

## Designing a Multi-Objective Closed-loop Supply Chain Mathematical Model with Supplier Selection Approach and considering Discount<sup>1</sup>

Esmat Saad<sup>2</sup>  
Kiamars Fathi Hafshjani<sup>3</sup>  
Reza Radfar<sup>4</sup>

### 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.*

**Keyword:** Green Supplier Selection, Green Supply Chain, Meta-heuristic model

---

<sup>1</sup> Copyright ©the authors

<sup>2</sup> PhD student in Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. e.saedi@bankmellat.ir

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. fathikiamars@yahoo.com

<sup>4</sup> Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. radfar@gmail.com



## طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده و در نظر گرفتن تخفیف\*

عصمت سعدی<sup>۱</sup>

کیامرث فتحی هفشجانی<sup>۲</sup>

رضا رادفر<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از گام‌های اساسی در جهت سبز شدن زنجیره‌های تأمین، بررسی الزام‌ها و عوامل زیست‌محیطی در تأمین کننده‌ها است. امروزه شبکه‌های زنجیره تأمین به عنوان ستون اصلی فعالیت‌های اقتصادی شناخته می‌شوند. این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله زنجیره تأمین حلقه بسته چنددوره‌ای، چندمحصولی، چند هدفه با چندین تأمین کننده 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.

**واژگان کلیدی:** انتخاب تأمین کننده سبز، زنجیره تأمین سبز، مدل فراابتکاری

\* تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
(نویسنده مسئول) e.saedi@bankmellat.ir

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
fathikiamars@yahoo.com

<sup>۳</sup> استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
radfar@gmail.com

## مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت کلیه فرآیندهای ساخت و تأمین، از مواد اولیه تا مشتری نهایی است که کل زنجیره ارزش را، از استخراج مواد تا پایان عمر مفید محصول، دربر می گیرد. برخی فراتر می روند و بازیافت مواد اولیه را نیز در محدوده مدیریت زنجیره تأمین می دانند.

در سال های اخیر، به دلیل افزایش سرعت و حجم ارتباط در سراسر نقاط جهان و گسترش فضای رقابتی میان سازمان های تولیدی و خدماتی، اهمیت طراحی و اعمال یک زنجیره تأمین بهینه و اقتصادی بیش از پیش مورد توجه مدیران و مسئولان قرار گرفته است. زنجیره تأمین شامل دو یا چند سازمان است که از یکدیگر جدا هستند و طی جریان هایی تعریف شده از عرضه مواد خام تا تحویل محصول نهایی به مشتری، با یکدیگر مرتبط می شوند. مدیریت زنجیره تأمین، به مفهوم مدیریت، نظارت و هماهنگی بین شبکه گسترده ای از فعالیت ها تا ارائه محصول نهایی به مشتری است.

سیر تکاملی زنجیره تأمین روشی منسجم ایجاد می کند که به طور هم زمان جریان های روبه جلو و رو به عقب را در نظر می گیرد. زنجیره های تأمین که دارای بخش بازیافت نیز می باشند " زنجیره تأمین حلقه بسته "، می گویند. در زنجیره تأمین حلقه بسته، خروجی های نامطلوب و خروجی های مطلوب، هر دو وجود دارند. به عنوان مثال، محصولات و کالاهای معیوب را می توان 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)

زنجیره تأمین سبز بدین صورت تعریف شده است: در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی در مدیریت زنجیره تأمین شامل طراحی محصول، انتخاب و منبع یابی 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 زیست محیطی در سرتاسر زنجیره تأمین است. مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست محیطی 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 حوزه کوچک ولی مهمی از زنجیره تأمین کنندگان امروزی است و این اجازه را به مدیریت شرکت‌ها می‌دهد که کالاها و مواد اولیه برگشتی را به عرضه‌کنندگان بازگرداند و برای حفظ تداوم هماهنگی کردن فعالیت‌های تولید، توزیع و جلوگیری از توقف عملیات و نیز قابل استفاده نمودن اقلام و کالاهای برگشتی، خط‌مشی‌ها، نظام‌ها و روش‌هایی را اتخاذ نمایند تا مجموع هزینه‌های مرتبط با زنجیره تأمین را کاهش دهند. از شروط بسیار مهم در بازیافت و مصرف مجدد کالاها و اقلام تولیدی در زنجیره 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 قابل استفاده 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 تأمین‌کننده بهینه موجب کاهش هزینه‌ها و پایداری روابط در زنجیره 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 تأمین کنندگان یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است و اگر فرضیات دنیای واقعی به آن افزوده گردد، بسیار سخت و پیچیده می‌شود. در شیوه‌های سنتی انتخاب تأمین کنندگان، ابتدا تأمین کنندگان انتخاب می‌شدند و سپس خریدار با بررسی‌های دیگر و در نظر گرفتن محدودیت‌های جانبی تصمیم می‌گرفت چه مقدار سفارش به هر یک از تأمین کنندگان اختصاص دهد. اما در دهه‌های اخیر، محققان بر روی رویکردهای ترکیبی که در آن مسئله انتخاب تأمین کنندگان 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 وارد شده است. برای دستیابی به زنجیره تأمین محیط‌زیست دوست یا سبز، نقش تأمین کنندگان به‌عنوان نقطه شروع زنجیره تأمین بسیار مهم است. بنابراین برای ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان، 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 عدد صحیح 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 ارائه می‌دهند. تأمین‌کنندگان قیمت تخفیف را روی کیفیت یا تنوع محصولات خریداری شده از آن‌ها اختصاص نمی‌دهند بلکه روی حجم کسب و کار ارائه می‌دهند.

### پیشینه پژوهش

باتا کاریا و عمیت در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی به بهینه‌سازی هزینه‌بازسازی

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 رضانی 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 مرتب‌سازی نامغلوب یک شبکه زنجیره تأمین چندلایه‌ای، چندمحصولی، و چنددوره‌ای با بازگشت محصولات در زنجیره 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 چندهدفه 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 تأمین کنندگان و درصد محصولات بازگشتی استفاده کرده است. سود کل، قطعات معیوب کل، قطعات دیرتحویل شده و فاکتور ریسک‌های اقتصادی مرتبط با تأمین کننده کاندید در محیط فازی به دلیل عدم قطعیت حداقل سازی 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 حداقل کردن 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 تاریخ در سال ۲۰۱۵ از یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط دو هدفه توسعه‌ای برای شبکه روبه‌جلو / معکوس لجستیک در نظر گرفته که شامل سه رده در جهت روبه‌جلو (تأمین کنندگان، 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 تأمین کننده سبز در شرکت الکترونیک برزیلی پیشنهاد شده و بر پایه معیارهای شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز ساخته شده است.

