مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۵)
دوره‌ی ۱-۳۲، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۴۷-۵۶

Original Article

ارائه‌ی یک مدل چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظرگرفتن شرایط حداقل مسافت طی شده، تخفیف و تأخیر در پرداخت

حسین باری‌قلی (دانشجوی دکتری)
ابوالفضل کاظمی * (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

در سازمان‌هایی که انتقال کالاهای خریداری‌شده به‌عهده‌ی سازمان خریدار است، یکی از معیارهایی که در انتخاب تأمین‌کنندگان در نظر می‌گیرند «بُعد مسافت تأمین‌کننده» نسبت به سازمان، و نسبت به دیگر تأمین‌کنندگان است. از سوی دیگر تأمین‌کنندگان نیز برای ایجاد انگیزه در خریداران و کمینه‌سازی هزینه‌ی خرید، تسهیلاتی را شامل تخفیف و تأخیر در پرداخت مبالغ به‌صورت دوره‌یی در نظر می‌گیرند. لذا یک مدل سه‌هدفه‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان ــ شامل کمینه‌سازی مسافت طی‌شده، کمینه‌سازی هزینه و کمینه‌سازی محصولات برگشتی ــ ارائه شده است. به‌علت پیچیدگی مسئله برای حل از سه الگوریتم فرابتکاری چندهدفه استفاده و برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر در زیر مدل مسیریابی، دو الگوریتم فرابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مورد ارزیابی قرارگرفته است. نهایتاً دو الگوریتم که یکی چندهدفه و دیگری تک‌هدفه است برای حل این نوع مدل‌ها توصیه شده است.

واژگان کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، مسیریابی، تخفیف، تأخیر در پرداخت، الگوریتم‌های فرابتکاری.

yari21110@yahoo.com
abkaazemi@qiau.ac.ir

۱. مقدمه

در هر سیستم زنجیره‌ی تأمین، یکی از مهم‌ترین و اولین قدم‌ها انتخاب مناسب شرکا، به‌ویژه تأمین‌کنندگان است تا جایی که موفقیت زنجیره‌ی تأمین تاحدود زیادی وابسته به انتخاب مناسب تأمین‌کنندگان است.[۱] با توجه به بازارهای رقابتی جدید و انتظارات مشتریان، نمی‌توان «هزینه» را به‌عنوان تنها معیار انتخاب تأمین‌کنندگان در نظرگرفت. بلکه معیارهای بسیاری وجود دارد که امر انتخاب تأمین‌کنندگان را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد.[۲] در این رابطه، در سال ۱۹۶۶ تعداد ۲۳ معیار ارزیابی تأمین‌کننده ارائه شد.[۳]

با توجه به این که محصولات تولیدی تأمین‌کنندگان باید به مکان خریدار انتقال یابد، مسئله‌ی حمل و نقل و مسیریابی برای انتقال مواد اولیه از محل تأمین‌کننده به محل خریدار به‌شکلی که در کم‌ترین زمان و با کم‌ترین هزینه انجام گیرد اهمیت می‌یابد. این امر در برخی سازمان‌ها به‌گونه‌یی است که عملیات حمل و نقل کالای‌های خریداری شده به محل خریدار، باید توسط سازمان خریدار و با توجه به ماهیت سازمان یا کالای خریداری شده یا محدودیت‌های تأمین‌کنندگان انجام می‌گیرد. لذا در چنین شرایطی شرکت‌ها ترجیح می‌دهند برای خرید از تأمین‌کنندگانی استفاده کنند که در فواصل نزدیک‌تر یا در یک منطقه متمرکزند.

درخواست محصول از تأمین‌کنندگان مختلف مستلزم برخی هزینه‌های ثابت و متغیر است؛ در بخش هزینه‌های متغیر عواملی همچون ارائه‌ی «تخفیف» از طرف تأمین‌کنندگان یا قبول «پرداخت مبالغ خریداری شده با تأخیر» دخیل است که در این خصوص عوامل متعددی می‌تواند تأمین‌کنندگان را برای ارائه‌ی تخفیف یا تأخیر در پرداخت مبالغ خریداری شد برانگیزد. در این نوشتار با ارائه‌ی یک مدل ریاضی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان اهدافی شامل «کاهش کل هزینه‌ها»، «افزایش کیفیت محصولات» دنبال شده و مبحث جدیدی که تاکنون برای مدل مطرح نشده با عنوان «کاهش فواصل سفر با استفاده از مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه» بدان اضافه شده است. سپس با در نظرگیری هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی همچنین شرایط تخفیف و پرداخت با تأخیر، و نیز با استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری مدل پیشنهادی حل شده است.

در ادامه، در بخش دوم این نوشتار به مروری بر ادبیات موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان می‌پردازیم. در بخش سوم ضمن تبیین مسئله‌ی اصلی به معرفی نمادها و شرح مدل پیشنهادی خواهیم پرداخت. همچنین در بخش چهارم روش

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۷/۱۵، اصلاحیه ۱۳۹۴/۳/۱۶، پذیرش ۱۳۹۴/۴/۷.

حل پیشنهادی ارائه شده و مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم‌ها در بخش پنجم آمده است. درنهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی در بخش ششم ارائه شده است.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

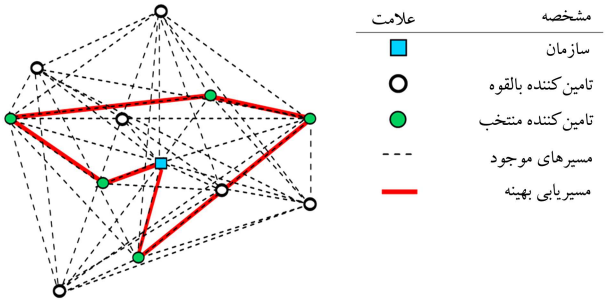
در این بخش مروری جامع بر ادبیات موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان و مسیریابی ارائه می‌شود.

۱.۲. مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان

وظیفه‌ی مهم و دشوار «انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب» برعهده‌ی مدیران سازمان است، زیرا در سازمان‌ها از یک سو ۶۰ درصد زمان صرف تأمین مواد اولیه و اجزا و قطعات می‌شود، و از سوی دیگر ۷۰ درصد هزینه‌های تولیدی صرف خرید کالا و خدمات می‌شود.[۱] تحقیقات پیرامون مسئله‌ی انتخاب تأمین کنندگان از سال ۱۹۶۰ توسط دیکسون آغاز شده و ۲۳ معیار ارزیابی تأمین‌کننده را ارائه کرده است.[۲] با وجود اینکه در آن مقاله معیارهای مهمی ذکر شده ولی خواست مشتری بر کیفیت بالا و خدمت رسانی سریع موجب افزایش فشارهایی شد. تا اینکه در سال ۱۹۹۱، مطالعه‌ی ۷۴ مقاله‌ی منتشره محققین را به این امر رهنمون ساخت که مهم‌ترین معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان عبارت است از: کیفیت، حمل‌ونقل، و قیمت محصولات.[۲] در محیط تجاری و رقابتی امروز، سازمان‌های تولیدی می‌کوشند تا انواع محصولات را با کم‌ترین قیمت و بالاترین کیفیت در اختیار مشتریان خود قرار دهند.[۴] آنها برای افزایش سهم بازار خود، ضمن حفظ کیفیت محصولات‌شان، به دنبال کاهش قیمت محصول نیز هستند تا بدین ترتیب موقعیت رقابتی خود را در بین تأمین‌کنندگان حفظ کنند.[۵] برای بهینه‌سازی مقدار سفارش به تأمین‌کنندگان، با در نظرگیری شرایط تخفیف و هزینه‌های نگه‌داری و سفارش‌دهی یک مدل ریاضی خطی توسعه داده شد.[۶] مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان مدل عمومی ریاضی است که کم و بیش با تغییراتی در اکثر تحقیقات به کار رفته است.[۷و۸] همچنین در مدل ریاضی خطی برای بهینه‌سازی مقدار سفارش، شرایط تخفیف و هزینه‌های نگه‌داری و سفارش‌دهی توسعه یافت.[۹] در سال ۲۰۱۳، مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی چندمنبعی به‌صورت یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در نظر گرفته شد.[۱۰] در مطالعه‌یی دیگری در سال ۲۰۱۵ به مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان با بهینه‌سازی رویکرد چندهدفه پرداخته شد.[۱۱] ازجمله موضوعات مهمی که اخیراً به‌شدت اهمیت یافته، مسائل زیست‌محیطی است که در مطالعه‌یی با عنوان «عوامل مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز در سال ۲۰۱۵» به این موضوع پرداخته شده است.[۱۲]

