمان تقاضا است، $(1 - L_i^{min}\sqrt{\alpha_i}/\mu_T)$ نشانه‌گر انعطاف‌پذیری زمان تقاضا می‌باشد،

f_i نشان‌دهنده نرخ انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده i بوده که مجموع نرخ انعطاف‌پذیری میزان تقاضا و نرخ انعطاف‌پذیری زمان تقاضا می‌باشد. همانطور که داس و عبدالمالک اشاره کردند $a\beta_i/p_i^{max}\mu_D$ نشان‌دهنده اندازه جریمه کاهش تقاضا می‌باشد؛

bQ_i^{min}/μ_D نشان‌دهنده سطحی است که از آن سطح جریمه آغاز

می‌شود. پارامترهای $Q_i^{max}, Q_i^{min}, L_i^{min}, \beta_i, \alpha_i$ و γ_i تعیین کنندگان اولیه انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین می‌باشند. مشاهده شده که منطف‌ترین قرارداد تأمین، قراردادی است که در آن $Q_i^{min} = 0$ و $M_i = Q_i^{max}$ در حالی که $M_i \rightarrow \infty$ باشد.

در هر یک از این موارد محدودیتی به فرآیند تأمین تحمیل نشده و خریدار می‌تواند متقاضی مقدار مشخصی تأمین بوده و یا تأمینی مطالبه نماید. از یک تأمین‌کننده با قابلیت تولید منطف بالا انتظار می‌رود که افزایش یا کاهش تقاضا منجر به افزایش هزینه کمی (جریمه) شده و بنابراین به نرخ پایین‌تر β_i, α_i رضایت دهد. مشاهده می‌شود f_i افزایش می‌یابد اگر هر یک از مقادیر $Q_i^{min}, L_i^{min}, \beta_i, \alpha_i$ و γ_i کاهش یابند و زمانی که Q_i^{max} افزایش یابد، f_i افزایش می‌یابد. به طور طبیعی α_i مقدار کوچکی است، بنابراین برای اثرگذاری آن روی f_i از $\sqrt{\alpha_i}$ استفاده می‌کنیم. f_i مقداری بین صفر و یک می‌باشد که مقدار یک نشان‌دهنده بیشترین انعطاف‌پذیری و مقدار صفر نشانه‌گر عدم انعطاف‌پذیری است. در بعضی از موارد وقتی $a\beta_i$ و یا $c\gamma_i$ خیلی به $p_i\mu_D$ نزدیک باشد مقدار انعطاف‌پذیری منفی می‌شود که در این شرایط f_i صفر در نظر گرفته می‌شود. انعطاف‌پذیری ایده آل زمانی رخ می‌دهد که $Q_i^{min}, L_i^{min}, \beta_i, \alpha_i$ و γ_i صفر باشند و $M_i = Q_i^{max}$ هنگامی که $M_i \rightarrow \infty$.

۳-۶. مدل ریاضی مسئله پیشنهادی

اهداف سود و انعطاف‌پذیری با $Z1$ و $Z2$ معرفی می‌شوند.

$$Max Z = (Z_1, Z_2)$$

$$Z1 = Q(x_{1k} + \dots + x_{nk}) - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{k-1} (p_{ij} y_{ik} (u_{ij} - u_{i,j-1}) + p_{ik} (x_{ik} - l_{ik}) y_{ik}) - \sum_{i \in N} a_i y_{ik} - \sum_{i=1}^N DQR - \sum_{i=1}^N DQIP - (EDTRP)$$

$$Q(x) = v E\{\min(D, R)\} - h E(R-D) - s E(D-R)$$

$$= (v + s)R - sE(D) + (v + h + s) \int_0^R (D - R)f(D)dD$$

$$R = \sum_{i=k=1}^N \sum_{k=1}^{ki} x_{ik}$$

$$Z2 = \sum_{i=1}^N f_i x_{ik} \quad \forall k$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^{ki} y_{ik} \leq 1 \quad \forall i$$

$$l_{ik} y_{ik} \leq x_{ik} \leq u_{ik} y_{ik} \quad \forall i, k$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i, k$$

$$x_{ik} \geq 0, \text{ integer} \quad \forall i, k$$

رابطه‌ی (۸) مبین تابع هدف مسئله بوده که بخش اول (Z_1) نشان‌دهنده مجموع درآمد و هزینه و بخش دوم (Z_2) نشانه‌گر انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده می‌باشد. رابطه (۹) به صورت تفصیلی بخش اول تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد؛ این تابع از تابع سود یا به عبارت دیگر، درآمد منهای هزینه‌های کمبود و نگهداری کالا تشکیل شده است. رابطه (۱۰) برخی از اجزای رابطه (۹) را تعریف می‌نمایند. رابطه (۱۱) بخش دوم تابع هدف مسئله که انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده می‌باشد را نشان می‌دهد.

محدودیت (۱۲) ایجاب میکند که از هر تأمین‌کننده در صورتی که انتخاب شود صرفاً در یک بازه تخفیف خرید انجام شود. محدودیت (۱۳) اطمینان حاصل می‌کند که مقدار سفارش تخصیص داده شده

به هر تأمین‌کننده بین حدود بالا و پایین بازه تخفیف آن تأمین‌کننده قرار گیرد. محدودیتهای (۱۴) و (۱۵) نیز مربوط به تعریف متغیرهای تصمیم مسئله هستند.

