

ارائه رویکرد چندهدفه بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای مدل منبع یابی و تصمیمات موجودی یکپارچه

مجید عادل^{*}، مصطفی زندیه^{**}

چکیده

در این پژوهش به بررسی مسئله‌ی یکپارچه منبع‌یابی و سیاست موجودی پرداخته‌ایم. در بازار رقابتی امروز، منبع‌یابی از مهم‌ترین مسائل تصمیم‌گیری راهبردی سازمان‌ها است. بسیاری از سازمان‌ها حجم عظیمی از سرمایه خود را در قالب موجودی نگهداری می‌کنند؛ بنابراین تصمیمات تاکتیکی کنترل موجودی و انتخاب سیاست بهینه موجودی تأثیر بسیاری بر هزینه آن‌ها خواهد داشت. تاکنون تحقیقات کمی در حوزه یکپارچه‌سازی منبع‌یابی و سیاست موجودی صورت گرفته است. در مسائل واقعی محاسبه دقیق هزینه کمبود موجودی کاری دشوار است. برای رفع این مشکل در این پژوهش، تعداد کمبود به‌عنوان هدفی مجزا در نظر گرفته شد. از آنجاکه تقاضای کارخانه‌ها و زمان تحویل احتمالی هستند، با روش‌های معمول نمی‌توان تابع هدف را محاسبه کرد؛ بنابراین برای تخمین مقدار تابع هدف، از شبیه‌سازی استفاده کردیم. مسئله مطرح‌شده در این پژوهش از نوع NP-Hard است؛ بنابراین برای یافتن جواب بهینه مسئله از روش‌های فراابتکاری چندهدفه NSGA-II و MOPSO استفاده کردیم. برای آزمون مدل و الگوریتم ارائه‌شده، شش مسئله آزمایشی از کوچک تا بزرگ طراحی کردیم و سپس کیفیت تخمین‌های پارتوی به‌دست‌آمده از دو الگوریتم را توسط شش معیار مورد ارزیابی قرار دادیم. نتایج نشان دادند که جواب‌های تولیدشده توسط الگوریتم NSGA-II از کیفیت بیشتری برخوردارند.

کلیدواژه‌ها: منبع‌یابی؛ سیاست کنترل موجودی؛ بهینه‌سازی چندهدفه؛ بهینه‌سازی
شبیه‌سازی؛ الگوریتم NSGA-II؛ الگوریتم MOPSO.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۴/۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۸/۱۳.

* کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

** دانشیار، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).

۱. مقدمه

در طی دو دهه گذشته، تولیدکنندگان در مواجهه با افزایش رقابت تحت فشار شدید برای بهبود عملیات محوری خود بوده‌اند. ابزارهای سنتی مدیریت برای چالش‌های امروزی زنجیره تأمین طراحی نشده‌اند و پاسخگوی شرایط پیچیده و متغیر امروزی نیستند [۷]. در این پژوهش، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان شایسته برای کاهش هزینه‌های تولید، توزیع و مواد جزء عناصر کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین هستند. علاوه بر هزینه کل، کیفیت و تحویل عوامل مهمی در انتخاب تأمین‌کننده هستند.

همان‌طور که در مقاله آیسوئی و همکاران [۱] اشاره شده است، برخلاف اهمیت اقتصادی و پیچیدگی ذاتی فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، به مدل‌های کمی برنامه‌ریزی ریاضی توجه زیادی نشده است. در این پژوهش در پی پرکردن این شکاف هستیم. در این تحقیق، یک شرکت تولیدی مادر می‌خواهد به‌طور هم‌زمان فرآیند انتخاب تأمین‌کننده و تصمیمات موجودی کارخانه هایش را بهینه کند. هر کارخانه تولیدکننده با تقاضای احتمالی خاص خود مواجه است. برای پاسخ به موقع به مشتری، هر کارخانه مقداری موجودی نگه می‌دارد و طبق یک سیاست (I, Q) خاص برای پرکردن موجودی‌اش از تأمین‌کننده‌ای که به او تخصیص یافته عمل می‌کند. تمرکز این پژوهش بر ارزیابی تأمین‌کننده نیست. در پژوهش حاضر تمرکز اصلی بر به‌دست‌آوردن رابطه بین انتخاب تأمین‌کننده و تصمیمات موجودی در یک حالت کمی است. بیشتر تحقیقات پیشین، فقط به ساختن یک مدل مفهومی برای انتخاب تأمین‌کننده پرداخته‌اند.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تجارب فعلی مدیریت زنجیره تأمین، شرکت‌های تولیدی را به کاهش تعداد تأمین‌کنندگان تشویق می‌کند. این امر سبب تعهد بلندمدت و روابط نزدیک با تأمین‌کنندگان می‌شود [۲۸]. تعیین یک راهبرد خرید برای شرکت تولیدکننده سه گام اصلی دارد: ۱. ایجاد یک مجموعه مرجع تأمین‌کننده؛ ۲. انتخاب تأمین‌کنندگانی از مجموعه مرجع تأمین‌کنندگان که سفارش از شرکت می‌گیرند و ۳. تعیین مقدار کالا برای سفارش از هر تأمین‌کننده انتخاب‌شده [۸]. گام اول شامل انتخاب تأمین‌کنندگانی است که یک مجموعه معیار از پیش تعیین شده دارند. این معیارها عبارت‌اند از قیمت، کیفیت، عملکرد تحویل، تکمیل سفارش و انعطاف‌پذیری، موقعیت مالی و ... سهم قابل توجهی از ادبیات خرید و منبع‌یابی وقف این تصمیم شده است. تعدادی از محققین از برنامه‌ریزی خطی [۲۴] و برنامه‌ریزی آرمانی [۶] استفاده کرده‌اند، تعدادی دیگر رویکرد برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح خطی [۵] و برخی دیگر برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی غیرخطی را پیشنهاد داده‌اند [۱۵، ۱۹، ۲۶]. بسنت و لونگ [۵]، پن [۲۴] و تمپلمیر [۲۹] مقدار خریداری شده از یک مجموعه

تأمین‌کننده انتخاب‌شده در هر دوره با استفاده از برنامه‌ریزی افقی چنددوره‌ای و تقاضای متغیر را تعیین کردند. قدسی‌پور و ابرین [۱۵] و رزنبلات و همکاران [۲۶] دریافتند که تولیدکنندگان تحت فرضیات مقدار سفارش اقتصادی^۱ (EOQ) برای انجام اندازه دسته‌ها و انتخاب تأمین‌کننده به‌طور هم‌زمان عمل می‌کنند. این مقالات یک تولیدکننده را در نظر گرفتند که یک قلم کالا را تدارک می‌بیند. کسکین و همکاران [۱۹] یک مسئله یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده با جزئیاتی مشابه این پژوهش را در نظر گرفتند. آن‌ها مسئله را به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی غیرخطی فرموله کردند و یک رویکرد کارای تجزیه‌محور را برای حل آن توسعه دادند. نتایج کار آن‌ها باینکه ارتباط بین موجودی و انتخاب تأمین‌کننده را برجسته می‌کند، اثر تقاضای احتمالی را در نظر نمی‌گیرد. در مقاله برکو و همکاران [۷] یک مسئله عمومی انتخاب تأمین‌کننده برای یک شرکت با چند فروشگاه بررسی شده است.

به‌طور گسترده تصدیق شده است که شبیه‌سازی یک ابزار توانمند بر پایه رایانه است که تصمیم‌گیران را قادر می‌کند کارایی عملیاتی را از طریق توانایی یکپارچه‌سازی عدم‌اطمینان ذاتی سیستم‌های واقعی پیچیده بهبود دهند [۱۶]. شبیه‌سازی به‌طور گسترده برای مدل‌سازی زنجیره‌های تأمین بزرگ استفاده شده است [۱۷، ۲۱، ۲۸].