۲.۲. مسئله‌ی مسیریابی و کوتاه‌ترین مسیر

مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)[1] نامی عمومی برای تمام مسائلی است که در آنها باید مجموعه‌یی از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه که مستقر در یک یا چند دپو هستند (در نوشتار منظور شرکت خریدار است) تعیین شود تا به مجموعه‌یی از مشتریان که به‌صورت جغرافیایی پراکنده شده‌اند (در نوشتار منظور تأمین‌کنندگان است) خدمت دهند و هدف کمینه‌سازی هزینه، مسافت و زمان سفر است.[۱۳] براساس داده‌های کمیسیون اروپا، ۲۴ درصد کامیون‌های حمل کالا که در اروپا کار می‌کنند خالی هستند، ترافیک شهری باعث انتشار ۴۰ درصد دی‌اکسید کربن بخش حمل‌ونقل است، و طبق مطالعات هزینه‌ی حمل‌ونقل نزدیک ۱۱ تا ۳۰ درصد



شکل ۱. مسیریابی تأمین‌کنندگان منتخب.

هزینه‌های کل محصولات را تشکیل می‌دهد که بهره‌برداری و به‌کارگیری روش‌های صحیح و مدرن در حمل‌ونقل به میزان ۵ تا ۲۰ درصد صرفه‌جویی درکل هزینه‌های تولید ایجاد می‌کند. پس، کاهش حمل و نقل شهری و بین شهری می‌تواند باعث افزایش منافع اقتصادی و حفظ محیط زیست شود.[۱۴]

در این پژوهش سعی شده است با به‌کارگیری مباحث مسیریابی فقط به تأمین‌کنندگانی سفر شود که نیاز مواد اولیه را بر آورده کنند (شکل ۱).

در دنیای واقعی، تأمین‌کنندگان نیز برای ایجاد انگیزه در خریداران، تسهیلاتی شامل تخفیف برای میزان کالای خریداری شده و تأخیر در پرداخت مبلغ خرید به‌صورت دوره‌یی در نظر می‌گیرند. در طول این دوره‌ی تأخیر خریدار می‌تواند از این عدم پرداخت پول و دریافت تقاضای خود سود ببرد، در حالی که فروشندگان بهره‌ی درآمدشان را در طول این مدت از دست می‌دهند. بنابراین از دید خریدار که اقدام به انتخاب تأمین‌کنندگان می‌کند، کمینه‌کردن ارزش فعلی خالص (NPV)[2] که قرار است پرداخت کند، به‌عنوان تابع هدف در مدل‌سازی مسئله‌ی چندهدفه‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان ضروری به نظر می‌رسد. بدین‌معنا که خریدار به دنبال آن است که تا می‌تواند پرداخت‌های مالی را به تأخیر اندازد تا بتواند از مبلغ مورد نظر در جایی دیگر استفاده‌ی بیشینه کند. همچنین کاهش محصولات برگشتی تأمین‌کنندگان یکی از اهداف اصلی خریدار است.

۳. تعریف مسئله

در این بخش به معرفی مدل انتخاب تأمین‌کنندگان پرداخته شده است. فرض بر آن است که خریداری قصد تهیه‌ی نوعی کالا یا مواد اولیه را از مجموعه‌یی از تأمین‌کنندگان دارد. تأمین‌کنندگان از سیستم‌های تخفیف‌دهی کلی برای قیمت‌گذاری کالای خود استفاده می‌کنند و هر تأمین‌کننده سیاست خاصی در قبال دریافت مبلغ خریداری‌شده دارد و می‌تواند در قبال مقادیر مختلف خرید فرصتی (دوره‌های ماهیانه) به خریدار بابت پرداخت مبالغ نقدی بدهد؛ در قبال هر دوره تأخیر در پرداخت، ارزش فعلی خالص در ماه دریافت مد نظر قرار می‌گیرد.

۱.۳. فرضیات

در این بخش، مفروضات مدل پیشنهادی عبارت است از:

- مسئله برای حالت تک‌محصولی و با وجود استراتژی تخفیف کلی و تأخیر در پرداخت مدل‌سازی می‌شود؛
- تمامی متغیرها و عوامل مسئله قطعی است و کمبود مجاز نیست؛
- ظرفیت وسیله‌ی نقلیه نامحدود است؛

- تقاضای مشتری نهایی ثابت است و سفارشات به‌صورت دوره‌یی و ترتیبی دریافت می‌شود.

۲.۳. فهرست علایم

i: اندیس تعداد تأمین‌کنندگان $(i = ۱, ..., n)$؛
C_{ij}: هزینه‌ی سفر از تأمین‌کننده‌ی iام به تأمین‌کننده‌ی jام و بالعکس؛
$C_{i۰}$: هزینه‌ی سفر از تأمین‌کننده‌ی iام به‌سازمان خریدار و بالعکس؛
$P_{i۰}$: هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی؛
$P_{i۱}$: قیمت پایه‌ی محصول از تأمین‌کننده‌ی iام؛
$P_{i۲}$: قیمت ثانویه‌ی محصول از تأمین‌کننده‌ی iام؛
P_i: قیمت نهایی محصول با توجه به میزان خرید از تأمین‌کننده‌ی iام؛
ii: نرخ بهره برای هر دوره تأخیر؛
n_i: تعداد دوره‌ی تأخیر پرداخت پول برای تأمین‌کننده‌ی iام؛
R_i: درصد محصولات برگشتی از تأمین‌کننده‌ی iام؛
W: میزان کل محصول مورد نیاز جمع‌آوری شده از تأمین‌کنندگان؛
D_i: ظرفیت تولید تأمین‌کننده‌ی iام.

۳.۳. متغیرهای تصمیم

X_i: میزان خرید از تأمین‌کننده‌ی iام؛
Y_{ij}: متغیر باینری اگر از تأمین‌کننده‌ی iام به تأمین‌کننده‌ی jام سفری انجام شود عدد ۱ و در غیر این صورت عدد صفر است؛
V_i: متغیر باینری اگر تأمین‌کننده‌ی iام برای خرید انتخاب شود عدد ۱ و در غیر این صورت عدد صفر است.

۴.۳. توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\text{Min } Z۱ = \sum_{i=۱}^{N} [P_{i۰} + (P_i \times X_i) \times (۱ + ii)^{n_i}] \times V_i \quad (۱)$$

$$\text{Min } Z۲ = \sum_{i=۱}^{N} \sum_{j=۱}^{N} C_{ij} \times Y_{ij} \quad (۲)$$

$$\text{Min } Z۳ = \sum_{i=۱}^{N} R_i \times X_i \quad (۳)$$

S.t.