۴. بیان الگوریتم‌های حل

از آنجا که مدل پیشنهادی یک مدل دو هدفه بوده و دارای پیچیدگی محاسباتی (NP-hard) می‌باشد و توابع هدف در تعارض با یکدیگر هستند، از یکی از قویترین الگوریتم‌های موجود در حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه (الگوریتم ژنتیک) برای حل مدل استفاده گردید. چرا که به وسیله این الگوریتم فراابتکاری در مدت زمان بسیار کم، جواب بهینه یا نزدیک بهینه قابل دستیابی است. در این بخش ابتدا به مرور کلی بر الگوریتم ژنتیک پرداخته و در ادامه به توضیح رویکرد الگوریتم‌های ژنتیک مرتب‌سازی غلبه نشده و رتبه‌بندی غلبه نشده پرداخته می‌شود.

۴-۱. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غلبه نشده

دب و همکاران [22] در سال ۲۰۰۲ یک الگوریتم ژنتیک بر پایه مرتب‌سازی غلبه نشده، به نام NSGA-II پیشنهاد کردند که نسخه بهبود یافته NSGA برای حل مسائل MOP بود. هدف این الگوریتم انتخاب کروموزوم‌هایی با بهترین تناسب و بهترین پراکندگی است. طرح کدگذاری به کارگرفته شده در این مقاله جهت حل مدل با الگوریتم NSGA-II به شرح زیر ارائه می‌گردد:

نمایش کروموزوم: منظور از نحوه نمایش کروموزوم در واقع چگونگی نمایش یک جواب شدنی متناظر با مدل ارائه شده است که یک فاکتور کلیدی در الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه سازی شمرده می‌شود. در این مقاله ساختار کروموزومی پیشنهادی بدین شکل می‌باشد که هر کروموزوم از تعدادی ژن تشکیل شده، هر ژن متناظر با یک تأمین‌کننده می‌باشد و مقدار صحیح داخل یک ژن؛ مقدار سفارشی است که به یک تأمین‌کننده اختصاص یافته است.

ایجاد جمعیت اولیه: جمعیت اولیه P_0 با اندازه مناسب به صورت تصادفی تولید می‌شود. اندازه جمعیت در طی عملیات ثابت نگه داشته شده است. برای به کار بردن GA در مدل، نیاز است که متغیرهای تصمیم را به صورت کروموزوم جهت ارائه جواب شدنی برای مدل کدگذاری نماییم. متغیر x_{ik} (مقدار سفارش تخصیص داده شده به تأمین‌کننده i در بازه تخفیف k) در بازه $[0, M_i]$ مقدار می‌گیرد. متغیر تصمیم y_{ik} که توسط متغیر x_{ik} تعیین

$$y_{ik} = \begin{cases} 0 & x_{ik} = 0 \\ 1 & x_{ik} > 0 \end{cases}$$

می‌شود از رابطه زیر پیروی می‌کند:

تابع برازش: تابع برازش، تابع هدف مسئله می‌باشد؛ یعنی هر کروموزوم تبدیل به جواب متناظر شده و در تابع هدف قرار می‌گیرد، آن‌گاه اگر مقدار تابع هدف برای هر جواب بهتر باشد، کروموزوم متناظر با آن جواب، مناسب‌تر خواهد بود.

استراتژی انتخاب: با توجه به جمعیت فعلی، جمعیت بعدی از طریق استراتژی‌های انتخاب، تقاطع و جهش به دست می‌آید. عملگر انتخاب، افرادی را که دارای پتانسیل لازم برای جابه‌جایی از جمعیت فعلی هستند را انتخاب می‌کند. در این مقاله از تورنامنت دودویی استفاده شده است. بر اساس این روش کروموزوم‌ها به صورت دوتایی از جمعیت فعلی به صورت کاملاً تصادفی انتخاب و و بهترین کروموزوم بر اساس رتبه غلبه نشدگی و فاصله تراکم انتخاب می‌شود. کروموزوم‌های انتخاب شده وارد استخر جفت‌گیری شده و توسط عملگرهای ژنتیک برای تولید نسل بعد به کار می‌روند. لازم به ذکر است کروموزوم‌های بهتر با احتمال بیشتری در استخر جفت‌گیری وجود دارند.

عملگرهای ژنتیک: برای ارائه کروموزوم‌ها و اپراتورهای تقاطع و جهش، از اعداد حقیقی استفاده شده است [23]. بر اساس آزمایشات انجام شده، یافت شد که اپراتور تقاطع حسابی و اپراتور جهش غیر یکنواخت بهترین نتایج را برای مسئله ارائه شده تولید می‌نمایند. بنابراین این اپراتورها در الگوریتم NSGA-II پیشنهادی به کار رفتند. در ادامه توضیح مختصری از این اپراتورها داده می‌شود.

عملگر تقاطع: دو بردار x_1 و x_2 کروموزوم‌های والد می‌باشند، تقاطع حسابی برای این دو بردار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{x}_1^* = \text{Round} (r \times \vec{x}_1 + (1-r) \times \vec{x}_2) \quad (21-3)$$

$$\vec{x}_2^* = \text{Round} (r \times \vec{x}_2 + (1-r) \times \vec{x}_1) \quad (22-3)$$

x_1^* و x_2^* فرزندان r مقداری تصادفی در بازه $[0,1]$ می‌باشد. **عملگر جهش:** در این مقاله از روش غیریکنواخت استفاده شده که به روش پویا نیز معروف بوده و توسط میشلویکس و جانیلو ارائه گردیده است. در نظر بگیرد که بردار

$\vec{x} = (a_1, \dots, a_k, \dots, a_n)$ کروموزومی با n عنصر بوده و عنصر a_k به صورت تصادفی برای جهش انتخاب شده است. بنابراین،

