

ارائه مدل جدید مکان‌یابی - مسیریابی - موجودی سبز تحت عدم قطعیت

میثم محبوب‌نیا^۱، نورالدین دبیری^{۲*}، علی بزرگی امیری^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، دانشکده فنی فومن، گیلان، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
۳. استادیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

خلاصه

اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینه لجستیک و برنامه‌ریزی توزیع، نگرش یکسانی به مؤلفه‌های موجودی نظیر مقدار سفارش، تعداد دفعات سفارش و مقدار ذخیره اطمینان مراکز ذخیره‌سازی موجودی دارند. در صورتی که با توجه به مشتریان هر مرکز، مؤلفه‌های موجودی می‌تواند برای هر مرکز متفاوت باشد. پژوهش حاضر، صورت جدیدی از مسأله مکان‌یابی - مسیریابی - موجودی تحت عدم قطعیت با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی ارائه می‌دهد که به‌طور همزمان تعداد و موقعیت مراکز توزیع، تخصیص خرده‌فروشان به این مراکز و مسیرهای فعال و ترتیب برآورده‌سازی تقاضای آن‌ها در هر مسیر، مقدار بهینه هر بار سفارش، تعداد دفعات سفارش هر یک از مراکز توزیع و نیز سطح ذخیره اطمینانی که در هر مرکز توزیع باید نگهداری شود را به‌طور همزمان تعیین می‌کند به طوری که هزینه مورد انتظار سالانه و همچنین میزان انتشار گازهای آلاینده ناشی از ناوگان حمل و نقل طی فرآیند تحویل در کل شبکه کمینه شود. ماهیت پیچیده مدل پیشنهادی و قرار گرفتن آن در زمره مسائل NP-hard، لزوم بهره‌گیری از رویکردهای فراابتکاری را جهت رسیدن به جواب‌های بهینه ایجاب می‌کند. لذا الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO) و الگوریتم تکاملی قدرت پارتو (SPEA-II) برای حل مسئله استفاده شده‌اند. در پایان، نتایج حاصل از عملکرد الگوریتم‌ها بر اساس شاخص‌های استاندارد مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۵/۰۲/۲۶

پذیرش ۱۳۹۶/۰۲/۳۱

کلمات کلیدی:

طراحی شبکه توزیع

زنجیره تأمین سبز

انتشار کربن

مکان‌یابی - مسیریابی -

موجودی

بهینه‌سازی چندهدفه

۱- مقدمه

امروزه رقابت شدید در بازارهای جهانی، شرکت‌ها را وادار به طراحی و مدیریت بهتر زنجیره تأمین کرده‌است. مدیریت زنجیره تأمین، بر یکپارچه‌سازی اعضای زنجیره تأکید دارد، زیرا برای افزایش کارایی یک زنجیره تأمین نمی‌توان تصمیمات آن را به‌طور جداگانه در نظر گرفته و به بهینه‌سازی آن پرداخت. یکپارچگی تصمیمات از عوامل بسیار مهمی می‌باشد که به میزان قابل‌توجهی موجب کاهش هزینه‌های زنجیره شده و به افزایش رضایت مشتری می‌انجامد. از

آنجایی که نقش بالای سه مؤلفه مکان‌یابی، مسیریابی و موجودی در ادامه حیات یک زنجیره تأمین پوشیده نیست، لذا یکپارچگی این سه عنصر، یک زنجیره تأمین کارا و مؤثر را نتیجه خواهد داد. مکان‌یابی تسهیلات، مسیریابی وسایل نقلیه و کنترل موجودی سه مسئله کلیدی در بهینه‌سازی یک زنجیره تأمین می‌باشد. اکثر پژوهش‌هایی که این سه مسأله را به‌طور توأم در نظر می‌گیرند نگرش یکسانی به مؤلفه‌های کنترل موجودی نظیر مقدار سفارش بهینه، تعداد دفعات سفارش و مقدار ذخیره اطمینان مراکز ذخیره‌سازی موجودی دارند، به‌عنوان مثال تعداد دفعات سفارش برای تمام مراکز توزیع یکسان در نظر گرفته می‌شود در صورتی که با توجه به مشتریان هر مرکز توزیع، این مقدار می‌تواند برای هر مرکز

* نویسنده مسئول: نورالدین دبیری

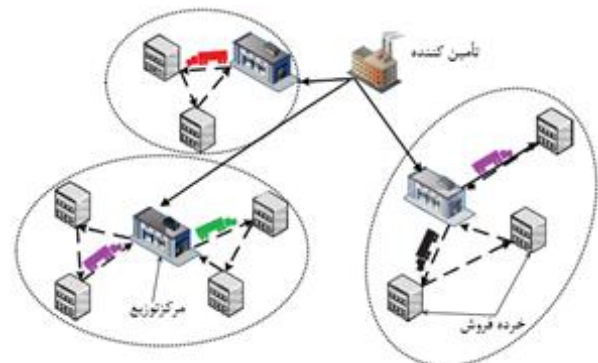
تلفن: ۰۱۷-۳۴۲۶۶۲۳۵، پست الکترونیکی: n.dabiri@gu.ac.ir

۲۰۰۵ یک رویکرد جدید بر اساس روش‌های جستجوی ممنوعه و تبرید شبیه‌سازی شده برای حل مدلی که پیشتر معرفی کرده بودند ارائه نمودند [۲]. آمبروسینا و اسکوتلا [۳] یک زنجیره تأمین تک‌محصولی چهار سطحی را مورد بررسی قرار دادند. در مدل ایشان، هزینه موجودی غیرخطی و هزینه مسیریابی به صورت تقریبی در نظر گرفته شده است. ما و دای [۴] مسأله مکانیابی- مسیریابی- موجودی تصادفی را در سیستم‌های توزیع لجستیک بررسی کردند. جاوید و آزاد [۵] مدلی را ارائه نمودند که به طور همزمان تصمیمات مکان‌یابی، تخصیص، ظرفیت، موجودی و مسیریابی را بررسی می‌کند. یانگ و همکاران [۶] برای اولین بار یک شبکه توزیع شامل اقلام فاسدشدنی را براساس توزیع به‌هنگام (JITD) در حالت سه سطحی بررسی کردند. ما و دای [۷] برای اولین بار با در نظر گرفتن همزمان فرضیات چند دوره‌ای، چند محصولی و غیرقطعی بودن تقاضا بر پیچیدگی مسأله مکان‌یابی- مسیریابی- موجودی افزودند. زنجیره تأمین سه سطحی شامل یک تأمین‌کننده و چندین انبار و مشتری است. تقاضای مشتریان غیرقطعی بوده و از توزیع پواسون پیروی می‌کند. سجادی و چراغی [۸] به بررسی یک شبکه توزیع سه سطحی و چندمحصولی شامل کارخانه‌ها، انبارها و مشتریان پرداختند. در این مدل فرض می‌شود که شرکت‌های لجستیک شخص ثالث در صورت نیاز فضای اضافی برای انبار ارائه می‌دهند، زیرا انبارها دارای ظرفیت محدود هستند. تقاضای مشتریان احتمالی بوده و مسأله در حالت تک‌دوره‌ای بررسی می‌شود. این مدل با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده حل شده است. جاوید و صدیقی [۹] مسأله‌های یکپارچه را بررسی کردند که تصمیمات مکان‌یابی، مسیریابی و موجودی را در طراحی یک شبکه توزیع چندمنبعی ادغام می‌کند. شبکه توزیع مسأله آن‌ها سه سطحی بوده و شامل تأمین‌کننده، مراکز توزیع و چندین مشتری می‌باشد. آن‌ها یک برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط ارائه نمودند و یک الگوریتم ابتکاری سه مرحله‌ای برای مثال‌های بزرگ توسعه دادند در مدل مورد مطالعه ایشان تقاضای مشتریان قطعی فرض شده است. توکلی مقدم و همکاران [۱۰] یک مسأله طراحی شبکه تک منبعی برای یک زنجیره تأمین سه سطحی با در نظر گرفتن ریسک، موجودی در مراکز توزیع تحت تقاضای غیرقطعی، وجود چندین آلترناتیو برای حمل محصول بین تسهیلات و مسیریابی خودروها از مراکز توزیع به مشتریان در یک سیستم زنجیره تأمین تصادفی ارائه نمودند.

تفاوت اصلی مدل پیشنهادی با سایر مطالعات صورت گرفته در ادبیات، تعیین سیاست کنترل موجودی مراکز توزیع موجود در شبکه می‌باشد. در برخی پژوهش‌های انجام‌شده، مانند [۹] تقاضای مشتریان قطعی فرض شده و به‌طور کلی متفاوت از مدل ارائه شده در این مقاله است. در برخی دیگر مانند [۵] فرض عدم قطعیت مدل را به صورت غیرقطعی و نامشخص بودن میزان تقاضا آورده است. سپس به فرض نرمال بودن توزیع آن بسنده کرده و تنها

متفاوت باشد. از این رو تلفیق برنامه‌ریزی موجودی و دو مؤلفه دیگر می‌تواند نقش اساسی بسیار کلیدی در کاهش هزینه‌های حمل و نقل داشته باشد. همچنین برای مقدار ذخیره اطمینان هر مرکز نیز می‌توان حالات مختلفی را متصور شد تا هر مرکز علاوه بر حفظ سطح خدمت، کمترین میزان هزینه نگهداری را متحمل شود. از طرفی همان‌طور که می‌دانیم امروزه حفاظت از محیط‌زیست به یکی از مهم‌ترین مسائل دنیای امروزی تبدیل شده و فشارهای جهانی، سازمان‌ها را ملزم به تولید محصولات و خدمات سازگار با محیط‌زیست کرده است تا آن‌جا که جایگاه آتی شرکت‌ها با توجه به گام‌هایی که در رابطه با محیط‌زیست برمی‌دارد به‌طور جدی آن‌ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد. لذا یکپارچه‌سازی مسائل مکان‌یابی، مسیریابی و موجودی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی علاوه بر این که می‌تواند موجب انسجام بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری در شبکه زنجیره تأمین شده و در بلندمدت موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها گردد، می‌تواند موجب بهبودی شرایط محیط‌زیست نیز شود که به نفع کل جامعه است.