$$\sum_{i=۱}^{N} X_i \le W \quad (۴)$$

$$X_i \le D_i \quad (۵)$$

$$P_i \le P_{i۱} + \frac{P_{i۲}}{X_i} \quad (۶)$$

$$\sum_{j=۱}^{N} Y_{۰j} \le ۱ \quad (۷)$$

$$\sum_{i=۱}^{N} Y_{i۰} \le ۱ \quad (۸)$$

$$\sum_{i=۱,i\neq j}^{N} Y_{ij} \le ۱ \quad \text{for } j = \{۱, ۲, ..., N\} \quad (۹)$$

$$\sum_{j=۱,i\neq j}^{N} Y_{ij} \le ۱ \quad \text{for } i = \{۱, ۲, ..., N\} \quad (۱۰)$$

$$Y_{ij} \in \{۰, ۱\} \quad \text{for } i = \{۱, ۲, ..., N\},\ j = \{۱, ۲, ..., N\} \quad (۱۱)$$

$$V_i \in \{۰, ۱\} \quad \text{for } i = \{۱, ۲, ..., N\} \quad (۱۲)$$

$$X_i \ge ۰_i \quad \text{for } i = \{۱, ۲, ..., N\} \quad (۱۳)$$

رابطه‌ی ۱ بیان‌کننده‌ی هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ی خرید محصول از تأمین‌کنندگان با در نظرگیری هزینه‌ی ثابت، تخفیف کلی با توجه به میزان خرید، و تأخیر در پرداخت براساس میزان تأخیر اعلامی از طرف تأمین‌کننده است. در رابطه‌ی ۲ هدف کمینه‌سازی هزینه‌ی سفر به تأمین‌کنندگان منتخب است که باید به کم‌ترین میزان ممکن کاهش یابد. رابطه‌ی ۳ بیان‌گر کمینه‌سازی مجموع محصول برگشتی از تأمین‌کنندگان است که این سه رابطه بیان‌گر اهداف اصلی مدل ریاضی هستند. رابطه‌ی ۴ مشخص می‌کند که میزان خرید محصولات نباید از میزان مورد نیاز تجاوز کند؛ میزان خرید از تأمین‌کننده‌ی مورد نظر نباید از ظرفیت تولید تأمین‌کننده تجاوز کند که این موضوع در رابطه‌ی ۵ مشخص شده است. در رابطه‌ی ۶ مجموع قیمت پایه و قیمت ثانویه‌ی محصول خریداری شده از تأمین‌کننده با توجه به میزان آن محاسبه می‌شود؛ میزان رفت و آمد به سازمان برای انتقال اجناس خریداری شده به میزان نهایتاً یک بار در روابط ۷ و ۸ مشخص شده است، به‌گونه‌یی که هروسیله‌ی نقلیه باید از سازمان خریدار خارج شود، تأمین‌کنندگان مشخص شده را ملاقات کند، و نهایتاً به سازمان یا مکان اولیه‌ی حرکت خود بازگردد. همچنین تعداد دفعات ملاقات هر تأمین‌کننده (ورود و خروج) باید نهایتاً یک بار باشد که در روابط ۹ و ۱۰ مشخص شده است، بدین معنا که وقتی تأمین‌کننده‌یی توسط وسیله‌ی نقلیه‌یی ملاقات می‌شود باید از آن تأمین‌کننده خارج شده و به مسیر خود ادامه دهد. در عبارت ۱۱ و ۱۲ دو متغیر باینری درصورت انتخاب تأمین‌کننده عدد ۱ و در غیر این صورت عدد صفر می‌گیرند و در انتها، عبارت ۱۳ بیان‌گر غیرمنفی بودن میزان خرید از کلیه‌ی تأمین‌کنندگان است.

۴. روش حل

با توجه به قرارگیری مسائل مسیریابی در مدل چندهدفه، مدل از نوع پیچیده و NP-Hard بوده و باید از روش فرابتکاری حل شود.[۱۵] الگوریتم‌های فرابتکاری که در سال‌های اخیر مطرح شده‌اند و با جست‌وجوی عمیق‌تر در فضای جواب در پی یافتن جواب‌هایی با کیفیت بالاتر و صرف زمان کم‌تر هستند. لذا برای حل مدل چندهدفه‌ی مبتنی بر پارتو ــ شامل الگوریتم‌های NSGA−II [۳] و NRGA [۴] و MOPSO [۵] و برای ارزیابی بهترین گزینه برای حل مدل اصلی در زیر مدل مسیریابی از دو الگوریتم ژنتیک (GA)[۶] و شبیه‌سازی تبرید (SA)[۷] استفاده شده است. به‌منظور اعتبارسنجی زیرمدل مسیریابی ارائه‌شده، به‌کمک نرم‌افزار لینگو ۱۱ به دست آمده و نتایج الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مورد مقایسه قرار گرفته است. در رابطه با مدل اصلی، الگوریتم‌های چندهدفه‌ی فوق با یکدیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند. ساختار همگی این مسائل به‌گونه‌یی است که الگوریتم با یک جواب اولیه شروع و با محاسبه‌ی هزینه‌ی کل سه تابع هدف، سعی در بهینه‌ترکردن مجموع توابع می‌کند و با به‌کارگیری سازوکاری مخصوص سعی در ارائه‌ی جواب‌های جدیدتر می‌کند.

نکته‌ی قابل توجه این است که در هر ارائه‌ی جواب از سوی الگوریتم‌های چندهدفه، محاسبه‌ی جواب برای توابع «هزینه» و «کیفیت» به‌سادگی امکان‌پذیر است و با قراردهی مقدار متغیر تصمیم (X_i) در معادلات قابل محاسبه است. اما باید توجه داشت در تابع هدف دوم مربوط به محاسبه‌ی هزینه‌ی مسیریابی تأمین‌کنندگان، لازم است در هر تکرار الگوریتم اصلی یک جست‌وجوی داخلی برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر برای تأمین‌کنندگان منتخب و محاسبه‌ی هزینه‌ی آن انجام و سپس نتیجه‌ی نهایی در الگوریتم‌های چندهدفه‌ی اصلی در نظرگرفته شود. برای حل باید از الگوریتم‌های ابتکاری تک‌هدفه استفاده شود که در این پژوهش سعی شده از دو الگوریتم ژنتیک (GA) و شبیه‌سازی تبرید (SA) استفاده شود و پس از مقایسه‌ی این دو الگوریتم با هم و انتخاب بهترین الگوریتم از نظر عملکرد در مباحث مسیریابی تأمین‌کنندگان، الگوریتم برگزیده در محاسبات الگوریتم اصلی چندهدفه به‌عنوان «جست‌وجوگر داخلی» در نظرگرفته شود. مدل تک‌هدفه‌ی مسیریابی شامل رابطه‌ی ۲ مدل اصلی و محدودیت‌ها شامل روابط ۴ و۵ همچنین روابط ۷ تا ۱۱ و ۱۳ است. تعاریف روابط مانند توضیحات قبلی بوده و پس از به دست آوردن مقدار تابع هدف فوق و جمع‌بندی با پارامترهای کیفیت و هزینه، می‌توان نتیجه آن را در مدل بهینه‌سازی چندهدفه بکار برد. در ادامه به اختصار الگوریتم‌های حل مدل تک‌هدفه مسیریابی تأمین‌کنندگان منتخب و سپس الگوریتم‌های حل مدل چندهدفه‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان به‌اختصار بیان می‌شود.

۱.۴. الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک (GA) برای نخستین‌بار توسط هالند (۱۹۷۵) ابداع شد. منشاء اصلی ایده‌ی GA از نظریه‌ی تکاملی داروین در سال ۱۸۵۹ گرفته شده است. در الگوریتم ژنتیک معرفی شده توسط هالند و همکارانش در هر نسل جمعیت جدید با استفاده از مفهوم انتخاب طبیعی و عملگرهای ملهم از ژنتیک ایجاد می‌شود. در میان الگوریتم‌های تصادفی، الگوریتم ژنتیک از کارایی بالایی برخوردار است و کاربردهای فراوانی دارد.[۱۴]

خصوصیات جمعیت در رشته‌های هرکروموزوم قرار داده می‌شود؛ مهم‌ترین این خصوصیات «برازندگی» است که نشان‌گر توانایی تطبیق آن با محیط اطراف است و در مدل به‌معنی مقدار بهینه برای توابع هدف است. به بهترین ترکیب‌ها در جمعیت این فرصت داده می‌شود تا والدین یک فرزند شوند و این امکان برای آنها وجود دارد که در جمعیت بعدی نیز باقی بمانند. یکی از عملگرهای اصلی در فرایند الگوریتم ژنتیک تولید مثل است.[۱۶]

