University of Qom

Engineering Management and Soft Computing

JEMSC.QOM
Online ISSN: 2538-2675

Designing a Multi-Objective Closed-loop Supply Chain Mathematical Model with Supplier Selection Approach and considering Discount

Esmat Saad[1]✉ , Kiamars Fathi Hafshjani[2] and Reza Radfar[3]

1. Corresponding author, PhD student in Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: e.saedi@bankmellat.ir
2. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: fathikiamars@yahoo.com
3. Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: radfar@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 2023 November 10
Received in revised form 2024 January 11
Accepted 2024 January 16
Published online 2023 March 16

Keywords:
Green Supplier Selection,
Green Supply Chain,
Meta-heuristic model.

ABSTRACT

One of the key steps in greening supply chains is to investigate the environmental requirements and factors in supplier selection. Today supply chain networks are known as the main pillar of economic activities. To this end, in this article a multi-period, multi-product, multi-objective closed-loop supply chain problem has been investigated. Moreover, the return of defective products to the production cycle and the general and progressive simultaneous discount policy have been considered through an integer linear mathematical model. The presented model generates Pareto solutions using two proposed meta-heuristic algorithms, multi objective particle swarm optimization and non-dominated sorting genetic algorithm and combination of the two. To compare the performance of the solution methods, five criteria are defined and the numerical results show the efficiency and quality of the proposed hybrid algorithm.

Cite this article: Saad, E., Fathi Hafshjani, K. & Radfar, R. (2022). Designing a Multi-Objective Closed-loop Supply Chain Mathematical Model with Supplier Selection Approach and considering Discount. *Enginiiring Management and Soft Computing, 8* (2). 43-71.
DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5016.1124

© The Author(s)
DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5016.1124

Publisher: University of Qom

JEMSC.QOM
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۵-۲۵۳۸

مدیریت مهندسی و رایانش نرم

دانشگاه قم

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده و درنظرگرفتن تخفیف

عصمت سعدی[۱]✉، کیامرث فتحی هفشجانی[۲] و رضا رادفر[۳]

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: saedi@bankmellat.ir
۲. استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: fathikiamars@yahoo.com
۳. استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: radfar@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

کلیدواژه‌ها:
انتخاب تأمین‌کننده سبز،
زنجیره تامین سبز،
مدل فراابتکاری.

چکیده

یکی از گام‌های اساسی در جهت سبز شدن زنجیره‌های تأمین، بررسی الزام‌ها و عوامل زیست‌محیطی در تأمین‌کننده‌ها است. امروزه شبکه‌های زنجیره تأمین به عنوان ستون اصلی فعالیت‌های اقتصادی شناخته می‌شوند. این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط برای مسئله زنجیره تأمین حلقه بسته چنددوره‌ای، چندمحصولی، چندهدفه با چندین تأمین‌کننده و در نظر گرفتن برگشت مجدد محصولات معیوب به چرخه تولید و سیاست تخفیف توأم کلی و نموی توسعه داده شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از دو الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و ترکیب آن‌ها به تولید جواب‌های پارتو می‌پردازد. جهت مقایسه عملکرد روش‌های حل، پنج شاخص تعریف گردیده و نتایج عددی حاصله نشانگر کارایی و کیفیت الگوریتم ترکیبی پیشنهادی است.

استناد: سعدی، عصمت؛ فتحی فشجانی، کیامرث و رادفر، رضا. (۱۴۰۱). «طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده و درنظرگرفتن تخفیف». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، دوره ۸ (۲). صص: ۷۱-۴۳. https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5016.1124

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.

۱) مقدمه

مدیریت زنجیرهٔ تأمین، مدیریت کلیهٔ فرآیندهای ساخت و تأمین، از مواد اولیه تا مشتری نهایی است که کل زنجیرهٔ ارزش را، از استخراج مواد تا پایان عمر مفید محصول، دربر می‌گیرد. برخی فراتر می‌روند و بازیافت مواد اولیه را نیز در محدودهٔ مدیریت زنجیرهٔ تأمین می‌دانند.

در سال‌های اخیر، به دلیل افزایش سرعت و حجم ارتباط در سراسر نقاط جهان و گسترش فضای رقابتی میان سازمان‌های تولیدی و خدماتی، اهمیت طراحی و اعمال یک زنجیرهٔ تأمین بهینه و اقتصادی بیش‌ازپیش مورد توجه مدیران و مسئولان قرار گرفته است.

زنجیره تأمین شامل دو یا چند سازمان است که از یکدیگر جدا هستند و طی جریان‌هایی تعریف شده از عرضه مواد خام تا تحویل محصول نهایی به مشتری، با یکدیگر مرتبط می‌شوند. مدیریت زنجیره تأمین، به مفهوم مدیریت، نظارت و هماهنگی بین شبکه گسترده‌ای از فعالیت‌ها تا ارائه محصول نهایی به مشتری است.

سیر تکاملی زنجیرهٔ تأمین روشی منسجم ایجاد می‌کند که به‌طور هم‌زمان جریان‌های روبه‌جلو و رو به عقب را در نظر می‌گیرد. زنجیره‌های تأمین که دارای بخش بازیافت نیز می‌باشند " زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته "، می‌گویند. در زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته، خروجی‌های نامطلوب و خروجی‌های مطلوب، هر دو وجود دارند. به‌عنوان مثال، محصولات و کالاهای معیوب را می‌توان به عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفت که پس از ورود به بخش تعمیر و بازیافت دوباره به نوعی قابل استفاده خواهند بود. (فلیشمن، ۲۰۰۱)

زنجیرهٔ تأمین سبز بدین‌صورت تعریف شده است: در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در مدیریت زنجیرهٔ تأمین شامل طراحی محصول، انتخاب و منبع‌یابی مواد، فرآیند ساخت و تولید، تحویل محصول نهایی به مشتری و مدیریت محصول پس از مصرف و طی شدن عمر مفید آن. (بویوکوزکان ، ۲۰۱۲). سبز کردن زنجیره تأمین، فرآیند در نظر گرفتن معیارها با ملاحظات زیست‌محیطی در سرتاسر زنجیرهٔ تأمین است. مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز، یکپارچه‌کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین است.

بسیاری، تأمین و تولید مواد اولیه را نیز در محدوده مدیریت زنجیره تأمین می‌دانند، هم‌چنین فرآیندهای تأمین منابع، ساخت، حمل‌ونقل و فروش محصولات فیزیکی را نیز شامل می‌شود. زنجیره تأمین تنها شامل جریان‌های یک‌طرفه و روبه‌جلو نیست. در طراحی زنجیره نمی‌توان جریان روبه‌عقب مانند محصولات مرجوعی، تخفیف‌ها و پرداخت‌های تشویقی، جریان اطلاعات و مانند آن‌ها را نادیده گرفت. بنابراین در زنجیره تأمین بیش‌تر جریان‌ها دوطرفه است.

مدیریت لجستیک معکوس حوزهٔ کوچک ولی مهمی از زنجیرهٔ تأمین‌کنندگان امروزی است و این اجازه را به مدیریت شرکت‌ها می‌دهد که کالاها و مواد اولیه برگشتی را به عرضه‌کنندگان بازگرداند و برای حفظ تداوم هماهنگ کردن فعالیت‌های تولید، توزیع و جلوگیری از توقف عملیات و نیز قابل‌استفاده نمودن اقلام و کالاهای برگشتی، خط‌مشی‌ها، نظام‌ها و روش‌هایی را اتخاذ نمایند تا مجموع هزینه‌های مرتبط با زنجیرهٔ تأمین را کاهش دهند. از شروط بسیار مهم در بازیافت و مصرف مجدد کالاها و اقلام تولیدی در زنجیرهٔ تأمین معکوس "جداسازی اقلام قابل استفاده مجدد و

اقلام غیرقابل استفاده" از یکدیگر است. اقلام قابل استفاده مجدد می‌توانند به عنوان جایگزین مناسب برای تأمین قطعات سفارش داده‌شده مورداستفاده واقع شوند. چراکه بسیاری از عدم اطمینان‌ها و نارضایتی‌ها ناشی از رابطه مستقیم محصولات عودتی و برگشت داده‌شده با زمان، کیفیت و کمیت کالاها می‌باشد، که با جایگزین کردن اقلام قابل‌استفاده کالاهای برگشتی، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها، در ابعاد مختلف دیگر نیز می‌توان رضایت مصرف‌کننده را کسب نمود و این امر مستلزم پایه‌ریزی یک سیستم برنامه‌ریزی قوی در امر تولید است.

به دلیل جایگاه مهم تأمین‌کنندگان از بعد تأثیرگذاری فراوان در هزینه‌های تولید، انتخاب تأمین‌کنندهٔ بهینه موجب کاهش هزینه‌ها و پایداری روابط در زنجیرهٔ تأمین می‌گردد. سازمان در راستای میل به سوددهی و مزیت رقابتی، باید به از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای، شیمیایی/ خطرناک، مواد زائد جامد) توجه شایانی کند. با توجه به تأثیر کیفیت مواد اولیه بر روی کیفیت محصولات نهایی، کارخانه‌ها فرآیندی را جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان تدوین می‌نمایند.

در حقیقت، مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است و اگر فرضیات دنیای واقعی به آن افزوده گردد، بسیار سخت و پیچیده می‌شود. در شیوه‌های سنتی انتخاب تأمین‌کنندگان، ابتدا تأمین‌کنندگان انتخاب می‌شدند و سپس خریدار با بررسی‌های دیگر و در نظر گرفتن محدودیت‌های جانبی تصمیم می‌گرفت چه مقدار سفارش به هر یک از تأمین‌کنندگان اختصاص دهد. اما در دهه‌های اخیر، محققان بر روی رویکردهای ترکیبی که در آن مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش که به‌طور هم‌زمان بررسی می‌شود، متمرکز شده‌اند.

در چند دهه گذشته، به علت بروز آثار مخرب زیست‌محیطی سازمان‌ها بر جوامع، فشارهای زیادی از جانب دولت‌ها و گروه‌های مردم‌نهاد بر سازمان‌ها برای رعایت جوانب زیست‌محیطی در فعالیت‌های آنان و به‌ویژه زنجیره‌های تأمین آن‌ها وارده شده است. برای دستیابی به زنجیرهٔ تأمین محیط‌زیست دوست یا سبز، نقش تأمین‌کنندگان به‌عنوان نقطه شروع زنجیره تأمین بسیار مهم است. بنابراین برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، علاوه بر معیارهای سنتی مانند قیمت، کیفیت و ... استفاده از شاخص‌های جدید که شامل مسائل زیست‌محیطی، متناسب با صنعت مورد نظر باشند، ضرورت دارد.

در این مقاله با در نظر گرفتن مجموعه معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی، یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط، چندمحصولی، چنددوره‌ای با اهداف چندگانه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز و در نظر گرفتن سیاست تخفیف ارائه می‌شود. دلیل استفاده از طرح‌های تخفیفاتی، ناشی از این حقیقت است که خریداران به خرید مقادیر بیشتر تشویق شوند و هزینه‌های شبکه کاهش می‌یابد. خریداران باید تصمیم بگیرند که چه مقدار سفارش به هر تأمین‌کننده تخصیص دهند تا از تخفیفات پیشنهادی آن‌ها بهره‌مند شوند. هزینه خرید تنها بستگی به قیمت واحد اقلام دارد و قیمت مجاز اقلام معمولاً در طرح‌های تخفیفاتی می‌تواند دیده شود و در مطالعات مربوطه تأمین‌کنندگان انواع گوناگونی از مدل‌های تخفیف را ارائه می‌دهند. تأمین‌کنندگان قیمت تخفیف را روی کیفیت یا تنوع محصولات خریداری‌شده از آن‌ها اختصاص نمی‌دهند بلکه روی حجم کسب‌وکار ارائه می‌دهند.

۲) پیشینه پژوهش

باتاکاریا و عمیت در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی به بهینه‌سازی هزینهٔ بازسازی چندمرحله‌ای در زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند.

در یک فرآیند بازسازی در زنجیره تأمین حلقه بسته، تولیدکنندگان با استفاده از پایان عمر محصول و دریافت آن از مشتریان، تعمیرات را انجام داده و آن را همراه با محصولات تازه تولید شده به فروش می‌رسانند. بازسازی برای محصولاتی می‌تواند انجام شود که مکانیکی بوده و از قابلیت استفاده مجدد، برخوردار باشند. ورود محصولات بازسازی شده به بازار سبب کاهش تقاضای مواد خام یا زیرمجموعه‌های مورد نیاز از تأمین‌کنندگان خواهد شد. در این پژوهش، یک مدل بدون محدودیت غیرخطی با تابع هدف بیشینه‌سازی سود در زنجیره تأمین حلقه‌بسته محصولات بازسازی شده با توجه به تقاضای وابسته به قیمت متغیرهای تصمیم‌گیری، قیمت فروش، قیمت خرید، درصد بازگشت‌پذیری محصولات و توزیع آنها، ارائه شده است.