مدل‌های شبیه‌سازی قادرند رفتارهای سیستم‌های پیچیده را شبیه‌سازی کنند؛ هرچند ممکن است به مقادیر زیاد توسعه و زمان اجرا نیاز داشته باشند که آن‌ها را برای حل مسائل بهینه‌سازی ناکافی می‌کند. این وضعیت با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی-شبیه‌سازی برطرف می‌شود؛ بدین‌صورت که بهترین ترکیب پارامترهای مسئله با استفاده از تکنیک‌های جست‌وجوی هوشمند، به‌طور کارا جست‌وجو و شناسایی می‌شوند. رویکردهای عمده که در بهینه‌سازی-شبیه‌سازی استفاده می‌شوند عبارت‌اند از: جست‌جوی تصادفی^۲ [۲]، متدولوژی سطح پاسخ^۳ [۴]، رویه‌های مبتنی بر گرادیان^۴ یا شیب خط [۱۴]، رتبه‌بندی و انتخاب^۵ [۲۰]، بهینه‌سازی مسیر نمونه^۶ [۲۵] و الگوریتم‌های فراابتکاری [۲۳]. تا چند سال پیش، پژوهش روی بهینه‌سازی-شبیه‌سازی بر توسعه‌های تئوریک متمرکز بود [۱۳] تا اینکه فو به این موضوع اشاره کرد که به الگوریتم‌هایی نیاز است که مزایای نتایج تئوریک را به‌کار برند و برای مسائل واقعی، انعطاف‌پذیر و قابل‌کاربرد باشند. پژوهش حاضر یک گام در جهت پرکردن این شکاف برمی‌دارد و یک الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی-شبیه‌سازی برای مسئله یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده توسعه می‌دهد. یکی از بسته‌های نرم‌افزاری تجاری رایج که از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌کند OptQuest است.

1. Economical Ordering Quantity
2. Random Search
3. Response Surface Methodology
4. Gradient-based procedures
5. Ranking and selection
6. Sample path optimization

این نرم‌افزار از ترکیب جست‌وجوی پراکندگی، جست‌وجوی ممنوع و شبکه‌های عصبی برای حل مسائل بهینه‌سازی با چند سناریو در حجم بزرگ مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کند [۱۴]. پیچیدگی در نظر گرفتن اهداف متضاد، از قبیل کمینه‌سازی هزینه و بیشینه‌سازی سطح سرویس در مسائل واقعی کنترل موجودی، این است که بهینه‌سازهای دقیق‌تر با قابلیت تولید جواب‌های نامغلوب متنوع‌تر و بهتر (r, Q) استفاده می‌شوند. مسلمی و زندیه [۲۲] تعدادی از راهبردهای جدید در بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه را در یک سیستم کنترل موجودی مرور دائمی مقایسه کردند.

در پژوهش بدری و همکاران [۳] مدلی ریاضی برای اتخاذ هم‌زمان تصمیمات راهبردی و تاکتیکی طراحی شد. در این مدل، مسائلی چون استقرار تجهیزات به‌عنوان تصمیمات راهبردی و بلندمدت در نظر گرفته شد و برنامه‌ریزی تولید و توزیع به‌عنوان تصمیم تاکتیکی مطرح شد. تسای و ژنگ [۳۲] یک الگوریتم بهینه‌سازی-شبیه‌سازی برای حل مسئله موجودی دوطرفی محدودیت‌دار ارائه دادند. هدف پژوهش آن‌ها تعیین سطوح بهینه موجودی برای کمینه‌سازی هزینه موجودی است؛ به‌گونه‌ای که زمان پاسخ مورد انتظار ارضا شود. در پژوهش دوآن و وارن لیاو [۱۲] سیاست‌های بهینه بازپرسازی زنجیره‌های تأمین شایسته که تحت دو راهبرد کنترل مختلف کار می‌کنند (متمرکز و غیرمتمرکز) و تقاضاهایی متنوع دارند، مشخص شد. آن‌ها یک الگوریتم فراابتکاری جدید برای بهینه‌سازی و یک ماژول ارزیابی بر پایه مدل موجودی زنجیره تأمین توسعه دادند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نوع توسعه‌ای و کاربردی است. هم در مسئله یکپارچه منبع‌یابی و سیاست موجودی توسعه صورت گرفته است و هم در ابزار حل آن. تاکنون بهینه‌سازی-شبیه‌سازی با الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه تلفیق نشده بود. این کار به حل مسائل چندهدفه‌ای که هم پیچیدگی سیستمی و هم پیچیدگی الگوریتمی دارند یاری می‌رساند. نتایج این تحقیق برای فروشگاه‌های زنجیره‌ای بزرگ با چندین تأمین‌کننده و برای سیستم‌های موجودی پیچیده و چندهدفه (مثل صنعت خودرو، قطعات الکتریکی و مواد غذایی) کاربرد دارد. بخش عمده‌ای از مطالب مربوط به این مقاله از منابع کتابخانه‌ای، شامل کتب، پایان‌نامه‌ها و مقالات، جمع‌آوری شده است. برای آزمودن الگوریتم‌های ارائه‌شده از داده‌های آزمایشی استفاده شده است. این داده‌ها از مقاله برکو و همکاران [۷] اقتباس شدند و با توجه به تغییرات و توسعه مسئله، براساس نظر خبرگان اصلاح شدند.

تعریف و فرموله کردن مسئله. قبل از اینکه به تشریح و بررسی سیستم پردازیم، نمادهای استفاده‌شده را به شرح زیر معرفی می‌کنیم:

الف) پارامترها

I: مجموعه کارخانه‌ها؛

J: مجموعه تأمین‌کنندگان پیش‌گزیده؛

C_j: هزینه خرید هر واحد از کارخانه J؛

f_i: هزینه ثابت قرارداد با تأمین‌کننده I؛

P_{ij}: هزینه ثابت حمل سفارش به کارخانه I از تأمین‌کننده J توسط هر کامیون؛

r_{ij}: هزینه متغیر حمل موجودی به کارخانه I از تأمین‌کننده J توسط هر کامیون؛

d_{ij}: فاصله بین کارخانه I و تأمین‌کننده J؛

LT_{ij}: مدت زمان تحویل سفارش تأمین‌کننده I به کارخانه J؛

D_i: تقاضای سالانه کارخانه I؛

S_i: هزینه هر واحد سفارش معوق در کارخانه I؛

K_i: هزینه ثابت سفارش کارخانه I؛

h_i: هزینه نگهداری هر واحد موجودی در کارخانه I؛

Q_j^{min}: حداقل مقدار قابل سفارش از تأمین‌کننده J؛

q_i^{min}: حداقل سطح کیفیت قابل‌پذیرش برای کارخانه I؛

W_j: ظرفیت خروجی سالانه تأمین‌کننده J؛

q_j: درصد محصولات با کیفیت خوب توسط تأمین‌کننده J؛

TrSize: ظرفیت کامیون‌ها.

ب) متغیرهای تصمیم:

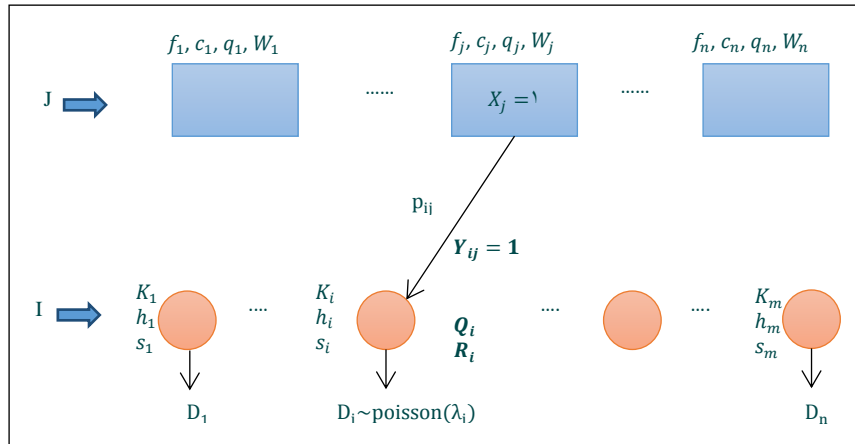
X_j: اگر تأمین‌کننده J انتخاب شود، برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است.