۲.۴. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

شبیه‌سازی تبرید (SA) یک روش جست‌وجوی محلی است که سعی در به دست آوردن جواب بهینه‌ی سراسری دارد. کریک پاتریک[۸] و همکارانش اولین کسانی بودند که تشخیص دادند می‌توان از یک قاعده‌ی فیزیکی به‌نام «قاعده‌ی متروپلیس[۹]» که رفتار فیزیکی اجسام را موقع سردکردن شبیه‌سازی می‌کند، در حل مسائل ترکیباتی بهینه‌سازی مانند مسائل مسیریابی استفاده کرد.[۱۷]

۳.۴. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA−II) یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه است که در سال ۲۰۰۱ ارائه شد.[۱۸] الگوریتم‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه، حل بهینه را با توجه به یک هدف می‌یابند و این در حالی است که در مسائل چندهدفه حل بهینه‌ی مجزا را نمی‌توان یافت. پس طبیعی است که با مجموعه‌یی از حل‌ها به‌نام حل‌های مغلوب نشده‌ی مؤثر سروکار داشته باشیم. حل مسائل چندهدفه با رویکرد پارتو از دسته مسائل پیچیده‌تر در مسائل چندهدفه هستند.[۱۸]

۴.۴. الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب

در سال ۲۰۰۸ یک الگوریتم تکاملی چندهدفه به‌نام الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب (NRGA) به‌طور موفقیت‌آمیزی برای بهینه‌سازی توابع غیرمحدب، غیر خطی و گسسته توسعه داده شد. در این الگوریتم، رویکرد جدیدی با ترکیب الگوریتم انتخاب چرخه‌ی رولت مبتنی بر رتبه‌بندی و الگوریتم رتبه‌بندی جمعیت براساس پارتو توسعه داده شد. در این ترکیب یک رتبه‌بندی دولایه براساس عملگر انتخاب چرخه‌ی رولت ارائه می‌شود که در آن نسل جدید والد براساس انتخاب بهترین جواب‌ها (باتوجه به برازش و گستردگی) به‌طور تصادفی انتخاب خواهد شد.[۱۹]

۵.۴. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه

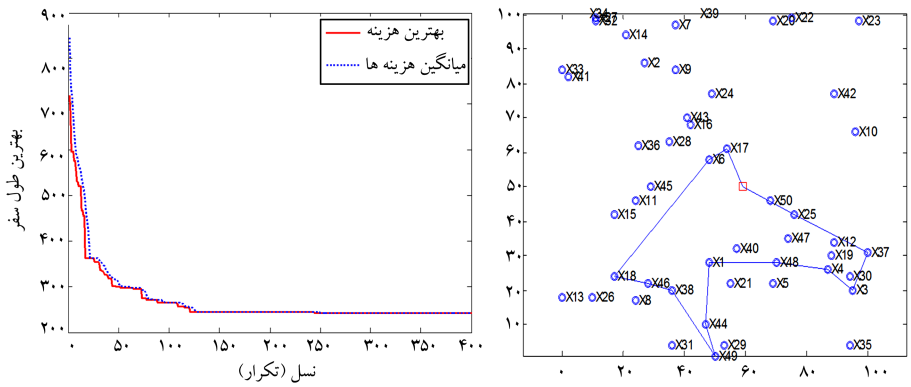
الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO) مبتنی بر دو مفهوم غلبه و رتبه‌بندی ازدحامی ذرات همانند الگوریتم NSGA−II برای امتیازدهی ذرات است. از بهترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی اجتماع ذرات چندهدفه، الگوریتم ارائه شده در سال ۲۰۰۴ است که رویکرد آن بر مفهوم جواب‌های پارتو برای تخمین مسیر حرکت ذرات و نگه‌داری جواب‌های نامغلوب قبلی یافته شده در مخزن استوار است و برگرفته از الگوریتم تک‌هدفه‌ی بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO)[۱۰] است.

۵. مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم‌ها

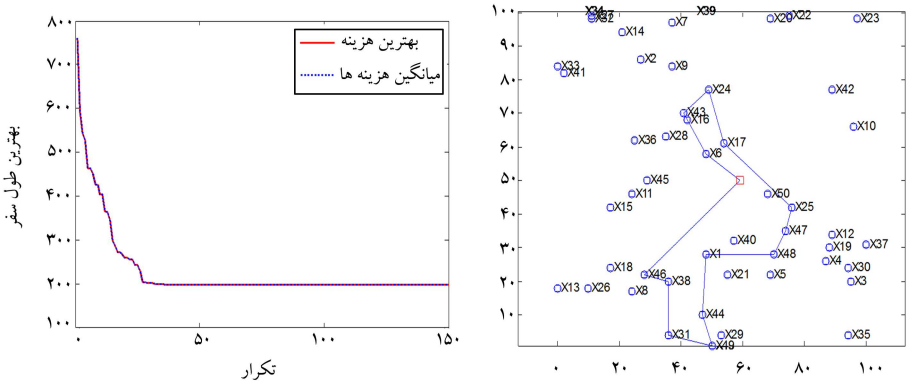
چنان که پیش‌تر توضیح داده شد، برای حل مدل چندهدفه‌ی ارائه شده برای انتخاب تأمین‌کنندگان، از الگوریتم‌های فراابتکاری شامل NRGA، NSGA−II و MOPSO استفاده می‌شد. همچنین برای محاسبه‌ی هزینه‌ی مسیریابی باید در هر تکرار یک سری محاسبات انجام می‌گرفت، تا بهترین و کوتاه‌ترین مسیر صرف هزینه به دست آید. لذا از یک الگوریتم بهینه‌سازی تک‌هدفه برای این امر استفاده می‌شود، به‌نحوی که الگوریتم‌های GA و SA با هم مقایسه و الگوریتمی که بهترین کارایی را داشته باشد، انتخاب شود. لازم به توضیح است الگوریتم‌های پیشنهاد شده با نرم‌افزار MATLAB (Version, R۲۰۱۲a) برنامه‌نویسی شده و بر روی نوت‌بوکی با ۲ گیگابایت حافظه و پردازنده‌ی Intel® Core™ i۳ اجرا شده است. از آنجا که این نوع الگوریتم‌ها به‌شدت به پارامتر ورودی‌شان حساس‌اند، به‌منظور پیاده‌سازی از الگوریتم تاگوچی برای تنظیم پارامترهای ورودی الگوریتم‌ها استفاده شده است. نمونه‌یی از مسیریابی الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید پس از تنظیم پارامتر و نمودار همگرایی الگوریتم در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

۱.۵. تجزیه و تحلیل نتایج و مقایسات

برای انتخاب الگوریتمی با کارایی بیشتر به مقایسه‌ی الگوریتم‌های تنظیم پارامترشده در اندازه‌های مختلف می‌پردازیم. پیش از مقایسه‌ی الگوریتم‌ها به‌منظور بررسی صحت مدل پیشنهادی، مسئله در اندازه‌ی کوچک با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در نرم‌افزار Lingo ۱۱ اجرا شده، و سپس با الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهادی مقایسه و بررسی شده است. سپس آزمایشات روی ۱۶ مسئله‌ی آزمایشی



شکل ۲. مسیریابی توسط الگوریتم ژنتیک تنظیم پارامتر شده و نمودار همگرایی.



شکل ۳. مسیریابی توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تنظیم پارامتر شده و نمودار همگرایی.