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

لی در سال ۲۰۱۳ یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت حل مسئله تعیین اندازه محموله توسط چندین تأمین کننده، در چندین دوره و با در نظر گرفتن تخفیف کلی و نمودی را ارائه داد. او در نهایت از یک الگوریتم ژنتیک کارا جهت حل مسئله با توجه به پیچیدگی مسئله استفاده کرد. هدف مدل پیشنهادی کمینه کردن 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



طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۸۱

یه و چوانگک 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 حداقل کردن هزینه و زمان‌حل بود پیشنهاد کردند که این اهداف با یکدیگر متضاد هستند.

رزمی و هاله در سال ۲۰۰۹ یک مدل ترکیبی شامل تحلیل سلسله‌مراتبی و برنامه‌ریزی چند هدفه خطی عدد صحیح 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 حداقل کردن هزینه کل خرید با در نظر گرفتن تخفیف، حداکثر کردن مقدار موزون خریداری شده و حداقل کردن 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 عدد صحیح چند هدفه فازی وزن‌دار افزایشی را برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تخفیف کلی را ارائه دادند. مدل آنها شامل سه هدف کمینه کردن 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 عدد صحیح مختلط را برای پشتیبانی تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده در شرایط تخفیف معرفی نمودند، جایی که 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، کمینه کردن هزینه کل خرید، بیشینه کردن مقدار موزون خریداری شده و کمینه کردن 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 عدد صحیح به منظور تعیین تأمین‌کنندگان جهت به کارگیری و مقادیر سفارش تخصیص به هر یک از آنها در

حالت چند محصول و چند تأمین کننده استفاده نمود. او هم از همان اهداف (چانودری 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

نوع مسأله	نوع هدف	محصولات	دوره زمانی	تخفیف	روش حل	نوع مدل		نویسنده	سال انتشار
						خطی	غیرخطی		
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	✓	✓	✓	✓	✓	✓	برنامه ریزی آرمانی	
لین و همکارانش	۲۰۱۱	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ANP و TOPSIS خطی	
کارآ		✓	✓	✓	✓	✓	✓	TOPSIS FUZZY	
واره و همکارانش	۲۰۱۴	✓	✓	✓	✓	✓	✓	برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط	
مقدم و همکارانش	۲۰۱۵	✓	✓	✓	✓	✓	✓	برنامه ریزی خطی فازی	
تحقیق حاضر	۲۰۲۰	✓	✓	✓	✓	✓	✓	برنامه ریزی خطی ریاضی عدد صحیح مختلط	

### روش شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر، یک مدل تلفیقی برای مسئله انتخاب تأمین کننده چندهدفه چنددوره‌ای با محصولات چندگانه با در نظر گرفتن تخفیف در زنجیره تأمین حلقه بسته

ارائه شده است. در مدل تلفیقی پیشنهادی، دو نوع تخفیف کلی - نموی به طور همزمان با فرض اینکه هر تأمین کننده 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 یک سری از تأمین کنندگان، تخفیف کلی و دیگر تأمین کنندگان 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 می شود.

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 پژوهش های انجام شده در حوزه انتخاب تأمین کننده برای موقعیت های خرید تک محصولی طراحی شده اند و معمولاً به دلیل جلوگیری از پیچیده شدن محاسبات ریاضی، تخفیفات در نظر گرفته نمی شوند یا تنها فقط یک نوع تخفیف در نظر گرفته می شود در حالی که در واقعیت تأمین کنندگان می توانند 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 بهینه سازی ازدحام ذرات بعنوان الگوریتم مینا و الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب استفاده شده است. در ادامه به طور مختصر مدل های تخفیف مذکور شرح داده می شود.

## مدل های تخفیف

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

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

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.

## 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 در نظر 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 تأمین‌کننده، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، مشتریان ..، دفع و انهدام وجود دارد.
  - چندین آیتم می‌تواند از هر تأمین‌کننده خریداری شود.
  - کمبود آیتم‌ها برای هر تأمین‌کننده مجاز نمی‌باشد.

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۸۵

- فقط یکی از دو نوع مدل تخفیف کلی یا نموی از طرف هر تأمین کننده می تواند ارائه شود. (در مدل سوم این فرض مطرح می باشد)
  - مقادیر کالاهای مرجوعی و تقاضای مشتری قطعی است.
  - محصولات معیوب می تواند تعمیر شود و به سیستم توزیع در دوره بعدی فروخته شود.
- اندیس ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم و تابع هدف مدل ریاضی ارائه شده برای زنجیره تأمین حلقه بسته سبز به شرح زیر می باشد.

#### اندیس ها

I : شمارنده تأمین کننده  $i=1,2,\dots,n$

S : شمارنده آیتم ها  $s=1,2,\dots,r$

J : شمارنده سطوح تخفیف  $j=1,2,\dots,m(i,s)$

T : شمارنده دوره زمانی  $t=1,2,\dots,l$

#### پارامترها

$P_{i,s,j,t}$  : قیمت ارائه شده از طرف تأمین کننده  $i$  ام برای آیتم  $s$  ام در سطح تخفیف  $j$  ام و دوره زمانی  $t$  ام

$k_{i,s}$  : درصدی از سطح کیفیت خدمات ارائه شده از طرف تأمین کننده  $i$  ام برای محصول  $s$  ام

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

$r_{i,s}$  : درصد سطح کیفیت محصول  $s$  ام از طرف تأمین کننده  $i$  ام

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

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

$b_{i,s,j}$  : سطح قیمت  $j$  ام تأمین کننده  $i$  ام برای محصول  $s$  ام

$f_{i,s,t}$  : درصد مقدار مرجوعی از آیتم  $s$  ام برای تأمین کننده  $i$  ام در دوره  $t$

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

$B_i$ : بودجه تخصیص داده شده به آیتم  $s$ .

$N$ : تعداد تأمین کنندگانی که برای انتخاب شدن با هم رقابت می کنند.

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

$m(i, s)$ : تعداد بازه های تخفیف ارائه شده از طرف تأمین کننده  $i$  ام برای آیتم  $s$  ام

$n_1$ : تعداد تأمین کنندگانی که تخفیف کلی را ارائه می دهند.

$n_2$ : تعداد تأمین کنندگانی که تخفیف نموی را ارائه می دهند.

$HC$ : هزینه نگهداری

### متغیرها

$inv_{st}$ : موجودی محصول  $s$  در دوره  $t$ .

$Y_{isjt}$ : مقدار یک می گیرد اگر تأمین کننده  $i$  ام برای محصول  $s$  ام در سطح تخفیف  $z$  ام

در دوره  $t$  انتخاب شود؛ در غیر این صورت مقدار صفر می گیرد.

$X_{isjt}$ : تعداد خریداری شده از طرف تأمین کننده  $i$  ام برای محصول  $s$  ام در سطح

تخفیف  $z$  ام در دوره  $t$ .