Y_{ij}: اگر تأمین‌کننده J به کارخانه I تخصیص داده شود، برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است.

Q_i: مقدار هر بار سفارش کارخانه I؛

R_i: نقطه سفارش مجدد کارخانه I.

در این پژوهش برخلاف رویکردهای معمول مدل‌سازی انتخاب تأمین‌کننده، یک تولیدکننده با کارخانه‌های چندگانه را در نظر گرفتیم. این کارخانه‌ها از نظر جغرافیایی پراکنده هستند. ساختار تصویری مسئله را در شکل ۱ نشان داده‌ایم.



شکل ۱. نمای گرافیکی مدل یکپارچه ارائه شده

در این مسئله تعداد $m \geq 2$ کارخانه در نظر گرفته شده است که یک محصول را برای ارضای تقاضای کارخانه تولید می‌کنند. تقاضا براساس توزیع پواسون با میانگین λ_i به هر کارخانه i می‌رسد. برای ارضای تقاضا در هر کارخانه، شرکت تولیدکننده، یک مجموعه از تأمین کنندگان بالقوه که معیارهای مالی، کیفی و تحویل کالا را ارضا می‌کنند، انتخاب می‌کند. همچنین هر تأمین‌کننده j ، ظرفیت خروجی سالانه به میزان W_j را دارد. این مسئله از نوع تک‌منبعی است و هر کارخانه فقط به یک تأمین‌کننده واگذار خواهد شد.

در این پژوهش فرض کردیم هر کارخانه از سیستم موجودی مرور مستمر (r, Q) استفاده می‌کند. براساس سیاست (r, Q) سطح موجودی کارخانه به‌طور مستمر بررسی می‌شود و هر زمان که سطح موجودی کمتر از R شد، به میزان Q سفارش داده می‌شود. پس از طی زمان تحویل L_{Tij} سفارش ارسالی از طرف تأمین‌کننده j به کارخانه i می‌رسد. سفارش توسط کامیون‌هایی با ظرفیت $TrSize$ حمل می‌شود. از آنجاکه کیفیت موجودی ارسالی تأمین‌کننده j برابر q_j است، موجودی کارخانه i به میزان $Q_i \times q_j$ افزایش می‌یابد. هزینه حمل‌ونقل از کارخانه i به تأمین‌کننده j شامل دو بخش زیر است:

۱. هزینه ثابت حمل توسط کامیون (P_{ij}) که به فاصله بین کارخانه و تأمین‌کننده وابسته نیست؛
۲. هزینه متغیر حمل توسط کامیون (r_{ij}) که به‌ازای هر واحد مسافت بین کارخانه i و تأمین‌کننده j است؛ لذا برای محاسبه هزینه کل جابه‌جایی متغیر بین کارخانه i و تأمین‌کننده j از رابطه $r_{ij} \times d_{ij}$ استفاده می‌شود. d_{ij} فاصله (اقلیدسی) بین کارخانه i و تأمین‌کننده j است. برای کاهش هزینه در افق برنامه‌ریزی باید یک بده بستان بین انتخاب تأمین‌کننده و سیاست کنترل موجودی هر کارخانه صورت گیرد.

به‌طور کلی هزینه‌های سیستم در سه دسته جای می‌گیرند:

۱. هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان و بستن قرارداد با آن‌ها که برابر $\sum_{j \in J} f_j X_j$ است.
 ۲. هزینه‌های سیستم موجودی کارخانه شامل هزینه نگهداری برابر $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i \left[\frac{Q_i}{2} + R_i - \right]$ سفارش برابر $\sum_{i \in I} \frac{K_i E[D_i]}{Q_i}$ و خرید برابر $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_j E[D_i] Y_{ij}$ است.
- بخش قابل‌محاسبه هزینه کمبود معادل $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{s_i n_j(R_i) E[D_i] Y_{ij}}{Q_i}$ است که در آن $n_j(R_i)$ تابع زیان ناشی از کمبود است و با رابطه ۱ محاسبه می‌شود. \bar{F} تابع معکوس پواسون است.

$$n_j(R_i) = E[LT D_{ij}] \bar{F}(R_i) - R_i \bar{F}(R_i + 1) \quad \text{رابطه ۱}$$

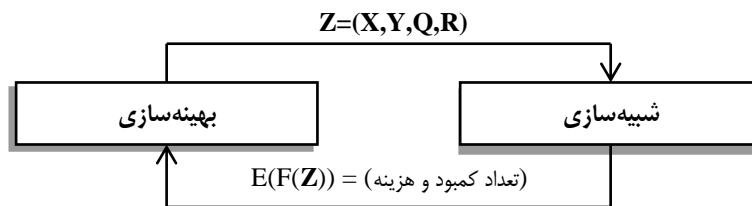
۳. هزینه‌های حمل‌ونقل بین کارخانه و تأمین‌کنندگان برابر $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left\{ \frac{(p_{ij} + r_{ij} d_{ij}) E[D_i] Y_{ij}}{TrSize} \right\}$ است که برابر حاصل ضرب میانگین تعداد کامیون موردنیاز سالانه در هزینه هر کامیون است.
- رابطه ۳ هزینه کل سیستم را نشان می‌دهد. محاسبه دقیق هزینه کمبود در دنیای واقعی کاری نشدنی است. برای نمونه، نمی‌توانیم هزینه کسر اعتبار شرکت ناشی از کمبود را محاسبه کنیم؛ بنابراین هدفی نیز برای کمینه‌سازی تعداد کمبود مطابق رابطه ۲ در کنار هدف کمینه‌سازی هزینه در نظر می‌گیریم. طبق رابطه ۴ هر کارخانه فقط به یک تأمین‌کننده اختصاص داده شود. براساس رابطه ۵ هر کارخانه به تأمین‌کننده‌ای اختصاص داده می‌شود که انتخاب شده است. بر مبنای رابطه ۶ تقاضای کارخانه نباید بیشتر از ظرفیت تأمین‌کننده باشد. مطابق رابطه ۷ حداقل کیفیت موردنیاز کارخانه باید ارضا شود. بر پایه رابطه ۸ مقدار سفارش کارخانه باید از حداقل سفارش قابل قبول تأمین‌کننده بیشتر باشد. همچنین طبق رابطه ۱۰ متغیرهای X_j و Y_{ij} از نوع صفر و یک هستند.

$$\min S(X, Y, Q, R) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{n_j(R_i) E[D_i] Y_{ij}}{Q_i} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\begin{aligned} \min G(X, Y, Q, R) = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_j E[D_i] Y_{ij} + \sum_{j \in J} f_j X_j + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left\{ \frac{(p_{ij} + r_{ij} d_{ij}) E[D_i] Y_{ij}}{TrSize} \right\} + \sum_{i \in I} \frac{K_i E[D_i]}{Q_i} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i \left[\frac{Q_i}{2} + \right. \\ & \left. R_i - E \left[LT \times \frac{1}{\lambda_i} \right] Y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{s_i n_j(R_i) E[D_i] Y_{ij}}{Q_i} \right] \end{aligned} \quad \text{رابطه ۳}$$

| | |
|---|----------|
| $St: \sum_{j \in J} Y_{ij} = 1, \forall i \in I$ | رابطه ۴ |
| $Y_{ij} \leq X_j, \forall i \in I, \forall j \in J$ | رابطه ۵ |
| $\sum_{i \in I} E[D_i] Y_{ij} \leq W_j X_j, \forall i \in I, \forall j \in J$ | رابطه ۶ |
| $q_j X_j \geq q_i^{min} Y_{ij}, \forall i \in I, \forall j \in J$ | رابطه ۷ |
| $Q_i \geq Q_j^{min} Y_{ij}, \forall i \in I, \forall j \in J$ | رابطه ۸ |
| $Q_i \geq 0, \forall i \in I$ | رابطه ۹ |
| $X_j, Y_{ij} \in \{0,1\}, \forall i \in I, \forall j \in J$ | رابطه ۱۰ |

حل مدل. مدل بالا، غیرخطی عدد صحیح ترکیبی (MINLP) است. به دلیل NP-Hard بودن مسئله با افزایش تعداد متغیرها و ابعاد، مسئله بسیار پیچیده خواهد شد و حل آن با روش‌های مرسوم ممکن نخواهد بود. برای رفع این مشکل از روش‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی استفاده کردیم. از سوی دیگر، برخی از متغیرها به صورت احتمالی هستند و برای به دست آوردن سازگاری هر جواب نمی‌توان از روش‌های معمولی استفاده کرد؛ بنابراین برای این کار از شبیه‌سازی استفاده کردیم. مطابق شکل ۲، بخش شبیه‌سازی یک سناریوی احتمالی پیچیده را به تصویر می‌کشد و مقدار توابع هدف را محاسبه می‌کند و بخش بهینه‌سازی در پی ایجاد و انتخاب بردار بهینه تأمین‌کنندگان منتخب است و با توجه به تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده، میزان بهینه Y و (r, Q) را تعیین می‌کند.