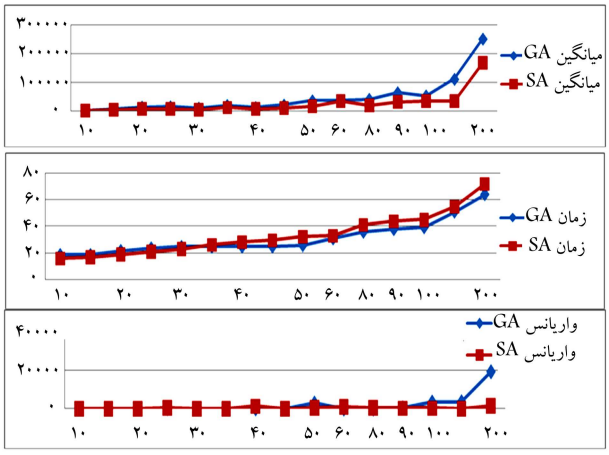
در اندازه‌های مختلف و به‌صورت تصادفی ایجاد و روش‌های حل مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است به‌منظور حذف عدم قطعیت در خروجی‌های به دست آمده، هریک از مسائل برای هر الگوریتم، سه‌بار (کلاً ۹۶ مسئله) اجرا و میانگین این سه مسئله به‌عنوان متغیر پاسخ نهایی گزارش شده است. به‌منظور انجام مقایسه، معیارهایی شامل میانگین، واریانس و زمان اجرای الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده است. نتایج محاسباتی دو الگوریتم در جدول ۱ ارائه شده است. نمودار مقایسه‌ی GA و SA نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.

چنان که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در رابطه با مسیریابی در مبحث انتخاب تأمین‌کنندگان کارایی بیشتری داشته و نهایتاً این الگوریتم برای انجام جست‌وجوی داخلی در بخش مسیریابی در هر سه الگوریتم چندهدفه ــ شامل NSGA−II، NRGA و MOPSO ــ در قسمت مسیریابی ایفای نقش خواهد کرد. در جدول ۲ خروجی تحلیل واریانس به‌صورت P-Value و فواصل اطمینان به‌صورت جعبه‌یی در شکل ۵ ترسیم شده است.

جداول خروجی آماری بیانگر این است که معیارهای الگوریتم‌ها کاملاً قابلیت رقابت با یکدیگر را دارند.

۲.۵. تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی سه‌هدفه

به‌منظور حل مدل پیشنهادی، سه الگوریتم فراابتکاری حل مسائل چندهدفه برمبنای رویکرد پارتو شامل NSGA−II، NRGA و MOPSO ارائه شده است. در این بخش نتایج به دست آمده از پیاده‌سازی روش‌های حل پیشنهادی روی مسائل



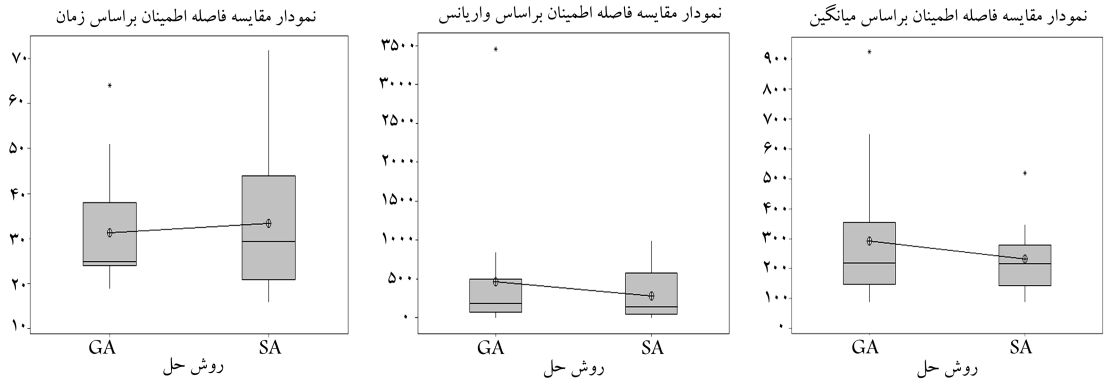
شکل ۴. نمودار مقایسه‌ی الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید براساس میانگین، واریانس و زمان اجرا.

آزمایشی تولید شده مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته است. لذا ۱۵ مسئله‌ی آزمایشی به‌صورت تصادفی در اندازه‌های مختلف تولید شده است. نمونه‌هایی از توزیع جواب‌های پارتو برای هر سه الگوریتم NSGA−II، NRGA و MOPSO برای انتخاب از بین ۵۰ تأمین‌کننده در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است.

لازم به توضیح است که در الگوریتم‌های چندهدفه با رویکرد پارتو، برخلاف

جدول ۱. نتاج محاسباتی معیارهای میانگین، واریانس و زمان حل، برای مقایسه‌ی الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید.

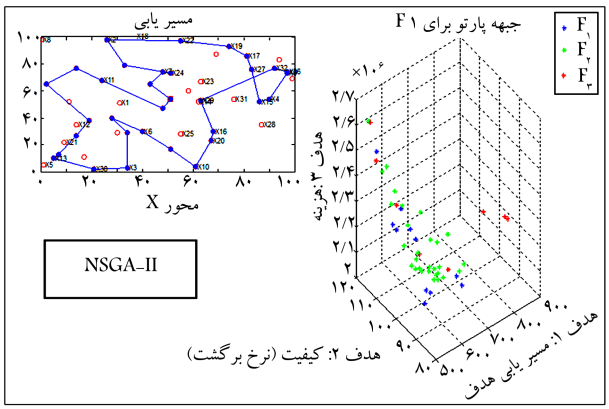
تعداد تأمین‌کننده	الگوریتم ژنتیک						الگوریتم شبیه‌سازی تبرید						Lingo
	۱	۲	۳	میانگین	واریانس	زمان	۱	۲	۳	میانگین	واریانس	زمان	
۴	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲	۰	۸	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲	۰	۸	۱۳
۱۰	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۰	۱۹	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۰	۱۶	۹۱
۱۵	۱۴۳	۱۴۳	۱۳۶	۱۴۱	۱۶	۱۹	۱۴۳	۱۴۳	۱۴۳	۱۴۳	۰	۱۷	--
۲۰	۱۳۲	۱۵۰	۱۴۴	۱۴۲	۸۴	۲۲	۱۳۲	۱۴۴	۱۵۴	۱۴۳	۱۲۱	۱۹	--
۲۵	۱۰۵	۱۲۹	۱۰۵	۱۱۳	۱۹۲	۲۴	۱۰۵	۱۲۵	۱۴۴	۱۲۵	۳۸۰	۲۱	--
۳۰	۱۶۶	۱۶۶	۱۸۵	۱۷۲	۱۲۰	۲۵	۱۷۱	۱۵۸	۱۶۹	۱۶۶	۴۹	۲۳	--
۳۵	۱۳۳	۱۳۲	۱۳۳	۱۳۳	۰	۲۵	۱۳۳	۱۳۳	۱۳۳	۱۳۳	۰	۲۶	--
۴۰	۱۸۶	۱۷۳	۱۶۵	۱۷۵	۱۱۲	۲۵	۱۶۸	۱۵۸	۲۲۵	۱۸۴	۱۳۰۶	۲۸	--
۴۵	۲۱۴	۲۳۵	۲۱۹	۲۲۳	۱۲۰	۲۵	۱۹۵	۱۹۲	۲۱۹	۲۰۲	۲۱۹	۲۹	--
۵۰	۲۵۰	۲۰۶	۳۱۶	۲۵۷	۳۰۶۵	۲۶	۲۶۲	۲۵۲	۲۲۱	۲۴۵	۴۵۷	۳۲	--
۶۰	۲۵۲	۲۴۷	۲۴۲	۲۴۷	۲۵	۳۱	۲۶۱	۲۲۱	۲۰۵	۲۲۹	۸۳۲	۳۳	--
۸۰	۲۹۷	۳۱۲	۳۰۷	۳۰۵	۵۸	۳۶	۲۱۶	۲۶۰	۲۵۵	۲۴۴	۵۸۰	۴۱	--
۹۰	۳۰۴	۲۶۶	۳۱۳	۲۹۴	۶۲۲	۳۸	۲۶۹	۲۸۶	۳۰۲	۲۸۶	۲۷۲	۴۴	--
۱۰۰	۴۱۳	۴۲۵	۳۱۶	۳۸۵	۳۵۷۲	۳۹	۲۶۱	۲۹۳	۲۷۳	۲۷۶	۲۶۱	۴۵	--
۱۵۰	۶۳۸	۵۸۲	۷۰۴	۶۴۱	۳۷۲۹	۵۱	۴۴۸	۴۴۸	۴۵۰	۴۴۹	۱	۵۵	--
۲۰۰	۱۰۰۱	۷۲۶	۸۳۸	۸۵۵	۱۹۱۲	۶۴	۶۰۶	۶۴۳	۵۶۴	۶۰۴	۱۵۶۲	۷۲	--
sum				۴۱۷۴	۳۰۸۴	۴۶۹				۳۵۱۹	۶۰۴۳	۵۰۱	



شکل ۵. نمودار جعبه‌یی مقایسه‌ی فاصله‌ی اطمینان براساس میانگین، واریانس و زمان اجرا الگورتیم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید.