فرزند \vec{x}^* که توسط اپراتور جهش غیر یکنواخت تولید شده به صورت

$$\vec{x}^* = (a_1, \dots, a_k^*, \dots, a_n) \quad \text{می‌باشد که در آن}$$

$$a_k^* = \begin{cases} ak + \Delta(t, UB(ak) - ak) & \text{اگر رقم تصادفی دودویی ۰ باشد} \\ ak + \Delta(t, ak - LB(ak)) & \text{اگر رقم تصادفی دودویی ۱ باشد} \end{cases}$$

$$\Delta(t, z) = z \times r \times \left(1 - \frac{t}{T}\right)^b \quad (24-3)$$

$\Delta(t, z)$ تابعی است که مقداری در بازه $[0, Z]$ بر می‌گرداند، r مقداری تصادفی در بازه $[0,1]$ ، t تعداد نسل‌ها، T حداکثر تعداد

نسل‌ها و b پارامتر سیستم است که درجه غیر یکنواختی را تعیین می‌کند [24].

شرط توقف: تولید نسل جدید در الگوریتم ژنتیک تا زمانی که شرط یا شرایط توقف برآورده شود ادامه پیدا می‌کند. یکی از روش‌ها محدود کردن تعداد نسل‌ها می‌باشد که می‌توان مشخص کرد برنامه تا چند نسل پیش برود. در این مقاله از این روش استفاده شده و شرط توقف پیشروی تا محدودیت تعداد نسل ۵۰ می‌باشد.

ایجاد نسل جدید: در هر نسل t از NSGA-II از جمعیت والد P_t (شامل N_p کروموزوم) با استفاده از اپراتورها برای ایجاد جمعیت فرزندان Q_t استفاده می‌کند. پس از آن، تمام افراد از P_t و Q_t برای تشکیل جمعیت R با هم ترکیب شده و رتبه بندی غلبه نشده اعمال می‌گردد. به هر جواب در مجموعه R رتبه‌ای بر اساس تعداد جواب‌هایی که بر آن غلبه می‌کنند، تخصیص داده می‌شود. پس از رتبه‌بندی جواب‌ها، فاصله تراکم به آن‌ها اختصاص داده می‌شود (متوسط فاصله از جواب‌های همسایه آن‌ها). سپس بهترین جواب‌ها در جمعیت R برای جمعیت جدید P_{t+1} انتخاب می‌شوند. این روند تا زمان ارضای معیار توقف ادامه می‌یابد.

۴-۲. الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی غلبه نشده

در سال ۲۰۰۸ یک الگوریتم تکاملی چندهدفه با نام الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه‌بندی غلبه نشده (NRGA) به طور موفقیت‌آمیزی توسط عمرالجدان و همکارانش [22] برای بهینه‌سازی توابع غیرمحدب، غیرخطی و گسسته توسعه داده شد. آنها الگوریتم‌های چندهدفه‌ای را که بر اساس رتبه‌بندی غیرمغلوب‌ها کار می‌کردند مورد بررسی قرار دادند. بر اساس مسائل موجود در رویکردهای قبلی، آن‌ها رویکرد جدیدی را با ترکیب الگوریتم انتخاب چرخه رولت مبتنی بر رتبه بندی و الگوریتم رتبه‌بندی جمعیت بر اساس پارتو توسعه دادند که الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی غلبه نشده نامگذاری شد.

۴-۳. شاخص‌های ارزیابی الگوریتم‌ها

جهت ارزیابی الگوریتم‌ها شاخص‌های زیر به کار رفته است:

❖ شاخص یکنواختی فضا

این معیار، یکنواختی توزیع جواب‌های نامغلوب به دست آمده توسط هر الگوریتم را به دست می‌آورد. در واقع این معیار متوسط فاصله بین جواب‌های غلبه نشده و رتبه بهینه پارتو واقعی را به شرح زیر اندازه‌گیری می‌نماید. هر چه شاخص SM کمتر باشد الگوریتم مناسب‌تر است.

❖ شاخص پراکندگی

این معیار گسترش پراکندگی بین جواب‌های به دست آمده را اندازه‌گیری می‌کند. بر طبق این معیار اگر الگوریتمی مقادیر کوچکتری را پیدا کند، توانایی یافتن مجموعه متنوع بهتری از جواب‌های غلبه نشده را دارد. این شاخص برای تعیین میزان

پراکندگی جواب‌های غیر مغلوب یافت شده بر روی مرز بهینه استفاده می‌گردد. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، الگوریتم اولویت بالاتری دارد.

❖ شاخص متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل

با استفاده از این شاخص، فاصله نزدیکی بین جواب‌های پاراتو و نقطه ایده‌آل آن جواب‌ها حاصل می‌گردد. هر چه شاخص MID کمتر باشد الگوریتم به دلیل تولید جواب‌هایی با متوسط فاصله کمتر از نقطه ایده‌آل، اولویت بالاتری دارد.

❖ نرخ دستیابی همزمان به دو تابع هدف

با استفاده از این شاخص در مسائل چندهدفه می‌توان مقایسه مناسبی بین دو الگوریتم جهت دستیابی به توابع هدف داشت. هر چه این شاخص کمتر باشد الگوریتم الویت بیشتری دارد [26].