در این مقاله صورت جدیدی از مسأله مکانیابی- مسیریابی- موجودی ارائه می‌شود که به‌طور همزمان تصمیمات مکان‌یابی، تخصیص، مسیریابی و موجودی را با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی در حالت عدم قطعیت بهینه می‌سازد. از آنجایی که در مقاله نشان داده شده که مسأله مکانیابی مسیریابی NP-hard است مسأله ما نیز در زمره این مسائل قرار دارد؛ لذا لزوم بهره‌گیری از رویکردهای فرا ابتکاری را جهت رسیدن به جواب‌های بهینه ایجاد می‌کند. برای حل مدل پیشنهادی از رویکرد حل دقیق و تقریبی استفاده شده و جهت ارزیابی صحت و اعتبار مدل و همچنین روش‌های حل استفاده شده به تحلیل چند مثال با داده‌های تصادفی پرداخته شده است. در پایان، نتایج حاصل از عملکرد الگوریتم‌ها بر اساس شاخص‌های استاندارد مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



شکل (۱): شمای کلی از مدل پیشنهادی

برای نخستین بار در سال ۲۰۰۳ لیو و لی [۱] در مورد مسأله مکانیابی- مسیریابی- موجودی بحث کردند. زنجیره تأمین بررسی شده در مقاله ایشان دوسطحی شامل مشتریان و انبارها بود و ظرفیت انبارها نامحدود در نظر گرفته شده بود. این دو در سال

با $\sum_i \mu_i Y_{ik}$ و واریانس تقاضای سالانه DC_k برابر $\sum_i \sigma_i^2 Y_{ik}$ خواهد بود. متغیر Y_{ik} در صورتی که R_i به DC_k تخصیص داده شود، مقدار یک می‌پذیرد و در غیر این صورت مقدار آن صفر خواهد بود.

به علت ماهیت عدم قطعیت مسأله، دو مقدار $N_k Q_k$ و $\sum_i \mu_i Y_{ik}$ می‌تواند متفاوت از یکدیگر باشند. اساس کار در تعیین سیاست کنترل موجودی DC_k ، مقایسه این دو مقدار است که در شکل (۲) تشریح شده است.

مطابق شکل (۲) در صورتی که $\sum_i \mu_i Y_{ik} \leq N_k Q_k$ باشد موجودی فعال و ذخیره اطمینان از قسمت‌های (الف) و (ب) قابل محاسبه می‌باشند. در صورتی که $\sum_i \mu_i Y_{ik} > N_k Q_k$ باشد موجودی فعال از قسمت (ج) مشخص می‌شود و ذخیره اطمینان نیز با توجه به مقایسه میزان اختلاف ورودی و خروجی مرکز توزیع از قسمت‌های (د) و (ه) قابل محاسبه می‌باشند.

هدف مدل پیشنهادی انتخاب و مکان‌یابی مجموعه‌ای از مراکز توزیع و تخصیص مشتریان به این مراکز جهت تعیین سیاست موجودی و زمان‌بندی مسیرهای خودروها برای برآورده‌سازی تقاضای مشتریان است به طوری که هزینه کل و همچنین میزان انتشار کربن ناشی از خودروها کمینه شود. فرضیات و تصمیمات تعیین‌شده توسط مدل به ترتیب در زیربخش ۲-۱ و ۲-۲ آمده است.

۲-۱- فرضیات مدل پیشنهادی

- ✓ هر خرده‌فروش دارای یک تقاضای تصادفی است که از توزیع نرمال پیروی می‌کند و تقاضای خرده‌فروشان مستقل از یکدیگر است.
- ✓ هر مرکز توزیع k از یک سیاست مرور دائم موجودی (Q_k, ROP_k) پیروی می‌کند. در این صورت زمانی که سطح موجودی مرکز توزیع k به نقطه سفارش مجدد ROP_k رسید یک سفارش به اندازه Q_k به تأمین‌کننده داده می‌شود.
- ✓ استراتژی تک‌منبعی در سراسر زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است؛ یعنی هر خرده‌فروش دقیقاً از یک مرکز توزیع کالا دریافت می‌کند.
- ✓ هر خرده‌فروش تنها توسط یک وسیله نقلیه سرویس‌دهی می‌شود و تقاضای تمام خرده‌فروش‌ها باید برآورده شود.
- ✓ حمل و نقل در لایه اول به صورت مستقیم و در لایه دوم به صورت مسیریابی است. نوع ناوگان حمل‌ونقل موجود غیرهمگن است بنابراین ظرفیت خودروها یکسان نمی‌باشد و نیز محدود است.
- ✓ هر وسیله نقلیه پس از دریافت سفارش از تأمین‌کننده و برآورده‌سازی تقاضای مشتریان تخصیص داده شده به آن مرکز توزیع، مجدداً به همان مرکز توزیع بازمی‌گردد.

ذخیره اطمینان متناسب با آن را در محاسبات آورده است. حال آنکه در تحقیق ارائه شده علاوه بر موارد بالا، میزان کالای ورودی و خروجی از هر مرکز توزیع با یکدیگر به منظور تعیین سیاست موجودی قیاس شده‌اند. بدیهی است که مقدار این دو بنا به عدم قطعیت موجود در این مسائل، با یکدیگر متفاوت بوده که این تفاوت در محاسبه هزینه نگهداری موجودی‌ها بخصوص ذخیره اطمینان تأثیرگذار خواهد بود. همچنین این ملاحظات بر پایه مدل‌هایی توسعه داده شده است که ملاحظات زیست‌محیطی را نیز به صورت یک تابع هدف جداگانه در نظر گرفته است.

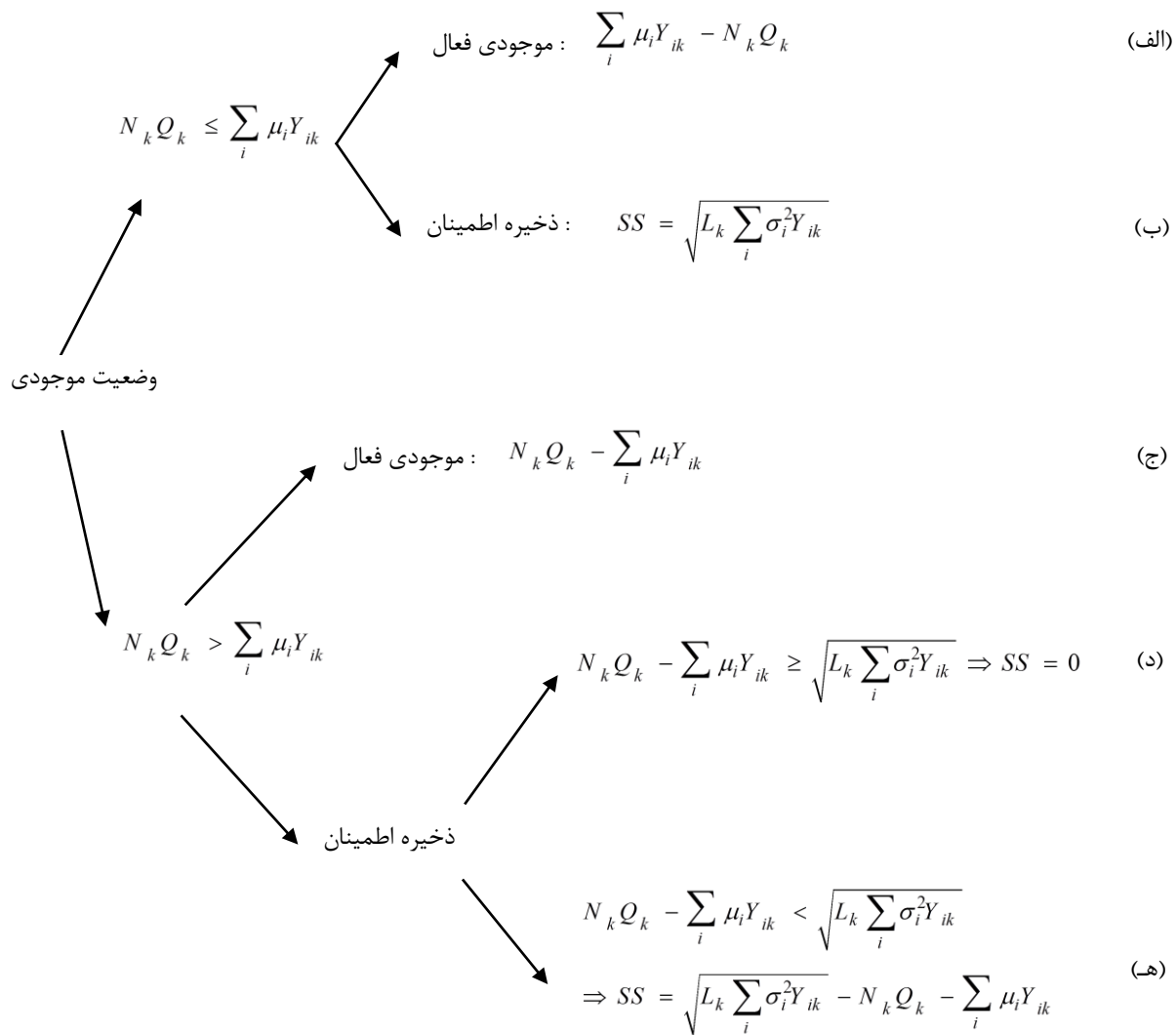
ادامه مقاله به صورت زیر مرتب شده است: در بخش دوم مدل ریاضی پیشنهادی ارائه شده است. در بخش سوم به معرفی روش‌های حل پرداخته می‌شود. نتایج محاسباتی در بخش چهارم ارائه شده و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی جهت مطالعات آتی آورده شده است.

۲- تعریف مسأله و مدل ریاضی

شبکه زنجیره تأمین در نظر گرفته شده در این تحقیق دو لایه‌ای (سه سطحی) می‌باشد. لایه اول از تأمین‌کننده به مراکز توزیع و لایه دوم از مراکز توزیع به خرده‌فروشان است. مراکز توزیع، سفارشات را از خرده‌فروشان دریافت می‌کنند و بر اساس سیاست مرور دائم موجودی، به تأمین‌کننده سفارش می‌دهند. محصولات به صورت مستقیم از تأمین‌کننده به هر مرکز توزیع ارسال می‌شود. سپس وسایل حمل هر مرکز، محصولات را طبق سفارش هر خرده‌فروش در مسیرهای بهینه‌ای که تعیین آنها یکی از اهداف این مسئله است به دست خرده‌فروشان می‌رسانند. در شکل (۱) شمایی کلی از مدل پیشنهادی ارائه شده است.

خط‌مشی مرور موجودی در مرکز توزیع k یا DC_k مرور پیوسته با (Q_k, ROP_k) است. در این خط‌مشی میزان موجودی مواد در DC_k به‌طور پیوسته مرور می‌شود و چنانچه میزان موجودی برابر با نقطه سفارش‌دهی ROP_k یا کمتر از آن باشد میزان ثابت Q_k به تأمین‌کننده سفارش داده می‌شود. بنابراین در این خط‌مشی مقدار هر بار سفارش ثابت اما فاصله زمانی بین دو سفارش متوالی متغیر است. خرده‌فروشان به صورت تصادفی با توزیع یکنواخت در یک ناحیه بسته پراکنده شده‌اند، تقاضای آنان غیرقطعی بوده و از توزیع نرمال پیروی می‌کند.