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس مقایسه‌ی معیارهای الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید.

پارامتر	P-Value	نتایج آزمون
میانگین	۰/۳۶۶	عدم رد فرض صفر
واریانس	۰/۴۵۵	عدم رد فرض صفر
زمان اجرا	۰/۶۸۵	عدم رد فرض صفر



شکل ۶. توزیع جبهه‌های پارتو و مسیریابی تأمین‌کنندگان انتخابی در الگوریتم NSGA-II.

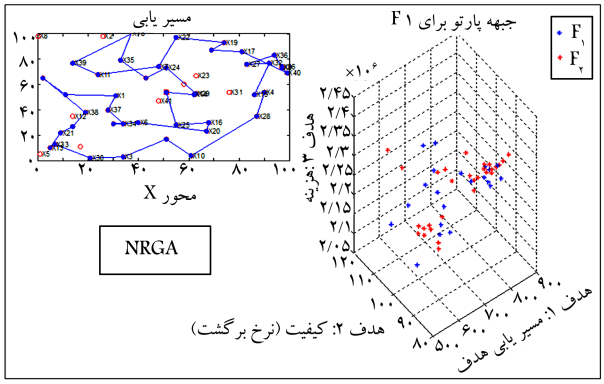
الگوریتم‌های تک‌هدفه، دو معیار اصلی شامل حفظ تنوع در بین جواب‌های پارتو و همگرایی به مجموعه جواب‌های پارتو را برای بهینه‌سازی چندهدفه می‌توان در نظر گرفت.[۲۰] لذا در این بخش معیارهای مقایسه برای ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه با پنج معیار اصلی، عبارت‌اند از: بیشترین گسترش[۱۱]، فاصله‌گذاری[۱۲]، تعداد جواب‌های پارتو[۱۳]، فاصله از جواب ایده‌آل[۱۴]، و زمان[۱۵] اجرای الگوریتم. معیارهای استاندارد مقایسه‌ی الگوریتم‌های چندهدفه مبتنی بر پارتو، در جدول‌های ۳ و ۴

جدول ۳. نتایج محاسباتی معیارهای دارای مقادیر کم‌تر از نظر مطلوبیت، مقایسه‌ی MOPSO، NRGA و NSGA – II.

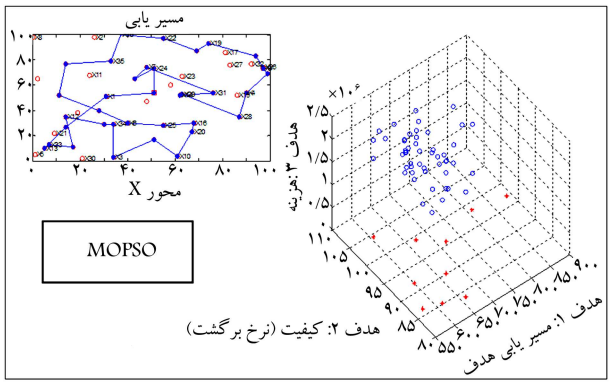
اندازه	ردیف	تعداد تأمین‌کننده	الگوریتم NSGA – II			الگوریتم NRGA			الگوریتم MOPSO		
			فاصله‌گذاری	فاصله از ایده‌آل	زمان اجرا	فاصله‌گذاری	فاصله از ایده‌آل	زمان اجرا	فاصله‌گذاری	فاصله از ایده‌آل	زمان اجرا
کوچک (nPop = ۲۰)	۱	۵	۹۲۱٫۱	۷۷۸۰٫۱	۱۸۰٫۶	۹۸۷٫۳۴	۷۰۷۹٫۴	۱۷۹٫۹	۶۷۵٫۶۸	۳۶۰۴٫۶	۱۰۶٫۷۵
	۲	۶	۳۰۱۵٫۷	۲۳۷۲۷	۱۸۵٫۴۴	۳۳۷۵٫۹	۲۹۰۶۵	۱۸۳٫۹۵	۲۱۱۴٫۱	۱۷۵۹۴	۱۰۷٫۷۲
	۳	۷	۱۶۶۰٫۵	۱۴۰۸۴	۲۰۵٫۶	۳۳۰۱٫۳	۲۸۱۰۰	۱۸۴٫۲	۳۲۹٫۴	۲۹۷۰۶	۱۴۰٫۷
	۴	۸	۱۳۸۱٫۸	۱۰۸۳۰	۲۵۴٫۳	۶۴۷٫۱۵	۴۸۳۰٫۸	۲۵۷٫۶	۳۰۷۷٫۵	۱۳۳۹۵	۱۴۲٫۳
	۵	۱۰	۱۲۷۷٫۱	۱۶۴۰۴	۲۷۵٫۳	۱۹۱۶٫۱	۲۰۱۶۷	۲۷۰٫۳	۳۴۷۱٫۴	۳۰۳۹۹	۲۱۰
متوسط (nPop = ۳۰)	۶	۱۵	۳۴۱۸٫۳	۳۰۴۱۵	۲۸۳٫۷	۴۲۵۵٫۷	۴۱۶۰٫۷	۲۸۱٫۸	۴۲۴۶٫۲	۲۹۴۹۳	۲۲۰
	۷	۲۰	۵۳۵۲٫۳	۴۴۵۳٫۲	۲۹۲٫۷	۴۱۲۹٫۳	۱۸۱۵۷	۲۹۹٫۲	۵۱۹۳٫۳	۲۴۷۷۸	۲۲۴٫۶
	۸	۲۵	۳۶۵۸٫۴	۴۴۸۱۶	۲۹۷٫۱	۲۰۹۱٫۲	۱۱۲۸۴	۲۹۷٫۱	۴۱۹۲٫۷	۲۲۳۲۳	۲۲۷٫۲
	۹	۳۰	۴۲۷۰٫۷	۴۱۸۴۸	۳۰۸٫۱	۴۷۳۴٫۸	۴۷۱۳۲	۳۰۷٫۲	۴۳۱۷٫۹	۴۹۷۳۱	۲۳۳٫۹
	۱۰	۳۵	۴۴۲۹٫۶	۴۶۱۰۷	۳۱۶٫۴	۳۰۸۴٫۴	۳۱۶۲۳	۳۱۶٫۷	۳۹۳۴٫۳	۴۶۳۹۹	۲۴۰٫۳
بزرگ (nPop = ۵۰)	۱۱	۴۰	۳۵۲۵٫۴	۳۰۹۱۲	۳۲۸٫۵	۲۸۱۹٫۹	۳۱۲۳۱	۵۵۵٫۸	۴۷۳۸٫۳	۳۲۲۷۳	۴۰۷٫۹
	۱۲	۵۰	۳۱۹۱٫۲	۴۶۶۶۴	۵۸۴٫۳	۴۱۰۷٫۵	۴۱۸۰۰	۵۸۸٫۹	۴۷۱۷٫۷	۸۶۲۲۷	۴۲۳
	۱۳	۶۰	۶۰۸۸٫۸	۶۲۰۰۴	۶۴۰٫۲	۲۵۰۷۰	۳۰۹۶۷۰	۵۸۸٫۲	۶۹۱۵٫۵	۳۱۱۹۵	۴۴۲٫۲
	۱۴	۸۰	۳۶۹۵۹	۹۳۴۱۵	۶۴۳٫۱	۱۵۴۶۰	۵۶۳۲۷	۶۳۳	۹۵۱۹٫۶	۵۱۱۹۱	۴۷۴٫۸
	۱۵	۱۰۰	۶۸۵۷۷	۲۹۳۵۷۰	۶۸۶٫۳	۵۱۵۷۰	۶۳۵۶۷۰	۶۷۰٫۲	۱۰۱۱۹	۷۰۳۲۷	۵۲۶٫۹
Sum			۱۴۷۷۲۶٫۹	۷۶۷۰۲۹٫۳	۵۴۸۱٫۶۴	۱۲۷۵۵۰۶	۱۲۷۶۲۹۶	۵۶۱۴٫۰۵	۶۷۵۶۲٫۶	۵۳۸۶۳۶	۴۱۲۸٫۲۷

جدول ۴. نتاج محاسباتی معیارهای دارای مقادیر بیشتر از نظر مطلوبیت، مقایسه‌ی MOPSO، NRGA و NSGA – II.