پس از ایجاد بردار صفر و یک \bar{X}_j باید \bar{Y}_{ij} بهینه مربوط به آن تعیین شود. پاسخ بهینه \bar{Y}_{ij} با حل مسئله زیر به دست می‌آید. این مسئله مطابق رابطه ۱۱ هزینه حمل و نقل را کمینه می‌کند.

$$\min_Y \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (p_{ij} + r_{ij} d_{ij}) \frac{E[D]_i}{TrSize} Y_{ij} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

s. t.

$$\begin{aligned} \sum_{j \in J} Y_{ij} &= 1, \forall i \in I \\ Y_{ij} &\leq \bar{X}_j, \forall i \in I, \forall j \in J \\ \sum_{i \in I} E[D_i] Y_{ij} &\leq W_j \bar{X}_j, \forall i \in I, \forall j \in J \\ X_j, Y_{ij} &\in \{0,1\}, \forall i \in I, \forall j \in J \end{aligned}$$

مدل بالا از نوع خطی است و با روش‌های کلاسیک حل می‌شود. در این مسئله باید مقدار سفارش \bar{Q} برای هر کارخانه مشخص باشد. پس از مشخص شدن X و Y ، تعیین (R, Q) بهینه احتیاج به حل همزمان معادلات ۱۲ و ۱۳ دارد [۷].

$$Q_i = \sqrt{\frac{2E[D_i][K_i + s_i n_j(R_i) + (p_{ij} + r_{ij} d_{ij})] Y_{ij}}{h_i}}, \forall i \in I, \forall j \in J \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$R_i = F^{-1} \left(1 - \frac{Q_i h_i}{s_i E[D_i]} \right), \forall i \in I \quad \text{رابطه ۱۳}$$

دو رابطه بالا در یک حلقه تکرار می‌شوند؛ تا جایی که به همگرایی لازم برسند. همچنین اولین

$$\text{مقدار برای } Q_i \text{ را از رابطه } Q_i = \sqrt{\frac{2K_i E[D_i]}{h_i}}, \forall i \in I \text{ به دست می‌آوریم.}$$

الگوریتم NSGA-II دب و همکاران [۱۱] الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی غیرمغلوب^۱ NSGA-II را ارائه کردند. الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه‌ای که از مرتب‌سازی غیرمغلوب و تسهیم استفاده نمی‌کنند، بیشتر به علت پیچیدگی محاسباتی، رویکرد غیرنخبه‌گرا و نیاز به تعیین پارامتر تسهیم، موردانتقاد قرار می‌گیرند.

نمایش کروموزوم. در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده، هر کروموزوم شامل چهار بخش است. بخش اول مربوط به انتخاب تأمین‌کنندگان است که شامل nV (تعداد تأمین‌کنندگان) ژن است. بخش دوم مربوط به تخصیص کارخانه‌ها به تأمین‌کنندگان است و شامل $nP * nV$ (تعداد کارخانه‌ها * تعداد تأمین‌کنندگان) ژن است. بخش سوم شامل nP ژن است و میزان سفارش مجدد هر کارخانه را نشان می‌دهد. بخش چهارم شامل nP ژن است و نقطه سفارش مجدد هر کارخانه را نشان می‌دهد.

گام اول: تولید جمعیت اولیه. برای تولید جمعیت اولیه، به صورت تصادفی بردار صفر و یک انتخاب تأمین‌کنندگان تولید می‌شود و سپس سایر ژن‌ها با کمک آن به دست می‌آیند. این فرآیند به تعداد جمعیت مورد نظر تکرار می‌شود. در این الگوریتم اندازه جمعیت برابر ۲۰، نرخ تقاطع ۰/۷، جهش ۰/۳ و تعداد نسل ۲۰ در نظر گرفته شد.

گام دوم: ارزیابی جمعیت تولیدشده از دید توابع هدف تعریف‌شده. برای ارزیابی جواب‌ها از شبیه‌سازی سیستم برای یک دوره پنج‌ساله استفاده شد.

گام سوم: اعمال روش مرتب‌سازی نامغلوب^۱. اعضای جمعیت در داخل دسته‌هایی قرار می‌گیرند؛ به گونه‌ای که اعضای موجود در دسته اول، یک مجموعه کاملاً غیرمغلوب توسط دیگر اعضای جمعیت فعلی هستند. اعضای موجود در دسته دوم نیز بر همین مبنا تنها توسط اعضای دسته اول مغلوب می‌شوند و این روند به همین صورت در دسته‌های دیگر ادامه می‌یابد تا به تمام اعضای موجود در هر دسته، یک رتبه بر مبنای شماره دسته اختصاص داده شود.

گام چهارم: محاسبه پارامتر کنترلی به نام فاصله ازدحامی^۲. این پارامتر برای هر عضو در هر گروه محاسبه می‌شود و بیانگر اندازه‌ای از نزدیکی نمونه مورد نظر به دیگر اعضای جمعیت آن دسته و گروه است. مقدار بزرگ این پارامتر به واگرایی و گستره بهتری در مجموعه اعضای جمعیت منجر خواهد شد [۱۱].

گام پنجم: انتخاب جمعیت والدین برای تولیدمثل. ابتدا دو عضو جمعیت به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. اگر رتبه دو عضو انتخاب‌شده از نظر جهه پارتو یکسان نیست، عضوی که رتبه کمتر دارد برنده می‌شود. اگر رتبه دو عضو انتخاب‌شده یکسان است، عضوی که فاصله ازدحامی بیشتر دارد انتخاب می‌شود. در اینجا از عملگر انتخابی تورنمنت برای انتخاب عضو برتر برای حوضچه تولیدمثل استفاده شد.

گام ششم: انجام جهش و تقاطع. عملگرهای الگوریتم ژنتیک که در این مسئله استفاده شدند شامل تقاطع و جهش است. در این پژوهش از روش موازی در استفاده از عملگرها استفاده شده است. در این روش دو عملگر به صورت جداگانه کروموزوم‌ها را از میان کل جمعیت انتخاب

1. Non Dominated Sorting
2. Crowding Distance

می‌کنند. در این الگوریتم از سه نوع تقاطع تک نقطه‌ای، دونقطه‌ای و یکنواخت به‌ترتیب با احتمالات ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۷ استفاده شده است. برای انتخاب نوع تقاطع از روش چرخ رولت و برای عملگر جهش، از جهش تصادفی با نرخ استفاده شده است.

الگوریتم MOPSO: الگوریتم MOPSO از عملگرهای PSO استفاده می‌کند. این الگوریتم در سال ۲۰۰۲ توسط کوئلو کوئلو [۸] معرفی شد و در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ توسط وی و همکارانش توسعه یافت [۹]. در این الگوریتم بهترین جواب‌های نامغلوب در یک حافظه خارجی نگهداری می‌شود [۸، ۲۰].