ژو در سال ۲۰۱۸ یک مدل ترجیحی برای انتخاب تأمین‌کننده با استفاده از (مجموعه‌های فازی تعاملی) ارائه داد. هزینه و کیفیت خدمات تأمین‌کنندگان، ملاحظات اصلی در مدل پیشنهادی هستند. با تصمیم‌گیری تعاملی و چندمعیاره برای ارزیابی ویژگی‌های غیر قابل اندازه‌گیری کیفیت خدمات استفاده می‌شود که شامل نمایش رقابتی، توانایی‌های شرایط، پایداری، رقابت‌پذیری راه‌حل‌ها و آمادگی ارتباطی و دینامیک می‌شود.

سلطانی تهرانی،حسن پور و رمضانی در سال ۲۰۱۵ با استفاده از روش برنامه‌ریزی چندهدفه مدل چندهدفه، چندمحصولی و چنددوره‌ای با توابع هدف حداقل‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز و هزینه پردازش داخل مراکز و مراکز ساخته شده ارائه کرده‌اند و حداقل‌سازی کربن دی‌اکسید منتشر شده در داخل مراکز در اثر حمل و نقل بین مراکز انجام شده است.

صفار، شکوری، گنجوی و رزمی در سال ۲۰۱۵ با استفاده از روش فازی الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چندلایه‌ای، چندمحصولی، و چنددوره‌ای با بازگشت محصولات در زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته بررسی می‌شود. ریسک‌های عملیاتی به صورت خرابی در قسمت تأمین‌کنندگان و کارخانه در نظر گرفته شده است. مدل ریاضی، تأمین‌کنندگان مناسب را بر اساس معیارهایی مانند قیمت فروش، متوسط خرابی، و هزینه‌های حمل‌ونقل انتخاب می‌کند.

مقدم در سال ۲۰۱۵ با استفاده از روش برنامه‌ریزی چند هدفه فازی(مونت کارلو) برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان و تعداد قطعات جدید و محصولات نهایی در شبکه لجستیک معکوس و با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای مشتریان، ظرفیت تأمین‌کنندگان و درصد محصولات بازگشتی استفاده کرده است. سود کل، قطعات معیوب کل، قطعات دیرتحویل شده و فاکتور ریسک‌های اقتصادی مرتبط با تأمین‌کننده کاندید در محیط فازی به دلیل عدم قطعیت حداقل‌سازی گشته است.

وو و بارنس در سال ۲۰۱۶ از روش برنامه‌ریزی ریاضی و فرآیند تحلیل شبکه با توجه به مهم بودن انتخاب شریک سبز در زنجیره تأمین حلقه بسته سبز، را با هم ترکیب و استفاده کرده است. نکته اصلی ساخت همزمان زنجیره تأمین و انتخاب شریک سبز که موجب حداقل‌کردن تأثیرات منفی زیست محیطی و عملکرد کسب و کار بیشینه است. در مطالعه موردی صنعت تجهیزات و وسایل الکتریکی چین بررسی شده است.

غایبلو و تارخ در سال ۲۰۱۵ از یک مدل برنامه‌نویسی عددصحیح مختلط دو هدفه توسعه‌ای برای شبکه روبه‌جلو/ معکوس لجستیک در نظرگرفته که شامل سه رده در جهت روبه‌جلو (تأمین‌کنندگان، مراکز مونتاژ و مناطق مشتری) و دو رده در جهت معکوس (مراکز جداسازی قطعات و مرکز بازیافت)می‌شود.

کانان و همکاران در سال ۲۰۱۴ روش تاپسیس فازی برای انتخاب و رتبه‌بندی تأمین‌کننده سبز در شرکت الکترونیک برزیلی پیشنهاد شده و بر پایهٔ معیارهای شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز ساخته شده است.

گویندان، خداوردی و جعفریان در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روش تاپسیس فازی و تصمیم گیری چند معیاره در زنجیره تأمین پایدار جهت شناسایی مدل اثربخش بر پایه رویکرد خط پایین سه‌گانه (جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی، محیطی) برای عملیات انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین را بررسی کرده‌اند.

لی در سال ۲۰۱۳ یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط جهت حل مسئله تعیین اندازه محموله توسط چندین تأمین‌کننده، در چندین دوره و با در نظر گرفتن تخفیف کلی و نموی را ارائه داد. او در نهایت از یک الگوریتم ژنتیک کارا جهت حل مسئله با توجه به پیچیدگی مسئله استفاده کرد. هدف مدل پیشنهادی کمینه‌کردن هزینه کل شامل هزینه سفارش، نگهداری، خرید و جابه‌جایی بود که در آن کمبود موجودی در سیستم مجاز نیست. نتایج بدست آمده از حل مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک بیانگر دقیق و موثر بودن این الگوریتم برای حل مدل آنها است

یه و چوانگ در سال ۲۰۱۱ با استفاده از رویکرد الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب جهت بهبود مدل برنامه‌ریزی ریاضی بهینه برای انتخاب شریک سبز، که شامل دو تابع هدف از قبیل حداقل‌کردن هزینه و زمان‌حل بود پیشنهاد کردند که این اهداف با یکدیگر متضاد هستند.

رزمی و هاله در سال ۲۰۰۹ یک مدل ترکیبی شامل تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی چند هدفه خطی عددصحیح با در نظر گرفتن یک محصول را بکار گرفتند. در این پژوهش، سه تابع هدف که در مدل (ژیا و وو ،۲۰۰۷) هم به کار رفته شده است یعنی حداقل‌کردن هزینه کل خرید با در نظر گرفتن تخفیف، حداکثرکردن مقدار موزون خریداری شده و حداقل‌کردن تعداد محصولات معیوب در نظر گرفته شد ولی به جای یک مدل تخفیف پژوهش ژیا و وو، سه نوع تخفیف کلی،تجاری و نموی لحاظ شده و در نهایت به خاطر پیچیدگی مسئله، یک الگوریتم جستجوی پراکنده جهت حل مورد استفاده قرار گرفت.

عمید و قدسی‌پور در سال ۲۰۰۹ یک مدل خطی عددصحیح چند هدفه فازی وزن‌دار افزایشی را برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تخفیف کلی را ارائه دادند. مدل آنها شامل سه هدف کمینه‌کردن هزینه، تعداد کالاهای معیوب و تعداد کالاهایی که به موقع تحویل داده نمی‌شوند تحت محدودیت‌های ظرفیت و تقاضا است.

ژیا و وو در سال ۲۰۰۷ یک مدل ترکیبی از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی تحلیلی و برنامه‌ریزی چند هدفه عددصحیح مختلط را برای پشتیبانی تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده در شرایط تخفیف معرفی نمودند، جائی‌که تخفیف به مقدار کل سفارشات تعلق می‌گیرد. در مدل پیشنهادی آنها یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه، به نحوی فرمول‌بندی می‌شود که به طور همزمان، تعداد تأمین‌کنندگان و مقدار سفارشات تخصیص یافته به هر یک تعیین گردد. توابع به کار گرفته شده در این مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، کمینه‌کردن هزینه کل خرید، بیشینه‌کردن مقدار موزون خریداری شده و کمینه‌کردن تعداد

محصولات معیوب و حداکثر کردن تعداد محصولاتی که به موقع تحویل داده شود است به نحوی که محدودیت‌های مربوط به تقاضا و ظرفیت تأمین‌کنندگان برآورده شود.

داهل در سال ۲۰۰۳ از یک رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه عددصحیح به منظور تعیین تأمین‌کنندگان جهت به کارگیری و مقادیر سفارش تخصیص به هر یک از آن‌ها در حالت چند محصول و چند تاأمین‌کننده استفاده نمود. او هم از همان اهداف (چائودری و زیدیاک در سال ۱۹۹۳) بدون در نظر گرفتن هدف زمان استفاده کرد. همچنین در این فرآیند تخفیف قیمتی که به کل سفارشات تعلق می‌گیرد مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱. خلاصه مهمترین تحقیقات انجام شده

نویسنده	سال انتشار	نوع مسأله		نوع هدف		محصولات		دوره زمانی		تخفیف		روش حل		نوع مدل
		آفلاین	بهینه	تک	چند	تک	چند	تک	چند	بدون	خط	دقیق	هیوری	
عمید و همکاران	۲۰۰۹		✓		✓	✓		✓		✓		✓		برنامه ریزی عدد صحیح
محمد ابراهیم و همکاران	۲۰۰۹		✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓	برنامه ریزی خطی
کوکانگل و همکاران	۲۰۰۹	✓		✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓		برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح
لی او و همکاران	۲۰۱۰		✓	✓		✓		✓		✓		✓		تابع زبان تاگوچی
ساویک	۲۰۱۰		✓		✓	✓		✓				✓		برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط تک هدفه و چند هدفه
ونگ و همکارانش	۲۰۰۹		✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓		برنامه ریزی خطی عدد صحیح فازی
جولایی و همکارانش	۲۰۱۰	✓			✓		✓		✓	✓		✓		بررنامه ریزی آرمانی
لین و همکارانش	۲۰۱۱	✓			✓		✓		✓	✓		✓		برنامه TOPSIS و ANP ریزی خطی
کارآ		✓			✓		✓		✓	✓		✓		TOPSIS FUZZY
واره و همکارانش	۲۰۱٤	✓		✓		✓		✓				✓		برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط
مقدم و همکارانش	۲۰۱۵	✓			✓		✓		✓	✓			✓	برنامه ریزی خطی فازی
تحقیق حاضر	۲۰۲۰	✓			✓		✓		✓	✓		✓	✓	برنامه ریزی خطی ریاضی عدد صحیح مختلط

۳) روش شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر، یک مدل تلفیقی برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده چندهدفه چنددوره‌ای با محصولات چندگانه با در نظر گرفتن تخفیف در زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته ارائه شده است. در مدل تلفیقی پیشنهادی، دو نوع تخفیف کلی- نموی به طور همزمان با فرض اینکه هر تأمین‌کننده قادر است فقط یکی از دو نوع مدل تخفیف کلی و نموی را ارائه دهد، لحاظ شده است. در دنیای واقعی از آنجایی که ممکن است یک‌سری از تأمین‌کنندگان، تخفیف کلی و دیگر تأمین‌کنندگان تخفیف نموی را ارائه دهند بنابراین نیاز به مدلی که به طور همزمان هم تخفیف کلی و هم تخفیف نموی را در نظر بگیرد احساس می‌شود.

در مقالات بررسی شده پژوهشی که در آن تخفیف برای مسئله لجستیک معکوس با چندین هدف و چندین محصول با در نظرگیری تخفیف کلی و نموی چه به صورت مجزا و چه به صورت همزمان باشد، با هم کار نشده است. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در حوزه انتخاب تأمین‌کننده برای موقعیت‌های خرید تک محصولی طراحی شده‌اند و معمولاً به دلیل جلوگیری از پیچیده شدن محاسبات ریاضی، تخفیفات در نظر گرفته نمی‌شوند یا تنها فقط یک نوع تخفیف در نظر گرفته می‌شود در حالی‌که در واقعیت تأمین‌کنندگان می‌توانند شرایط تخفیف دلخواه را بیان و مشخصات خود را اعلام کنند و خریدار با توجه به موقعیت خود بهترین گزینه را انتخاب کند. همچنین برای حل مدل ریاضی از الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی ازدحام ذرات بعنوان الگوریتم مبنا و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب استفاده شده است. در ادامه به طور مختصر مدل‌های تخفیف مذکور شرح داده می‌شود.

۴) مدل‌های تخفیف

تخفیف: یعنی قیمت هر واحد کالا با افزایش مقدار سفارش کاهش می‌یابد. تخفیف دو نوع کلی و نموی (افزایشی) دارد :

تخفیف کلی: در این حالت تخفیف بر کل کالاها به صورت یکسان اعمال می‌شود به عبارت دیگر در این حالت تمام واحدهای خریداری شده با یک قیمت واحد محصول خریداری می‌شوند

تخفیف نموی یا افزایشی: در این حالت تخفیف بر هر محدوده به صورت جداگانه اعمال می‌شود. به عبارت دیگر در این حالت تمامی واحدهای خریداری شده با یک قیمت واحد محصول خریداری نمی‌شوند و تخفیف بر اساس مقادیر داخل محدوده تخفیف برای هر واحد محصول تعریف می‌شود.