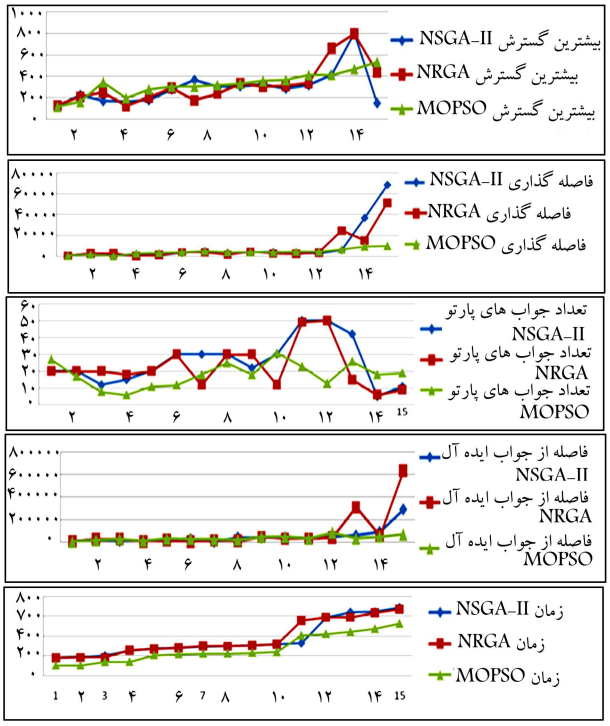
اندازه	ردیف	تعداد تأمین‌کننده	الگوریتم NSGA – II		الگوریتم NRGA		الگوریتم MOPSO	
			بیشترین گسترش	تعداد جواب پارتو	بیشترین گسترش	تعداد جواب پارتو	بیشترین گسترش	تعداد جواب پارتو
کوچک (nPop = ۲۰)	۱	۵	۱۲۲٫۱۷	۲۰	۱۲۹٫۵	۲۰	۱۱۴٫۷۸	۲۷
	۲	۶	۲۲۵٫۵۸	۲۰	۲۱۰٫۸	۲۰	۱۵۸٫۵	۱۷
	۳	۷	۱۶۸٫۸	۱۲	۲۵۲٫۲	۲۰	۳۴۲٫۸	۸
	۴	۸	۱۶۰	۱۵	۱۲۵٫۷	۱۸	۱۹۵٫۵	۶
	۵	۱۰	۱۷۷٫۱	۲۰	۲۰۴	۲۰	۲۷۷٫۲	۱۱
متوسط (nPop = ۳۰)	۶	۱۵	۲۷۶٫۹	۳۰	۲۹۵٫۱	۳۰	۳۰۲٫۱	۱۲
	۷	۲۰	۳۶۵٫۲	۳۰	۱۷۶٫۶	۱۲	۳۰۰٫۳	۱۸
	۸	۲۵	۳۰۲٫۳	۳۰	۲۴۲٫۲	۳۰	۳۱۵٫۹	۲۵
	۹	۳۰	۳۰۶٫۳	۲۲	۳۳۵٫۷	۳۰	۳۳۰٫۱	۱۸
	۱۰	۳۵	۳۲۷٫۰	۳۰	۳۰۴٫۷	۱۲	۳۵۳٫۴	۳۱
بزرگ (nPop = ۵۰)	۱۱	۴۰	۲۸۴٫۸	۵۰	۳۱۴	۴۹	۳۶۱٫۹	۲۳
	۱۲	۵۰	۳۱۶٫۳	۵۰	۳۳۷٫۳	۵۰	۴۰۹٫۲	۱۳
	۱۳	۶۰	۴۱۳٫۱	۴۲	۶۵۷٫۲	۱۵	۴۱۱٫۲	۲۶
	۱۴	۸۰	۸۰۱٫۷	۵	۷۹۳	۶	۴۶۵٫۵	۱۸
	۱۵	۱۰۰	۱۴۹٫۲	۱۱	۴۳۹٫۴	۹	۵۳۱٫۲	۱۹
sum			۴۳۹۶٫۴۵	۳۸۷	۴۸۱۷٫۴	۳۴۱	۴۸۶۹٫۵۸	۲۷۲



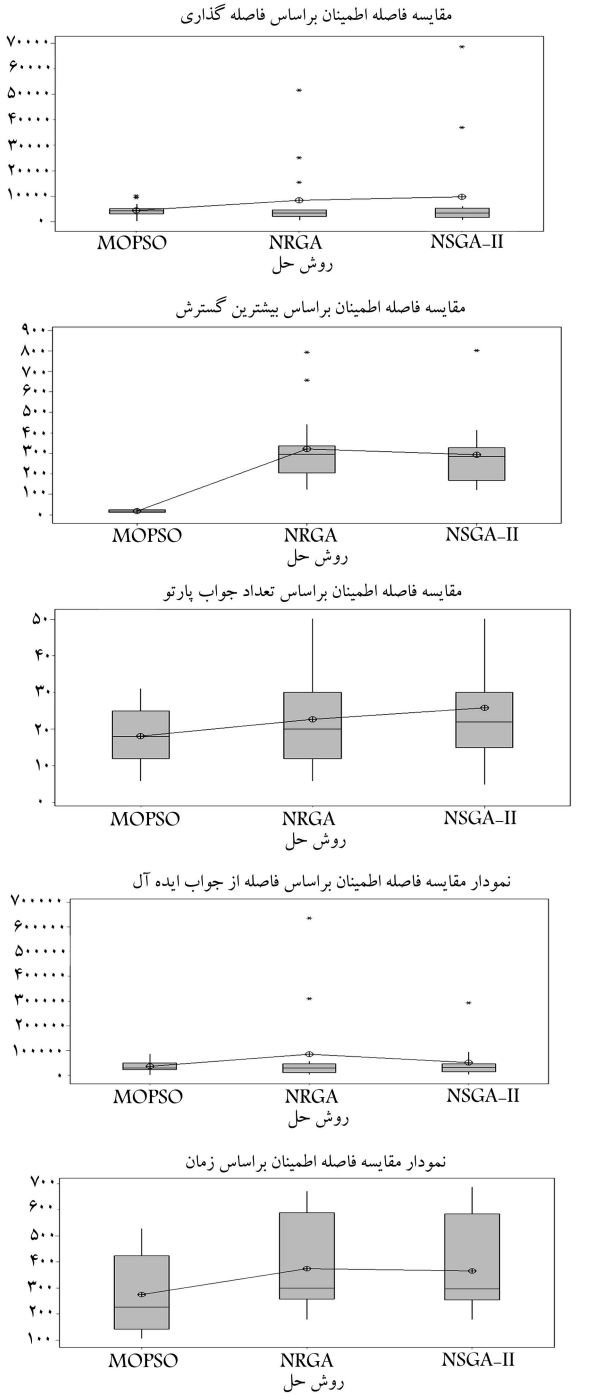
شکل ۷. توزیع جبهه‌های پارتو و مسیریابی تأمین‌کنندگان انتخابی در الگوریتم NRGA.