❖ زمان حل

با توجه به اینکه هر دوی این الگوریتم‌ها با نرم افزار متلب R2012a برنامه‌نویسی شده‌اند و با کامپیوتر ۲ هسته‌ای با سرعت پردازنده ۲/۰۹ گیگاهرتز و با حافظه اصلی ۲ گیگابایت در سیستم ویندوز XP آزمایش گردیده، مقایسه زمان حل بین این دو الگوریتم نیز صورت پذیرفت.

❖ تعداد جواب‌های پارتو

می‌توان دو الگوریتم را با توجه به تعداد جواب‌هایی که به دست می‌آورد نیز مقایسه نمود.

مقادیر پارامترهای تعیین شده برای الگوریتم‌ها به شرح زیر است:

جدول ۱. مقادیر پارامترهای استفاده شده در الگوریتم‌ها

پارامترها	تعریف	مقدار
N_p	اندازه جمعیت	۵۰
T	تعداد تکرارها	۵۰
C_p	احتمال تقاطع	۰.۶
M_p	احتمال جهش	۰.۴

۵. مثال عددی

به منظور بررسی مدل و روش حل ارائه شده و همچنین ارزیابی روش‌های ارائه شده، اطلاعات مربوط به ویژگی‌های تأمین‌کنندگان بالقوه مربوط به چراغ جلوی خودوری saipa131، اطلاعات مربوط به تأمین‌کنندگان شرکت سازه گستر و سایپا اخذ گردید. مطابق با اطلاعات اخذ شده ۶ تأمین‌کننده بالقوه برای تأمین این چراغ وجود دارد. مقادیر پارامترهای مربوط به مساله در جداول زیر نشان داده شده‌اند:

همچنین مقادیر میانگین و واریانس تقاضا و زمان تحویل به صورت زیر محاسبه گردیده است:

$$D \sim N(\mu, \sigma^2), \mu_D = 35000, \sigma_D = 5000$$

$$T \sim N(\mu, \sigma^2), \mu_T = 30, \sigma_T = 5$$

مقادیر قیمت در بازه‌های مختلف تخفیف نیز با توجه به اطلاعات به دست آمده از سازندگان و سازه‌گستر جهت حل مدل لحاظ گردید.

جدول ۲. مقادیر ورودی مساله در مطالعه موردی

N	۶	W_D	۰,۶
R	۳۵۰۰۰	W_T	۰,۴
H	۱۰۰۰۰	A	۰,۴
S	۴۰۰۰۰۰	B	۰,۳

جدول ۳. مقادیر ورودی مربوط به تأمین‌کنندگان در مطالعه موردی

S_6	S_5	S_4	S_3	S_2	S_1	supplier
برازش	به‌سازین	سراج نور	نیران	سپاهان	جمع ساز	Q_i^{min}
۱۰۰۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰۰	۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	Q_i^{max}
۱۷۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۸۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۵۰۰۰	L_i^{min}
۴,۵	۴	۱	۳	۴	۳	β_i
۴۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	γ_i
۴۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	α_i
۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱۶	۰,۰۹	a_i
۱۰۰۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	M_i
۲۲۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	

الگوریتمها را نشان می‌دهد. جدول (۵) مقادیر زمان حل و تعداد جوابهای پارتو حاصل را نشان می‌دهد و جدول (۶) نیز شاخص RAS را بین دو الگوریتم مقایسه می‌کند. پس از اینکه مقادیر شاخص‌ها به دست آمد، تست نرمال بودن روی هر یک از آنها انجام شده و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون‌های پارامتریک جهت مقایسه به کار گرفته خواهد شد.

۵. نتایج حاصل از حل مدل

پس از تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های مورد نظر، در این بخش به حل مساله توسط دو الگوریتم پرداخته و نتایج عملکرد دو الگوریتم با هم مقایسه شده است. مساله مورد نظر به کمک هر یک از الگوریتمها ۲۵ مرتبه حل شد. جدول (۴) میزان پراکندگی، یکنواختی فضا، متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل در هر یک از

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های به دست آمده از هر بار حل مسئله با دو الگوریتم

Diversification metric(DM)		Spacing metric(SM)		Mean	ideal	distance	Run
NRGA	NSGA-II	NRGA	NSGA-II	NRGA		metric(MID)	
						NSGA-II	
۴۴۶۷۰۸/۷۴	۴۶۵۸۹۹/۸۳۱	۰/۸۱۷	۰/۸۳۳	۸۵۵۳۴۹۱۰۳/۷۶۱		۸۶۰۰۲۸۱۸۲/۶۸۸	۱
۵۱۶۳۳۸/۵۶۳	۵۰۲۰۷۷/۳۳۹	۰/۸۵۵	۰/۷۷۵	۸۹۳۳۹۱۹۹۱/۲۲۱		۸۲۸۳۲۰۶۱۷/۶۲۲	۲
۴۸۵۳۲۵/۳۱۶	۴۴۵۶۸۳/۵۸۲	۰/۸۵۳	۰/۷۰۳	۱۰۴۷۲۲۵۸۲۸/۷۰۸		۸۵۹۷۶۷۹۲۷/۶۰۵	۳
۴۸۰۰۰۶/۳۷۵	۵۰۱۷۷۰/۴۷۸	۰/۷۶۸	۰/۷۹۸	۸۴۷۲۸۱۳۷۳/۶۸۱		۸۹۰۱۵۶۱۸۲/۹۹۹	۴
۴۴۸۳۴۱/۲۰۷	۵۱۱۸۴۶/۱۷۹	۰/۷۸۲	۰/۷۲۳	۸۰۵۳۷۶۴۲۳/۳۴۸		۸۲۴۸۴۹۷۹۶/۳۹۲	۵
۴۶۳۹۶۹/۲۶	۴۹۶۱۳۱/۴۳۵	۰/۷۸۲	۰/۷۹۰	۹۸۷۵۸۷۳۹۰/۳۴۳		۹۶۴۲۳۳۰۰۸/۱۰۲	۶
۴۳۰۹۳۰/۲۸۲	۵۰۳۸۲۳/۳۰۸	۰/۸۶۴	۰/۸۸۶	۹۳۲۱۲۷۵۴۸/۴۲۱		۸۱۴۴۵۵۵۳۳/۶۳۷	۷
۴۹۷۶۳۳/۶۴۲	۴۷۲۶۱۲/۱۲۳	۰/۷۵۷	۰/۷۴۳	۸۱۳۶۱۶۵۶۷/۵۷۲		۸۱۳۶۱۶۵۶۷/۵۷۲	۸
۴۳۴۹۴۵/۹۶۲	۴۴۸۰۵۰/۷۸۳	۰/۸۵۴	۰/۷۲۸	۹۳۲۸۴۸۳۲۹/۵۴۶		۹۳۲۸۴۸۳۲۹/۵۴۶	۹
۴۴۷۸۵۱/۰۲۷	۴۵۷۳۷۸/۳۷۶	۰/۸۰۴	۰/۸۴۹	۸۴۴۵۳۳۲۰۹/۳۳۴		۶۵۳۲۶۹۷۳۹/۸۴۴	۱۰
۴۷۶۹۴۲/۰۳۸	۴۶۰۴۵۶/۱۹۰	۰/۷۰۹	۰/۷۷۳	۹۱۲۹۸۲۷۵۹/۳۴۵		۸۹۳۳۲۴۴۷۵/۲۷۲	۱۱