۵) مفروضات مدل

مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش با توجه به فرضیه‌های زیر طراحی و حل شده است

- خریدار می‌تواند مقدار کالای مورد نیاز خود را از چند تأمین‌کننده تهیه کند.
- مراکز تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان/مونتاژگران، توزیع‌کنندگان و مشتریان و جمع‌آوری و دمونتاژ و بازیافت و دفع و انهدام ثابت و از پیش تعریف شده است.
- هزینه انتقال(جابه‌جایی) به نوع مواد، قطعه ، محصول بستگی ندارد و تحت تأثیر مبدأ و مقصد می‌باشد.
- هزینه دفع و انهدام مواد و قطعات در هزینه حمل و نقل آنها به مراکز دفع درنظر گرفته شده است.

- قطعات مورد استفاده در مراکز مونتاژ به مرکز تولیدکنندگان برگشت داده می‌شود.
- محصولات سبز از مواد قابل بازیافت ساخته شده است.
- محصولات پس از جمع‌آوری از مناطق مشتری، دمونتاژ می‌شوند.
- قطعات حاصل از دمونتاژ در سه دسته قطعات مشابه نو، قطعات بازیافتی و قطعات ضایعاتی به ترتیب، به مراکز مونتاژ، مرکز بازیافت و مرکز دفع منتقل می‌شوند.
- زنجیره‌ای شامل بخش تأمین کننده، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، مشتریان .. ، دفع و انهدام وجود دارد.
- چندین آیتم می‌تواند از هر تآمین‌کننده خریداری شود.
- کمبود آیتم‌ها برای هر تأمین‌کننده مجاز نمی‌باشد.
- فقط یکی از دو نوع مدل تخفیف کلی یا نموی از طرف هر تأمین‌کننده می‌تواند ارائه شود. (در مدل سوم این فرض مطرح می‌باشد)
- مقادیر کالاهای مرجوعی و تقاضای مشتری قطعی است.
- محصولات معیوب می‌تواند تعمیر شود و به سیستم توزیع در دوره بعدی فروخته شود.

اندیس‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم و تابع هدف مدل ریاضی ارائه شده برای زنجیره تأمین حلقه بسته سبز به شرح زیر می‌باشد.

۶) اندیس‌ها

I : شمارنده تامین کننده i=1,2,…,n

S : شمارنده آیتم ها s=1,2,…,r

J : شمارنده سطوح تخفیف j=1,2,…,m(i,s)

T : شمارنده دوره زمانی t=1,2,…,l

۶-۱) پارامترها

p_{isjt} : قیمت ارائه شده از طرف تامین کننده i ام برای آیتم s ام در سطح تخفیف jام و دوره زمانی t ام

k_{is}: درصدی از سطح کیفیت خدمات ارائه شده از طرف تامین کننده i ام برای محصول s ام

C_{it} : ظرفیت تأمین دوره t ام تامین کننده i ام

r_{is}: درصد سطح کیفیت محصول s ام از طرف تامین کننده i ام

D_{st} : مقدار تقاضای مورد نیاز از آیتم s در دوره t ام

C_{it} : ظرفیت تأمین دوره t ام تامین کننده i ام

b_{isj}: سطح قیمت jام تامین کننده i ام برای محصول s ام

f_{ist} : درصد مقدار مرجوعی از آیتم s ام برای تامین کننده i ام در دوره t

F_s : حد بالا قابل قبول از مقدار مرجوعی برای آیتم s ام

B_s : بودجه تخصیص داده شده به آیتم s

N : تعداد تأمین‌کنندگانی که برای انتخاب شدن با هم رقابت می‌کنند.

R : تعداد محصولات مورد نیاز خریدار که باید از طرف تأمین‌کنندگان تأمین شود

$m(i,s)$: تعداد بازه‌های تخفیف ارائه شده از طرف تامین کننده i ام برای آیتم s ام

n_1 : تعداد تأمین‌کنندگانی که تخفیف کلی را ارائه می‌دهند.

n_1 : تعداد تأمین‌کنندگانی که تخفیف نموی را ارائه می‌دهند.

HC : هزینه نگهداری

۶-۲) متغیرها

inv_{st} : موجودی محصول s در دوره t .

Y_{isjt} : مقدار یک می‌گیرد اگر تأمین‌کننده i ام برای محصول s ام در سطح تخفیف jام در دوره t انتخاب شود؛ در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

X_{isjt} : تعداد خریداری شده از طرف تامین کننده i ام برای محصول s ام در سطح تخفیف jام در دوره t.

۶-۳) تابع هدف

در این مقاله سه تابع هدف در مدل در نظر گرفته شده است که در زیر به توضیح آن پرداخته می‌شود.

اهداف مدل عبارت‌اند از کمینه‌کردن هزینه خرید و نگهداری، بیشینه‌کردن سطح کیفیت خدمات و بیشینه‌کردن سطح کیفیت محصولات است به طوری که تواماً هر سه این اهداف به سطح بهینه برسند. به عبارت دیگر مدل مساله، با توجه به هزینه‌های خرید محصولات و هزینه‌های نگه‌داری در دوره‌های مختلف و بر اساس مدل تخفیف تأمین‌کنندگان در هر دوره به دنبال تعداد بهینه تأمین محصولات از تأمین‌کنندگان می‌باشد به طوریکه هزینه‌های عملیاتی کمینه و سطح کیفیت خدمات و کیفیت محصولات بیشینه گردد.

مواد مصرفی به تأمین‌کنندگان عودت داده می‌شود تا به‌وسیله تأمین‌کنندگان بازتولید و به انبار ارسال می‌شود. محصولات حاصله را از طریق توزیع‌کنندگان به منظور برآورده‌سازی تقاضا به دست مشتریان می‌رسانند. پس از مصرف محصولات از دست مشتریان جمع‌آوری و به مراکز جمع‌آوری و پس از آن به مراکز دمونتاژ فرستاده می‌شود. محصولات در مراکز دمونتاژ به قطعات مشابه نو، قطعات قابل بازیافت و قطعات زائد جداسازی و تقسیم می‌شوند

قطعات مشابه نو به مراکز تولید و مونتاژ برای قرارگیری در چرخه مجدد تولید محصولات فرستاده می‌شوند. قطعات قابل بازیافت در مرکز بازیافت، بازیافت گردیده و به مواد بازیافته و مواد دورریز تقسیم می‌شوند.

مواد بازیافته به تأمین‌کنندگان برای حضور مجدد در چرخه تولید قطعات ارسال می‌شود همچنین مواد دورریز همانند قطعات زائد به مرکز دفع برای دفع و انهدام منتقل می‌شوند.

با توجه به اینکه مدل ارائه شده دارای سه تابع هدف می‌باشد به جای یک پاسخ مشخص، باید به بررسی مجموعه‌ای از پاسخ‌ها پرداخته بطور کلی روش‌های زیادی جهت محاسبه مجموعه پاسخ‌های حاصل از حل مسائل چند هدفه تحت عنوان پاسخ‌های نامغلوب یا پاسخ‌های پارتویی شناخته می‌شود. متداول‌ترین این روش‌ها، روش محدودیت اپسیلون می‌باشد که بطور مستقیم مجموعه پاسخ‌های پارتویی را گزارش می‌دهد. در این تحقیق از روش محدودیت اپسیلون به منظور شناسایی مجموعه پاسخ‌های نامغلوب با حل کننده سیپلکس برمبنای روش شاخه و کران در نرم افزار گمز ۲۴.۱ استفاده شده است. اگر چه مدل‌های برنامه‌ریزی عددصحیح ابزار قدرتمندی برای تدارکات لجستیک می‌باشد، این امر موجب شده تا داده‌ها و عملیات محاسباتی به شدت افزایش یابد قابلیت اطمینان داده‌ها و دقت مدل برای مقیاس بزرگتر کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه اغلب مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته از رده مسائل NP-Hard هستند بنابراین جهت حل مسئله در ابعاد بزرگ باید از روش‌های فراابتکاری استفاده شود.

در این تحقیق از نسخه چندهدفه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO)و الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب (NSGA II)در حالت سه تابع هدف استفاده شده است.در مقالات پیشین هیچ‌گاه در حوزه انتخاب تأمین کننده در زنجیره تأمین حلقه بسته با درنظرگرفتن تخفیف و مقایسه بین ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب در تولید جبهه پارتو برای این چنین مدلی انجام نشده است.

۷) مدل مساله سه هدفه چند دوره‌ای با محصولات چندگانه با در نظر گرفتن تخفیف کلی– نموی

$$Min\ Z_1 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} n(i) * (x_{i,s,j,t} * p_{i,s,j,t}) + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=n_1+1}^{n}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} nn(i) * (p_{i,s,j,t} * y_{i,s,j,t} * (x_{i,s,j,t} - b_{i,s,j-1} + 1) + \sum_{kk=1}^{j-1}\sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\sum_{s\in r} nn(i) * p_{iskt} * (bb_{i,s,k} - bb_{i,s,kk-1}))y_{isjt} + HC\sum_{s=1}^{r}\sum_{t=1}^{T} inv_{s,t} \quad ; \quad p_{i,s,1,t} \geq p_{i,s,2,t} \geq p_{i,s,3,t} \geq p_{i,s,m(i,s),t} \qquad (۱)$$

$$Max\ Z_2 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} k_{is}x_{isjt} \qquad (۲)$$

$$Max\ Z_3 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} r_{is}x_{isj} \qquad (۳)$$

S.T

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m(i,s)}(1+f_{ist})x_{isjt}+inv_{st-1}-inv_{st}=D_{st} \qquad s=1,2,\dots,r;\ t=1,2,\dots,T \qquad (٤)$$

$$inv_{sT}=0 \qquad s=1,2,\dots,r \qquad (٥)$$

$$\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)}(1-f_{ist})\times x_{isjt}\le c_{it} \qquad i=1,2,\dots,n;\ t=1,..,T \qquad (٦)$$

$$b_{isj-1}y_{isjt}<x_{isjt}\le b_{isj}y_{isjt} \qquad i=1,2,\dots,n;\ j=1,2,\dots,m(i,s);\ t=1,..,T;\ s=1,2,\dots,r \qquad (٧)$$

$$\sum_{j=1}^{m(i,s)}y_{isjt}\le 1 \qquad i=1,2,\dots,n;\ t=1,..,T;\ s=1,2,\dots,r \qquad (٨)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m(i,s)}f_{ist}\,x_{isjt}\le F_s \qquad s=1,2,\dots,r \qquad (٩)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{j=1}^{m(i,s)}\boldsymbol{n(i)}*\boldsymbol{x_{isjt}}\,\boldsymbol{p_{isjt}}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=n_1+1}^{n}\sum_{j=1}^{m(i,s)}\boldsymbol{nn(i)}*(\boldsymbol{p_{isjt}}\left(\boldsymbol{x_{isjt}}-\boldsymbol{b_{isj-1}}+\boldsymbol{1}\right)+\sum_{kk=1}^{j-1}\boldsymbol{nn(i)}*\boldsymbol{p_{i,s,kk,t}}\,(\boldsymbol{b_{isk}}-\boldsymbol{b_{isk-1}}))\boldsymbol{y_{i,s,kk,t}} \qquad s=1,2,\dots,r \qquad (١٠)$$

$$x_{isjt}\in\mathbb{Z}^{+}\ ;\ y_{isjt}\in\{0,1\}\ ;\ inv_{i,t}\in\{0,1\} \qquad i=1,2,\dots,n;\ j=1,2,\dots,m(i,s);\ s=1,2,\dots,r;\ t=1,\dots,T \qquad (١١)$$

تابع هدف (۱) بدنبال بیشینه‌سازی سود در زنجیره تأمین بوده بطوریکه که تأمین محصولات در هر دوره، از طریق تأمین‌کنندگان با انواع تخفیف نموی یا کلی می‌باشد. تابع هدف (۲) بدنبال بیشینه‌کردن مجموع سطح کیفیت خدمات و تابع هدف (۳) نیز وظیفه بیشینه‌کردن مجموع سطح کیفیت محصولات را دارد.

محدودیت (۴)، محدودیت تعادلی تقاضا با در نظر گرفتن عودت محصولات معیوب را نشان می‌دهد و تضمین می‌کند که تقاضای محصولات هر دوره زمانی، دچار کمبود نشود و محدودیت (۵) تضمین می‌کند موجودی پایان دوره صفر گردد.

محدودیت (۶)، محدودیت ظرفیت تأمین‌کننده با در نظر گرفتن عودت محصولات معیوب را نشان می‌دهد و ضمانت می‌دهد میزان تقاضا از تأمین‌کننده شامل محصولات تولیدی و معیوب عودت‌یافته در هر دوره زمانی، بیشتر از حد مجاز نگردد.

محدودیت (۷) نشان می‌دهد هرگاه محصولی در یک دوره زمانی از تأمین‌کننده‌ای بر اساس یکی از سطوح تخفیف مقدار گیرد آنگاه متغیر باینری متناظر آن نیز یک می‌گردد و در غیر اینصورت مقدار صفر را می‌پذیرد.