اگر N_k تعداد دفعات سفارش و Q_k مقدار هر بار سفارش DC_k در سال باشد در این صورت مقدار ورودی سالانه‌ی مواد به DC_k برابر $N_k Q_k$ می‌شود. همچنین فرض می‌کنیم خرده‌فروش i (R_i) که به DC_k تخصیص داده شده دارای تقاضای سالانه با توزیع نرمال با میانگین μ_i و واریانس σ_i^2 است. در این صورت میانگین تقاضای سالانه DC_k برابر مجموع میانگین تقاضای سالانه خرده‌فروشان است که به آن تخصیص داده شده‌اند یعنی برابر است



شکل (۲): سیاست موجودی DC_k

مشتريان تخصيص داده شده به آن مرکز توزیع را برآورده نماید.

تصميمات کنترل موجودی: در مراکز توزیع چه مقدار سفارش داده شود، چند بار سفارش داده شود و چقدر موجودی اطمینان نگهداری شود.

۲-۳- مجموعه اندیس‌ها

- I مجموعه خرده‌فروش‌ها
- K مجموعه مراکز توزیع

V_1 مجموعه خودروهای به کار گرفته شده در حمل و نقل مستقیم (برای حمل از تأمین‌کننده تا مراکز توزیع)

V_2 مجموعه خودروهای به کار گرفته شده در حمل و نقل غیرمستقیم (مسیریابی)

$V = V_1 \cup V_2$ مجموعه وسائل نقلیه

$S = I \cup K$ مجموعه همه گره‌ها

اندیس تأمین‌کننده به صورت ۰ در نظر گرفته شده است.

✓ مسافت طی شده توسط هر خودرو و میزان بار خودرو به‌عنوان فاکتورهای تأثیرگذار روی میزان مصرف سوخت و در نتیجه میزان انتشار کربن در نظر گرفته شده است [۱۱]. در این صورت اگر ρ_0 مقدار مصرف سوخت خودرو در حالت بدون بار بودن خودرو و ρ^* مقدار مصرف سوخت خودرو در حالتی که با حداکثر ظرفیت V^{cap} بار حمل می‌کند باشد در این حالت مقدار مصرف سوخت خودرو در حالتی که باری به اندازه Q حمل می‌کند برابر با $Q \left(\frac{\rho^* - \rho_0}{V^{cap}} \right) + \rho_0$ است.

۲-۲- تصمیمات مدل پیشنهادی

✓ تصمیمات مکان‌یابی- تخصیص: چه تعداد مرکز توزیع باید مستقر گردد، در کدام نقطه مستقر شوند و چگونه خرده‌فروش‌ها به آن‌ها تخصیص داده شوند.

✓ تصمیمات مسیریابی: چگونه مسیرهای وسایل نقلیه را با شروع از یک مرکز توزیع مستقر شده ایجاد نماییم تا تقاضای

۴-۲- پارامترهای مسأله

- f_k هزینه استقرار سالانه برای مرکز توزیع k
- g_k هزینه ثابت حمل از تأمین‌کننده به مرکز توزیع k
- a_k هزینه ثابت سفارش‌دهی مرکز توزیع k به تأمین‌کننده
- b_k هزینه ارسال یک واحد محصول از تأمین‌کننده به مرکز توزیع k
- μ_i میانگین تقاضای سالانه خرده‌فروش i
- σ_i^2 واریانس تقاضای سالانه خرده‌فروش i
- d_k فاصله مرکز توزیع k از تأمین‌کننده
- d_{ij} فاصله بین دو گره i و j ، $\forall i, j \in S$
- C_{ij} هزینه حمل محصول بین دو گره i و j ، $\forall i, j \in S$
- ρ_{0v} مقدار مصرف سوخت خودرو v در حالت بدون بار
- ρ_v^* مقدار مصرف سوخت خودرو v با حداکثر ظرفیت حمل
- V_v^{cap} ظرفیت خودرو v (حداکثر وزن بار خودرو v)
- γ_v میزان انتشار کربن ناشی از مصرف هر واحد سوخت خودروی v
- α سطح سرویس مراکز توزیع (احتمال عدم‌مواجهه با کمبود)

θ ضریب وزنی تخصیص داده‌شده به هزینه موجودی

β ضریب وزنی تخصیص داده‌شده به هزینه حمل‌ونقل

ضریب‌های θ و β به جهت افزایش یا کاهش اهمیت مربوط به هزینه‌های استقرار، حمل و نقل و موجودی در تابع هدف استفاده شده است.

۵-۲- متغیرهای تصمیم

X_k متغیر مکان‌یابی مراکز توزیع (صفر-یک)

Y_{ik} متغیر تخصیص خرده‌فروش به مرکز توزیع (صفر-یک)

R_{kv} متغیر تخصیص (صفر-یک) برابر یک است در صورتی که خودروی v به مرکز توزیع k تخصیص داده شود.

Q_k مقدار هر بار سفارش مرکز توزیع k

N_k تعداد دفعات سفارش مرکز توزیع k در سال

W_{ijv} متغیر مسیریابی، (صفر-یک) مقدار یک می‌گیرد هرگاه گره i قبل از گره j در مسیر خودروی v ملاقات شود.

$\forall i, j \in S, \forall v \in V$

V_{ijv} وزن بار حمل شده از گره i به گره j با استفاده از خودرو v ،

$\forall i, j \in S, \forall v \in V$

M_{iv} متغیر کمکی تعریف شده برای خرده‌فروش i برای حذف زیرتور در مسیر خودروی v

t_k, t'_k متغیرهای کمکی صفر و یک استفاده شده در مدل ریاضی مسأله

۶-۲- مدل ریاضی

مدل ریاضی مسأله پیشنهادی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Min} Z_1 = & \sum_{k \in K} f_k X_k \\ & + \theta \sum_{k \in K} N_k a_k X_k \\ & + \sum_{v \in V_2} \sum_{k \in K} \beta N_k (g_k + b_k Q_k) W_{0kv} \\ & + \sum_{v \in V_2} \sum_{k \in K} \sum_{j \in S} \sum_{i \in S} \beta N_k C_{ij} W_{ijv} R_{kv} \\ & + \theta h \sum_{k \in K} t_k \left(\sum_{i \in I} \mu_i Y_{ik} - N_k Q_k \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & + \theta h Z_\alpha \sum_{k \in K} t_k \sqrt{L_k \sum_{i \in I} \sigma_i^2 Y_{ik}} \\ & + \theta h \sum_{k \in K} (1-t_k) (N_k Q_k - \sum_{i \in I} \mu_i Y_{ik}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \theta h Z_\alpha \sum_{k \in K} (1-t_k) (1-t'_k) \left(\sqrt{L_k \sum_{i \in I} \sigma_i^2 Y_{ik}} - (N_k Q_k - \sum_{i \in I} \mu_i Y_{ik}) \right) \\ \text{Min} Z_2 = & \sum_{v \in V_1} \sum_{k \in K} \gamma_v \left(\rho_{0v} W_{0kv} + \left(\frac{\rho_v^* - \rho_{0v}}{V_v^{cap}} \right) V_{0kv} \right) N_k d_k \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & + \sum_{v \in V_2} \sum_{k \in K} \sum_{j \in S} \sum_{i \in S} \gamma_v \left(\rho_{0v} W_{ijv} + \left(\frac{\rho_v^* - \rho_{0v}}{V_v^{cap}} \right) V_{ijv} \right) N_k d_{ij} R_{kv} \end{aligned}$$

Subject to:

$$Y_{ik} \leq X_k \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{v \in V_2} \sum_{j \in S} W_{ijv} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$M_{iv} - M_{jv} + (|I| \times W_{ijv}) \leq |I| - 1 \quad \forall i, j \in I, \forall v \in V_2 \quad (6)$$

$$\sum_{j \in S} W_{ijv} - \sum_{j \in S} W_{jiv} = 0 \quad \forall i \in S, \forall v \in V_2 \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} W_{kiv} \leq 1 \quad \forall v \in V_2 \quad (8)$$

$$\sum_{j \in S} W_{ijv} + \sum_{j \in S} W_{kiv} - Y_{ik} \leq 1 \quad \forall k \in K, \forall i \in I, \forall v \in V_2 \quad (9)$$

$$\left(\sum_{v \in V_2} \sum_{j \in S} V_{ijv} - \sum_{v \in V_2} \sum_{j \in S} V_{jiv} \right) \cdot Y_{ik} = \left(\frac{\mu_i}{N_k} \right) \cdot Y_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (10)$$

$$V_{0kv} = Q_k \cdot W_{0kv} \quad \forall k \in K, \forall v \in V_1 \quad (11)$$

$$V_{ijv} \leq V_v^{cap} \cdot W_{ijv} \quad \forall i, j \in S, \forall v \in V_2, \forall k \in K \quad (12)$$

$$V_{0kv} \leq V_v^{cap} \cdot W_{0kv} \quad \forall k \in K, \forall v \in V_1 \quad (13)$$

$$\sum_{v \in V_1} W_{0kv} = X_k \quad \forall k \in K \quad (14)$$

$$R_{kv} = \sum_{i \in I} W_{kiv} \quad \forall k \in K, \forall v \in V_2 \quad (15)$$

$$Bt_k \geq \left(\sum_i \mu_i Y_{ik} - N_k Q_k \right) \quad \forall k \in K \quad (16)$$

$$-(1-t_k) B \leq \left(\sum_i \mu_i Y_{ik} - N_k Q_k \right) \quad \forall k \in K \quad (17)$$

$$Bt'_k \geq \left(N_k Q_k - \sum_i \mu_i Y_{ik} \right) - \sqrt{L_k \sum_i \sigma_i^2 Y_{ik}} \quad \forall k \in K \quad (18)$$

معادله (۱۴) برای هر مرکز توزیع تنها یک خودرو (مشروط به استقرار آن مرکز توزیع) در لایه اول تخصیص می‌دهد.

معادله (۱۵) بیان می‌کند خودروی v در صورتی به DC_k تخصیص داده می‌شود که تقاضای R_i که به DC_k تخصیص داده شده توسط خودروی v برآورده شود.

معادله‌های (۱۶) تا (۱۹) بیان ریاضی شکل (۲) است.

معادله (۲۰) متغیرهای صفر - یک مدل ارائه شده می‌باشد.

معادله (۲۱) متغیرهای غیرمنفی مدل ارائه شده می‌باشد.