نمایش جواب: نحوه نمایش جواب در این الگوریتم مشابه الگوریتم NSGA-II است. در این الگوریتم به‌جای کروموزوم از ذره (یا پرده) استفاده می‌شود. رویه الگوریتم MOPSO ارائه‌شده مطابق مراحل زیر است:

گام اول: ایجاد جمعیت اولیه. برای تولید جمعیت اولیه در این الگوریتم، مانند فرآیند تولید جمعیت اولیه در الگوریتم NSGA-II عمل می‌شود. در الگوریتم طراحی‌شده، تعداد ذرات برابر ۲۰ و اندازه آرشیو خارجی ۱۵ تعیین شد.

گام دوم: جدا کردن اعضای نامغلوب و ذخیره کردن آن‌ها در حافظه خارجی

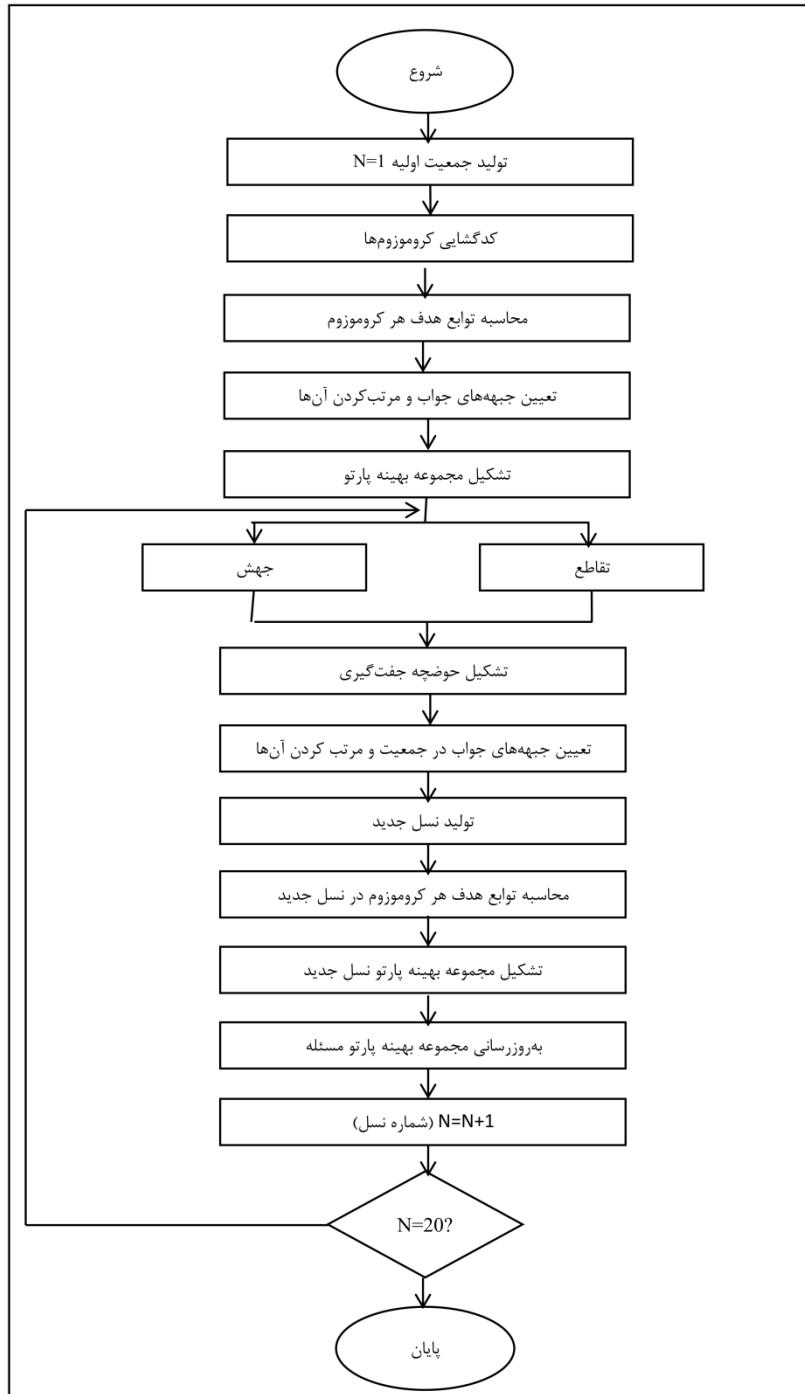
گام سوم: سلول‌بندی فضای هدف کشف‌شده

گام چهارم: انتخاب رهبر

با کمک رابطه ۱۴ احتمال انتخاب هر سلول مشخص می‌شود. طبق این رابطه، سلول با اعضای کمتر احتمال انتخاب بیشتری دارد [۱۰]. ii شماره سلول است.

$$Prob_{ii} = \frac{e^{-n_{ii}}}{\sum_j e^{-n_{ij}}}, \quad 0 \leq prob_{ii} \leq 1, \sum_i p_i = 1 \quad \text{رابطه ۱۴}$$

پس از تعیین احتمال انتخاب سلول‌ها با استفاده از روش چرخ رولت یکی از سلول‌ها انتخاب می‌شود و سپس یکی از اعضای سلول به‌صورت تصادفی به‌عنوان رهبر انتخاب می‌شود



شکل ۳. فلوجارت الگوریتم NSGA-II

گام پنجم: عملگرهای الگوریتم MOPSO. در PSO گسسته سرعت باید به احتمالی تبدیل شود که همان شانس گرفتن ارزش ۱ برای ذره است [۱۸]. در اینجا برای محاسبه سرعت ذره از روابط ۱۵، ۱۶ و ۱۷ استفاده شد. c_1 و c_2 اعداد ثابت و برابر هستند. $pBest_t$ بهترین جواب هر ذره ۱ و $nBest_t$ بهترین جواب کلی (رهبر) است. w ثابت اینرسی نام دارد و برابر ۰/۵ است. r_1 و r_2 اعداد تصادفی، V_{it} سرعت ذره، x_{it} موقعیت ذره، V_{max} برابر ۴ و sp_l احتمال بین صفر و یک است. سپس عدد تصادفی ρ در $[0, 1]$ تولید می‌شود و با رابطه ۱۸ موقعیت جدید ذره تعیین می‌شود.

رابطه ۱۵

$$V_{it} = w \cdot V_{l,t-1} + c_1 \cdot r_1 \cdot (pBest_l - x_{l,t}) + c_2 \cdot r_2 \cdot (nBest_t - x_{l,t})$$

$$-V_{max} \leq V_{l,t} \leq V_{max} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$sp_l = \frac{1}{1 + e^{-V_{l,t}}} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$x_{l,t} = \begin{cases} 1 & \rho \leq sp_l \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

در این الگوریتم از جهش تصادفی با نرخ ۰/۲ استفاده شده است.

گام ششم: به‌روزرسانی بهترین تجربه شخصی هریک از ذرات. اگر موقعیت جدید ذره، بهترین تجربه را مغلوب کند، موقعیت جدید جای بهترین تجربه را می‌گیرد و اگر هیچ‌یک همدیگر را مغلوب نکنند، یکی از دو موقعیت بالا به‌طور تصادفی به‌عنوان بهترین تجربه می‌شود.