### تابع هدف

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

پرداخته می شود.

اهداف مدل عبارت اند از کمینه کردن هزینه خرید و نگهداری، بیشینه کردن سطح کیفیت خدمات و بیشینه کردن سطح کیفیت محصولات است به طوری که توأمأ هر سه این اهداف به سطح بهینه برسند. به عبارت دیگر مدل مساله، با توجه به هزینه های خرید محصولات و هزینه های نگهداری در دوره های مختلف و بر اساس مدل تخفیف تأمین کنندگان در هر دوره به دنبال تعداد بهینه تأمین محصولات از تأمین کنندگان می باشد به طوری که هزینه های عملیاتی کمینه و سطح کیفیت خدمات و کیفیت محصولات بیشینه گردد.

مواد مصرفی به تأمین کنندگان عودت داده می شود تا به وسیله تأمین کنندگان بازتولید و به انبار ارسال می شود. محصولات حاصله را از طریق توزیع کنندگان به منظور برآورده سازی تقاضا به دست مشتریان می رسانند. پس از مصرف محصولات از دست مشتریان جمع آوری و به مراکز جمع آوری و پس از آن به مراکز دمونتاز فرستاده می شود. محصولات در مراکز دمونتاز به قطعات مشابه نو، قطعات قابل بازیافت و قطعات زائد جداسازی و تقسیم می شوند

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

مواد بازیافته به تأمین کنندگان برای حضور مجدد در چرخه تولید قطعات ارسال می شود همچنین مواد دورریز همانند قطعات زائد به مرکز دفع برای دفع و انهدام منتقل می شوند.

با توجه به اینکه مدل ارائه شده دارای سه تابع هدف می باشد به جای یک پاسخ مشخص، باید به بررسی مجموعه ای از پاسخها پرداخته بطور کلی روش های زیادی جهت محاسبه مجموعه پاسخ های حاصل از حل مسائل چند هدفه تحت عنوان پاسخ های نامغلوب یا پاسخ های پارتویی شناخته می شود. متداول ترین این روش ها، روش محدودیت اپسیلون می باشد که بطور مستقیم مجموعه پاسخ های پارتویی را گزارش می دهد. در این تحقیق از روش محدودیت اپسیلون به منظور شناسایی مجموعه پاسخ های نامغلوب با حل کننده سیپلکس برمبنای روش شاخه و کران در نرم افزار گمز ۲۴٫۱ استفاده شده است. اگر چه مدل های برنامه ریزی عدد صحیح ابزار قدرتمندی برای تدارکات لجستیک می باشد، این امر موجب شده تا داده ها و عملیات محاسباتی به شدت افزایش یابد قابلیت اطمینان داده ها و دقت مدل برای مقیاس بزرگتر کاهش می یابد. 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 روش های فراابتکاری استفاده شود.

در این تحقیق از نسخه چندهدفه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO) و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA II) در حالت سه‌تابع هدف استفاده شده است. در مقالات پیشین هیچ‌گاه در حوزه انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن 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.

### مدل مساله سه‌هدفه چند دوره‌ای با محصولات چندگانه با در نظر گرفتن تخفیف کلی - نموی

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

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^r \sum_{j=1}^{m(i,s)} k_{is} x_{isjt} \tag{2}$$

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^r \sum_{j=1}^{m(i,s)} r_{is} x_{isj} \tag{3}$$

S.T



$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i,s)} (1 + f_{ist}) x_{isjt} + inv_{st-1} - inv_{st} \quad \begin{matrix} s = 1, 2, \dots, r \\ t = 1, 2, \dots, T \end{matrix} \quad (4)$$

$$= D_{st}$$

$$inv_{sT} = 0 \quad s = 1, 2, \dots, r \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^r \sum_{j=1}^{m(i,s)} (1 - f_{ist}) \times x_{isjt} \leq c_{it} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad (6)$$

$$b_{isj-1} y_{isjt} < x_{isjt} \leq b_{isj} y_{isjt} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, m(i, s) \\ s = 1, 2, \dots, r ; \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{m(i,s)} y_{isjt} \leq 1 \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ s = 1, 2, \dots, r ; \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i,s)} f_{ist} x_{isjt} \leq F_s \quad s = 1, 2, \dots, r \quad (9)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{m(i,s)} n(i) * x_{isjt} p_{isjt} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=n_1+1}^n \sum_{j=1}^{m(i,s)} nn(i) * (p_{isjt} (x_{isjt} - b_{isj-1} + 1) + \sum_{kk=1}^{j-1} nn(i) * p_{i,s,kk,t} (b_{isk} - b_{isk-1})) y_{i,s,kk,t} \quad s = 1, 2, \dots, r \quad (10)$$

$$x_{isjt} \in \mathbb{Z}^+ ; y_{isjt} \in \{0,1\} ; inv_{i,t} \in \{0,1\} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, m(i, s) \\ s = 1, 2, \dots, r \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad (11)$$

تابع هدف (۱) بدنیال بیشینه‌سازی سود در زنجیره تأمین بوده بطوریکه که تأمین محصولات در هر دوره، از طریق تأمین‌کنندگان با انواع تخفیف‌نموی یا کلی می‌باشد.

تابع هدف (۲) بدنبال بیشینه کردن مجموع سطح کیفیت خدمات و تابع هدف (۳) نیز وظیفه بیشینه کردن 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 هر یک 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 توأم 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 مدل سازی ریاضی استفاده می شود. اطلاعات و داده های مورد نیاز برای انجام پژوهش از طریق مصاحبه با کارشناسان شرکت مورد مطالعه، اسناد و داده های موجود در سازمان جمع آوری شده است مدل ریاضی مناسب طراحی شده و سپس با استفاده از داده های موجود، پارامترهای مدل ریاضی محاسبه شده در نهایت مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین کننده سبز با استفاده از نرم افزار گمز مورد مطالعه پژوهش حل شده است،

مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته، به روش های مختلف امکان پذیر است. اکثر راه حل های پیشنهادی راه حل های قوی هستند که با استفاده از نرم افزارهای مدل سازی ریاضی مثل لینگو و گمز حل می شوند. مسائلی که با این نرم افزارها مدل سازی شده اند بطور کلی در مقیاس کوچک هستند. سال ها بعد از سیلکس 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 مدل های بزرگتر که دقت بیشتری داشت ارائه شد. در سال های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، مقدم و وو و بارنس شبکه زنجیره تأمین اصلاح شده که یک مدل غیرخطی را به خطی تبدیل می کند، توسعه دادند. علاوه بر این، الگوریتم ژنتیک و سایر الگوریتم های فراابتکاری در شبکه های زنجیره تأمین حلقه بسته و لجستیک معکوس در مقالات اخیر اغلب استفاده شده است.