۴	۷	۱	۶	۲	۳	۵
۲	۲	۲	۱	۱	۲	۱
۱	۱					

شکل (۳): نمونه از کروموزوم به کار رفته برای مسأله پیشنهادی

۳- روش‌های حل

از آنجایی که مسائل مکان‌یابی مسیریابی در دسته مسایل NP-hard هستند مسأله ما نیز در زمره مسائل NP-hard قرار دارد. لذا ما از سه الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل پیشنهادی استفاده می‌کنیم که این الگوریتم‌ها شامل: الگوریتم تکاملی قدرت پارتو (SPEA-II)، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MOPSO) می‌باشد.

۳-۱- نمایش جواب‌های مسأله

اولین مرحله در استفاده از الگوریتم‌های تکاملی، چگونگی نمایش جواب‌های مسأله است، یعنی به‌جای این‌که بر روی پارامترها یا متغیرهای مسأله کار کند، با شکل کد شده آن‌ها سروکار دارد. رشته یا دنباله‌ای از ژن‌ها که به‌عنوان شکل کد شده یک جواب از مسأله مورد نظر می‌باشد، کروموزوم نامیده می‌شود. در الگوریتم‌های پیشنهادی برای نمایش یک جواب مسأله کروموزوم به صورت سه رشته عدد صحیح مجزا کد شده است:

۱- رشته مربوط به توالی سرویس‌دهی به مشتری‌ها: این رشته به طول تعداد مشتری‌ها بوده و مؤلفه‌های آن شماره مشتری‌ها با اولویت متناظر با شماره مؤلفه را نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال اگر درایه اول از این رشته مقدار ۴ را به خود بگیرد بیان‌کننده این است که اولین اولویت سرویس‌دهی متعلق به مشتری ۴ است.

۲- رشته مرتبط با تخصیص مشتری به وسایل نقلیه: این رشته نیز به طول تعداد مشتری‌ها، آرایه می‌شود. هر درایه، عددی برابر با شماره یک وسیله نقلیه (مسیر) به خود می‌گیرد. این شماره نشان می‌دهد.

مشتری که در اولویت متناظر با آن درایه است توسط کدام وسیله نقلیه سرویس‌دهی می‌شود. به‌عنوان مثال چنانچه درایه اول این رشته ۳ باشد بیان‌کننده این است که مشتری که در اولویت اول سرویس‌دهی است - فرضاً مشتری ۴ برای مورد قبل - توسط وسیله نقلیه ۳ سرویس‌دهی می‌شود.

$$-B(1-t_k) < \left(\left(N_k Q_k - \sum_i \mu_i Y_{ik} \right) - \sqrt{L_k \sum_i \sigma_i^2 Y_{ik}} \right) \forall k \in K \quad (19)$$

$$X_k, Y_{ik}, W_{ijv}, t_k, \tau_k \in \{0,1\} \quad (20)$$

$$N_k, Q_k, V_{ijv}, M_{iv} \geq 0 \quad (21)$$

در معادله (۱) تابع هدف اول مجموع هزینه‌های مورد انتظار سیستم را کمینه می‌کند که این هزینه‌ها به ترتیب شامل: هزینه سالیانه استقرار مراکز توزیع، هزینه ثابت سفارش‌دهی، هزینه حمل و نقل مستقیم از تأمین‌کننده به مراکز توزیع، هزینه مسیریابی، هزینه نگهداری موجودی فعال درحالت (۱) نشان داده شده در شکل (۲)، هزینه نگهداری ذخیره اطمینان در حالت (۲)، هزینه موجودی فعال در حالت (۳) و هزینه ذخیره اطمینان در حالت (۵) می‌باشد.

در معادله (۲) جمله اول تابع هدف دوم میزان انتشار کربن سالانه ناشی حمل و نقل مستقیم در لایه اول و جمله دوم میزان انتشار گاز کربن ناشی از ارسال خودرو از مرکز توزیع برای سرویس‌دهی به خرده‌فروشان را کمینه می‌سازد.

معادله (۳) بیان می‌کند که مشتری i در صورتی به مرکز توزیع k تخصیص داده می‌شود که مرکز توزیع k مستقر شده باشد.

معادله (۴) تضمین می‌کند که هر خرده‌فروش دقیقاً به یک مرکز توزیع تخصیص داده می‌شود.

معادله (۵) تضمین می‌کند که هر مشتری دقیقاً بر روی یک مسیر خودرو واقع است.

معادله (۶) محدودیت حذف زیرتور است و تضمین می‌کند هر تور باید شامل مرکز توزیعی که از آن سرچشمه می‌گیرد باشد. به بیان بهتر هر تور باید شامل یک مرکز توزیع و تعدادی خرده‌فروش باشد.

معادله (۷) محدودیت حفظ جریان است و بیان می‌کند که هر زمان که یک خودرو وارد یک گره مشتری یا مرکز توزیع می‌شود باید آن را مجدداً ترک کند و این تضمین می‌کند مسیرها پیوسته و ممتد باقی می‌ماند.

معادله (۸) تضمین می‌کند که هر مسیر تنها شامل یک مرکز توزیع است.

معادله (۹) پیوند مؤلفه‌های تخصیص و مسیریابی مدل است و بیان می‌کند R_i در صورتی به DC_k تخصیص داده می‌شود که خودروی v که R_i را مشاهده می‌کند سفرش را از DC_k آغاز کرده باشد.

معادله (۱۰) بیان می‌کند که میزان بار کاهش‌یافته خودرو v پس از مشاهده R_i برابر میزان تقاضای آن R_i در آن دوره است.

معادله (۱۱) بیان‌کننده مقدار محصولی است که از تأمین‌کننده به مرکز توزیع آورده می‌شود که این مقدار محصول برابر مقدار سفارش آن مرکز توزیع است.

معادله (۱۲) و (۱۳) محدودیت ظرفیت حمل هر خودرو در لایه‌های اول و دوم می‌باشد.

$$R(i) = \sum_{j \in Q_i \wedge i > j} S(j) \quad (22)$$

$$S(i) = |\{j \in Q_i \wedge i > j\}|$$

۲- با استفاده از مقادیر $S(i)$ ، اندازه برازندگی خام برای هر عضو جمعیت به دست می‌آید که برابر خواهد بود با مجموع اندازه قدرت تمامی جواب‌هایی که آن را مغلوب کرده‌اند. همان‌گونه که مشخص است مقادیر کمتر برای $R(i)$ مطلوب‌تر خواهد بود؛

$$R(i) = \sum_{j \in Q_i \wedge i > j} S(j) \quad (23)$$

۳- میزان تراکم بین جواب‌ها از طریق روش نزدیک‌ترین همسایه (KNN) محاسبه می‌شود؛ بدین منظور ابتدا فاصله جواب i از تک‌تک جواب‌ها در جمعیت اولیه و آرشیو مشخص شده و سپس این فواصل به‌صورت صعودی مرتب می‌گردد. فاصله جوابی که در مرتبه k ام قرار گرفته به‌عنوان δ_i^k پذیرفته می‌شود. اندازه‌گیری این فواصل معمولاً مطابق معادله (۲۴) به روش اقلیدسی صورت می‌گیرد. مقدار k نیز از معادله $k = \sqrt{N + \bar{N}}$ به دست می‌آید که N برابر تعداد جمعیت اولیه و \bar{N} تعداد جمعیت آرشیو می‌باشد. تراکم نقطه i بر اساس معادله (۲۵) محاسبه خواهد شد؛

$$\text{distance}_{i,j} = \sqrt{\sum_{n=1}^2 (f_n^i - f_n^j)^2} \quad (24)$$

$$D(i) = \frac{1}{\delta_i^k + 2} \quad (25)$$

۴- سرانجام مقدار برازندگی نهایی برای هر جواب به‌صورت زیر حاصل می‌شود؛

$$F(i) = R(i) + D(i) \quad (26)$$

برای یک عضو نامغلوب $F(i) < 1$ بوده و عضو مغلوب دارای $F(i) \geq 1$ است.

نکته مهمی که در الگوریتم SPEA-II می‌بایست حتماً مورد توجه قرار گیرد لزوم پر شدن مجموعه آرشیو به‌اندازه ظرفیت آن (\bar{N}) می‌باشد. بر این اساس نخست همه جواب‌های نامغلوب جمعیت Q_t به \bar{P}_{t+1} منتقل می‌شود. در صورتی که تعداد اعضای انتقال یافته برابر با ظرفیت آرشیو نباشد دو حالت پیش می‌آید که یکی از سیاست‌های ذیل برای آن اعمال خواهد شد:

- اگر تعداد جواب‌های نامغلوب ذخیره شده در آرشیو از ظرفیت آن کمتر باشد ($|\bar{P}_{t+1}| < \bar{N}$)، باید تعداد $|\bar{P}_{t+1}| - \bar{N}$ از بهترین جواب‌های مغلوب موجود در Q_t به \bar{P}_{t+1} اضافه شود.
 - اگر تعداد جواب‌های نامغلوب ذخیره شده در آرشیو از ظرفیت آن بیشتر باشد ($|\bar{P}_{t+1}| > \bar{N}$)، می‌بایست سیاست تسطیح صورت گیرد. بدین گونه که تعداد $|\bar{P}_{t+1}| - \bar{N}$ جواب موجود در تراکم بیشتر از آرشیو \bar{P}_{t+1} حذف گردند.
- در آخر شرط لازم برای پایان یافتن اجرای الگوریتم بررسی می‌گردد که در صورت محقق شدن آن، الگوریتم متوقف شده و اعضای نامغلوب آرشیو (\bar{P}_{t+1}) به‌عنوان جواب‌های نهایی گزارش می‌شود؛ در غیر این صورت از میان جواب‌های موجود در آرشیو

۳- رشته مربوط به تخصیص وسایل نقلیه به توزیع کننده‌ها: این رشته نیز به طول تعداد وسایل نقلیه است و هر درایه آن عددی برابر با شماره یک توزیع کننده به‌خود می‌گیرد. این عدد نشان می‌دهد که وسیله نقلیه (مسیر) متناظر با آن درایه از کدام مرکز توزیع بارگیری می‌شود. به‌عنوان مثال اگر درایه اول این آرایه مقدار ۲ داشته باشد، بیان می‌کند که وسیله نقلیه اول از مرکز توزیع شماره ۲ بارگیری می‌شود. شکل (۳) نمونه‌ای از یک کروموزوم را برای حالت ۷ خرده‌فروش و ۲ مرکز توزیع و ۲ خودرو نشان می‌دهد. مقدار سفارش هر مرکز توزیع برابر $\mu_i / N_j = \sum \mu_i / N_j$ در نظر گرفته شده که μ_i متوسط تقاضای سالانه مشتریان تخصیص یافته به DC_j و N_j تعداد دفعات سفارش مرکز توزیع j است که به طور یکنواخت در بازه [1-12] تولید می‌شود.