گام هفتم: اضافه‌شدن اعضای نامغلوب جمعیت فعلی به حافظه خارجی

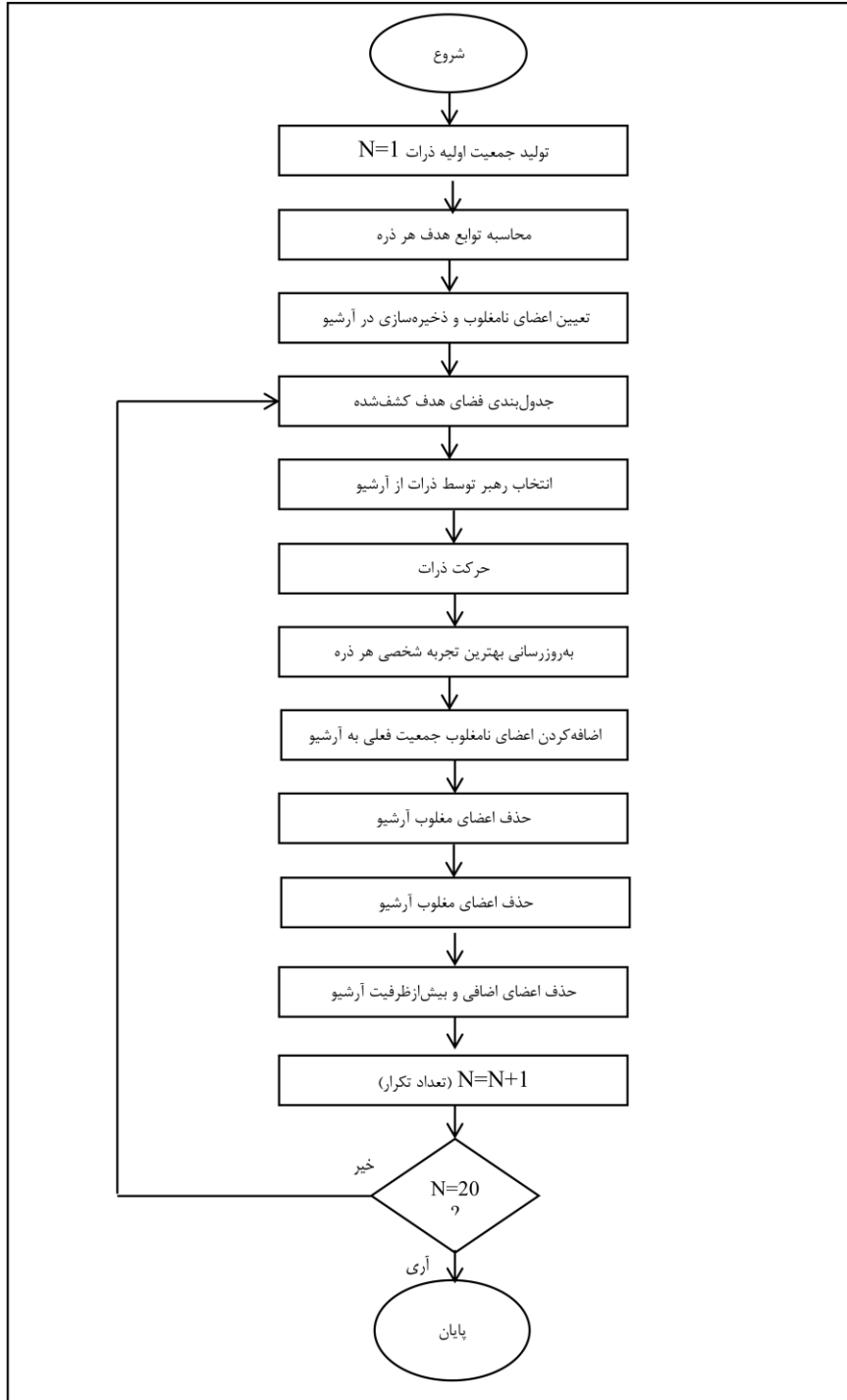
گام هشتم: حذف اعضای نامغلوب حافظه خارجی

گام نهم: حذف اعضای بیش‌ازظرفیت حافظه خارجی

احتمال حذف‌شدن جواب‌های بیش‌ازظرفیت حافظه خارجی با توجه به رابطه ۱۹ به‌دست می‌آید. ii شماره سلول است. پس از تعیین احتمالات حذف جواب‌های اضافی با کمک روش چرخ رولت جواب‌های اضافی حذف می‌شوند.

$$del_prob_i = \frac{e^{n_{ii}}}{\sum_j e^{n_{ji}}} , 0 \leq del_prob_{ii} \leq 1, \sum_i q_{ii} = 1 \quad \text{رابطه ۱۹}$$

گام دهم: در صورت تحقق شرط پایان، توقف و درغیراین صورت رفتن به گام سوم



شکل ۴. فلوجارت الگوریتم MOPSO

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای آزمودن الگوریتم‌های ارائه‌شده از داده‌های مقاله برکو و همکاران [۷] استفاده کردیم. پارامترهای استفاده شده در این مسئله به شرح جدول ۱ هستند. با توجه به پارامترها، شش مسئله به شرح جدول ۲ تولید شدند. الگوریتم‌های مطرح‌شده به همراه شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار SPSS 21 و پیاده‌سازی شدند و سپس خروجی آن‌ها توسط نرم‌افزار MATLAB 2012 تحلیل شد.

جدول ۱. تولید داده‌های مسئله

| ردیف | پارامترها | علامت | مقادیر | واحد |
|------|---------------------------|--------------------|---|--------------|
| ۱ | مکان فیزیکی | $P_i = (x_i, y_i)$ | $[U(0/1, 150), U(0/1, 150)]$ | - |
| ۲ | میانگین زمان بین تقاضاها | | $expo(\lambda_i), \lambda_i = U(0/0.5, 0/25)$ | h |
| ۳ | هزینه سفارش دهی | K_i | $U(5000, 10000)$ | \$/order |
| ۴ | هزینه نگهداری | h_i | $U(0/5, 3)$ | \$/unit/year |
| ۵ | هزینه کمبود | s_i | $U(1, 3)$ | \$/unit/year |
| ۶ | مکان فیزیکی | $P_j = (x_j, y_j)$ | $[U(0/1, 150), U(0/1, 150)]$ | - |
| ۷ | هزینه قرارداد | f_j | $U(10000, 30000)$ | \$/vendor |
| ۸ | هزینه واحد کالا | c_j | $U(0/4, 20)$ | \$/unit |
| ۹ | ظرفیت تولید | PC_j | $U(250, 275)$ | Unit/day |
| ۱۰ | کیفیت | q_j | $U(0/6, 0/85)$ | - |
| ۱۱ | هزینه ثابت هر کامیون | p_{ij} | $U(250, 275)$ | \$/order |
| ۱۲ | زمان تأخیر | LT_{ij} | $U(1/25, 3) * d(i, j)$ | h |
| ۱۳ | هزینه حمل برای هر کیلومتر | r_{ij} | $U(0/75, 3)$ | \$/kilometer |
| ۱۴ | ظرفیت کامیون | TrSize | 500 | \$ |

کارخانه

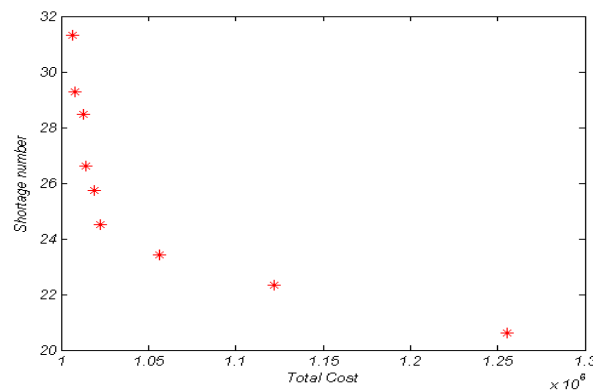
نظارت کننده

معمولی

جدول ۲. اندازه مسئله‌های تولیدشده

| شماره مسئله | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|
| تعداد کارخانه | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۳۰ | ۳۰ | ۳۰ |
| تعداد تأمین‌کننده | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ |

پس از اجرای الگوریتم‌ها، هریک جبهه تخمینی پارتویی را به ما ارائه دادند. نمودار ۱ جبهه پارتو خروجی نرم‌افزار است. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه شش شاخص ارائه شده است. این معیارها عبارت‌اند از: معیار تعداد جواب پارتو^۱ (NOS)، معیار فاصله از جواب ایده‌آل^۲ (MID)، معیار سطح پوشش مجموعه‌ها^۳ (CS)، معیار فاصله‌گذاری^۴ (S) و معیار بیشترین گستردگی^۵ (MD). معیار زمان اجرای الگوریتم^۶ (T) برای مقایسه سرعت محاسباتی در نظر گرفته شده است.