### 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 می باشد. در ادامه هر کدام از ویژگی ذره شرح داده می شود.

- مختصات:

با توجه به مدل مساله، مختصات باید به گونه ای باشد که در هیچ یک از دوره ها

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:

$$D_t - \sum_{\tau=1}^{t-1} I_{\tau} \leq X_t \leq \sum_{\tau=1}^t D_{\tau} - \sum_{\tau=1}^{t-1} X_{\tau} \quad \forall t \quad (\text{رابطه } 12)$$

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

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده ۹۳

در مسائل با تعداد محدودیت 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:

$$\begin{aligned} \min_x f(x), \quad x \in R^n \\ g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (\text{رابطه } 13)$$

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

$$F_{NEW} = F_{OLD} + h_k H_x \quad (\text{رابطه } 14)$$

که در آن مطابق رابطه (۱۵) داریم:

$$\begin{aligned} H_x = \sum_{i=1}^m \theta(q_i^x) \times (q_i^x)^{\gamma(q_i^x)} \\ q_i^x = \max\{0, g_i(x)\}, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (\text{رابطه } 15)$$

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 درایه‌های موجود در مختصات، یک مقدار سرعت، تعلق می‌گیرد. 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 می‌گردد (رابطه (۱۶)).

$$V(i, t + 1) = w * v(i, t) + r1 * c1 (Pbest(i, t) - X(i, t)) + r2 * c2 (Leader(i, t) - X(i, t)) \quad (16)$$

$$X(i, t + 1) = X(i, t) + V(i, t + 1) \quad (17)$$

- 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 می‌گردد

### 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 بروز رسانی کرد و جواب‌های نامغلوب به مخزن اضافه شد حال با استفاده از عملگرهای الگوریتم NSGA II مانند CROSSOVER و MUTATION مجدداً بر روی جمعیت اصلی انجام شده و مجدداً جوابهای نامغلوب آن به مخزن اضافه می‌شوند.

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

### آزمایش عددی

ابعاد مساله از طریق پارامترهای زیر تعیین می شود.

I: تعداد تامین کنندگان

R: تعداد محصولات

T: تعداد دوره

J: تعداد بازه های تخفیف

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

فرض می شود قیمت ارائه شده از طرف تأمین کننده، 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  $U_3 \sim [200,450]$  می باشد. در بازه های تخفیف با افزایش J به ازای هر گام افزایش، مقادیر ارائه شده تأمین کنندگان، شامل تخفیف قیمت به ترتیب ۴۰ واحدی برای محصولات خواهد شد. در ادامه پارامترهای دیگر در جدول شماره (۴) آورده شده است.

جدول ۴. 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	$(3.2E + 6, 3.4E + 6)$		$(300, 500)$	

### 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 مینی تب پرداخته می شود. این آزمایش ها بر روی مساله با پنج تأمین کننده، سه دوره زمانی، سه محصول و سه بازه تخفیف انجام می شود. 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.

### 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 بدین گونه 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



طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده ۹۷

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.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \left\{ \left( \frac{f_{1i} - f_{1i}^{\min}}{f_{1,total}^{\max} - f_{1,total}^{\min}} \right)^2 + \left( \frac{f_{2i} - f_{2i}^{\max}}{f_{2,total}^{\max} - f_{2,total}^{\min}} \right)^2 + \left( \frac{f_{3i} - f_{3i}^{\max}}{f_{3,total}^{\max} - f_{3,total}^{\min}} \right)^2 \right\}^{0.5}}{n} \quad (17)$$

که در آن  $n$  برابر تعداد نقاط پارتو و همچنین  $f_{i,total}^{\min}$  و  $f_{i,total}^{\max}$  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.

$$DM = \left\{ \left( \frac{\max f_{1i} - \min f_{1i}}{f_{1,total}^{\max} - f_{1,total}^{\min}} \right)^2 + \left( \frac{\max f_{2i} - \min f_{2i}}{f_{2,total}^{\max} - f_{2,total}^{\min}} \right)^2 + \left( \frac{\max f_{3i} - \min f_{3i}}{f_{3,total}^{\max} - f_{3,total}^{\min}} \right)^2 \right\}^{0.5} \quad (18)$$

- شاخص فاصله (SM):

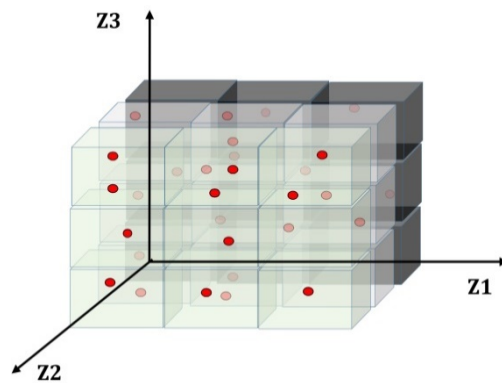
این شاخص یکنواختی توزیع جواب‌های پارتو در فضای حل را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه این شاخص مطابق رابطه (۱۹) می‌باشد.

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{d} - d_i|}{n \times \bar{d}} \quad (19)$$

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 هر یک 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  $z$ ام و همچنین  $\bar{d}$  نیز برابر با میانگین تعداد نقاط پارتو در کل سلول‌هاست.



شکل ۱. میانگین تعداد نقاط پارتو در کل سلول‌ها

- شاخص زمان (RT):

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

## یافته های پژوهش

### نتایج عددی

در این بخش با توجه به شاخص‌های معرفی شده در ابعاد بزرگ، 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 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 SM و QM در جدول (۶) آورده شده است. دو

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۹۹

رقم اول ابعاد مساله تعداد تأمین کننده و رقم های بعدی به ترتیب سطوح تخفیف، تعداد محصول و دوره زمانی را نشان می دهد.