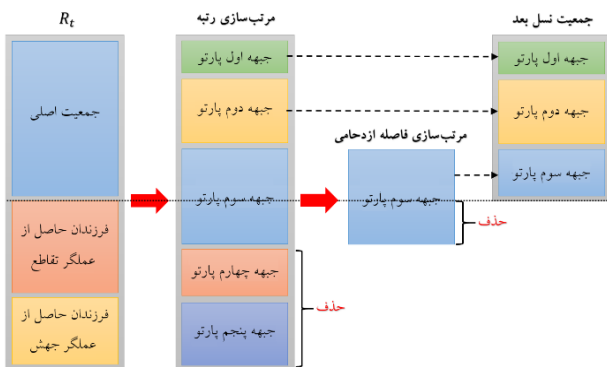
۳-۲- الگوریتم SPEA-II

در سال ۱۹۹۹ زیتزلر و تیله [۱۲] الگوریتمی تکاملی قدرت پارتو (SPEA) را معرفی نمودند که جهت یافتن مجموعه جواب‌های نزدیک به مجموعه بهینه پارتو از ترکیب چندین روش و تکنیک‌های جدیدی استفاده می‌کرد؛ اما اساس آن بر الگوریتم ژنتیک بنا شده بود و تمام مراحل آن را طی می‌نمود. در الگوریتم SPEA همانند بسیاری از الگوریتم‌های تکاملی دیگر، در کنار جمعیت جواب‌های مسئله از جمعیت دیگری (جمعیت جانبی جواب‌ها) به‌منظور حفظ جواب‌های بهینه در طول نسل‌های الگوریتم کمک گرفته شد. همچنین جهت حفظ پراکندگی و حذف جواب‌های اضافی رویکرد خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت؛ اما این الگوریتم در زمینه انتخاب والدین و تسطیح دارای نقاط ضعفی مشهودی بود. لذا زیتزلر و همکاران الگوریتم تکاملی قدرت پارتو (SPEA) را بهبود داده و آن را به‌عنوان SPEA-II برگزیدند [۱۳]. این الگوریتم برخلاف SPEA از رویکرد جدیدی برای تعریف برازندگی استفاده می‌کرد که در آن، هم مجموعه جواب‌های مغلوب‌شونده و هم مجموعه جواب‌های مغلوب‌کننده تأثیر گذارند. همچنین در این الگوریتم به منظور ایجاد تنوع از مفهوم همسایگی بهره گرفته شد و یک روش حذف نیز جهت تسطیح اعضای آرشیو به الگوریتم اضافه گردید. رویه کلی الگوریتم SPEA-II به این صورت زیر است که در ابتدا مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها به‌عنوان جمعیت اولیه (P_0) تولید می‌شوند و مجموعه‌ای تحت عنوان آرشیو (\bar{P}_0) جهت ذخیره‌سازی جواب‌های پارتو، ایجاد می‌گردد. پس از رمزگشایی هر کروموزوم، توابع هدف برای آن محاسبه می‌گردد (ارزیابی). بعد از آن، جمعیت تولید شده (P_t) و جمعیت آرشیو قبلی (\bar{P}_t) با هم ادغام شده و جمعیت Q_t را تشکیل می‌دهند ($Q_t = P_t \cup \bar{P}_t$). حال مقدار برازندگی هر جواب در Q_t از طریق مراحل زیر به‌دست می‌آید:

۱- ابتدا می‌بایست اندازه قدرت را برای هر عضو از جمعیت به صورت زیر تعیین شود؛

می‌شود. سپس مرتب‌سازی جمعیت انجام می‌گیرد؛ بدین معنا که اعضا بر اساس رتبه، به شکل صعودی مرتب می‌شوند. با این عمل، جواب‌ها با رتبه کمتر در سطح پایین‌تری قرار خواهند گرفت، اما در میان عضوهایی که رتبه آن‌ها با یکدیگر برابر است مرتب‌سازی دیگری بر مبنای فاصله ازدحامی صورت خواهد گرفت. بدین ترتیب جواب‌ها با فاصله ازدحامی بیشتر در ابتدا قرار داده می‌شوند.

اکنون به‌اندازه جمعیت اولیه، اعضای از بالای جمعیت مرتب‌شده R_t انتخاب می‌گردند و جمعیت نسل بعدی را تشکیل می‌دهند. بقیه اعضای جمعیت نیز دور ریخته می‌شوند. شکل (۴) این مطلب را به‌خوبی نشان می‌دهد:



شکل (۴): مرتب‌سازی و حذف در الگوریتم NSGA-II

در آخر نیز شرط لازم برای پایان یافتن اجرای الگوریتم بررسی می‌گردد که در صورت محقق شدن آن، الگوریتم متوقف شده و در غیر این صورت انتخاب والد انجام می‌شود و الگوریتم تکرار می‌شود.

۳-۴- الگوریتم MOPSO

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه در سال ۲۰۰۴ توسط کونلو [۱۵] معرفی شد که در واقع تعمیمی از الگوریتم PSO می‌باشد. در الگوریتم ازدحام ذرات برخلاف الگوریتم ژنتیک اولاً هر پاسخ به‌جای یک کروموزوم، با یک ذره شناسایی می‌شود. ثانیاً حرکتی که ذرات در فضا برای یافتن پاسخ‌های جدید انجام می‌دهند منجر به تبادل اطلاعات و همگرایی بین اعضای جمعیت می‌شود که منشاء این حرکت‌ها سه عامل زیر است:

۱. رفتاری که قبلاً این ذرات از خود نشان داده‌اند.
۲. بهترین موقعیتی که هر ذره در کل فضای جستجو تجربه کرده است. (p-best)
۳. بهترین مکانی که توسط کل اعضای جمعیت تجربه شده است. (g-best)

اولین گام در به‌کارگیری و پیاده‌سازی یک الگوریتم فراابتکاری، نمایش جواب‌های مسئله است. سپس مجموعه‌ای از ذرات به تعداد معین به‌عنوان جمعیت اولیه (p_0) تولید می‌شوند. برای هر کدام از اعضای جمعیت یک بردار سرعت در نظر گرفته شده که در ابتدای الگوریتم برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. در نهایت جواب‌ها ارزیابی می‌شود. در این مرحله بهترین موقعیتی که هر ذره تجربه کرده همین موقعیتی است که در آن واقع است. لذا موقعیت کنونی ذرات

(\bar{P}_{t+1})، دو عضو به‌تصادف انتخاب می‌شود. آنگاه میان این دو جواب مقایسه‌ای صورت گرفته و هر جوابی که از مقدار برازندگی کمتری برخوردار باشد به‌عنوان والد در نظر گرفته می‌شود و پس از انجام عمل تقاطع و جهش و ارزیابی و ادغام فرزندان تولید شده، مجدداً مراحل گفته شده تکرار می‌شود.

۳-۳- الگوریتم NSGA-II

یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم‌های موجود برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه الگوریتم NSGA-II می‌باشد که توسط دب و همکاران [۱۴] ارائه گردید. رویه کلی الگوریتم NSGA-II به این صورت زیر است که پس از مشخص نمودن یک مکانیسم مناسب جهت تبدیل هر جواب مسئله به یک کروموزوم، مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها به‌عنوان جمعیت اولیه ایجاد و ارزیابی می‌گردند. اینک تمامی جواب‌های متناظر با کروموزوم‌ها در فضای فنتیپ با یکدیگر مقایسه شده و تعداد دفعات مغلوب شدن هر کروموزوم مشخص و جبهه‌بندی می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که اعضای موجود در جبهه اول، یک مجموعه کاملاً نامغلوب توسط دیگر اعضای جمعیت فعلی خواهند بود. اعضای موجود در جبهه دوم نیز بر همین مبنای تنها توسط اعضای جبهه اول مغلوب می‌شوند و این روند به همین صورت در دسته‌های دیگر ادامه می‌یابد تا به تمام اعضای موجود در هر جبهه، یک رتبه بر مبنای شماره جبهه اختصاص داده شود. در مرحله بعد فاصله ازدحامی (تراکمی) برای هر جواب در هر جبهه محاسبه می‌شود و میزان نزدیکی جواب موردنظر را به دیگر جواب‌های آن جبهه مشخص می‌کند. هرچقدر جواب در فضای خلوت‌تری واقع شده‌باشد بدیهی است که دارای فاصله ازدحامی بیشتری خواهد بود.

برای تعیین فاصله ازدحامی جوابی مانند i متوسط فاصله آن از دو جواب مجاورش (درون یک جبهه) به ازای هر تابع هدف (m)، محاسبه گردیده و مجموع آن‌ها به‌وسیله d_i نشان داده می‌شود؛

$$d_i = \sum_{m=1}^N \frac{f_m^{i-1} - f_m^{i-2}}{f_m^{\max} - f_m^{\min}} \quad (27)$$

در الگوریتم NSGA-II انتخاب والد با استفاده از تورنمنت دودویی انجام می‌شود. در این روش از میان جواب‌های هر نسل، دو عضو به‌تصادف انتخاب شده و سپس میان این دو جواب مقایسه‌ای صورت می‌گیرد. ابتدا رتبه دو جواب با یکدیگر مقایسه شده و آنکه دارای رتبه کمتری باشد انتخاب خواهد شد؛ اما در صورتی که رتبه‌های دو جواب با هم برابر باشد معیار دوم که همان فاصله ازدحامی است ملاک عمل قرار خواهد گرفت و عضو با فاصله ازدحامی بیشتر به‌عنوان والد در نظر گرفته می‌شود. پس از انتخاب والد و انجام عمل تقاطع و جهش، جواب‌های تولید شده ارزیابی می‌شود و فرزندان حاصل از عملگرهای تقاطع و جهش به جمعیت اصلی اضافه می‌گردند و جمعیت بزرگتر R_t بوجود می‌آید. اعضای جمعیت R_t مجدداً رتبه‌بندی شده و فاصله ازدحامی آنها محاسبه

۴- نتایج محاسباتی

در این بخش برای حل مسئله عنوان شده و ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی، ابتدا مجموعه‌ای از مسائل نمونه ایجاد می‌شوند. بعد از تنظیم پارامترها برای الگوریتم‌ها، مسائل تولید شده توسط الگوریتم‌های معرفی شده حل خواهند شد و با معرفی چند شاخص مقایسه، عملکرد الگوریتم‌ها ارزیابی می‌شود. الگوریتم‌ها در نرم‌افزار Matlab2014a با استفاده از یک کامپیوتر شخصی با پردازنده چهار هسته‌ای ۲٫۶ گیگاهرتز، CPU 3537U، حافظه اصلی ۴ GB تحت ویندوز ۷ برنامه‌نویسی شده‌اند.