محدودیت (۸)، تضمین می‌کند تأمین تقاضای هریک از محصولات در هر دوره از تأمین‌کننده مورد نظر، حداکثر می‌تواند در طبقه‌بندی یکی از سطوح تخفیف قرار گیرد.

از طریق محدودیت (۹)، ظرفیت کل مرجوعی محاسبه می‌گردد و مطمئن می‌شود این مقدار از حد مجاز مرجوعی محصول تخطی نکند. محدودیت (۱۰)، محدودیت بودجه می‌باشد و کل هزینه‌های خرید محصول را به مقدار معینی محدود می‌سازد.

محدودیت (۱۱) هم در انتها دامنه متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

زنجیره تأمین حلقه بسته مورد بررسی در این تحقیق از نوع *NP-HARD* است. در ابعاد کوچک جهت حل مساله به روش حل دقیق با در نظر گرفتن حل توام سه تابع هدف جهت بهینگی مدل، برای تعیین نقاط پارتو از رویکرد اپسیلون محدودیت تقویت شده استفاده می‌گردد. با توجه به اینکه روش حل دقیق جهت حل مدل در زمان طولانی صورت می‌گیرد از روش حل تقریبی با استفاده از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه با الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب ارائه می‌گردد.

تعریف مسئله در این تحقیق به منظور انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب و تعیین میزان بهینه تخصیص سفارش به آنها از مدل‌سازی ریاضی استفاده می‌شود .اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای انجام پژوهش از طریق مصاحبه با کارشناسان شرکت مورد مطالعه، اسناد و داده‌های موجود در سازمان جمع‌آوری شده است مدل ریاضی مناسب طراحی شده و سپس با استفاده از داده‌های موجود، پارامترهای مدل ریاضی محاسبه شده در نهایت مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز با استفاده از نرم افزار گمز مورد مطالعه پژوهش حل شده است،

مسائل زنجیره تأمین حلقه‌بسته، به روش‌های مختلف امکان‌پذیر است. اکثر راه‌حل‌های پیشنهادی راه‌حل‌های قوی هستند که با استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی ریاضی مثل لینگو و گمز حل می‌شوند. مسائلی که با این نرم‌افزارها مدل‌سازی شده‌اند بطور کلی در مقیاس کوچک هستند. سال‌ها بعد از سیپلکس برای ارائه یک روش استوار برای مسائل با مقیاس کوچک و از الگوریتم ژنتیک و ابتکاری برای مسائل با مقیاس بزرگتر استفاده شد. همچنین در سال ۲۰۱۴ یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات برای حل مدل‌های بزرگتر که دقت بیشتری داشت ارائه شد. در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، مقدم و وو و بارنس شبکه زنجیره تأمین اصلاح‌شده که یک مدل غیرخطی را به خطی تبدیل می‌کند، توسعه دادند. علاوه بر این، الگوریتم ژنتیک و سایر الگوریتم‌های فراابتکاری در شبکه‌های زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته و لجستیک معکوس در مقالات اخیر اغلب استفاده شده است.

۸) الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه

هر یک از ذرات تولید شده در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه، باید دارای چهار ویژگی شامل مختصات، سرعت، بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه جمعی می‌باشد. در ادامه هر کدام از ویژگی ذره شرح داده می‌شود.

- مختصات:

با توجه به مدل مساله، مختصات باید به گونه‌ای باشد که که در هیچ یک از دوره‌ها مشتری دچار کمبود نگردد. بنابراین در هر یک از دوره‌ها مقادیر تخصیص یافته می‌بایست در رابطه (۱۲) صدق کند.

اگر X_t مقدار تخصیص یافته و D_t تقاضای مشتری در دوره t باشد و موجودی دوره t از رابطه $I_t = X_t - D_t$ محاسبه شود، آنگاه داریم:

$$D_t - \sum_{\tau=1}^{t-1} I_\tau \le X_t \le \sum_{\tau=1}^{t} D_\tau - \sum_{\tau=1}^{t-1} X_\tau \quad \forall t \qquad \text{(رابطه ۱۲)}$$

حال می‌توان با در نظر گرفتن رابطه (۱۲) ماتریس مختصات جواب در گام اول به گونه‌ای که کمبود در آن مجاز نباشد تشکیل می‌گردد. جدول (۲) یک نمونه ماتریس اولیه را نشان می‌دهد. سطر اول مقادیر تأمین تقاضا را در سه دوره برای محصول اول و سطر دوم مقادیر تأمین تقاضا را در سه دوره برای محصول دوم نشان می‌دهد.

جدول ۲. ماتریس اولیه مختصات

X_{11}	X_{21}	X_{31}
X_{12}	X_{22}	X_{32}

در هر یک از درایه‌های ماتریس فوق، همچنین باید معلوم گردد مشتری از کدام تأمین‌کننده، تقاضای خود را تأمین کند. بنابراین هر یک از درایه‌ها به تعداد تأمین‌کنندگان شکسته می‌شود و مقادیر آن به طور تصادفی تقسیم می‌شود. جدول (۳)، ماتریس نهایی مختصات را برای چهار تأمین‌کننده نشان می‌دهد.

جدول ۳. ماتریس نهایی مختصات

X_{11}^1	X_{11}^2	X_{11}^3	X_{11}^4	X_{21}^1	X_{21}^2	X_{21}^3	X_{21}^4	X_{31}^1	X_{31}^2	X_{31}^3	X_{31}^4
X_{12}^1	X_{12}^2	X_{12}^3	X_{12}^4	X_{22}^1	X_{22}^2	X_{22}^3	X_{22}^4	X_{32}^1	X_{32}^2	X_{32}^3	X_{32}^4

چندین دیدگاه برای استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در نحوه انتخاب جواب‌های تولید شده وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: روش‌های مبتنی بر جستجوی ناحیه قابل قبول طراحی و روش‌های مبتنی بر تابع جریمه. استفاده از روش‌های گروه اول بیشتر در مسائل با تعداد محدویت و متغیرهای کم کاربرد دارد. اما در مسائل بزرگ و طبیعت پیچیده و قیود زیاد روش گروه دوم مفیدتر هستند.

در روش جریمه‌ای اگر میزان جریمه‌ای که به تابع هدف اضافه می‌گردد ناچیز باشد باعث صرف زمان زیادی برای جستجو در نواحی غیر قابل قبول خواهد شد و الگوریتم به پاسخی غیر قابل قبول همگرا می‌شود و همچنین میزان جریمه بزرگ مانع از جستجو در نواحی غیر قابل قبول می‌شود و این عامل باعث همگرایی سریع و اغلب دور از بهینگی فراگیر می‌انجامد. در این روش با توجه به میزان تخطی از قیود، جریمه‌هایی متناسب با تکرار الگوریتم افزایش خواهد یافت. اگر رابطه کلی مدل به صورت رابطه (۱۳) باشد:

$$\min_x \ f(x), \quad x \in R^n$$
$$g_i(x) \le 0, \quad i = 1, \ldots, m \qquad \text{(رابطه ۱۳)}$$

و h_k مقدار جریمه اصلاح شده پویا، k شماره تکرار جاری الگوریتم و H_x ضریب جریمه باشد فرم کلی جریمه مذکور به صورت رابطه (۱۴) ست.

$$F_{NEW} = F_{OLD} + h_k H_x \quad \text{رابطه(۱٤)}$$

که در آن مطابق رابطه (۱۵) داریم:

$$H_x = \sum_{i=1}^{m} \theta(q_i^x) \times (q_i^x)^{\gamma(q_i^x)}$$
$$q_i^x = \max\{0, g_i(x)\}, \qquad i = 1, \ldots, m \quad \text{رابطه(۱۵)}$$

پارامتر $\theta(q_i^x)$ تابع تخصیص چند مرحله‌ای است و $\gamma(q_i^x)$ توان تابع جریمه می‌باشد.

بعد از اینکه هر درآیه از ماتریس مختصات، با شرایط تشریح شده به صورت تصادفی ایجاد گردید، سرعت هر مختصات برای هر یک از ذرات متناسب با دریه‌های موجود در مختصات، یک مقدار سرعت، تعلق می گیرد. سطر بعدی ماتریس ذره اولیه، اختصاص به بهترین موقعیت تجربه شخصی هر ذره که با شایستگی آن موقعیت سنجیده می‌شود، دارد. سطر پنجم ماتریس ذره (لیدر) به بهترین تجربه ذرات تا به حال اختصاص می‌یابد که با توجه به مفهوم پارتو از نقاط نامغلوب ذخیره شده مطابق با مفهوم الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه محاسبه می‌شود.

- محاسبه بردار انتقال و بروز رسانی موقعیت ذرات

بعد از تولید جمعیت اولیه و تعیین Pbest و Leader، بردار انتقال ذرات محاسبه می‌شود. سپس موقعیت جدید ذره به روز رسانی می گردد (رابطه (۱۶).

$$V(i,t+1) = w * v(i,t) + r1 * c1\,(Pbest(i,t) - X(i,t)) + r2 * c2\,(Leader(i,t) - X(i,t)) \quad (۱٦)$$

$$X(i,t+1) = X(i,t) + V(i,t+1) \quad (۱۷)$$

- به روز رسانی‌ها و تکرار گام‌ها

بعد از تولید موقعیت جدید ذرات، لازم است Pbest و سپس مخزن به روز رسانی شود. نقاط نامغلوب جدید به مخزن اضافه شده و به روز رسانی مخزن صورت می‌گیرد و تمامی این روند و گام‌های الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه پیشنهادی، به تکرار معینی ادامه پیدا می‌کند. در پایان، اعضای مخزن به عنوان جواب‌های پارتوی حل مساله، به منظور خروجی مسئله مورد تحقیق انتخاب می گردد

۸-۱) ترکیب دو الگوریتم متاهیوریستیک MOPSO و NSGA II

برای ارائه روش حل متاهیوریستیک مدل ریاضی ارائه شده با استفاده از ترکیب دو الگوریتم فراابتکاری MOPSO بعنوان الگوریتم پایه و عملگرهای الگوریتم فراابتکاری NSGA II نیز استفاده شده است بنحوی که پس از آنکه هر ذره موقعیت و سرعت خود را بروزرسانی کرد و جواب‌های نامغلوب به مخزن اضافه شد حال با استفاده از عملگرهای الگوریتم NSGA

II مانند CROSSOVER و MUTATION مجددا بر روی جمعیت اصلی انجام شده و مجددا جوابهای نامغلوب آن به مخزن اضافه می شوند.

با توجه به اینکه ظرفیت مخزن محدود بوده و باید تعدادی از جوابهای نامغلوب از جمعیت حذف شوند برای حذف از مخزن یکبار رولت ویل استفاده کرده و با استفاده از تکنیک فاصله ازدحامی (Crowding Distance) عمل حذف از مخزن را انجام میدهیم

۸-۲) آزمایش عددی

ابعاد مساله از طریق پارامترهای زیر تعیین می‌شود.

I: تعداد تامین کنندگان

R: تعداد محصولات

T: تعداد دوره

J: تعداد بازه‌های تخفیف

از آنجایی که در مدل پیشنهادی ادغام تخفیف کلی و نموی نوآوری مدل محسوب می‌شود و نتایج عددی آن در مقالات دیگر موجود نیست، کلیه پارامترها بر اساس مفروضات منطقی بنا شده است.

فرض می‌شود قیمت ارائه شده از طرف تأمین‌کننده، برای محصول نوع یک تا سه، به ترتیب دارای توزیع یکنواخت به صورت تابع $U_1 \sim [250,400]$ و $U_2 \sim [200,300]$ و $U_3 \sim [200,450]$ می‌باشد. در بازه‌های تخفیف با افزایش J به ازای هر گام افزایش، مقادیر ارائه شده تأمین‌کنندگان، شامل تخفیف قیمت به ترتیب ۴۰ واحدی برای محصولات خواهد شد. در ادامه پارامترهای دیگر در جدول شماره (۴) آورده شده‌است.

جدول ٤. پارامترهای مشترک در سناریو اول و دوم

$f_{is}(\%)$	$C_{i,s,t}$	$D_{S,t}$	$k_{i,s}(\%)$	$r_{i,s}(\%)$
$U \sim [1,15]$	$U \sim [2000,5000]$	$U \sim [1000,4500]$	$N \sim (80,10)$	$N \sim (80,10)$
HC	B_s		F_s	
200	$(3.2E+6, 3.4E+6)$		$(300,500)$	

۸-۳) تنظیم پارامتر

در آزمایش برای الگوریتم پیشنهادی بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه، به تنظیم چهار فاکتور ۱) تعداد جمعیت اولیه ۲) تعداد تکرار ۳) فشار انتخاب رهبر و ۴) فشار حذف رهبر، در چهار سطح در نرم افزار مینی‌تب پرداخته می‌شود. این آزمایش‌ها بر روی مساله با پنج تأمین‌کننده، سه دوره زمانی، سه محصول و سه بازه تخفیف انجام می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، تعداد جمعیت اولیه ۱۵۰، تعداد تکرار الگوریتم ۱۰۰، فشار انتخاب لیدر ۳ و فشار حذف لیدر ۳ در نظر گرفته شد.