جدول ۵. نتایج عددی

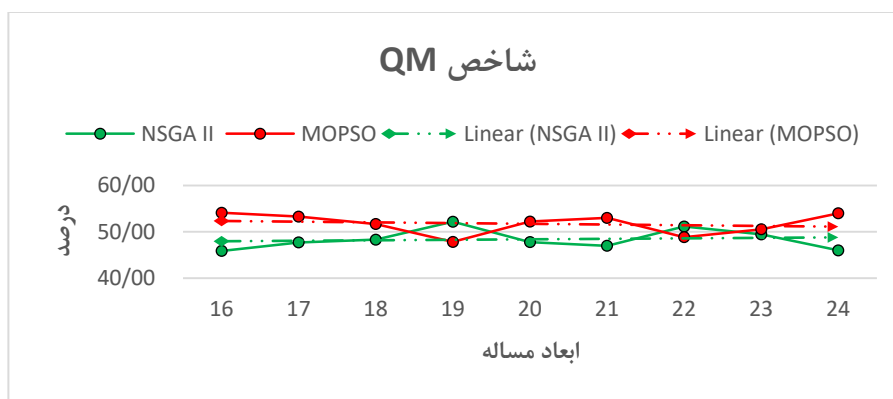
شماره مساله	PB 16	PB 17	PB 18	PB 19	PB 20	PB 21	PB 22	PB 23	PB 24
I	۷	۱۰	۱۰	۵	۵	۷	۷	۱۰	۱۰
J	۵	۳	۵	۳	۵	۳	۵	۳	۵
R	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
T	۳	۳	۳	۵	۵	۵	۵	۵	۵
ابعاد بزرگ									

جدول ۶. مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با الگوریتم NSGA II - ابعاد بزرگ

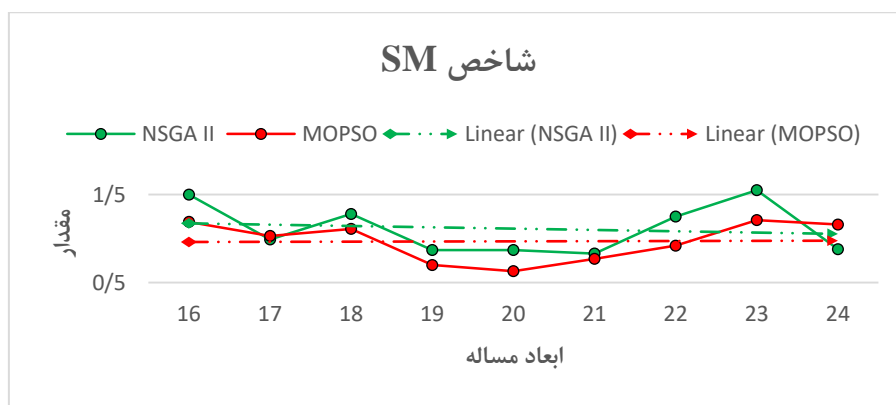
Problem No.	Quality Metric (QM)					Spacing Metric (SM)				
	NSGA II		MOPSO		%Gap	NSGA II		MOPSO		%Gap
	Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv		Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv	
#16	45/87	1/7	<u>۵۴/۱۳</u>	0/08	۱۵/۳	۱/۵۰	۰/۰۸	<u>1.19</u>	۰/۰۵	۲۶/۱-
#17	47/70	2/1	<u>۵۳/۳۰</u>	0/09	۱۰/۵	۰/۹۹	۰/۰۹	۱/۰۳	۰/۰۳	۳/۹
#18	48/31	1/3	<u>51/69</u>	0/7	۶/۵	۱/۲۸	۰/۰۵	<u>۱/۱۱</u>	۰/۰۶	۱۵/۳-
#19	<u>۵۲/۱۸</u>	0/5	47/82	0/6	-9/1	۰/۸۷	۰/۰۷	<u>۰/۷۰</u>	۰/۰۷	۲۴/۳-
#20	47/78	2/8	<u>52/22</u>	1/2	8/5	0/87	0/11	<u>0/63</u>	0/03	-38/1
#21	46/98	1/6	<u>53/02</u>	0/8	11/4	0/83	0/06	<u>0/77</u>	0/09	-7/8
#22	<u>51/15</u>	0/9	48/85	1	-4/7	1/25	0/08	<u>0/92</u>	0/02	-35/9
#23	49/46	0/8	<u>50/54</u>	0/7	2/1	1/55	0/09	<u>1/21</u>	0/04	-28/1
#24	45/99	1/7	<u>54/01</u>	0/3	14/8	<u>0/88</u>	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 می باشد و شاخص SM، میزان نظم چیدمان نقاط پارتو کشف شده و شاخصی برای پراکندگی نقاط پارتو نسبت به همدیگر می باشد. بنابراین هر چه شاخص SM مقدار پایین تری را ثبت کند عملکرد مطلوب تری را در این شاخص ایفا می کند. 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 ۹/۲۳ درصد بدتر از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه پیشنهادی بوده است. یکنواختی فواصل نقاط پارتو در فضای کشف شده نقاط موثر بیشتری در اختیار مدیریت جهت سناریوهای مختلف می‌دهد.



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



شکل ۴. نتایج عددی الگوریتم MOPSO و الگوریتم NSGA II - شاخص SM

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۱۰۱

شیب روند خطی شاخص QM در شکل ۳ حاکی از آن است که با افزایش ابعاد مساله مسیر یکنواختی را طی می کند و مقدار این شاخص نسبت به ابعاد مساله حساسیتی ندارد. همچنین نشان می دهد با افزایش ابعاد مساله کیفیت درصد سهم نقاط کشف شده در الگوریتم NSGA II با شیب ملایمی بهبود و به کیفیت الگوریتم MOPSO نزدیکتر می گردد. همچنین در شکل ۴، خط روند شاخص SM در الگوریتم MOPSO با افزایش ابعاد مساله، حساسیتی نشان نمی دهد. اما در الگوریتم NSGA II با شیب ملایمی به سمت بهبود شاخص پیشروی می کند. در ادامه به شاخص های DM (شاخص پراکندگی) و MID (فاصله از نقطه ایده آل) پرداخته می شود.

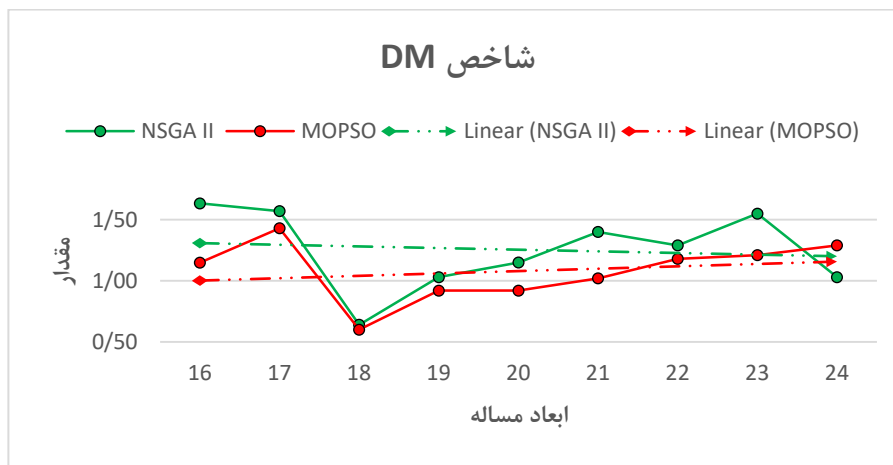
جدول ۷. مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با الگوریتم NSGA II - ابعاد بزرگ

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 مهم ترین شاخصی که کیفیت نقاط پارتو را نشان می دهد الگوریتم MOPSO عملکرد به مراتب بهتری را در مقایسه با الگوریتم NSGA II از خود نشان می دهد. این شاخص که فاصله نقاط پارتو از نقاط ایده آل را ارزیابی می کند از قدرتمندترین شاخص جهت ارزیابی کارایی می باشد. نقطه ایده آل برای تابع هدف هزینه که دنبال کمینه کردن آن می باشد، کمترین مقدار کشف شده در هر دو الگوریتم در مجموع کل اجرا، در نظر گرفته شده و همچنین نقاط ایده آل برای توابع هدف کیفیت (کیفیت محصول و خدمات) که به دنبال بیشینه سازی می باشند، 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 طوری که نقاط پارتو، حدود ۹۵٪ فضای جواب کشف شده را پوشش می‌دهد.