۴-۱- مقادیر پارامترها

به منظور ارزیابی عملکرد مدل تعدادی مثال عددی در سایزهای کوچک، متوسط و بزرگ ایجاد می‌شود. مقادیر بعضی از این پارامترها با استناد بر مقاله [۵] در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): تولید پارامترها

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
U(400-1500)	μ_i	U(250-750)	f_k
U(10-30)	σ_i^2	U(10-15)	g_k
U(0-300)	C_{ij}	U(10-15)	a_k
U(10-14)	ρ_{0v}	U(5-10)	b_k
U(15-20)	ρ_v^*	U(6/365-10/365)	L_k
$U\left(\frac{D}{ V }, \frac{2D}{ V }\right)$	V_v^{cap}	.96۱	Z_α
U(0.25-0.75)	γ_v	U(5-10)	h

۴-۲- تنظیم پارامترها

بدیهی است که کارایی یک الگوریتم به شدت به پارامترهای آن وابسته است به گونه‌ای که پارامترهای مختلف ممکن است جواب‌های کاملاً متفاوتی با کیفیت‌های متفاوت تولید کنند. بنابراین اگر پارامترها به‌طور صحیح تنظیم نشوند الگوریتم قادر به دستیابی به جواب‌هایی با کیفیت مطلوب نمی‌باشد. جهت تنظیم کردن پارامترهای هر یک از الگوریتم‌های پیشنهادی، مسئله با سایز متوسط انتخاب شده و بهترین مجموعه پارامترها تخمین زده می‌شوند. روشی که در این پژوهش برای تنظیم پارامترها استفاده شده است تاگوچی می‌باشد. در روش تاگوچی به منظور مطالعه تعداد زیادی متغیر تصمیم با تعداد کم آزمایش‌ها، از آرایه‌های متعامد بهره گرفته می‌شود. آرایه‌های متعامد پارامترهایی را سازمان‌دهی می‌نماید که مقادیرشان باید تغییر کنند و روی فرآیند تأثیر دارند. روش تاگوچی به‌جای آنکه همه ترکیبات ممکن را آزمایش کنند تنها روی آزمایش‌های زوجی مطالعه و بررسی می‌کند. نتیجه این کار صرفه‌جویی در زمان و منابع خواهد بود. با توجه به اینکه در مسائل چندهدفه، یک جواب بهینه به‌تنهایی وجود نداشته و مجموعه‌ای از جواب‌های نامغلوب به‌عنوان بهینه در نظر گرفته می‌شوند؛ به همین خاطر از چندین شاخص جهت تنظیم

به عنوان p -best هر یک از ذرات ثبت می‌شود. در مرحله بعد اعضای نامغلوب جمعیت تعیین می‌گردد و درون آرشیوی نگهداری می‌شود. سپس با توجه به اعضای آرشیو خارجی فضای هدف مسأله (فضای فوتیپ) جدول‌بندی شده و اندیس خانه‌هایی که اعضای آرشیو خارجی در آن‌ها قرار دارند شناسایی می‌شود. هرکدام از اعضای جمعیت برای حرکت خود از میان اعضای آرشیو خارجی، یک رهبر انتخاب می‌کند. در الگوریتم MOPSO انتخاب مبتنی بر فرد نیست و انتخاب بر اساس نواحی صورت می‌پذیرد؛ یعنی به‌جای این‌که تصمیم بگیریم کدام یک از اعضای آرشیو خارجی را انتخاب کنیم فضا را جدول‌بندی کرده و تصمیم می‌گیریم کدام خانه را انتخاب کنیم به‌نحوی که احتمال انتخاب خانه‌های با جمعیت کمتر، بیشتر باشد سپس یکی از اعضای آن خانه را به تصادف انتخاب می‌کنیم. در مرحله بعد با توجه به معادله (۲۸) و (۲۹) سرعت حرکت ذرات و موقعیت آن‌ها بروز و ارزیابی می‌شود.

$$v(t+1) = \omega v(t) + c_1 r_1 (p(t) - x(t)) + c_2 r_2 (Leader(t) - x(t)) \quad (28)$$

$$x(t+1) = x(t) + v(t+1) \quad (29)$$

که در آن $x(t), v(t)$ به ترتیب سرعت و موقعیت فعلی ذره و $x(t+1), v(t+1)$ سرعت و موقعیت بروز شده ذره می‌باشد. همان p -best ذره است. در مرحله بعد باید p -best با توجه به موقعیت جدید به‌صورت زیر بروز شود؛

$$p(t+1) = \begin{cases} p(t) & p(t) < x(t+1) \\ x(t+1) & x(t+1) < p(t) \end{cases}$$

در غیر این صورت یکی به تصادف انتخاب می‌شود

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات سرعت همگرایی بالایی دارد، لذا تا حد توان باید از این سرعت همگرایی کم کرد تا مطمئن شد الگوریتم همه جای فضا را تا حد مناسبی جستجو می‌کند، به همین دلیل در اوایل الگوریتم با یک نرخ نسبتاً بالایی جهشی اتفاق می‌افتد و بعد رفته رفته این نرخ کم می‌شود. پس از آنکه هر ذره با یک نرخ مشخصی جهشی صورت پذیرفت موقعیت آن تغییر می‌کند لذا باید موقعیت جدید ارزیابی شده و بهترین خاطره شخصی هر ذره به‌روزرسانی شود. با این کار ذرات جدیدی به‌وجود می‌آید که می‌توانند بر سایر ذرات غلبه داشته باشند، لذا باید این ذرات را به آرشیو خارجی اضافه کرد و اعضای مغلوب از آرشیو خارجی حذف گردند و مجدداً فضای هدف مسأله جدول‌بندی شده و اندیس خانه‌هایی که اعضای آرشیو خارجی در آن‌ها قرار دارند شناسایی می‌شود. در صورت پر شدن آرشیو، اعضای از آن حذف می‌گردد. این حالت کاملاً عکس حالت انتخاب لیدر است، یعنی خانه‌هایی که حاوی تعداد اعضای بیشتری هستند نسبت به خانه‌های با جمعیت کمتر در اولویت برای حذف اعضایشان قرار دارند. در انتها شرط لازم برای پایان یافتن اجرای الگوریتم بررسی می‌گردد که در صورت محقق شدن آن، الگوریتم متوقف شده و در غیر این صورت مجدداً از میان اعضای آرشیو لیدر انتخاب کرده و الگوریتم تکرار می‌شود.

$$d_i = \max_j \left\{ \sum_{m=1}^M (f_m^i - f_m^j)^2 \right\} \quad (34)$$

$$DM = \sqrt{\sum_{i=1}^N d_i} \quad (35)$$

برای هر یک از پارامترهای تأثیرگذار در الگوریتم‌ها، سه سطح معرفی می‌شود. سپس به منظور انتخاب کاراترین سطح هر پارامتر به روش تاگوچی، آزمایش‌هایی توسط نرم‌افزار Minitab 17 برای هر الگوریتم طراحی می‌گردد. برای هر آزمایش شاخص‌های کارایی ذکرشده را محاسبه کرده و در نهایت پارامترهای تنظیم شده برای هر الگوریتم به صورت جدول (۲) تا (۴) گزارش می‌شود.

جدول (۲): پارامترهای تنظیم شده الگوریتم SPEA-II

SPEA-II			
درصد جهش	درصد تقاطع	جمعیت آرشیو	جمعیت اصلی
۰/۳	۰/۷	۲۰	۲۰
فشار حذف	فشار انتخاب	اندازه تورنمنت	نرخ جهش
-	-	۵	۰/۰۵

۳-۴- ارزیابی الگوریتم‌ها

پس از تنظیم پارامترها و به منظور ارزیابی عملکرد پنج الگوریتم پیشنهادی، آزمایش‌هایی روی تعدادی مسئله تولید شده در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ مطابق جدول (۵) انجام می‌شود به گونه‌ای که هر مسئله هفت مرتبه توسط هر الگوریتم حل شده و متوسط نتایج حاصله برای آزمایش‌ها به عنوان نتیجه نهایی هر شاخص در جداول (۶) تا (۸) لحاظ می‌گردد.

جدول (۳): پارامترهای تنظیم شده الگوریتم NSGA-II

NSGA-II			
درصد جهش	درصد تقاطع	جمعیت آرشیو	جمعیت اصلی
۰/۳	۰/۷	-	۲۰
فشار حذف	فشار انتخاب	اندازه تورنمنت	نرخ جهش
-	-	۲	۰/۰۵

جدول (۴): پارامترهای تنظیم شده الگوریتم MOPSO

MOPSO			
w	نرخ جهش	جمعیت آرشیو	جمعیت اصلی
۰/۵	۰/۱	۴۰	۵۰
فشار حذف	فشار انتخاب	C ₂	C ₁
۵	۳	۲	۱

جدول (۵): مسائل نمونه ایجادشده

Test Problem	Customer No.	DC No.	Vehicle No. (V ₁)	Vehicle No. (V ₂)
۱	۶	۲	۲	۲
۲	۸	۲	۲	۲
۳	۶	۳	۳	۳
۴	۸	۳	۳	۳
۵	۱۵	۴	۴	۴
۶	۲۰	۵	۵	۵
۷	۲۵	۶	۶	۶
۸	۳۰	۷	۷	۷
۹	۴۰	۹	۹	۹
۱۰	۵۰	۱۰	۱۰	۱۰

پارامترها و مقایسه کارایی استفاده می‌گردد. معیارهای متعددی در این رابطه در ادبیات موجود است که چهار شاخص زیر در این پژوهش انتخاب شده‌اند [۱۶].

۱- شاخص کیفیت (QM): معیار کیفیت، مهم‌ترین معیار مقایسه است که به سادگی در سه مرحله به دست می‌آید. ابتدا مجموعه جواب‌های نامغلوب حاصل شده الگوریتم‌ها برای یک مسئله مشخص، در یک آرشیو جدید قرار داده می‌شوند و مجدد همه آن‌ها به منظور به‌روزرسانی آرشیو دوباره مقایسه می‌شوند. سپس نسبت تعداد جواب‌های نامغلوب که به هر الگوریتم تعلق دارد به کل جواب‌های نامغلوب آرشیو بیانگر کیفیت آن الگوریتم خواهد بود. هر چه این درصد بالاتر باشد، الگوریتم از کیفیت بیشتری برخوردار است.