۴۷۲۶۶۰/۵۲۸	۴۸۴۸۲۰/۷۱۳	۰/۷۳۶	۰/۸۴۰	۸۲۱۵۶۷۱۹۶/۴۳۲	۷۶۰۳۴۳۱۴۶/۶۵۴	۱۲
۴۸۱۲۰۰/۰۲	۴۶۰۸۶۱/۴۱۴	۰/۸۴۵	۰/۸۴۱	۱۰۰۵۲۸۱۰۶۰/۸۴۸	۸۸۶۷۶۵۹۸۹/۰۸۲	۱۳
۴۲۷۴۰۲/۸۶۵	۴۶۸۰۱۴/۷۱۶	۰/۷۶۹	۰/۷۸۵	۹۵۸۵۸۱۶۱۳/۲۶۱	۸۹۷۶۴۳۷۵۶/۷۲۹	۱۴
۴۶۲۹۶۲/۴۲۳	۴۴۴۷۶۶/۲۱	۰/۸۷۵	۰/۷۷۰	۶۷۳۷۰۳۳۷۴/۴۳۳	۹۵۸۸۵۳۰۱۰/۹۶۸	۱۵
۴۶۲۱۸۹/۷۲۷	۴۱۹۹۷/۵۳۷	۰/۸۲۰	۰/۷۴۳	۸۶۶۱۷۶۵۰۲/۷۸۱	۸۴۷۲۷۸۱۸۵/۱۵۵	۱۶
۵۱۰۳۹۷/۴۲۹	۴۶۵۴۸۹/۱۱۱	۰/۷۸۶	۰/۹۶۴	۹۵۱۰۱۹۲۰۷/۴۹۴	۷۷۸۴۵۹۲۳۶/۹۳۸	۱۷
۴۷۰۳۸۴/۵۱۶	۴۶۲۳۹۹/۸۱۷	۰/۸۲۶	۰/۹۱۴	۹۲۳۲۸۵۴۰۵/۶۶۵	۹۰۳۷۴۳۰۵۳/۲۹۹	۱۸
۴۲۶۷۰۶/۴۲۴	۴۶۴۶۶۰/۴۱۲	۰/۹۹۴	۰/۹۴۷	۷۳۱۶۲۵۰۲۹/۲۱۰	۶۸۲۰۲۷۴۶۰/۲۴۳	۱۹
۴۶۳۵۹۳/۵۴۷	۴۷۱۷۳۱/۶۷۸	۰/۸۶۰	۰/۶۸۲	۷۷۸۴۸۷۱۷۰/۷۶۰	۸۸۰۱۵۸۰۲۲/۲۸۳	۲۰
۴۴۵۱۳۷/۴۵۸	۴۳۸۴۵۰/۰۵۵	۰/۸۶۱	۰/۸۰۵	۷۹۱۷۱۰۶۸۰/۰۳۸	۸۰۷۶۶۵۶۵۲/۵۹۴	۲۱
۴۴۶۰۰۲/۶۸۷	۳۸۴۴۰۳/۱۶۱	۰/۷۸۲	۰/۸۷۳	۸۸۸۸۲۴۵۴۳/۶۴۹	۸۱۷۷۹۱۶۸۴/۴۱۰	۲۲
۴۵۳۶۲۹/۴۱۱	۴۵۵۰۹۵/۲۵۶	۰/۸۳۰	۰/۸۶۱	۷۷۹۸۵۴۳۱۶/۱۴۴	۷۵۶۴۴۸۹۳۵/۷۲۷	۲۳
۴۵۱۸۴۱/۳۳۷	۴۶۰۰۲۲/۰۴۲	۰/۷۹۹	۰/۷۴۲	۸۲۶۲۴۶۳۷۶/۱۱۲	۹۴۳۶۳۶۲۶۶/۶۶۴	۲۴
۴۶۷۱۸۶/۹۹۳	۴۴۰۳۱۳/۶۷۲	۰/۹۱۴	۰/۸۸۰	۷۵۷۳۱۸۵۲۶/۷۱۰	۸۴۱۸۰۴۸۴۸/۰۳۱	۲۵