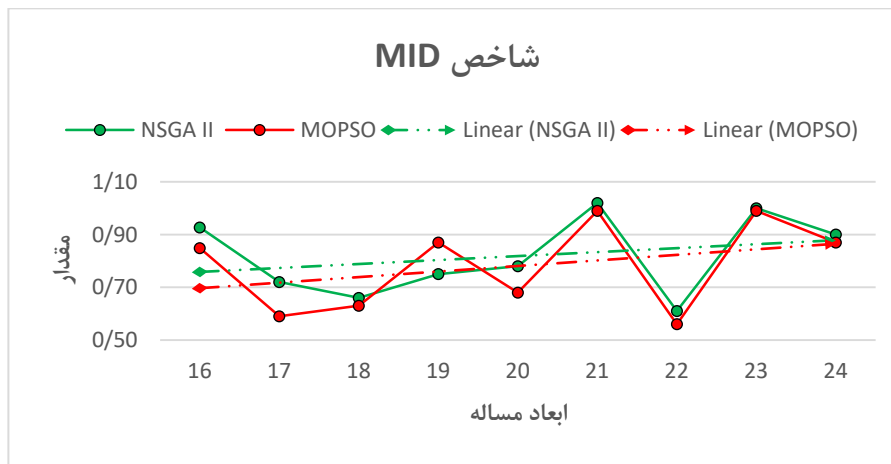


شکل ۵. نتایج عددی نتایج عددی الگوریتم MOPSO و الگوریتم NSGA II - شاخص DM

اما مهم‌ترین شاخصی که کیفیت نقاط پارتو را نشان می‌دهد شاخص MID می‌باشد. این شاخص که فاصله نقاط پارتو از نقاط ایده‌آل را ارزیابی می‌کند از قدرتمندترین

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۱۰۳

شاخص جهت ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش حل دقیق است. در این نقطه ایده آل برای تابع هدف هزینه که بدنبال کمینه کردن آن است، صفر در نظر گرفته شده و همچنین نقاط ایده آل برای توابع هدف کیفیت (کیفیت محصول و خدمات) که به دنبال بیشینه سازی هستند، بزرگ ترین نقطه کشف شده در هر دو روش حل تعیین گردید. همانطور که در نتایج عددی مشاهده می گردد میانگین شاخص MID در الگوریتم پیشنهادی تنها ۵/۲۲ درصد بالاتر از روش حل دقیق را ثبت کرده است. بنابراین الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه که یک روش تقریبی محسوب می گردد نتایج نزدیک به بهینه را کشف و در مهم ترین شاخص کارایی، مناسب و کارآمد نشان می دهد.



شکل ۶. نتایج عددی نتایج عددی الگوریتم MOPSO و الگوریتم NSGA II - شاخص MID

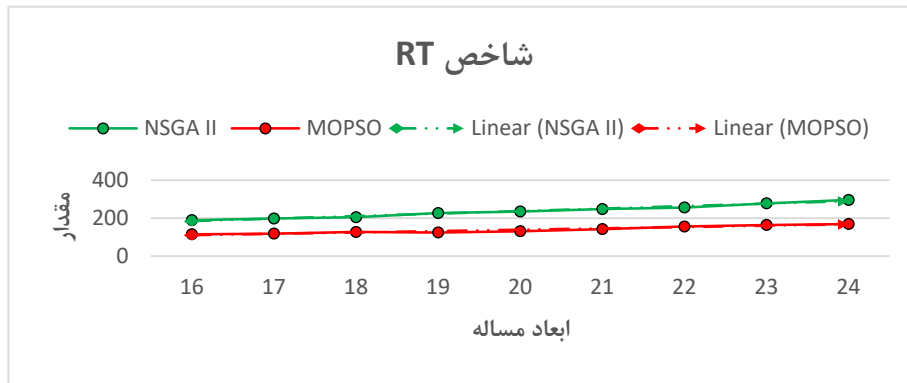
شکل (۵) نشان می دهد شاخص DM با بزرگتر شدن ابعاد مساله تغییر چندانی نمی کند. اما به نظر می رسد با توجه به نزدیک شدن خط روند دو الگوریتم، با افزایش ابعاد مساله الگوریتم های MOPSO و NSGA II عملکرد یکسانی را از خود در این شاخص نشان دهند. هم چنین در مساله شماره ۱۶، الگوریتم NSGA II بهترین عملکرد خود را در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

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)				%Gap
	NSGA II		MOPSO		
	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 رسیده است.



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	۴۵۰۹	۱۷۷۱۱۸	۱۱	۶۰۴
۲	۸۷۲۹۶	۷۲۷۴	۲۷۵۹۵۵	۲۴	۹۸۷
۳	۲۰۹۰۱۷	۳۰۴۱	۵۶۸۱۷۶	۱۶	۱۴۳۳
۴	۱۸۸۴۰۶	۸۷۷	۳۷۸۴۹۱	۱۲	۱۷۹۹