۹) شاخص‌های مقایسه نتایج پارتو

عملکرد الگوریتم‌های چند هدفه از عملکرد الگوریتم‌های تک هدفه بسیار پیچیده‌تر است و با توجه به معیارهای ارائه شده، یک شاخص ارزیابی نمی‌تواند برای بررسی جواب‌های حاصل از الگوریتم‌های ارائه شده کافی باشد. به طور کلی یک

جواب ارائه شده توسط الگوریتم‌های چند هدفه باید سه ویژگی داشته باشد

(۱) فاصله بین مجموعه جواب‌های غالب حاصل از حل مسئله توسط الگوریتم با مجموعه پارتو بهینه کمینه باشد.

(۲) نحوه توزیع جواب‌ها در مجموعه جواب‌های پارتو به صورت یکنواخت باشند.

(۳) جواب‌های حاصله به صورت گسترده بخش زیادی از مقادیر هر یک از توابع هدف را پوشش دهند.

بنابراین جهت مقایسه الگوریتم‌ها از شاخص‌های زیر استفاده کرده که در این قسمت به شرح مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود.

- شاخص کیفیت (QM):

شاخص کیفیت بدین‌گونه است که کلیه جواب‌های پارتو بدست آمده توسط هر یک از الگوریتم‌ها را با هم در نظر گرفته، سپس عملیات نامغلوب برای کلیه جواب‌ها انجام داده می‌شود در نهایت، کیفیت الگوریتم‌ها برابر است با سهم جواب پارتوی جدید مختص به آن الگوریتم. کیفیت بالاتر منزله بهتر بودن الگوریتم می‌باشد.

- فاصله از نقطه ایده‌آل(MID):

مقدار این شاخص برابر است با فاصله نقاط پارتو الگوریتم مورد بررسی از نقطه ایده‌آل. در این تحقیق، با توجه به اینکه تابع هدف اول بدنبال کمینه‌سازی و تابع هدف دوم و سوم بدنبال بیشینه‌سازی است، نقاط ایده‌آل برای آن‌ها $f_1^{\min}$ و $f_2^{\max}$ و $f_3^{\max}$ در نظر گرفته می‌شود. شاخص MID را می‌توان توسط رابطه (۱۷) محاسبه کرد.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left\{\left(\frac{f_{1i}-f_1^{\min}}{f_{1,total}^{\max}-f_{1,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{f_{2i}-f_2^{\max}}{f_{2,total}^{\max}-f_{2,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{f_{3i}-f_3^{\max}}{f_{3,total}^{\max}-f_{3,total}^{\min}}\right)^2\right\}^{0.5}}{n} \quad (۱۷)$$

که در آن n برابر تعداد نقاط پارتو و همچنین $f_{i,total}^{\max}$ و $f_{i,total}^{\min}$، به ترتیب برابرند با بیشینه و کمینه‌ترین مقدار توابع هدف نامغلوب یافت شده کل اجرا در نتایج حل مدل. پایین بودن مقدار MID به منزله بهتر بودن روش حل است.

- شاخص پراکندگی (DM):

این شاخص وسعت جواب‌های پارتو یک الگوریتم را نشان می‌دهد و توسط رابطه (۱۸) می‌توان آن را محاسبه کرد. هر چه شاخص DM بیشتر باشد، الگوریتم بهتر است.

$$DM = \left\{\left(\frac{\max f_{1i}-\min f_{1i}}{f_{1,total}^{\max}-f_{1,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{\max f_{2i}-\min f_{2i}}{f_{2,total}^{\max}-f_{2,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{\max f_{3i}-\min f_{3i}}{f_{3,total}^{\max}-f_{3,total}^{\min}}\right)^2\right\}^{0.5} \quad (۱۸)$$

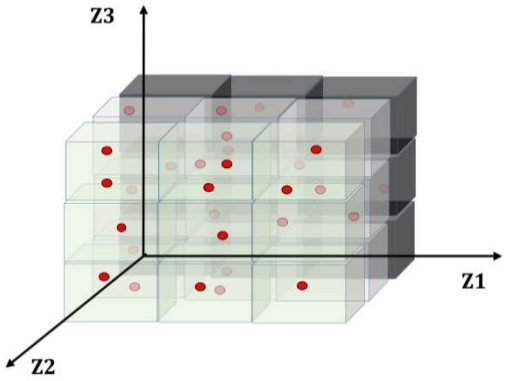
- شاخص فاصله (SM):

این شاخص یکنواختی توزیع جواب‌های پارتو در فضای حل را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه این شاخص مطابق رابطه (۱۹) می‌باشد.

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n}|\bar{d}-d_i|}{n\times\bar{d}} \quad (۱۹)$$

در فضای سه بعدی محاسبه شاخص فوق بدلیل اینکه تعیین نقاط پارتوی کناری نیازمند محاسبه پیچیده‌تر و زمان‌برتری می‌باشد از شاخص دیگری که پراکندگی نقاط پارتو را نشان می‌دهد استفاده می‌کنیم. طبق شکل (۲) فضای جواب به تعداد معینی (G) تقسیم بندی می‌شود. بنابراین هریک از سلول‌های کوچک سه‌بعدی شامل تعدادی نقاط پارتو می‌گردد. هر چه این تعداد نقاط پارتو در سلول‌های ایجاد شده انحراف معیار کمتری داشته باشد شاخص SM کارایی الگوریتم بهتر می‌باشد. رابطه SM در این تحقیق از رابطه (۱۹) بدست می‌آید.

که در آن d_i مطابق شکل (۱)، برابر است با تعداد نقاط پارتو در سلول iام و همچنین $\bar{d}$ نیز برابر با میانگین تعداد نقاط پارتو در کل سلول‌هاست.



شکل ۱. میانگین تعداد نقاط پارتو در کل سلول ها

- شاخص زمان (RT):

آخرین شاخص مورد بررسی مربوط به زمان اجرا و حل الگوریتم می‌باشد. هر چه این مقدار کمتر باشد الگوریتم بهتر می‌باشد.

۱۰) یافته های پژوهش

۱۰-۱) نتایج عددی

در این بخش با توجه به شاخص‌های معرفی شده در ابعادبزرگ، مدل مساله را با روش الگوریتم پیشنهادی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و ترکیب این دو الگوریتم با یکدیگر حل و جهت بررسی کیفیت و کارایی الگوریتم پیشنهادی، نتایج از از طریق میانگین خطا مورد تحلیل قرار می‌گیرد. الگوریتم پیشنهادی برای هر یک از ابعاد مساله به تعداد معینی اجرا و میانگین ثبت می‌گردد. نتایج عددی برای دو شاخص QM و SM در جدول (۶) آورده شده است. دو رقم اول ابعاد مساله تعداد تأمین‌کننده و رقم‌های بعدی به ترتیب سطوح تخفیف، تعداد محصول و دوره زمانی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. نتایج عددی

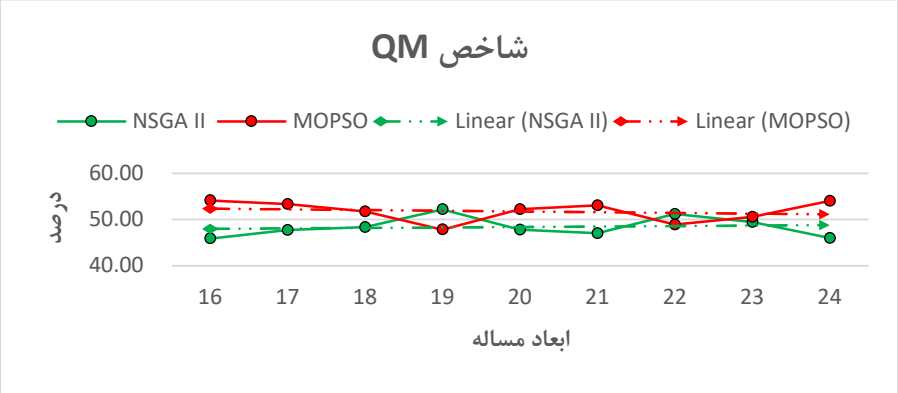
شماره مسأله	PB 16	PB 17	PB 18	PB 19	PB 20	PB 21	PB 22	PB 23	PB 24
I	۷	۱۰	۱۰	۵	۵	۷	۷	۱۰	۱۰
J	۵	۳	۵	۳	۵	۳	۵	۳	۵
R	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
T	۳	۳	۳	۵	۵	۵	۵	۵	۵
ابعاد بزرگ									

جدول ٦ . مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با الگوریتم NSGA II– ابعاد بزرگ

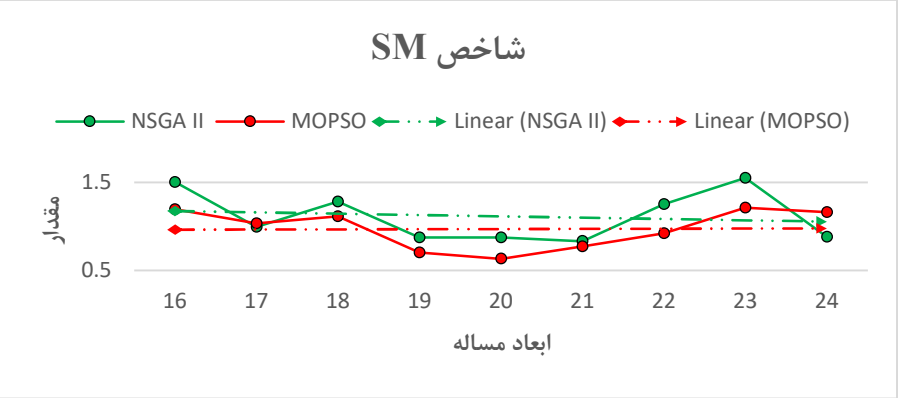
Problem No.	Quality Metric (QM)					Spacing Metric (SM)				
	NSGA II		MOPSO		%Gap	NSGA II		MOPSO		%Gap
	Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv		Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv	
#16	45/87	1/7	٥٤/١٣	0/08	١٥/٣	١/٥٠	٠/٠٨	1.19	٠/٠٥	٢٦/١-
#17	47/70	2/1	٥٣/٣٠	0/09	١٠/٥	٠/٩٩	٠/٠٩	١/٠٣	٠/٠٣	٣/٩
#18	48/31	1/3	51/69	0/7	٦/٥	١/٢٨	٠/٠٥	١/١١	٠/٠٦	١٥/٣-
#19	٥٢/١٨	0/5	47/82	0/6	-9/1	٠/٨٧	٠/٠٧	٠/٧٠	٠/٠٧	٢٤/٣-
#20	47/78	2/8	52/22	1/2	8/5	0/87	0/11	0/63	0/03	-38/1
#21	46/98	1/6	53/02	0/8	11/4	0/83	0/06	0/77	0/09	-7/8
#22	51/15	0/9	48/85	1	-4/7	1/25	0/08	0/92	0/02	-35/9
#23	49/46	0/8	50/54	0/7	2/1	1/55	0/09	1/21	0/04	-28/1
#24	45/99	1/7	54/01	0/3	14/8	0/88	0/09	1/16	0/07	24/1

همانطور که پیشتر نیز بیان شد شاخص QM بالاتر نشان دهنده کیفیت الگوریتم در کشف نقاط موثر پارتو می‌باشد و شاخص SM، میزان نظم چیدمان نقاط پارتو کشف شده و شاخصی برای پراکندگی نقاط پارتو نسبت به همدیگر می‌باشد. بنابراین هر چه شاخص SM مقدار پایین‌تری را ثبت کند عملکرد مطلوب‌تری را در این شاخص ایفا می‌کند.

همانطور که پیشتر گفته شد شاخص SM میزان نظم نقاط پارتو در فضای حل و فاصله نقاط پارتو را نسبت به هم نشان می‌دهد. هر چه یکنواختی فاصله نقاط پارتو بیشتر باشد شاخص SM که پراکندگی نقاط پارتو را محاسبه می‌کند کمتر و موثرتر می‌باشد. نتایج روش‌های حل نشان می‌دهد در اکثر موارد الگوریتم پیشنهادی بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه با تنظیم درست فشار انتخاب لیدر و حذف نقاط پارتو مناسب هنگامی که ظرفیت مخزن نقاط پارتو تکمیل می‌گردد، بهتر عمل می‌کند و یکنواختی نقاط پارتوی بهتری را ثبت کرده است به طوریکه میانگین خطا در روش حل دقیق ۹/۲۳درصد بدتر از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه پیشنهادی بوده‌است. یکنواختی فواصل نقاط پارتو در فضای کشف شده نقاط موثر بیشتری در اختیار مدیریت جهت سناریو های مختلف می‌دهد.