جدول ۵. تعداد جوابهای پارتو به دست آمده در هر بار حل و زمان حل مسئله با دو الگوریتم

Solving Time		Number of Pareto		Run
NRGA	NSGA-II	NRGA	NSGA-II	
۳۷/۴۷۱	۲۶/۰۹۵	۱۳۵	۱۴۸	۱
۵۵/۴۱۷	۳۰/۶۰۷	۱۸۵	۱۷۵	۲
۴۶/۳۰۴	۲۷/۱۲۲	۱۶۵	۱۳۵	۳
۴۵/۵۳۰	۳۰/۹۱۵	۱۵۹	۱۷۵	۴
۳۲/۲۳۹	۳۲/۲۳۹	۱۳۷	۱۸۷	۵
۲۷/۲۷۴	۲۷/۲۷۴	۱۵۵	۱۶۸	۶
۲۸/۶۵۰	۲۸/۶۵۰	۱۲۵	۱۷۵	۷
۲۸/۳۱۷	۲۸/۳۱۷	۱۶۹	۱۵۲	۸
۲۲/۴۲۷	۲۲/۴۲۷	۱۳۰	۱۴۴	۹
۲۳/۵۱۸	۲۳/۵۱۸	۱۳۷	۱۴۰	۱۰
۲۶/۱۶۷	۲۶/۱۶۷	۱۶۱	۱۵۰	۱۱
۲۸/۲۷۲	۲۸/۲۷۲	۱۵۹	۱۶۳	۱۲
۲۵/۰۲۳	۲۵/۰۲۳	۱۷۰	۱۴۶	۱۳
۲۹/۹۴۸	۲۹/۹۴۸	۱۳۱	۱۵۳	۱۴
۲۴/۶۳۸	۲۴/۶۳۸	۱۴۴	۱۳۷	۱۵
۲۲/۷۷۵	۲۲/۷۷۵	۱۴۹	۱۲۱	۱۶
۲۵/۷۴۶	۲۵/۷۴۶	۱۸۲	۱۵۲	۱۷
۲۸/۴۵۳	۲۸/۴۵۳	۱۵۹	۱۵۶	۱۸
۲۳/۶۳۷	۲۳/۶۳۷	۱۲۸	۱۴۶	۱۹
۲۶/۵۳۱	۲۶/۵۳۱	۱۴۶	۱۵۲	۲۰
۲۱/۰۷۶	۲۱/۰۷۶	۱۳۵	۱۳۰	۲۱
۱۹/۱۲۲	۱۹/۱۲۲	۱۳۹	۱۰۱	۲۲
۲۴/۹۱۹	۲۴/۹۱۹	۱۴۴	۱۴۱	۲۳
۲۲/۷۸۹	۲۲/۷۸۹	۱۳۸	۱۴۹	۲۴
۲۴/۸۸۳	۲۴/۸۸۳	۱۵۰	۱۳۴	۲۵

۵-۱. تست نرمال بودن مقادیر شاخص‌ها

گزارش شده از ۰,۰۵ بزرگتر می‌باشند لذا در سطح اطمینان ۰,۹۵ دلیلی بر رد فرض صفر (فرض نرمال بودن) وجود ندارد. در این

جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش تست کلوموگروف - اسمیرنوف استفاده گردید. تمامی داده‌ها نرمال بوده و p - مقدار

شاخص عملکرد نسبتاً مشابهی دارند. در نمودار جعبه‌ای در مشاهده می‌شود که الگوریتم NSGA-II اندکی بهتر از عمل کرده است.

❖ شاخص RAS

در جدول (۵) متوسط مقادیر توابع هدف به دست آمده در هر بار حل نشان داده شده است به تصادف یکی از حلهای به دست آمده را انتخاب می‌کنیم. بدین ترتیب به کمک شاخص RAS میزان انحراف توابع هدف از مقدار Z_{Best} که بهترین مقدار به دست آمده از بین کلیه جوابهای هر دو الگوریتم (در اینجا بین ۷۶۴۲ جواب به دست آمده از دو الگوریتم) می‌باشد. مقدار انتخاب شده حل یازدهم الگوریتم NSGA-II و بیست و پنجم NPGA می‌باشد. RAS مربوط به هر یک از دو الگوریتم به شرح جدول زیر به دست خواهد آمد. هر چه مقدار RAS مقدار کمتری داشته باشد، الگوریتم کارایی بهتری در به دست آوردن توابع هدف خواهد داشت.

جدول ۶. نتایج به دست آمده از شاخص RAS

NRGA	NSGA-II
۰/۶۱۹۴۱۱	۰/۶۰۲۳۰۴

همانطور که بررسی گردید الگوریتم NSGA-II در مسئله انتخاب تأمین‌کننده نسبت به الگوریتم NPGA بهتر عمل می‌کند.