شکل ۸. توزیع جبهه‌های پارتو و مسیریابی تأمین‌کنندگان انتخابی در الگوریتم MOPSO.



شکل ۹. نمودار گرافیکی مقایسه‌ی الگوریتم‌های NSGA-II، NRGA و MOPSO.



شکل ۱۰. نمودار جعبه‌یی پنج معیار مقایسه الگوریتم های چند هدفه NSGA-II، NRGA و MOPSO.

برای مسائل تولید و محاسبه شده، و در شکل ۹ عملکرد الگوریتم‌های ارائه شده به‌صورت گرافیکی آمده است.

چنان که در جدول‌های ۳ و ۴، و نیز در شکل ۹ مشخص است، می‌توان گفت MOPSO وضعیت مناسب‌تری نسبت به دو الگوریتم چندهدفه‌ی دیگر دارد. در جدول ۵ خروجی تحلیل واریانس به‌صورت P-Value‌های به دست آمده گزارش شده است. همچنین به‌منظور خوانش ادعاهای صورت گرفته در این جدول، فواصل اطمینان معیارها به‌صورت گرافیکی در شکل ۱۰ ترسیم شده است. با توجه به جداول

جدول ۵. نتایج تحلیل واریانس مقایسه‌ی معیارهای NSGA−II، NRGA و MOPSO.

پارامتر	P-Value	نتایج آزمون
بیشترین گسترش	۰	رد فرض صفر
فاصله‌گذاری	۰٫۵۲۶	عدم رد فرض صفر
فاصله از جواب ایده‌آل	۰٫۴۴۳	عدم رد فرض صفر
تعداد جواب پارتو	۰٫۲۰۶	عدم رد فرض صفر
زمان اجرا	۰٫۲۰۸	عدم رد فرض صفر

خروجی آماری بیان‌گر این است که تنها در معیار بیشترین گسترش، تفاوت معناداری بین الگوریتم‌ها وجود دارد و در سایر معیارها الگوریتم‌ها کاملاً قابلیت رقابت با یکدیگر را دارند.

۶. نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

مطالعات متنوع و وسیعی در رابطه با انتخاب تأمین‌کنندگان انجام گرفته است، ولی تاکنون در هیچ مدلی مباحث تخفیف، ارزش خالص زمانی پول، و مسیریابی برای انتخاب تأمین‌کنندگان (با در نظر گرفتن کیفیت کالاهای دریافتی) ادغام نشده بود که در این تحقیق این مدل ارائه شده است. برای حل مدل چندهدفه‌ی پیشنهادی از الگوریتم‌های فرابتکاری چندهدفه با رویکرد یک‌پارچه‌سازی و پارتو شامل NSGA−II، NRGA و MOPSO استفاده کرده‌ایم که در مجموع الگوریتم MOPSO برتری نسبی نسبت به الگوریتم‌های دیگر در این مسئله داشت. البته پیش از اجرای الگوریتم‌های فرابتکاری چندهدفه، برای بدست آوردن جواب‌های بهینه زیر مدل مسیریابی، دو الگوریتم GA و SA را اجرا و مقایسه کردیم که نهایتاً الگوریتم SA با توجه به نتایج بهتر و کارایی بیشتر به‌عنوان زیر الگوریتم مسیریابی انتخاب شد.

ارائه‌ی مدلی با در نظرگیری چندین نوع محصول برای خرید، در نظرگیری محدودیت ظرفیت برای وسیله‌ی نقلیه، ملزم ساختن سازمان برای خرید از برخی از تأمین‌کنندگان، تعیین معیار حداکثر مسیر طی شده، در نظرگیری پنجره‌ی زمانی برای خرید، استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری دیگر به‌همراه فازی‌سازی پارامترهای ثابت مفروض، استفاده از این مدل برای مباحث بازرگانی و گردشگری، و افزایش اهداف دیگری چون تحویل به موقع و غیره می‌تواند از جمله پیشنهادها برای تحقیقات آتی باشد.

پانوشت‌ها

1. vehicle routing problem
2. net present value
3. non-dominated sorting genetic algorithm
4. non-dominated ranking genetic algorithm
5. multi-objective particle swarm optimization
6. genetic algorithms
7. simulated annealing
8. Kirk Patrick
9. Metropolis
10. particle swarm optimization
11. maximum spread or diversity
12. spacing
13. number of pareto soulution (NOS)
14. mean ideal distance (MID)
15. time

منابع (References)

1. Ghodyspour, S.H. and O'Brien, C. "A decision support system for supplier selection using a integrated analytic hierarchy process and linear programming", *International Journal of Production Economics*, **56-57**, pp. 199-212 (1998).
2. Weber, C.A., Current, J.R. and Benton, W.C. "Vendor selection criteria and methods", *European Journal of Operation Research,* **50**(1), pp. 2-18 (1991).
3. Dickson, G.W. "An analysis of vendor selection systems and decisions", *Journal of Purchasing and Supply Management*, **2**(1), pp. 5-17 (1966).
4. Vondrembse, M.A., Uppal, M., Huang, S.H. and Dismukes, J.P. "Designing supply chains: Towards theory development", *International Journal of Production Economics,* **100**, pp. 223-238 (2006).
5. Demirtas, E.A. and Ustun, O. "An integrated multi- objective decision making process for supplier selection and order allocation", *Omega,* **36**, pp. 76-90 (2008).
6. Tsai, J. "An optimization approach for supply chain management models with quantity discount policy", *European Journal of Operation Research*, **177**, pp. 982-994 (2007).
7. Weber, C.A., Current, J.R. and Desai, A. "An optimization approach to determining the number of vendors to employ", *Supply Chain Management – An International Journal*, **5**(2), pp. 90-98 (2000).
8. Pokharel, S. "A two-objective model for decision making in a supply chain", *International Journal of Production Economics,* **111**, pp. 378-388 (2008).
9. Dahel, N.H. "Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments", *Supply Chain Management An International Journal*, **8**(4), pp. 335-342 (2003).
10. Arikan, F. "A fuzzy solution approach for multi objective supplier selection", *Expert Systems with Applications*, **40**(3), pp. 947-952 (2013).
11. Jadidi, O., Cavalieri, S. and Zolfaghari, S. "An improved multi-choice goal programming approach for supplier selection problems", *Applied Mathematical Modelling,* **39**(14), pp. 4213-4222 (2015).
12. Gurel, O., Acar, A.Z., Onden, I. and Gumus I. "Determinants of the green supplier selection", *Procedia Social and Behavioral Sciences,* **181**(11), pp. 131-139 (2015).
13. Toth, P. and Vigo, D., *The Vehicle Routing Problem*, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Application, pp. 27-40 (2002).
14. Buhrkala, K., Larsen, A. and Ropke, S. "The waste collection vehicle routing problem with timewindows in a city logistics context", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **39**, pp. 241-254 (2012).

15. Yang, P.C., Wee, H.M., Pai, S. and Tseng, Y.F. "Solving a stochastic demand multi-product supplier selection model with service level and budget constraints using genetic algorithm", *Expert Systems with Applications*, **38**, pp. 14773-14777 (2011).

16. Tan, K.C., Lee, L.H. and Zhu, K.Q. "Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows", *Artifical Intelligence in Engineering,* **15**, pp. 281-295 (2001).

17. Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P. "Optimization by simulated annealing", *Science, New Series*, **220**(4598), pp. 671-680 (1983).

18. Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A. and Meyarivan, T. "A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II", *In: Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature VI (PPSN-VI) Conference,* pp. 849-858 (2001).

19. Al Jadaan, O., Rao, C.R. and Rajamani, L. "Non-dominated ranked genetic algorithm for solving multi-objective optimization problems: NRGA", *Journal of Theoritical and Applied Information Technology,* **4**(1), pp. 60-67 (2008).

20. Carvalho, M. and Ludermir, T.B. "An analysis of PSO hybrid algorithms for feed forward neural networks training", *Proceedings of the Ninth Brazilian Symposium on Neural Networks SBRN'06, IEEE* (2006).