شکل ۳ . نتایج عددی الگوریتم MOPSO و الگوریتم NSGA II – شاخص QM



شکل ٤ . نتایج عددی نتایج عددی الگوریتم MOPSO و الگوریتم NSGA II – شاخص SM

شیب روند خطی شاخص QM در شکل ۳ حاکی از آن است که با افزایش ابعاد مساله مسیر یکنواختی را طی می‌کند و مقدار این شاخص نسبت به ابعاد مساله حساسیتی ندارد. همچنین نشان می‌دهد با افزایش ابعاد مساله کیفیت درصد سهم نقاط کشف شده در الگوریتم NSGA II با شیب ملایمی بهبود و به کیفیت الگوریتم MOPSO نزدیکتر می‌گردد.

همچنین در شکل ۴، خط روند شاخص SM در الگوریتم MOPSO با افزایش ابعاد مساله، حساسیتی نشان نمی‌دهد. اما در الگوریتم NSGA II با شیب ملایمی به سمت بهبود شاخص پیشروی می‌کند.

در ادامه به شاخص‌های DM (شاخص پراکندگی) و MID (فاصله از نقطه ایده آل) پرداخته می‌شود.

جدول ۷. مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با الگوریتم NSGA II– ابعاد بزرگ

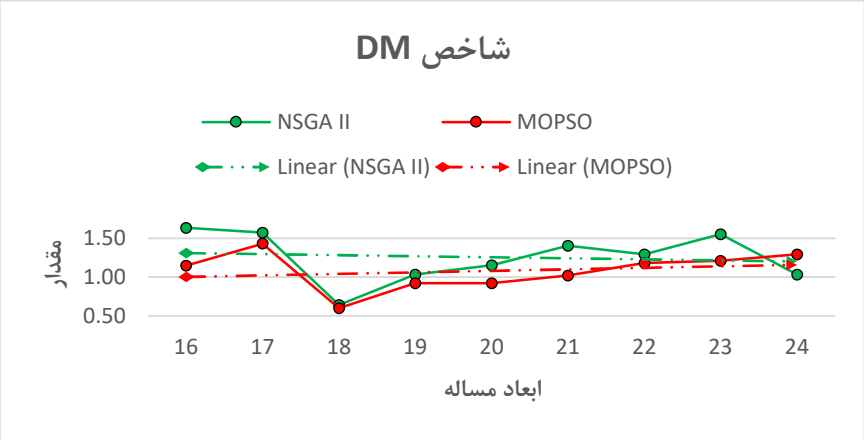
Problem No.	Diversity Metric (DM)					Mean Ideal Distance (MID)				
	NSGA II		MOPSO		%Gap	NSGA II		MOPSO		%Gap
	Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv		Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv	
#16	1.63	0.05	1.15	0.12	-42.3	0.93	0.03	0.85	0.01	**-9.2**
#17	1.57	0.08	1.43	0.09	-9.8	0.72	0.02	0.59	0.02	**-22.0**
#18	0.64	0.06	0.60	0.07	-6.7	0.66	0.02	0.63	0.03	**-4.7**
#19	1.03	0.09	0.92	0.15	-12.0	0.75	0.01	0.87	0.02	**13.7**
#20	1.15	0.07	0.92	0.08	-25.0	0.78	0.03	0.68	0.01	**-14.7**
#21	1.40	0.05	1.02	0.04	-37.3	1.02	0.04	0.99	0.01	**-3.0**
#22	1.29	0.11	1.18	0.10	-9.3	0.61	0.02	0.56	0.02	**-8.9**
#23	1.55	0.03	1.21	0.03	-28.1	1.00	0.03	0.99	0.01	**-1.0**
#24	1.03	0.08	1.29	0.13	20.2	0.90	0.02	0.87	0.03	**-3.4**

در شاخص MID یکی از مهم‌ترین شاخصی که کیفیت نقاط پارتو را نشان می‌دهد الگوریتم MOPSO عملکرد به مراتب بهتری را در مقایسه با الگوریتم NSGA II از خود نشان می‌دهد. این شاخص که فاصله نقاط پارتو از نقاط ایده‌آل را ارزیابی می‌کند از قدرتمندترین شاخص جهت ارزیابی کارایی می‌باشد. نقطه ایده‌آل برای تابع هدف هزینه که بدنبال کمینه‌کردن آن می‌باشد، کمترین مقدار کشف شده در هر دو الگوریتم در مجموع کل اجرا، در نظر گرفته شده و همچنین نقاط ایده‌آل برای توابع هدف کیفیت (کیفیت محصول و خدمات) که به دنبال بیشینه‌سازی می‌باشند، بزرگترین نقطه کشف شده در هر دو روش حل در کل اجرا تعیین گردید.

همانطور که در نتایج عددی مشاهده می‌گردد میانگین شاخص MID در الگوریتم MOPSO ۵.۹۳٪ بهتر از الگوریتم NSGAII را ثبت شده‌است و تنها در یکی از ابعاد مساله الگوریتم NSGA II شاخص مذکور بهتر عمل کرده است. بنابراین الگوریتم MOPSO در مهم‌ترین شاخص کارایی، مناسب و کارآمدتر نشان می‌دهد.

شکل (۴-۳۴) و (۴-۳۵) مقادیر نتایج عددی و روند آن را در ابعاد مساله نشان می‌دهد.

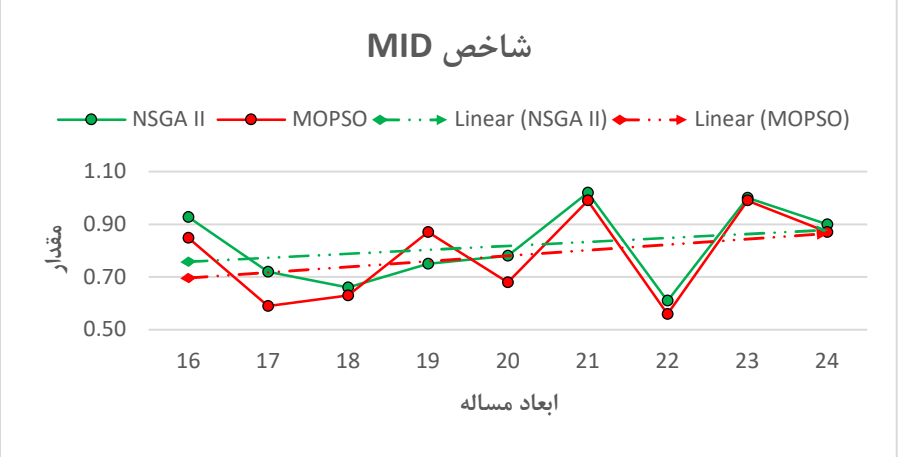
شکل (۴-۳۴) نشان می‌دهد شاخص DM با بزرگتر شدن ابعاد مساله تغییر چندانی نمی‌کند. اما به نظر می‌رسد با توجه به نزدیک شدن خط روند دو الگوریتم، با افزایش ابعاد مساله الگوریتم‌های MOPSO و NSGA II عملکرد یکسانی را از خود در این شاخص نشان دهند. همچنین در مساله شماره ۱۶، الگوریتم NSGA II بهترین عملکرد خود را در این شاخص نشان می‌دهد به طوریکه نقاط پارتو، حدود ۹۵٪ فضای جواب کشف شده را پوشش می‌دهد.



شکل ۵. نتایج عددی نتایج عددی الگوریتم MOPSO و الگوریتم NSGA II – شاخص DM

اما مهم‌ترین شاخصی که کیفیت نقاط پارتو را نشان می‌دهد شاخص MID می باشد. این شاخص که فاصله نقاط پارتو از نقاط ایده‌آل را ارزیابی می‌کند از قدرتمندترین شاخص جهت ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش حل دقیق است. در این نقطه ایده‌آل برای تابع هدف هزینه که بدنبال کمینه‌کردن آن است، صفر در نظر گرفته شده و همچنین نقاط ایده‌آل برای توابع هدف کیفیت (کیفیت محصول و خدمات) که به دنبال بیشینه‌سازی هستند، بزرگ‌ترین نقطه کشف شده در هر دو روش حل تعیین گردید. همانطور که در نتایج عددی مشاهده می‌گردد میانگین شاخص MID در الگوریتم پیشنهادی تنها ۵/۲۲درصد بالاتر از روش حل دقیق را ثبت کرده‌است. بنابراین الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام

ذرات چندهدفه که یک روش تقریبی محسوب می‌گردد نتایج نزدیک به بهینه را کشف و در مهم‌ترین شاخص کارایی، مناسب و کارآمد نشان می‌دهد.



شکل ٦. نتایج عددی نتایج عددی الگوریتم MOPSO و الگوریتم NSGA II – شاخص MID

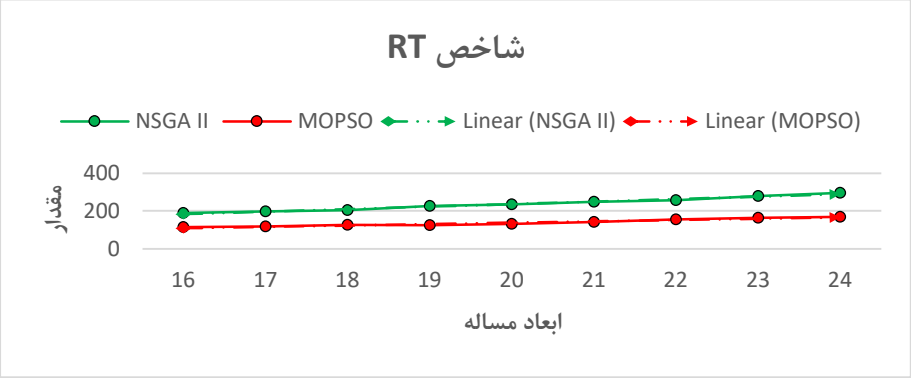
شکل (۵) نشان می‌دهد شاخص DM با بزرگتر شدن ابعاد مساله تغییر چندانی نمی‌کند. اما به نظر می‌رسد با توجه به نزدیک شدن خط روند دو الگوریتم، با افزایش ابعاد مساله الگوریتم‌های MOPSO و NSGA II عملکرد یکسانی را از خود در این شاخص نشان دهند. هم‌چنین در مساله شماره ۱۶، الگوریتم NSGA II بهترین عملکرد خود را در این شاخص نشان می‌دهد به طوریکه نقاط پارتو، حدود ۹۵٪ فضای جواب کشف شده را پوشش می‌دهد.

آخرین شاخص مورد بررسی زمان اجرای (RT) حل ابعاد مختلف مدل می‌باشد. جدول (۸) نتایج عددی این شاخص را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با الگوریتم NSGA II– ابعاد بزرگ

Problem No.	Run Time (RT)				
	NSGA II		MOPSO		%Gap
	Mean(s)	Std.Dv(s)	Mean(s)	Std.Dv(s)	
#16	189	10	115	8	-64
#17	198	9	118	7	-68
#18	205	15	127	12	-61
#19	227	13	124	18	-83
#20	235	20	131	14	-79
#21	248	18	142	13	-75
#22	256	25	156	19	-64
#23	278	30	164	21	-70
#24	296	23	169	20	-75

همانطور که مشاهده می‌گردد نتایج عددی زمان اجرای ابعاد مختلف مساله، حاکی از آن است که در تمام ابعاد مساله، الگوریتم MOPSO در زمان کمتری نسبت به الگوریتم NSGA II و به طور میانگین حدوداً ۷۱٪ سریعتر به جواب رسیده‌است.