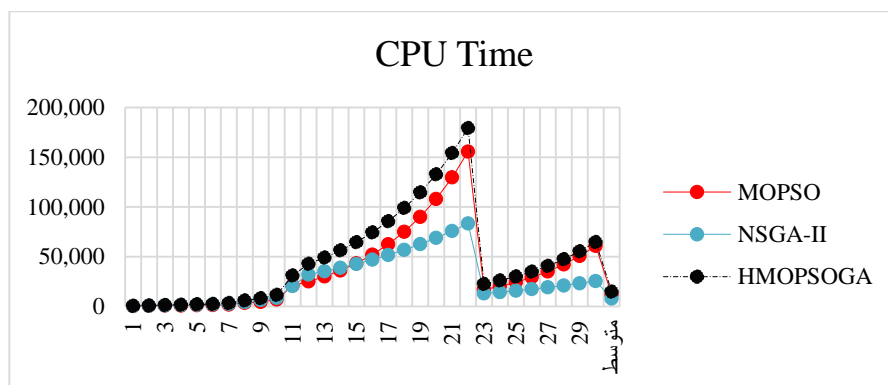


طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۱۰۵

شماره مساله	SM	D	MID	NPS	CPU Time (Second)
۵	۲۵۵۲۹۱	۳۳۶۵۴	۷۴۶۲۲۵	۱۵	۲۱۵۲
۶	۲۰۹۷۸۲	۱۷۲۶۶	۴۲۴۷۳۹	۱۱	۲۴۹۰
۷	۳۱۶۳۷۰	۸۳۹۷	۸۲۱۰۰۱	۱۵	۳۴۲۲
۸	۵۸۴۸۹۶	۱۴۵۷۵۹	۱۶۴۰۴۵۷	۱۴	۶۰۶۳
۹	۶۱۶۹۷۳	۱۷۰۸۲	۱۲۵۵۹۹۵	۱۰	۸۳۰۴
۱۰	۱۷۱۷۵۱۲	۱۶۸۱۹	۳۸۵۷۸۳۸	۱۰	۱۱۶۸۱
۱۱	۲۸۲۶۶۵۰	۱۰۷۱۲۲۶	۶۵۰۷۵۱۷	۱۴	۳۱۱۰۸
۱۲	۲۸۶۷۳۷۲	۵۴۴۰۲۲	۶۵۸۳۱۵۹	۱۵	۴۲۹۶۷
۱۳	۲۲۷۹۲۳۰	۸۰۷۶۲۴	۳۵۷۵۶۶۷	۱۳	۴۹۱۴۹
۱۴	۱۲۶۹۵۴	۴۱۲۴۴۵	۱۹۷۷۰۷۹	۲۲	۵۶۳۲۷
۱۵	۷۹۰۳۶۷	۲۱۰۴۲۱	۱۳۶۱۶۵۲	۲۲	۶۴۶۷۵
۱۶	۵۸۶۵۰۲	۱۷۸۰۹۰	۸۹۳۱۹۶	۱۴	۷۴۴۰۰
۱۷	۵۲۶۲۹۹	۹۷۵۸۶	۸۵۷۰۹۹	۲۳	۸۵۷۵۰
۱۸	۸۸۵۹۹۰	۵۷۲۰۲	۱۲۴۸۷۷۸	۱۲	۹۹۰۱۷
۱۹	۱۳۶۰۸۹۶	۵۶۴۲۱۴	۱۲۵۲۳۸۶	۱۴	۱۱۴۵۴۹
۲۰	۱۶۷۰۰۷۱	۵۵۴۱۱۸	۲۵۵۵۱۱۲	۱۵	۱۳۲۷۶۰
۲۱	۲۱۹۱۲۱۰	۶۸۰۸۷۱	۴۵۳۱۳۱۴	۱۰	۱۵۴۱۴۳
۲۲	۲۲۵۹۴۶۸	۵۴۶۶۵۸	۵۵۵۷۲۳۷	۱۱	۱۷۹۲۸۶
۲۳	۱۷۸۳۹۳۸	۳۷۸۵۴۰	۴۵۶۶۴۵۲	۱۲	۲۲۵۶۴
۲۴	۱۳۳۱۰۳۸	۲۷۸۳۱۵	۳۲۷۱۷۶۶	۱۹	۲۶۰۹۴

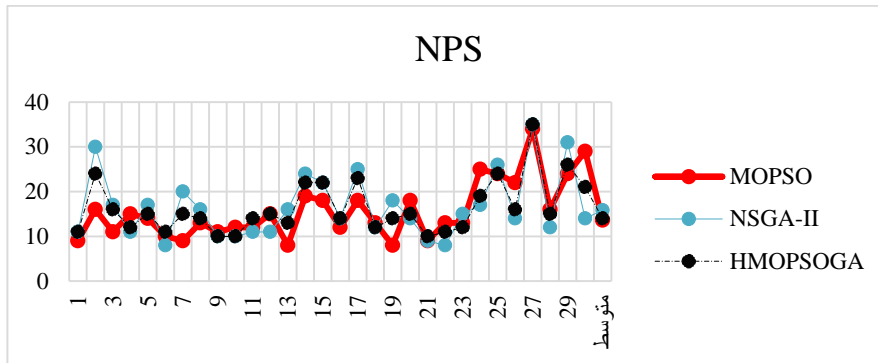
مقایسه نموداری روش حل ترکیبی با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری بر مبنای

معیارهای ارزیابی



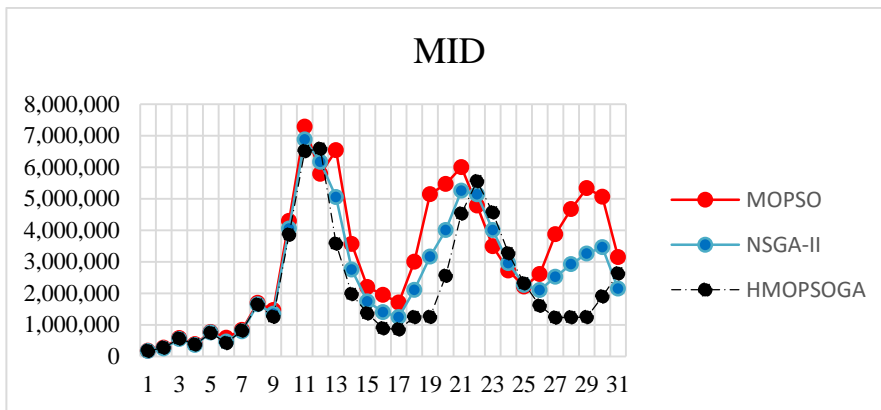
شکل ۸. مقایسه دو الگوریتم ترکیبی بر مبنای زمان حل

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

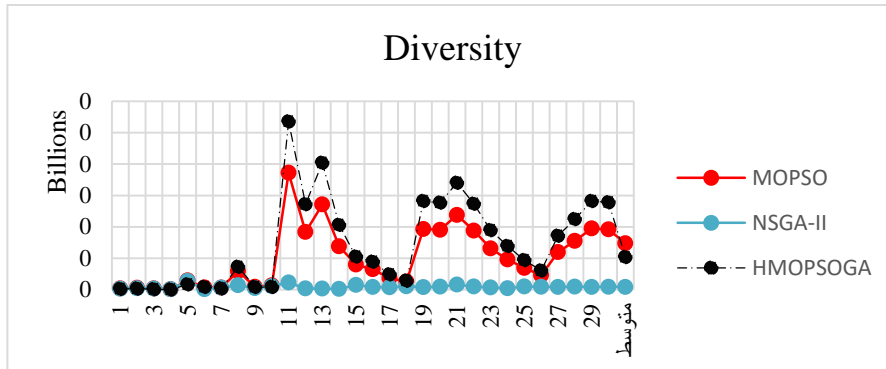
با توجه به اینکه بیشتر بودن تعداد جواب‌های پارتو نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل در این مساله الگوریتم‌ها برتری نسبت به یکدیگر ندارند.