۲- شاخص متوسط فاصله از ایده‌آل (MID): مقدار این شاخص برابر با فاصله نقاط پارتو الگوریتم مورد بررسی از نقطه ایده‌آل می‌باشد. در این پژوهش با توجه به این که تابع هدف اول و دوم هر دو از نوع کمینه‌سازی‌اند در نتیجه نقطه ایده‌آل برابر مینیمم تابع هدف اول و مینیمم تابع هدف دوم در بین تمام الگوریتم‌ها در نظر گرفته می‌شود که در آن n برابر تعداد نقاط پارتو و همچنین $f_{i,total}^{min}$ به ترتیب بیشینه‌ترین و کمینه‌ترین مقدار توابع هدف در میان تمامی توابع هدف الگوریتم‌های مورد مقایسه می‌باشد.

در رابطه (۳۲) مختصات نقطه ایده‌آل برابر با (f_1^{best}, f_2^{best}) می‌باشد. پایین‌تر بودن مقدار این شاخص بیانگر بهتر بودن الگوریتم است.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\left(\frac{f_{i1} - f_1^{best}}{f_{1,total}^{max} - f_{1,total}^{min}} \right)^2 + \left(\frac{f_{i2} - f_2^{best}}{f_{2,total}^{max} - f_{2,total}^{min}} \right)^2}}{n} \quad (32)$$

۳- شاخص فاصله (SM): این شاخص یکنواختی مجموعه نقاط نامغلوب را در فضای حل اندازه‌گیری می‌کند. نحوه محاسبه این شاخص در رابطه (۳۳) ارائه شده است. در رابطه (۳۳) n تعداد جواب‌های پارتو و d_i فاصله اقلیدسی بین دو جواب پارتوی کناری در فضای حل می‌باشد.

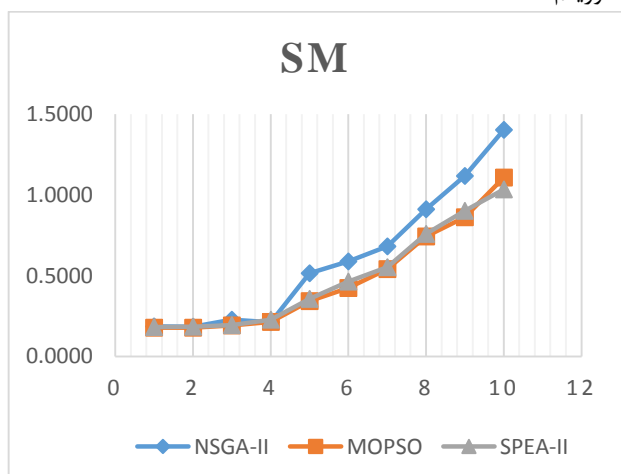
$$SM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}} \quad (33)$$

۴- شاخص پراکندگی (DM): این شاخص وسعت جواب‌های پارتوی یک الگوریتم را نشان می‌دهد. مقادیر بزرگتر این معیار بیانگر پخش بودن بهتر جواب‌ها می‌باشد. نحوه محاسبه این شاخص به صورت رابطه (۳۵) ارائه شده است. f_i^m و f_i^m مقادیر تابع هدف m ام دو جواب پارتوی i و z هستند. این شاخص وسعت جواب‌های پارتوی یک الگوریتم را نشان می‌دهد. مقادیر بزرگتر این معیار بیانگر پخش بودن بهتر جواب‌ها می‌باشد.

جدول (۶): نتایج معیارهای محاسبه شده حاصل از حل مسائل نمونه کوچک و متوسط توسط الگوریتم‌ها و حل دقیق

شماره مسئله	الگوریتم‌ها و شاخص‌ها															
	QM				SM				MID				DM			
	NSG	MOP	SPE	ϵ -c	NSG	MOP	SPE	ϵ -c	NSG	MOP	SPE	ϵ -c	NSG	MOP	SPE	ϵ -c
۱	۰.۶۰۰	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۸۵	۰.۱۷۷	۰.۱۸۵	۰.۱۶۱	۰.۳۰۲	۰.۳۰۷	۰.۳۲۰	۰.۲۹۴	۳۵۰۰	۳۵۴۵	۳۵۳۱	۳۶۴۸
	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۸۳	۰.۱۷۷	۰.۱۸۵	۰.۱۶۱	۰.۳۰۷	۰.۳۲۱	۰.۳۲۶	۰.۲۹۴	۳۵۰۳	۳۵۵۹	۳۵۵۲	۳۶۴۸
	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۸۳	۰.۱۷۷	۰.۱۷۶	۰.۱۶۱	۰.۳۳۲	۰.۳۲۴	۰.۳۵۹	۰.۲۹۴	۳۵۱۷	۳۵۹۴	۳۵۵۴	۳۶۴۸
	۰.۶۰۰	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۸۵	۰.۱۷۸	۰.۱۷۹	۰.۱۶۱	۰.۳۴۵	۰.۳۲۹	۰.۳۶۹	۰.۲۹۴	۳۵۷۶	۳۶۰۴	۳۵۵۹	۳۶۴۸
	۰.۶۰۰	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۸۳	۰.۱۸۲	۰.۱۷۹	۰.۱۶۱	۰.۳۴۶	۰.۳۳۸	۰.۳۷۴	۰.۲۹۴	۳۵۸۷	۳۶۱۸	۳۶۰۹	۳۶۴۸
	۰.۸۰۰	۰.۶۰۰	۰.۸۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۸۳	۰.۱۷۷	۰.۱۸۶	۰.۱۶۱	۰.۳۵۰	۰.۳۴۰	۰.۳۷۷	۰.۲۹۴	۳۵۹۵	۳۶۳۴	۳۶۲۸	۳۶۴۸
	۰.۴۰۰	۰.۸۰۰	۰.۶۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۹۵	۰.۱۷۸	۰.۱۸۷	۰.۱۶۱	۰.۳۵۰	۰.۳۴۸	۰.۳۸۲	۰.۲۹۴	۳۶۱۲	۳۶۴۳	۳۶۳۲	۳۶۴۸
۲	۰.۶۶۷	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۱.۰۰۰	۰.۱۸۴	۰.۱۷۸	۰.۱۸۶	۰.۱۶۸	۰.۳۶۴	۰.۳۵۵	۰.۳۹۵	۰.۳۰۶	۳۶۲۱	۳۶۷۵	۳۶۵۹	۳۷۹۰
	۰.۶۶۷	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۱.۰۰۰	۰.۱۸۲	۰.۱۷۶	۰.۱۸۶	۰.۱۶۸	۰.۳۷۷	۰.۳۶۱	۰.۴۱۹	۰.۳۰۶	۳۶۶۱	۳۷۰۸	۳۶۸۲	۳۷۹۰
	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۱.۰۰۰	۰.۱۸۲	۰.۱۷۶	۰.۱۷۳	۰.۱۶۸	۰.۳۸۱	۰.۳۶۶	۰.۴۲۹	۰.۳۰۶	۳۶۷۰	۳۷۱۲	۳۷۰۲	۳۷۹۰
	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۰.۶۶۶	۱.۰۰۰	۰.۱۸۳	۰.۱۷۵	۰.۱۸۹	۰.۱۶۸	۰.۳۸۷	۰.۳۸۴	۰.۴۳۶	۰.۳۰۶	۳۶۷۲	۳۷۲۵	۳۷۲۴	۳۷۹۰
	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۱.۰۰۰	۰.۱۸۲	۰.۱۸۶	۰.۱۷۵	۰.۱۶۸	۰.۳۸۷	۰.۳۹۱	۰.۴۳۸	۰.۳۰۶	۳۶۹۳	۳۷۳۹	۳۷۳۹	۳۷۹۰
	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۱.۰۰۰	۰.۱۸۴	۰.۱۷۲	۰.۱۸۸	۰.۱۶۸	۰.۳۹۱	۰.۳۹۲	۰.۴۴۵	۰.۳۰۶	۳۷۱۲	۳۷۷۳	۳۷۶۱	۳۷۹۰
	۰.۸۳۳	۰.۸۳۳	۰.۶۶۶	۱.۰۰۰	۰.۱۸۶	۰.۱۷۸	۰.۱۸۶	۰.۱۶۸	۰.۳۹۷	۰.۳۹۴	۰.۴۵۵	۰.۳۰۶	۳۷۳۰	۳۷۸۸	۳۷۷۰	۳۷۹۰
۳	۰.۳۷۵	۰.۵۰۰	۰.۳۷۵	۱.۰۰۰	۰.۲۳۵	۰.۱۸۸	۰.۱۹۶	۰.۱۷۳	۰.۳۹۹	۰.۴۱۷	۰.۴۵۸	۰.۳۶۹	۳۷۳۱	۳۸۰۳	۳۷۷۱	۳۸۴۰
	۰.۳۷۵	۰.۵۰۰	۰.۳۷۵	۱.۰۰۰	۰.۲۴۹	۰.۱۸۹	۰.۱۹۶	۰.۱۷۳	۰.۴۰۹	۰.۴۲۰	۰.۴۵۹	۰.۳۶۹	۳۷۳۵	۳۸۱۷	۳۷۷۲	۳۸۴۰
	۰.۵۰۰	۰.۳۷۵	۰.۳۷۵	۱.۰۰۰	۰.۲۴۶	۰.۱۸۹	۰.۱۹۳	۰.۱۷۳	۰.۴۱۸	۰.۴۲۰	۰.۴۶۱	۰.۳۶۹	۳۷۳۶	۳۸۲۲	۳۷۹۱	۳۸۴۰
	۰.۳۷۵	۰.۳۷۵	۰.۳۷۵	۱.۰۰۰	۰.۱۹۶	۰.۱۸۸	۰.۱۷۷	۰.۱۷۳	۰.۴۳۷	۰.۴۲۰	۰.۴۶۲	۰.۳۶۹	۳۸۰۱	۳۸۲۳	۳۸۰۶	۳۸۴۰
	۰.۳۷۵	۰.۳۷۵	۰.۳۷۵	۱.۰۰۰	۰.۲۴۲	۰.۱۹۶	۰.۱۹۲	۰.۱۷۳	۰.۴۴۶	۰.۴۴۸	۰.۴۶۶	۰.۳۶۹	۳۸۰۳	۳۸۳۱	۳۸۱۳	۳۸۴۰
	۰.۳۷۵	۰.۵۰۰	۰.۳۷۵	۱.۰۰۰	۰.۱۹۴	۰.۱۸۷	۰.۱۹۷	۰.۱۷۳	۰.۴۵۰	۰.۴۵۳	۰.۴۸۰	۰.۳۶۹	۳۸۳۳	۳۸۳۱	۳۸۱۹	۳۸۴۰
	۰.۵۰۰	۰.۵۰۰	۰.۵۰۰	۱.۰۰۰	۰.۲۳۲	۰.۱۹۸	۰.۱۹۹	۰.۱۷۳	۰.۴۵۲	۰.۴۶۸	۰.۴۸۳	۰.۳۶۹	۳۸۳۷	۳۸۳۹	۳۸۲۲	۳۸۴۰
۴	۰.۷۵۰	۱.۰۰۰	۰.۸۷۵	-	۰.۲۰۵	۰.۲۰۴	۰.۲۱۵	-	۰.۴۵۵	۰.۴۷۵	۰.۴۸۳	-	۳۸۶۰	۳۸۴۱	۳۸۲۳	-
	۰.۷۱۴	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	-	۰.۲۰۶	۰.۲۰۶	۰.۲۳۶	-	۰.۴۵۷	۰.۴۷۵	۰.۴۸۳	-	۳۸۶۹	۳۸۵۴	۳۸۶۰	-
	۰.۷۱۴	۰.۸۵۷	۰.۸۵۷	-	۰.۲۰۶	۰.۲۱۸	۰.۲۳۹	-	۰.۴۵۸	۰.۴۷۶	۰.۵۰۷	-	۳۸۸۵	۳۸۸۲	۳۸۸۱	-
	۰.۸۷۵	۰.۸۷۵	۰.۸۷۵	-	۰.۲۰۶	۰.۲۰۵	۰.۲۳۸	-	۰.۴۷۱	۰.۴۸۴	۰.۵۱۰	-	۳۸۹۰	۳۸۸۵	۳۹۱۶	-
	۰.۷۱۴	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	-	۰.۲۱۶	۰.۲۲۳	۰.۲۴۴	-	۰.۴۸۶	۰.۴۸۴	۰.۵۱۷	-	۳۸۹۲	۳۹۲۱	۳۹۳۵	-
	۰.۷۵۰	۰.۷۵۰	۰.۷۵۰	-	۰.۲۲۴	۰.۲۱۶	۰.۲۰۸	-	۰.۵۰۲	۰.۴۸۹	۰.۵۲۳	-	۳۹۲۲	۳۹۵۸	۳۹۶۹	-
	۰.۷۵۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	-	۰.۲۱۰	۰.۲۲۰	۰.۲۰۵	-	۰.۵۱۰	۰.۴۹۴	۰.۵۳۳	-	۳۹۵۸	۳۹۷۲	۳۹۹۶	-