۳-۵. نتایج حاصل جهت انتخاب تأمین‌کنندگان

پس از حل مسئله مورد نظر با الگوریتم معرفی شده، با توجه به بررسی جوابهای به دست آمده، جهت انتخاب سازندگان همانطور که مشاهده می‌گردد در تمامی جوابهای به دست آمده سازنده اول انتخاب شده است، همچنین سازنده چهارم نیز دومین منتخب خواهد بود. سازندگان سوم، ششم و دوم به ترتیب در اولیتهای بعدی انتخاب می‌باشند. چنان‌که مشاهده می‌گردد به کمک مدل و الگوریتم ارائه شده امکان مشخص نمودن بهترین سازندگان جهت انتخاب وجود خواهد داشت. جدول (۷) اولیتهای انتخاب را نشان داده است. همچنین در شکل (۳) نشان داده شده است که از کل مقدار مورد نیاز خریدار که لازم است طی دوره مشخص تأمین گردد، چه درصدی به هر یک از سازندگان سفارش داده شده است. ۶۷٪ سفارش به سازنده اول، ۱۷٪ به سازنده چهارم، ۹٪ به سازنده سوم و ۵٪ نیز به سازنده دوم تخصیص می‌یابد. ضمن آنکه به سازنده شماره پنج، سفارشی داده نمی‌شود.

جدول ۷. وضعیت انتخاب سازندگان

S_6	S_5	S_4	S_3	S_2	S_1	
٪۲۸/۲۴	۰	٪۹۹/۲	٪۴۵/۸	٪۶/۱	٪۱۰۰	درصد انتخاب سازندگان
۴	۶	۲	۳	۵	۱	اولویت انتخاب

حالت می‌توان جهت مقایسه الگوریتم‌ها از آزمون‌های پارامتریک استفاده نمود. در ادامه آزمون‌های پارامتریک صورت پذیرفته و پس از مشاهده نتایج، مقادیر P-مقدار و نمودارهای جعبه‌ای، نتایج ذیل حاصل گردید.

۲-۵. آزمون پارامتریک

در مورد هر شاخص، با استفاده از توزیع t برابری میانگین خروجی‌های دو الگوریتم مورد آزمون قرار می‌گیرد.

❖ شاخص MID

در مورد این شاخص کمتر بودن اولویت ایجاد می‌نماید، مقدار P-مقدار کمتر از ۰،۰۵ نبوده و فرض صفر که فرض برابری میانگین دو الگوریتم است رد نمی‌شود و هر دو الگوریتم در این شاخص عملکرد نسبتاً مشابهی دارند. با بررسی نمودار جعبه‌ای مشاهده می‌شود که الگوریتم NSGA-II میانگین کمتری دارد لذا می‌توان نتیجه گرفت که در شاخص MID، الگوریتم NSGA-II عملکرد نسبتاً بهتری داشته است.

❖ شاخص SM

در مورد این شاخص کمتر بودن اولویت ایجاد می‌نماید. مقدار P-مقدار کمتر از ۰،۰۵ نبوده و فرض صفر که فرض برابری میانگین شاخص دو الگوریتم است رد نمی‌شود و هر دو الگوریتم در این شاخص نیز عملکرد نسبتاً مشابهی دارند. با بررسی نمودار جعبه‌ای مشاهده می‌گردد که الگوریتم NSGA-II میانگین کمتری دارد لذا می‌توان نتیجه گرفت که در شاخص SM، الگوریتم NSGA-II عملکرد نسبتاً بهتری دارد.

❖ شاخص DM

در مورد این شاخص بیشتر بودن اولویت ایجاد می‌نماید. مقدار P-مقدار کمتر از ۰،۰۵ نبوده و فرض صفر که فرض برابری میانگین شاخص دو الگوریتم است رد نمی‌شود و هر دو الگوریتم در این شاخص عملکرد نسبتاً مشابهی دارند. با بررسی نمودار جعبه‌ای مشاهده می‌شود که الگوریتم NSGA-II میانگین بیشتری دارد لذا می‌توان نتیجه گرفت که در شاخص DM، الگوریتم NSGA-II عملکرد بهتری داشته است.

❖ زمان حل

در مورد این شاخص کمتر بودن اولویت ایجاد می‌نماید. مقدار P-مقدار کمتر از ۰،۰۵ نبوده و فرض صفر که فرض برابری میانگین شاخص دو الگوریتم است رد می‌شود و در نمودار جعبه‌ای مشاهده می‌گردد الگوریتم NSGA-II عملکرد بهتری در این زمینه خواهد داشت و با سرعت بالاتری به مجموعه جوابها دست خواهیم یافت.

❖ تعداد جواب پارتو

در مورد این شاخص بیشتر بودن اولویت ایجاد می‌نماید. مقدار P-مقدار کمتر از ۰،۰۵ نبوده و فرض صفر که فرض برابری میانگین شاخص دو الگوریتم است رد نمی‌شود و هر دو الگوریتم در این

ریسک زنجیره تأمین به منظور انتخاب تأمین‌کنندگان. نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۴، شماره ۳، صفحات ۳۱۶-۳۲۶.

[4] Fabian, T., Fisher, JF., Sasieni, MW., Yardieni, A., 1959. Purchasing raw material on a fluctuating market. *Operations research*, vol.7, pp.107-22.

[5] Ammer, DS., 1968. Purchasing decisions under uncertainty. In: Marshall GE, Hamilton HE, editors, *Guide to purchasing*, national association of purchasing management, pp.6-7.

[6] Aissaoui, N., Haouari, M., Hassini, E, 2006. Supplier selection and order lot sizing modeling: A review, *Computers & Operations Research* 34 (2007) 3516 – 3540.

[7] Hong, J., Hayya, JC., 1992. Just-in-time purchasing: single or multiple sourcing?. *International Journal of Production Economics*, vol.27, pp.175-81.

[8] Gaballa, AA., 1974. Minimum cost allocation of tenders. *Operational Research Quarterly*, vol.25, pp.389-98.