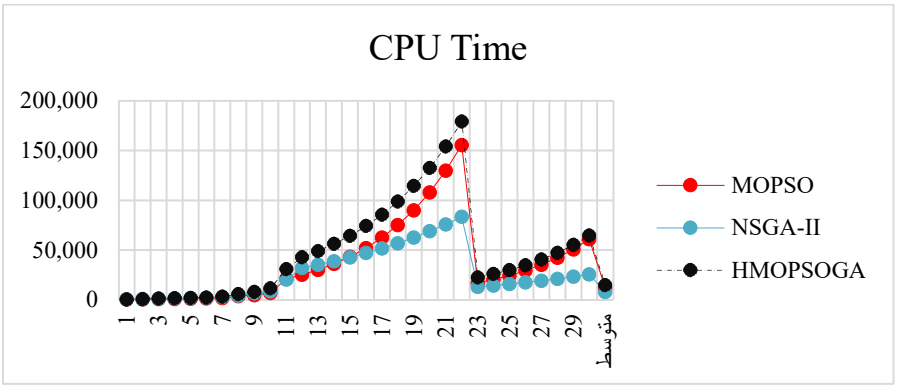


شکل ۷. نتایج عددی الگوریتم پیشنهادی MOPSO و روش حل دقیق – شاخص RT

نتایج به دست آمده از الگوریتم ترکیبی

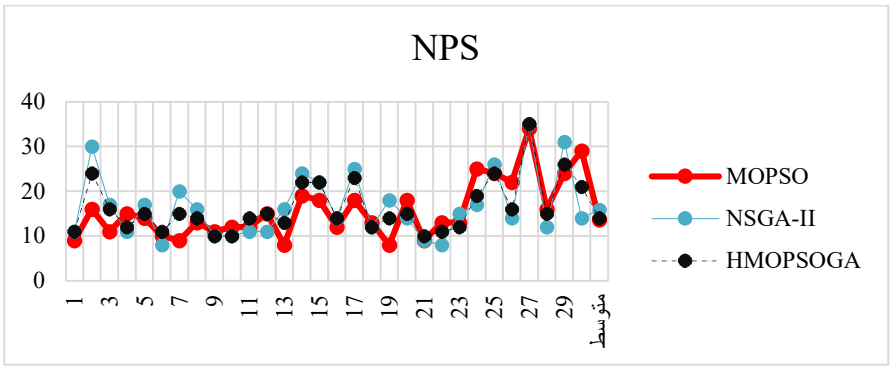
شماره مساله	SM	D	MID	NPS	CPU Time (Second)
۱	۷۳۳۴۰	٤٥٠٩	۱۷۷۱۱۸	۱۱	٦٠٤
۲	۸۷۲۹٦	۷۲۷٤	۲۷٥۹٥٥	۲٤	۹۸۷
۳	۲۰۹۰۱۷	۳۰٤۱	٥٦۸۱۷٦	۱٦	۱٤۳۳
٤	۱۸۸٤۰٦	۸۷۷	۳۷۸٤۹۱	۱۲	۱۷۹۹
٥	۲٥٥۲۹۱	۳۳٦٥٤	۷٤٦۲۲٥	۱٥	۲۱٥۲
٦	۲۰۹۷۸۲	۱۷۲٦٦	٤۲٤۷۳۹	۱۱	۲٤۹۰
۷	۳۱٦۳۷۰	۸۳۹۷	۸۲۱۰۰۱	۱٥	۳٤۲۲
۸	٥۸٤۸۹٦	۱٤٥۷٥۹	۱٦٤۰٤٥۷	۱٤	٦۰٦۳
۹	٦۱٦۹۷۳	۱۷۰۸۲	۱۲٥٥۹۹٥	۱۰	۸۳۰٤
۱۰	۱۷۱۷٥۱۲	۱٦۸۱۹	۳۸٥۷۸۳۸	۱۰	۱۱٦۸۱
۱۱	۲۸۲٦٦٥۰	۱۰۷۱۲۲٦	٦٥۰۷٥۱۷	۱٤	۳۱۱۰۸
۱۲	۲۸٦۷۳۷۲	٥٤٤۰۲۲	٦٥۸۳۱٥۹	۱٥	٤۲۹٦۷
۱۳	۲۲۷۹۲۳۰	۸۰۷٦۲٤	۳٥۷٥٦٦۷	۱۳	٤۹۱٤۹
۱٤	۱۲٦۹٥٤	٤۱۲٤٤٥	۱۹۷۷۰۷۹	۲۲	٥٦۳۲۷
۱٥	۷۹۰۳٦۷	۲۱۰٤۲۱	۱۳٦۱٦٥۲	۲۲	٦٤٦۷٥
۱٦	٥۸٦٥۰۲	۱۷۸۰۹۰	۸۹۳۱۹٦	۱٤	۷٤٤۰۰
۱۷	٥۲٦۲۹۹	۹۷٥۸٦	۸٥۷۰۹۹	۲۳	۸٥۷٥۰
۱۸	۸۸٥۹۹۰	٥۷۲۰۲	۱۲٤۸۷۷۸	۱۲	۹۹۰۱۷
۱۹	۱۳٦۰۸۹٦	٥٦٤۲۱٤	۱۲٥۲۳۸٦	۱٤	۱۱٤٥٤۹
۲۰	۱٦۷۰۰۷۱	٥٥٤۱۱۸	۲٥٥٥۱۱۲	۱٥	۱۳۲۷٦۰
۲۱	۲۱۹۱۲۱۰	٦۸۰۸۷۱	٤٥۳۱۳۱٤	۱۰	۱٥٤۱٤۳
۲۲	۲۲٥۹٤٦۸	٥٤٦٦٥۸	٥٥٥۷۲۳۷	۱۱	۱۷۹۲۸٦
۲۳	۱۷۸۳۹۳۸	۳۷۸٥٤۰	٤٥٦٦٤٥۲	۱۲	۲۲٥٦٤
۲٤	۱۳۳۱۰۳۸	۲۷۸۳۱٥	۳۲۷۱۷٦٦	۱۹	۲٦۰۹٤

مقایسه نموداری روش حل ترکیبی با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری بر مبنای معیارهای ارزیابی



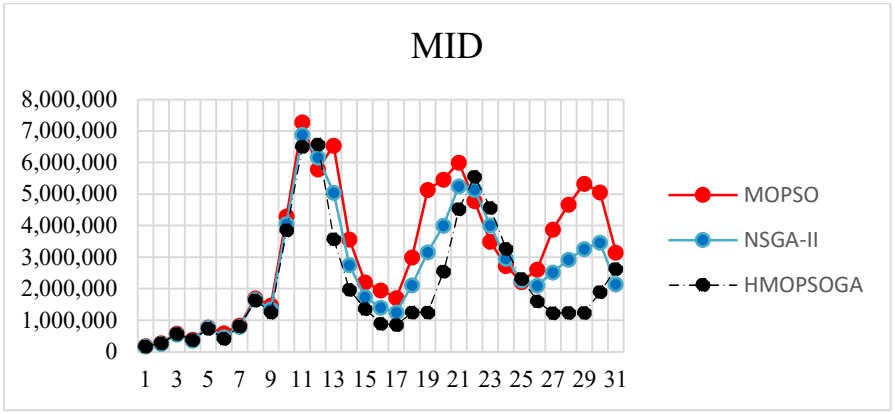
شکل ۸. مقایسه دو الگوریتم ترکیبی بر مبنای زمان حل

با توجه به اینکه کمتر بودن زمان حل نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل در این مساله الگوریتم NSGA-II نتیجه بهتری داشته است.



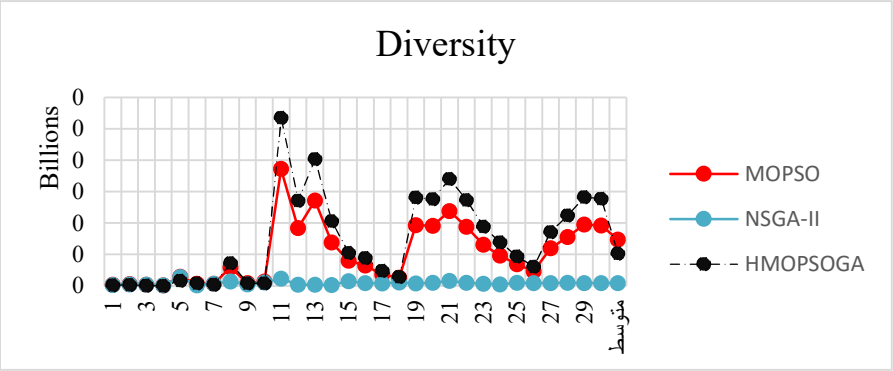
شکل ۹. مقایسه دو الگوریتم ترکیبی بر مبنای تعداد جواب پارتو

با توجه به اینکه بیشتر بودن تعداد جواب‌های پارتو نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل در این مساله الگوریتم ها برتری نسبت به یکدیگر ندارند.



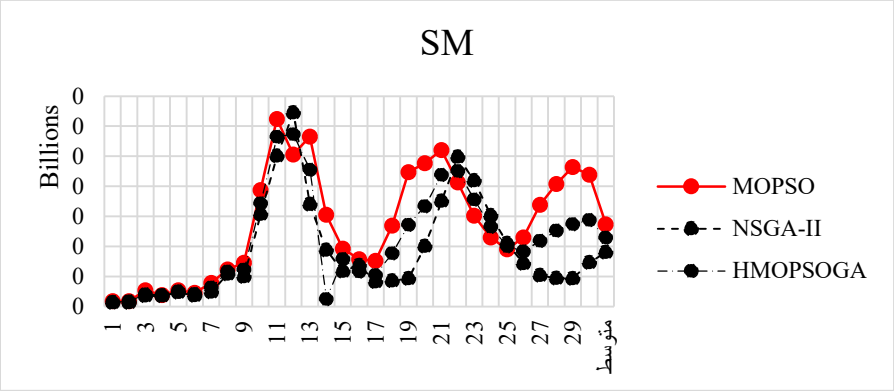
شکل ۱۰. مقایسه دو الگوریتم ترکیبی بر مبنای معیار فاصله از ایده‌آل

با توجه به اینکه کمتر بودن در معیار فاصله از ایده‌آل نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل در این مساله الگوریتم ترکیبی نتیجه بهتری داشته است.



شکل ۱۱. مقایسه دو الگوریتم ترکیبی بر مبنای فاصله معبار بیشترین گسترش

با توجه به اینکه بیشتر بودن معیار بیشترین گسترش نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل در این مساله الگوریتم ترکیبی نتیجه بهتری داشته است.



شکل ۱۲. مقایسه دو الگوریتم ترکیبی بر مبنای فاصله معیار فاصله‌گذاری

با توجه به اینکه کمتر بودن معیار فاصله‌گذاری نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل در این مساله الگوریتم ترکیبی نتیجه بهتری داشته است.

۱۱) نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در ابعاد بزرگ، با توجه به اینکه در حل مساله با الگوریتم‌های پیشنهادی جهت بالابردن سرعت الگوریتم به جای مقید کردن جواب‌های الگوریتم، از جواب‌های نامقید با در نظرگرفتن تابع جریمه استفاده گردید یکی از عواملی که باید در الگوریتم‌های پیشنهادی مورد بررسی قرار گیرد درصد جواب‌های نهایی است که در محدودیت مدل مساله صدق می‌کند.

جواب های ناموجه ایجاد شده در الگوریتم MOPSO و NSGA II را به جزییات محدودیت ظرفیت، بودجه و کیفیت می‌باشد. به طور مثال، در مساله شماره ۲۰ شکل (۴-۳۶)، ۶.۳٪ نقاط پارتو کشف شده الگوریتم MOPSO، حداقل

یکی از محدودیت‌های مساله را نقض کرده است که درصد تخطی از حد مجاز محدودیت ظرفیت، بودجه و کیفیت به ترتیب، صفر، ۳.۸ و ۲.۷ می‌باشد.

جهت تحلیل نقاط ناموجه دو رویکرد می‌تواند از جانب مدیریت در نظر گرفته شود. ۱) حذف نقاط پارتو ناموجه که با توجه به درصد کم آن تاثیر ناچیزی در مابقی نتایج و کیفیت جواب‌ها دارد. ۲) در نظرگرفتن نقاط ناموجه در کنار نقاط موجه در تصمیمات مدیریتی با توجه به اینکه مقادیر عددی که از ظرفیت محدودیت‌ها گذشته کمتر از ۵٪ است و با جلسات و صرف هزینه ناچیز قابل رفع می‌باشد.

مقایسه تعداد جواب های ناموجه در الگوریتم MOPSO و NSGA II نشان می‌دهد که میانگین جواب های ناموجه در الگوریتم MOPSO حدوداً ۲۱٪ کمتر از که میانگین جواب های ناموجه در الگوریتم NSGA II بوده است و همچنین، میانگین میزان تخطی در هر یک از محدودیت‌های ظرفیت، بودجه و کیفیت در الگوریتم MOPSO به ترتیب ۸۶٪، ۱۱٪ و ۱۷٪ نسبت به الگوریتم NSGA II کمتر بوده است.

همچنین استفاده از تابع جریمه باعث گردید علی‌رغم پیچیدگی مدل مساله از قبیل محدودیت های بودجه، ظرفیت، استانداردهای کیفیتی، الگوریتم پیشنهادی در زمان مناسب به جواب‌های با کیفیت برسد. با تابع جریمه و نامقید کردن محدودیت‌های مذکور این احتمال وجود دارد که کیفیت جواب‌های الگوریتم تحت تاثیر جواب های ناموجه قرار گیرد. بنابراین در یک آزمون دیگر کیفیت نقاط موجه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد تنها در چهار مساله درصد کمی از نقاط پارتو از محدویت های مساله تخطی می‌کند و این تخطی از محدودیت نیز تنها در محدودیت کیفیت محصول و بودجه به میزان کمی بوده است که می‌توان با توجه به سرعت و کیفیت الگوریتم از آن چشم پوشی کرد.