نمودار ۱. جبهه پارتو تقریب‌زده شده مسئله

برای مقایسه الگوریتم‌ها، از آزمون فرض برابری میانگین دو جامعه مستقل استفاده کردیم. به‌طور کلی فرضیه‌های مورد آزمون به شرح رابطه ۲۰ هستند.

$$\begin{cases} H_0 = \mu_{MOPSO}(A) = \mu_{NSGA-II}(A) \\ H_1 = \mu_{MOPSO}(A) \neq \mu_{NSGA-II}(A) \end{cases} \quad \text{رابطه ۲۰}$$

1. Number Of Solutions
2. Mean Ideal Distance
3. Cover Surface
4. Spacing
5. Maximum spread or diversity
6. Time

سطح پوشش، مهم‌ترین معیار مقایسه دو الگوریتم چندهدفه است. معیار پوشش مجموعه $CS(A,B)$ ، نسبت جواب‌هایی از B را که به صورت ضعیف توسط جواب‌هایی از A مغلوب می‌شوند، از رابطه ۲۱ محاسبه می‌کند.

$$CS(A, B) = \frac{||b \in B | \exists a \in A: a \ll b||}{|B|} \quad \text{رابطه ۲۱}$$

در این رابطه اگر مقدار پوشش مجموعه برابر ۱ باشد، به این معناست که تمام اعضای B به صورت ضعیف توسط اعضای A مغلوب می‌شوند و اگر برابر صفر باشد، یعنی هیچ عضوی از B توسط A مغلوب ضعیف نمی‌شود؛ بنابراین زمانی که بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد، می‌گوییم مجموعه جواب A نسبت به B در این معیار مطلوب‌تر است [۹].

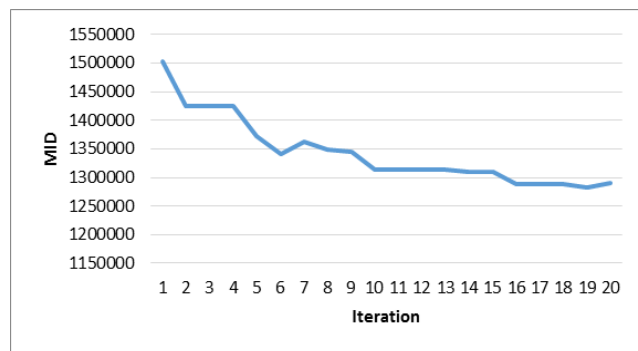
معیار MID به منظور محاسبه میانگین فاصله جواب‌های پارتو از جواب ایده‌آل یا در برخی مواقع از مبدأ مختصات استفاده می‌شود. در رابطه ۲۲ مشخص است که هرچه این معیار کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. در این رابطه NOS تعداد جواب‌ها، g اهداف و sol جواب‌ها هستند.

$$MID = \frac{1}{NOS} \sum_{sol=1}^n \sqrt{\sum_{g=1}^2 f_{sol,g}^2} \quad \text{رابطه ۲۲}$$

برای آزمون بررسی برابری MID در دو الگوریتم از آزمون فرض مطابق رابطه ۲۳ استفاده شد.

$$\begin{cases} H_0 = \mu_{MOPSO}(MID) = \mu_{NSGA-II}(MID) \\ H_1 = \mu_{MOPSO}(MID) \neq \mu_{NSGA-II}(MID) \end{cases} \quad \text{رابطه ۲۳}$$

بررسی صحت و اعتبار الگوریتم نیز با توجه به بهبود این معیارها در حین اجرای الگوریتم صورت گرفت. روند بهبود برای معیار MID در نمودار ۲ آمده است.



نمودار ۲. روند بهبود MID

معیار یکنواختی یا فاصله‌گذاری که توسط اسکات ارائه شد، میزان فاصله نسبی جواب‌های متوالی را با استفاده از رابطه ۲۴ محاسبه می‌کند [۲۷]. الگوریتمی که جواب‌های نامغلوب نهایی آن دارای مقدار فاصله‌گذاری کوچکی باشند، بهتر خواهد بود.

$$\text{Spacing} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (dd_j - \overline{dd})^2} \quad \text{رابطه ۲۴}$$

$$dd_i = \min_{k \in n, k \neq i} \sum_{m=1}^2 |f_m^i - f_m^k| \quad \text{و} \quad \overline{dd} = \sum_{i=1}^n \frac{dd_i}{|n|} \quad \text{رابطه ۲۵}$$

معیار بیشترین گستردگی که توسط زیتزلر [۳۳] ارائه شده است، طول قطر مکعب فضایی را که توسط مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه جواب‌های نامغلوب به‌کار می‌رود، اندازه‌گیری می‌کند. رابطه ۲۶ رویه محاسباتی این شاخص را نشان می‌دهد [۳۳]. هرچه این معیار بزرگ‌تر باشد، بهتر است.

$$MD = \sqrt{\sum_{g=1}^2 (\max_{\text{sol}} f_{\text{sol}}^g - \min_{\text{sol}} f_{\text{sol}}^g)^2} \quad \text{رابطه ۲۶}$$

معیار NOS نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو است که در هر الگوریتم می‌توان یافت. الگوریتمی که تعداد جواب بیشتری تولید کند، بهتر است [۳۳، ۳۲]. برای انجام آزمون‌های فرض مقایسه دو الگوریتم به‌جز در معیار سطح پوشش، هریک از مسائل توسط هر الگوریتم ۵ بار اجرا شد و مجموعاً ۳۰ اجرا برای هر الگوریتم صورت گرفت. برای معیار سطح پوشش، جبهه‌های تولیدشده برای هر مسئله را توسط دو الگوریتم بررسی کردیم و چون تعداد داده‌ها ۶ مورد است از آزمون ناپارامتریک استفاده کردیم. نتایج آزمون‌های فرض در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳. مقایسه دو الگوریتم NSGA-II و MOPSO ارائه شده

| ردیف | معیار | نوع آزمون | الگوریتم | میانگین | معناداری ۹۵٪ | الگوریتم برتر |
|------|-----------------------------|----------------|------------------|--------------------|--------------|----------------|
| ۱ | سطح پوشش (CS) | Mann-whitney U | NSGA-II MOPSO | ۰/۶۶۱۷ ۰/۳۱۰۰ | ۰/۰۰۴ | NSGA-II |
| ۲ | فاصله از نقطه ایده‌آل (MID) | t | NSGA-II MOPSO | ۱۰۰۳۴۸۷ ۱۱۱۵۴۹۲ | ۰/۰۰۰ | NSGA-II |
| ۳ | زمان اجرا (T) | t | NSGA-II MOPSO | ۱۲۵۱/۵۸ ۱۲۰۵/۲۲ | ۰/۰۰۰ | MOPSO |
| ۴ | فاصله‌گذاری (S) | t | NSGA-II MOPSO | ۹۰۲۵۹ ۷۰۴۶۴ | ۰/۰۲۶ | MOPSO |
| ۵ | بیش‌ترین گستردگی (MD) | t | NSGA-II MOPSO | ۳۸۸۵۸۱ ۲۸۹۶۳۸ | ۰/۰۰۲ | NSGA-II |
| ۶ | تعداد جواب‌ها (NOS) | t | NSGA-II MOPSO | ۴/۷۶ ۴/۰۰ | ۰/۲۰۲ | تفاوتی ندارند. |