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

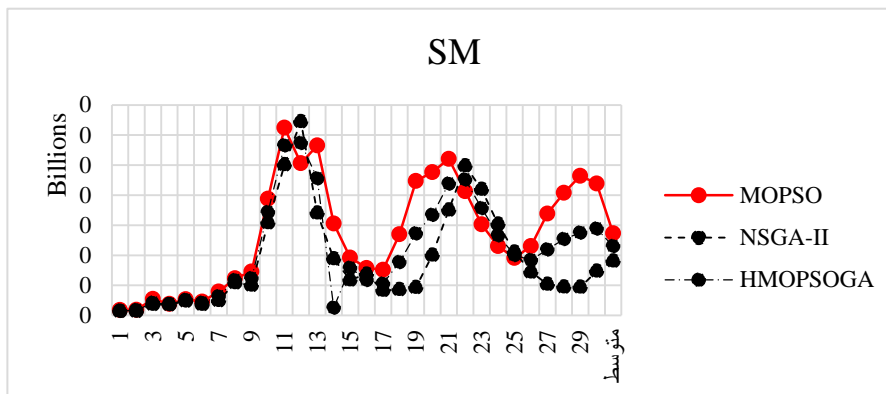
با توجه به اینکه کمتر بودن در معیار فاصله از ایده‌آل نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل در این مساله الگوریتم ترکیبی نتیجه بهتری داشته است.

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۱۰۷



شکل ۱۱. مقایسه دو الگوریتم ترکیبی بر مبنای فاصله معیار 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 فاصله گذاری

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

### نتیجه گیری 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 نظر گرفتن 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.

جواب‌های 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)، ۳،۶٪ 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 نظر گرفتن 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 جواب‌های ناموجه در الگوریتم MOPSO و NSGA II نشان می‌دهد که میانگین جواب‌های ناموجه در الگوریتم MOPSO حدوداً ۲۱٪ کمتر از که میانگین جواب‌های 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 محدودیت‌های 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 جواب‌های 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 محدودیت‌های مساله تخطی

طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده // ۱۰۹

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 چشم‌پوشی کرد. در نتیجه با در نظر گرفتن شاخص‌های 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 جواب‌های پارتو در زمان کمتر از ۱۰۰۰۰ ثانیه نمی‌باشد از الگوریتم پیشنهادی بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه بهره‌برد.

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 چنددوره‌ای و با در نظر گرفتن تخفیف برای مشتریان با داده‌های قطعی و هم‌چنین در نظر گرفتن زمان اعتبار مصرف برای اقلام خریداری شده به منظور 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 صورتی که تعداد تأمین‌کنندگان افزایش یابد حفظ و برقراری این ارتباط برای شرکت هزینه‌بر 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 یکپارچه سازی زنجیره به دست می آید می توان گفت خرید کالا بر اساس مدل بر حسب نیاز زنجیره و در نظر گرفتن مقدار قطعات بازگشتی به زنجیره صورت می پذیرد

چند محصولی بودن در فرآیند خرید، اغلب شرکت ها 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 تأمین کنندگان (مانند تخفیف) به خصوص در زمان تصمیم گیری برای چند بازه زمانی، میزان نرخ تخفیف را در دوره های 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 هزینه های 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 دوره های زمانی که تخفیف ارائه داده محصولات بیشتری را خریداری کنند.

احداث مراکز در نقاط مختلف می تواند حتی بدون اعمال تخفیف برای محصولات منجر به فروش بیشتر شرکت و در نتیجه سود شرکت را افزایش دهد.

اکثر شرکت های 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 می دهد شرکت ها برای افزایش کیفیت در ارائه خدمات باید با تعریف کالاهای موازی قابلیت اطمینان را در قابلیت دسترس پذیری کالاها و در نتیجه کیفیت کالاها را افزایش دهند.

در حالی که در صورت عدم توجه به این هدف میزان سود شرکت ها متفاوت است.

زمان تحویل کالاها به مشتریان همواره یکی از دغدغه های مشتریان محسوب می گردد نتایج حاصل از تحقیق نشان می دهد با کاهش سود مورد انتظار شرکت ها می توان 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 تأمین کنندگان در هر دوره به دنبال تعداد بهینه تأمین محصولات از تأمین کنندگان است به طوری که 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. در نظر گرفتن 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 در نظر گرفتن 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 بلندمدت تأثیرگذار باشد و توجه به مسائل زیست محیطی و در نظر 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 زمینه‌های توسعه ساختار زنجیره تأمین، توسعه پارامترها و توسعه معیارهای ارزیابی ارائه می‌گردد:

- در مدل ارائه شده مراکز بازیافت و توزیع و مراکز تولید به صورت مجزا و با ویژگی‌های متفاوت در نظر گرفته شده است هر یک از این مراکز تسهیلات می‌توانند به صورت مشترک در زنجیره تأمین در نظر 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 در نظر 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 الگوریتم‌های فراابتکاری مختلف در انتخاب تأمین کننده
- 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 الگوریتم‌های ترکیبی NSGA II و MOPSO با روش RSM
- ترکیب الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با شبیه‌سازی تبرید
- روشی برای ترکیب اتوماتای یادگیر سلولی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات بهینه‌شده



## References

- Amid, A., Ghodspour, 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.
- Büyükoçkan, 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.
- 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.
- Chaudhrv. S. S., Forst, F. G., & Zydiak, J. L. (1993). Vendor selection with price breaks. *European Journal of Operational Research*, 70(1), 52-66.
- Dahel, N. E. (2003). Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. *Supply Chain Management: An International Journal*, 8(4), 335-342
- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mavrotas, George. (2007). "Generation of efficient solutions in multiobjective mathematical programming problems using GAMS. Effective implementation of the  $\epsilon$ -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).
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International journal of management reviews*, 9(1), 53-80.
- 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).
- Wu, C., & Barnes, D. (2016). An integrated model for green partner selection and supply chain construction. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2114-2132.
- Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *OMEGA - International Journal of Management Science*, 35(5), 494-504.
- 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.
- Zhou, Z., Dou, Y., Liao, T., & Tan, Y. (2018). A Preference Model for Supplier Selection Based on Hesitant Fuzzy Sets. *Sustainability*, 10(3), 659.

استناد به این مقاله: (DOI): 10.22091/jemsc.2020.5016.1124 شناسه دیجیتال

سعدی، عصمت؛ فتحی هفشجانی، کیامرت؛ رادفر، رضا. (۱۳۹۸). «طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین کننده و در نظر گرفتن تخفیف». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، ۵ (۲)، ۱۱۳-۷۳.