در نتیجه با در نظر گرفتن شاخص های مورد بررسی، الگوریتم پیشنهادی بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه در ابعاد کوچک با کیفیت بالایی عمل نموده است و می‌تواند در ابعاد بزرگ نیز که روش حل دقیق قادر به تولید جواب های پارتو در زمان کمتر از ۱۰۰۰۰ ثانیه نمی باشد از الگوریتم پیشنهادی بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه بهره برد.

مدل ارائه شده در این تحقیق می‌تواند به تصمیم‌گیرنده در انتخاب تأمین‌کننده مناسب کمک کند، چرا که این تحقیق با ارائه مدل چندهدفه و چندمحصولی و چنددوره ای و با درنظر گرفتن تخفیف برای مشتریان با داده‌های قطعی و هم‌چنین در نظرگرفتن زمان اعتبار مصرف برای اقلام خریداری شده به‌منظور جلب توجه خریداران و همچنین امکان تأمین تقاضا از چندین تأمین‌کننده در نظر گرفته شده است باید این زنجیره را به نحوی بهینه‌سازی نموده تا با انتخاب بهترین تأمین‌کننده و نقاط مراکز تسهیلات، با صرف کمترین هزینه بتوانیم پاسخ‌گویی مناسبی را به مشتریان داشته باشیم.

همانطور که از نتایج مشخص است استفاده از چندین تأمین‌کننده باعث بهبود خدمات ارائه شده و همچنین وابستگی خریدار به تأمین‌کننده واحد را کاهش می‌دهد تفاوت در تعداد تأمین‌کنندگان موجب شده تمامی توابع هدف تغییر کرده و تابع هدف سود زنجیره تأمین نیز تغییر می‌کند تصمیم‌گیری در مورد انتخاب و تعداد تأمین‌کنندگان به نزدیکی خریدار با تأمین‌کنندگان بستگی دارد در سازمان‌هایی که ارتباط نزدیک و گسترده با تأمین‌کنندگان وجود دارد در صورتی‌که تعداد تأمین‌کنندگان افزایش یابد حفظ و برقراری این ارتباط برای شرکت هزینه بر و وقت‌گیر است هزینه‌های مربوط به

تأمین‌کنندگان افزایش یافته و در نتیجه مقدار تابع هدف سود کاهش می‌یابد همچنین برای افزایش سود زنجیره باید میزان قطعات تأمین یافته از سوی تأمین‌کنندگان افزایش یافته و بالعکس .

انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص کالا به آنها، با برنامه‌ریزی تولید و توزیع و بازگشت مجدد کالا به زنجیره، یکپارچه شده است. پس علاوه بر تمامی مزایایی که از یکپارچه‌سازی زنجیره به دست می‌آید می‌توان گفت خرید کالا بر اساس مدل بر حسب نیاز زنجیره و درنظرگرفتن مقدار قطعات بازگشتی به زنجیره صورت می‌پذیرد

چندمحصولی بودن در فرآیند خرید، اغلب شرکت‌ها نیاز به تأمین بیش از یک قلم کالا دارند میزان خرید هر یک از این اقلام با توجه به ظرفیت نگهداری و اعتبار زمان مصرف و استفاده بهتر از پیشنهادات تأمین‌کنندگان (مانند تخفیف) به خصوص در زمان تصمیم‌گیری برای چند بازه زمانی، میزان نرخ تخفیف را در دوره‌های زمانی مختلف تغییر داده تا میزان فروش و هم‌چنین سود شرکت بیشتر شده مثلا اگر نرخ تخفیف را برای بعضی از محصولاتی که در انبار از آن نوع محصول بیشتر یوده افزایش دهیم باعث شده تا محصولات سریعتر فروش رفته و هزینه‌های انبارداری کاهش یافته و همچنین باعث کاهش قیمت تمام شده کالا شده و سود بیشتری عاید شرکت شده و به شرکت کمک کرده تا مشتریان در دوره‌های زمانی که تخفیف ارائه داده محصولات بیشتری را خریداری کنند.

احداث مراکز در نقاط مختلف می‌تواند حتی بدون اعمال تخفیف برای محصولات منجربه فروش بیشتر شرکت و در نتیجه سود شرکت را افزایش دهد.

اکثر شرکت‌های فعال در زنجیره تأمین به دنبال افزایش سود خود هستند در شرایط واقعی زنجیره تأمین مشتریان انتظار افزایش کیفیت محصولات و کیفیت خدمات ارائه شده را دارند در این تعریف با توجه به تعریف اهداف چندگانه برای هر کدام از این اهداف سعی گردیده انتظار مشتریان در کنار افزایش سود شرکت مورد توجه قرار بگیرد نتایج تحقیق نشان می‌دهد شرکت‌ها برای افزایش کیفیت در ارائه خدمات باید با تعریف کالاهای موازی قابلیت اطمینان را در قابلیت دسترس‌پذیری کالاها و در نتیجه کیفیت کالاها را افزایش دهند. در حالی‌که در صورت عدم توجه به این هدف میزان سود شرکت‌ها متفاوت است.

زمان تحویل کالاها به مشتریان همواره یکی از دغدغه‌های مشتریان محسوب می‌گردد نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد با کاهش سود مورد انتظار شرکت‌ها می‌توان زمان انتظار مشتریان را برای دریافت کالاها کاهش داد.

با توجه به هزینه‌های خرید محصولات و هزینه‌های نگه‌داری در دوره‌های مختلف و بر اساس مدل تخفیف تأمین‌کنندگان در هر دوره به دنبال تعداد بهینه تأمین محصولات از تأمین‌کنندگان است به طوری‌که هزینه‌های عملیاتی کمینه و سطح کیفیت خدمات و کیفیت محصولات بیشینه گردد.

تحقیقات آتی می‌تواند شامل بررسی سایر روش‌های حل مسائل چند هدفه و مقایسه آنها در تولید جواب‌ها باشد. درنظرگرفتن پارامترهای غیرقطعی از جمله هزینه‌ها و فواصل بین مکان‌ها مدل را واقعی‌تر کرده در نتیجه استفاده از روشی غیر از مبتنی بر سناریو الزامی می‌باشد و همچنین درنظرگرفتن اثرهای عدم قطعیت پارامترها روی مدل به روش‌هایی چون بهینه‌سازی فازی یا استوار، فرض وجود پنجره زمانی انعطاف‌پذیر برای تحویل کالا در سطوح مختلف، توسعه مدل و لحاظ کردن ارزش زمانی پول با توجه به اینکه مدل ارائه شده یک مدل چنددوره‌ای است و نرخ تورم می‌تواند بر تصمیم‌ها در

بلند مدت تأثیرگذار باشد و توجه به مسائل زیست محیطی و درنظر گرفتن زنجیره تأمین حلقه بسته سبز و به کارگیری و توسعه روش‌های فراابتکاری دیگر برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه و مقایسه آن با الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، پیشنهاد می‌شود و حل مدل با الگوریتم‌های فراابتکاری مختلف نظیر گرگ خاکستری، زنبور عسل، ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید و انجماد تدریجی و کلونی مورچگان و جستجوی ممنوعه و غیره اشاره نمود.

در این قسمت پیشنهاداتی در زمینه های توسعه ساختار زنجیره تأمین، توسعه پارامترها و توسعه معیارهای ارزیابی ارائه می گردد :

- در مدل ارائه شده مراکز بازیافت و توزیع و مراکز تولید به صورت مجزا و با ویژگی‌های متفاوت درنظر گرفته شده است هر یک از این مراکز تسهیلات می‌توانند به صورت مشترک در زنجیره تأمین درنظر گرفته شوند.
- در شبکه بررسی شده محصولات تولیدی از مواد اولیه اصلی هیچ تفاوتی با محصولات بازیافتی ندارند می‌توان تفاوت‌هایی در قیمت و یا میزان تقاضا و یا موارد دیگر برای این دو نوع محصول لحاظ کرد.
- مدل پیشنهادی به صورت چند دوره‌ای بوده و می‌توان به صورت تک دوره‌ای درنظر گرفته و برای کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین، هزینه‌های نگهداری محصولات در زنجیره تأمین حذف می‌شود.
- برای سبز نمودن مدل طراحی شبکه، می‌توان اضافه نمودن چندین محدودیت دیگر نظیر حداکثر آلودگی مجاز در بخش تولید و حمل و نقل نیز می‌تواند در تحقیقات آتی بررسی گردد.
- در تحقیقات آتی عدم قطعیت بر تقاضا و هزینه‌های می‌تواند بر روی کیفیت و کمیت محصولات مرجوعی نیز در نظر گرفته شود
- استفاده از ترکیب مدل جستجوی ممنوعه و الگوریتم حریصانه در ترکیب با الگوریتم ژنتیک
- استفاده از سیستم استنتاج تطبیق گر فازی ANFIS و هر یک از الگوریتم‌های NSGA II و MOPSO
- استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم های فراابتکاری مختلف در انتخاب تأمین‌کننده
- استفاده از رویکردهای فازی، احتمالی و یا بهینه‌سازی استوار
- استفاده از روش BENDER و حل مدل در ابعاد بزرگ با استفاده از الگوریتم‌های هیبریدی
- تنظیم پارامترهای الگوریتم های ترکیبی NSGA II و MOPSO با روش RSM
- ترکیب الگوریتم فرابتکاری ژنتیک با شبیه‌سازی تبرید
- روشی برای ترکیب اتوماتای یادگیر سلولی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات بهینه‌شده

References

Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2009). A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain. International Journal of Production Economics, 121(2), 323-332. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.040

Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. Expert Systems with Applications, 39(3), 3000-3011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162

Bhattacharya, R., Kaur, A., & Amit, R. K. (2018). Price optimization of multi-stage remanufacturing in a closed loop supply chain. Journal of cleaner production, 186, 943-962. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.222

Chaudhry, S. S., Forst, F. G., & Zydiak, J. L. (1993). Vendor selection with price breaks. European Journal of Operational Research, 70(1), 52-66. DOI: https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90232-C

Dahel, N. E. (2003). Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. Supply Chain Management: An International Journal, 8(4), 335-342 DOI: https://doi.org/10.1108/13598540310490099

Ebrahim, R. M., Razmi, J., & Haleh, H. (2009). Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment. Advances in Engineering Software, 40(9), 766-776. DOI: https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2009.02.003

Fleischmann, M., Beullens, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M., & Van Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. Production and operations management, 10(2), 156-173 DOI: https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00076.x

Ghayebloo, S., Tarokh, M. J., Venkatadri, U., & Diallo, C. (2015). Developing a bi-objective model of the closed-loop supply chain network with green supplier selection and disassembly of products: the impact of parts reliability and product greenness on the recovery network. Journal of Manufacturing Systems, 36, 76-86 DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.02.011

Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. Journal of Cleaner production, 47, 345-354 DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.014

Kannan, D., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Jabbour, C. J. C. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. European Journal of Operational Research, 233(2), 432-447. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.07.023

Lee, A. H., Kang, H. Y., Lai, C. M., & Hong, W. Y. (2013). An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts. Applied Mathematical Modelling, 37(7), 4733-4746 DOI: https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.056

Moghaddam, K. S. (2015). Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. Expert Systems with Applications, 42(15-16), 6237-6254. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.010

Mavrotas, George. (2007)."Generation of efficient solutions in multiobjective mathematical programming problems using GAMS. Effective implementation of the ε-constraint method." Lecturer, Laboratory of Industrial and Energy Economics, School of Chemical Engineering. National Technical University of Athens

Soltani Tehrani M.,Hasanpour H.,Ramezani S. (2015). Optimization model of cost and carbon dioxide in the closed-loop supply chain. Management research in IRAN, 19(1) , 169-189 (In Persian) Dor: 20.1001.1.2322200.1394.19.1.8.6

Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. International journal of management reviews, 9(1), 53-80. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x

Saffar M.,Shakouri Ganjavi H., Razmi J. (2015). Design of a green closed loop supply chain considering operational risk in Uncertainty conditions and Solving that with the algorithm NSGA II. Journal of Industrial Engineering, 49(1), 55-68 (In Persian) DOI: https://doi.org/10.22059/jieng.2015.54141

Wu, C., & Barnes, D. (2016). An integrated model for green partner selection and supply chain construction. Journal of Cleaner Production, 112, 2114-2132. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.023

Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. OMEGA – International Journal of Management Science, 35(5), 494-504 DOI: https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.09.002

Yeh, W. C., & Chuang, M. C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. Expert Systems with applications, 38(4), 4244-4253 DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.091

Zhou, Z., Dou, Y., Liao, T., & Tan, Y. (2018). A Preference Model for Supplier Selection Based on Hesitant Fuzzy Sets. Sustainability, 10(3), 659. DOI: https://doi.org/10.3390/su10030659