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق مدلی یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کننده و سیستم موجودی در شرایط احتمالی توسعه داده شد. بیشتر مدل‌های فعلی به صورت جدا و قطعی هستند. بهینه‌سازی زیرسیستم‌ها به صورت جدا موجب می‌شود که هدف سیستم کل بهینه نباشد. در این مدل دو هدف کمینه‌سازی هزینه و تعداد کمبود در نظر گرفته شد. جدا در نظر گرفتن تعداد کمبود به این دلیل است که بخشی از هزینه کمبود غیرقابل محاسبه است. در این پژوهش مسئله را با توجه به یک سیستم صنعتی مطرح کردیم؛ اما با توجه به ادبیات تحقیق، این مدل برای سیستم‌های بازرگانی نیز بسیار سودمند است. در ایران بسیاری از فروشگاه‌های زنجیره‌ای و شرکت‌های پخش با این مسئله مواجه هستند؛ اما به دلیل نبودن راه‌حلی علمی و اصولی، هزینه کل آن‌ها بهینه نیست. از بخش شبیه‌سازی این پژوهش می‌توانیم برای محاسبه هزینه و کمبود سیستم‌های پیچیده بازرگانی و صنعتی استفاده کنیم که امکان محاسبه هزینه با روش‌های مرسوم را ندارند. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته (MINLP) ارائه شده به وسیله دو الگوریتم فراابتکاری NSGA-II و MOPSO روی شش مسئله آزمایشی حل شد. چون زمان تأخیر و مقدار تقاضای کارخانه‌ها احتمالی هستند، برای محاسبه توابع هدف از شبیه‌سازی استفاده کردیم. نتایج مقایسه دو الگوریتم، برتری NSGA-II را نشان دادند. از جمله محدودیت‌های این تحقیق، زمان بالای اجرای الگوریتم یکپارچه و دشواری محاسبه برخی پارامترهای مدل، مانند هزینه نگهداری، در دنیای واقعی است. در تحقیقات آتی می‌توانیم بر تعداد این اهداف بیفزاییم. این مسئله برای یک سیستم تک‌کالایی ارائه شده است. برای کارهای آتی می‌توانیم مدل را برای چندین کالا

توسعه دهیم. تأمین‌کننده‌ها و کارخانه‌ها در دنیای واقعی با محدودیت‌های فراوانی روبه‌رو هستند. همچنین می‌توانیم محدودیت‌های جدیدی، چون ظرفیت انبار تأمین‌کننده و کارخانه، سرمایه، ظرفیت و تعداد کامیون‌های حامل محصول بین تأمین‌کننده و کارخانه و... را به مدل بیفزاییم. همچنین با افزودن عملگرهای جدید به الگوریتم‌های فعلی یا ترکیب آن‌ها با الگوریتم‌های دیگر می‌توانیم بر سرعت و دقت آن‌ها بیفزاییم. پارامترهای الگوریتم‌های ارائه‌شده در این پژوهش ایستا هستند. با تغییراتی در الگوریتم‌های فعلی می‌توانیم پارامترهای آن‌ها را پویا کنیم؛ به‌طوری‌که با گذشت زمان تغییر کنند و نتایج بهتری را ارائه دهند.

منابع

1. Aissaoui, N., Haouari, M., & Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot size modeling: a review. *European Journal of Operational Research*, 34: 3516–40.
2. Andradottir, S. (2005). An overview of simulation optimization via random search. In: Henderson SG, Nelson BL, editors. *Handbooks in operations research and management science: simulation*. Amsterdam: Elsevier.
3. Badri, H., Bashiri, M., Hejazi, T.H. (2013). Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method, *Computers & Operations Research*, 40, 1143–1154
4. Barton, R. (2005). Response surface methodology. In: Henderson SG, Nelson BL, editors, *Handbooks in operations research and management science: simulation*.
5. Basnet, C., & Leung, JMY. (2005). Inventory lot-sizing with supplier selection. *Computers and Operations Research*, 32:1–14.
6. Buffa, FP, & Jackson, WM. (1983). A goal programming model for purchase planning. *Journal of Purchasing and Material Management; Fall*: 27–34.
7. Burcu, B., Keskin, Sharif, H., Melouk, & Ivan L. Meyer. (2010). A simulation-optimization approach for integrated sourcing and inventory decisions. *Computers & Operations Research*, 37: 1648–1661.
8. Burke, GJ, Carillo, JE, & Vakharia, A. (2007). Single versus multiple supplier sourcing strategies. *European Journal of Operational Research*, 182: 95–112.
9. Coello Coello, C.A., Van Veldhuizen, D.A. & Lamont, G.B. (2007). *Evaluatory Algorithm for solving Multi-objective problems*. Kluwer Academic Publishers, New York.
10. Coello, C. A., Hernandez, Aguirre, A., & Zitzler, E., (2006). Evolutionary multi-objective optimization. *European Journal of Operational Research* 181, 1617-1619
11. Deb, K., Pratap, A., Agrawal, S., & Meyarivan, T. (2002). Fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation* 6(2), 182-197.
12. Duan, Q., Warren Liao, T. (2013). “Optimization of replenishment policies for decentralized and centralized capacitated supply chains under various demands”, *International Journal of J. Production Economics*, 142, 194–204.
13. Fu, MC. (2002). Optimization for simulation: theory vs. practice. *Inform Journal on Computing*; 14(3): 192–215.
14. Fu, MC. (2005). Gradient estimation. In: Henderson SG, Nelson BL, editors. *Handbooks in operations research and management science: simulation*. Amsterdam: Elsevier.
15. Ghodsypour, SH., & O’Brien, C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International Journal of Production Economics*, 73: 15–27.
16. Glover, F, Kelly, JP., Laguna, M. (1999). New advances for wedding simulation and optimization. In: Farrington PA, Nembhard HB, Sturrock DT & Evans GW., editors. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*.
17. Joines, J.A., Gupta, D., Gokce, M.A., King, R.E., & Kay, M.G. (2002). Supply chain multi-objective simulation optimization. In: Yucsan E, Chen C-H,

Snowdon JL, Charnes JM, editors. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*.

18. Kennedy, J. & Eberhart, R.C. (2001). *Swarm Intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, California.

19. Keskin, BB, Uster, H., & C-etinkaya, S. (2009). Integration of location and inventory decisions for a generalized vendor selection problem with capacity constraints. *European Journal of Operational Research*, 37: 261-274.

20. Kim, S.H., & Nelson B.L. (2005). Selecting the best system. In: Henderson SG, Nelson BL, editors. *Handbooks in operations research and management science simulation*. Amsterdam: Elsevier.

21. Kochel, P., & Nielander, U. (2005). Simulation-based optimization of multi-echelon inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 93-94: 505-13.

22. Moslemi, H., & Zandieh, M. (2011). Comparisons of some improving strategies on MOPSO for multi-objective (r,Q) inventory system. *Expert Systems with Applications* 38 ,12051-12057.

23. Olaffson, S. (2005). Metaheuristics. In: Henderson SG, Nelson BL, editors. *Handbooks in operations research and management science simulation*. Amsterdam: Elsevier.

24. Pan, AC. (1989). Allocation of order quantity among suppliers. *Journal of Purchasing and Material Management; Fall*: 36-9.

25. Robinson, S. M. (1996). Analysis of sample-path optimization. *Mathematics in Operations Research* 21: 513-528.

26. Rosenblatt, M.J., Herer, H.Y., & Hefter, I. (1998). An acquisition policy for a single-item multi-supplier system. *Management Science*, 44(11): S96-100.

27. Schott, J. R., (1995). *Fault tolerant design using single and multicriteria genetic algorithms optimization*. Master's thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

28. Shin, H., Benton, W.C., & Jun, M. (2009). Quantifying suppliers' product quality and delivery performance: A sourcing policy decision model. *Computers & Operations Research* 36 ,2462 - 2471

29. Tempelmeier, H. (2002). A simple heuristic for dynamic order sizing and supplier selection with time varying data. *Production and Operations Management*, 11:499-515.

30. Terzi, S., & Cavalieri, S. (2004). Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry* 53: 3-16.

31. Tsai, S.C., Zheng, YX. (2013). "A simulation optimization approach for a two-echelon inventory system with service level constraints", *European Journal of Operational Research* 229, 364-374.

32. Zitzler, E., (1999). *Eveloutionary Algorithms for multi-objective optimization: method and applications*. P.h.D Thesis, dissertation ETH NO. 13398, Swaziland Federal Institute of Technology Zorikh, Switzerland.

33. Zitzler, E., Deb, K., & Thiele, L. (2000). Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Emprical results. *Evolutionary Computation Journal* 8(2), 125-148.