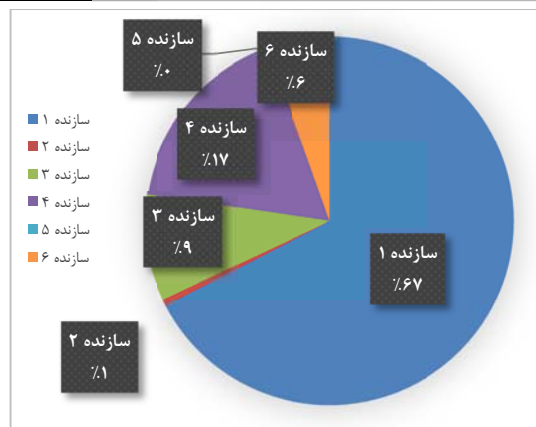
[9] Weber, CA., Current, JR., 1993. A multiobjective approach to vendor selection. *European Journal of Operational Research*, vol.68, pp.173-84.

[10] Gaballa, AA., 1974. Minimum cost allocation of tenders. *Operational Research Quarterly*, vol.25, pp.389-98.

[11] Pirkul, H., Aras, OA., 1985. Capacitated multiple item ordering problem with quantity discounts. *IEEE Transactions*, vol.17, pp.206-11.

[12] Chaudhry, SS., Forst, FG., Zydiak, JL., 1993. Vendor selection with price breaks. *European Journal of Operational Research*. vol.70, pp.52-66.

[13] Tempelmeier, H., 2002. A simple heuristic for dynamic order sizing and supplier selection with time-varying data. *Production and Operations Management*, vol.11, pp.499-515.



شکل ۳. وضعیت سفارشی‌دهی کالا به ۶ سازنده بالقوه

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر توسعه مدل ریاضی جدیدی در مسئله انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری تأمین‌کنندگان است. بر اساس مرور ادبیات انجام گرفته، در اکثر تحقیقات انجام شده فرض می‌شود که تقاضا قطعی است و این در حالیست که در اکثر مواقع در دنیای واقعی تقاضا غیر قطعی است. مدل ریاضی برای حل این مسئله در حالت حجم و زمان تقاضای احتمالی و در نظر گرفتن تخفیف نمودی با تابع هدف بیشینه سازی سود مورد انتظار و بیشینه سازی انعطاف‌پذیری ارائه شد. با توجه به NP-hard بودن مسئله، الگوریتمی کارا بر اساس الگوریتم ژنتیک برای حل آن پیشنهاد شد و دو الگوریتم NSGA-II و NPGA جهت حل این مدل به کار گرفته شده و سپس با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین بر اساس روش حل برتر، تأمین‌کنندگان انتخاب و مقدار بهینه سفارش‌دهی به آنها مشخص گردید.

مراجع

- [۱] ستاک، م؛ شریفی، سمانه، ۱۳۹۰. یک مدل ریاضی یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کنندگان دولایه از زنجیره تأمین. نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۲، شماره ۱، صفحات ۹۲-۹۸.
- [۲] غضنفری، م؛ افشین، ر، ۱۳۸۲. طراحی یک رویه سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری جهت ارزیابی، انتخاب و توسعه تأمین‌کنندگان در مدیریت زنجیره تأمین. نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۱۳، شماره ۴، صفحات ۲۱۱-۲۲۷.
- [۳] شفیعا، م ع؛ مهدوی مزده م؛ پورنادر، م؛ باقرپور، م، ۱۳۹۲. ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های دو سطحی در مدیریت

- [24] Gen, M., Cheng, R., 2000. Genetic algorithms and engineering optimization. New york: John Wiley & Sons.
- [25] Omar Al Jadaan, Lakishmi Rajamani, C. R. Rao, 2008. NON-DOMINATED RANKED GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION PROBLEMS: NRGA.
- [26] Rabiee M, Shafaei R , Ramezani P, Moradinasaba N. No-wait two stage hybrid flow shop scheduling with genetic and adaptive imperialist competitive.
- [14] Pan, A., 1989. Allocation of orders quantity among suppliers. Journal of Purchasing and Materials Management, vol. 25, No.3, pp. 36–39.
- [15] Chauhan, S., Proth, J.M., 2003. The concave cost supply problem. European Journal of Operational Research, vol. 148, pp.374–383.
- [16] Zhang, J., Zhang, M., 2010. Supplier selection and purchase problem with fixed cost and constrained order quantities under stochastic demand. Production Economics, doi: 10.1016/j.ijpe.
- [17] Awasthi, A., Chauhan, S.S., Goyal, S.K., Proth, J., 2009. Supplier selection problem for a single manufacturing unit under stochastic demand. Production Economics, vol. 117, pp.229-233.
- [18] Burke, G., Carrillo, J., Vakharia, A., 2008. Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts. European Journal of Operational Research, vol.186, pp.317-329.
- [19] Das, S K., Abdel-Malek, L., 2003. Modeling the flexibility of order quantities and lead-times in supply chains. International Journal of Production Economics , vol.85, pp.171–181.
- [20] Pujawan, N., 2004. Assessing supply chain flexibility: a conceptual framework and case study. International Journal of Integrated Supply Management, vol.1, no. 1, pp. 79–97.
- [21] Liao, Z., Rittscher, J, 2007. Integration of supplier selection, procurement lot sizing and carrier selection under dynamic demand conditions, Int. J. Production Economics 107 (2007) 502–510.
- [22] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 6, No.2, pp.182–97.
- [23] Michalewicz, Z., 1996. Genetic algorithm + Data structures= Evolution programs. New York, Springer-Verlag.