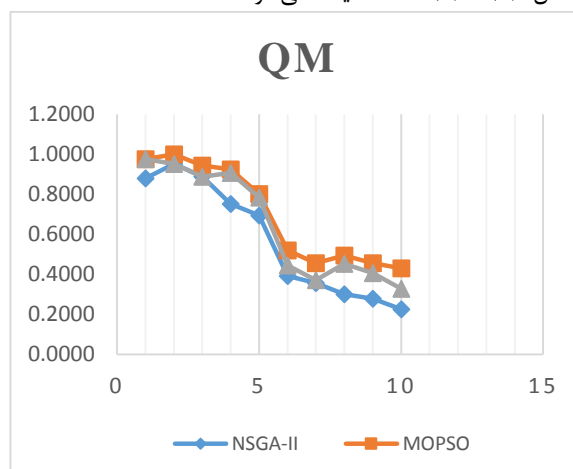
نسبت به شاخص کیفیت دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها است.



شکل (۶): نمودار مقادیر شاخص SM حاصل از حل مسائل نمونه

با توجه به شکل (۶) که یکنواختی جواب‌ها را نشان می‌دهد الگوریتم‌های MOPSO و SPEA-II عملکرد تقریباً یکسانی را از خود نشان می‌دهند.

بعد از انجام تمامی آزمایش‌ها، مطابق جدول (۸) متوسط نتایج حاصله برای ۱۰ مسئله نمونه، محاسبه شده و نتیجه نهایی هر شاخص تعیین می‌گردد. سپس به منظور تحلیل کارایی الگوریتم‌ها، مقادیر به دست آمده به ازای هر شاخص مطابق آنچه در نمودارهای اشکال (۵) تا (۸) آمده مقایسه می‌شود.



شکل (۵): نمودار مقادیر شاخص QM حاصل از حل مسائل نمونه

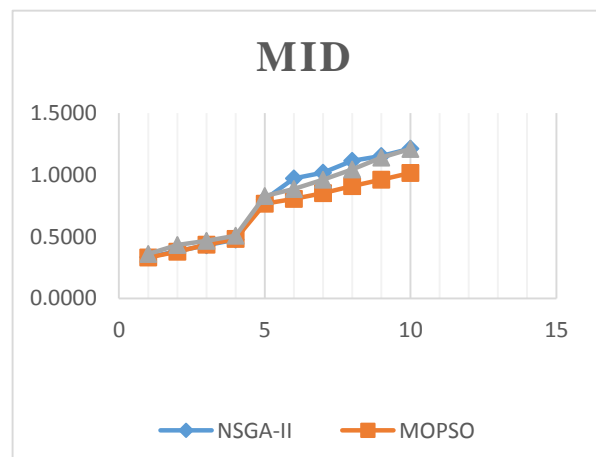
همان‌طور که در شکل (۵) می‌بینیم الگوریتم MOPSO

جدول (۷): نتایج معیارهای محاسبه شده حاصل از حل مسائل نمونه بزرگ توسط الگوریتم‌ها

شماره مسئله	الگوریتم‌ها و شاخص‌ها											
	QM			SM			MID			DM		
	NSG	MOP	SPE	NSG	MOP	SPE	NSG	MOP	SPE	NSG	MOP	SPE
۵	۰.۷۰۰	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۰.۴۸۴	۰.۳۳۳	۰.۳۶۷	۰.۷۶۱	۰.۷۵۱	۰.۷۸۵	۶۴۸۹	۶۳۵۱	۸۰۳۲
	۰.۷۰۰	۰.۷۰۰	۰.۸۰۰	۰.۴۹۶	۰.۳۶۴	۰.۳۵۵	۰.۷۷۸	۰.۷۵۲	۰.۸۰۷	۶۷۳۴	۶۶۲۳	۸۰۴۰
	۰.۶۶۷	۰.۸۸۹	۰.۷۷۸	۰.۵۲۵	۰.۳۲۳	۰.۳۲۲	۰.۷۹۰	۰.۷۵۹	۰.۸۲۷	۶۸۹۸	۶۸۶۲	۸۲۶۵
	۰.۶۶۷	۰.۸۸۹	۰.۷۷۸	۰.۴۹۶	۰.۳۵۶	۰.۳۵۴	۰.۸۰۹	۰.۷۶۸	۰.۸۳۶	۷۱۶۷	۶۹۷۴	۸۴۴۶
	۰.۷۰۰	۰.۹۰۰	۰.۹۰۰	۰.۴۸۳	۰.۳۲۳	۰.۳۹۹	۰.۸۱۶	۰.۷۷۳	۰.۸۴۷	۷۲۶۳	۷۱۰۵	۸۵۳۹
	۰.۷۰۰	۰.۸۰۰	۰.۸۰۰	۰.۶۰۶	۰.۳۶۶	۰.۳۷۸	۰.۸۲۰	۰.۷۷۶	۰.۸۵۱	۷۳۳۰	۷۱۵۷	۸۶۴۲
	۰.۷۲۷	۰.۶۳۶	۰.۶۳۶	۰.۵۰۵	۰.۳۳۴	۰.۳۲۵	۰.۸۳۲	۰.۷۹۳	۰.۸۵۵	۷۴۹۰	۷۲۰۳	۸۶۴۴
	۰.۴۱۷	۰.۵۰۰	۰.۴۱۷	۰.۶۰۲	۰.۴۰۶	۰.۴۳۷	۰.۹۳۴	۰.۷۹۵	۰.۸۵۷	۷۵۲۳	۷۲۳۰	۸۷۵۰
	۰.۴۱۷	۰.۵۰۰	۰.۴۱۷	۰.۵۷۷	۰.۴۰۲	۰.۴۴۷	۰.۹۶۷	۰.۷۹۵	۰.۸۷۱	۷۹۹۳	۷۴۰۰	۸۷۵۵
	۰.۴۶۴	۰.۴۵۵	۰.۳۶۴	۰.۵۸۷	۰.۴۰۳	۰.۴۲۷	۰.۹۶۹	۰.۸۰۴	۰.۸۸۰	۸۰۱۲	۷۵۰۳	۸۹۴۵
۶	۰.۳۰۰	۰.۶۰۰	۰.۵۰۰	۰.۶۳۲	۰.۴۳۰	۰.۴۸۵	۰.۹۳۳	۰.۸۰۵	۰.۸۹۲	۸۰۷۶	۷۶۵۳	۸۹۷۷
	۰.۴۱۷	۰.۵۰۰	۰.۵۰۰	۰.۵۸۰	۰.۴۳۵	۰.۵۵۳	۰.۹۸۰	۰.۸۰۷	۰.۸۹۲	۸۱۷۳	۷۶۵۶	۹۰۳۲
	۰.۴۱۷	۰.۵۸۳	۰.۵۰۰	۰.۵۶۶	۰.۴۱۴	۰.۴۴۸	۰.۹۸۰	۰.۸۱۶	۰.۸۹۶	۸۱۷۴	۷۷۰۰	۹۲۵۳
	۰.۴۱۷	۰.۵۰۰	۰.۴۱۷	۰.۵۷۷	۰.۴۷۶	۰.۴۴۹	۰.۹۹۱	۰.۸۲۴	۰.۹۰۶	۸۳۲۶	۷۸۱۷	۹۵۵۶
	۰.۳۵۷	۰.۵۰۰	۰.۳۵۷	۰.۶۷۵	۰.۵۲۵	۰.۵۲۴	۰.۹۹۱	۰.۸۲۵	۰.۹۱۵	۸۳۳۵	۷۹۳۰	۹۹۰۴
	۰.۴۲۹	۰.۴۲۹	۰.۴۲۹	۰.۶۸۲	۰.۵۳۲	۰.۵۴۱	۰.۹۹۸	۰.۸۳۸	۰.۹۳۳	۸۴۲۷	۸۱۴۸	۹۹۸۵
	۰.۴۶۲	۰.۳۸۵	۰.۳۸۵	۰.۷۱۴	۰.۵۲۵	۰.۵۶۹	۱.۰۰۱	۰.۸۴۴	۰.۹۵۵	۸۴۷۵	۸۴۱۷	۱۰۰۹۴
	۰.۳۸۵	۰.۵۳۹	۰.۲۳۱	۰.۶۷۴	۰.۵۶۶	۰.۵۷۹	۱.۰۱۱	۰.۸۶۱	۰.۹۶۶	۸۶۱۷	۸۵۵۷	۱۰۳۱۴
	۰.۲۷۳	۰.۴۵۵	۰.۴۵۵	۰.۶۶۳	۰.۵۴۶	۰.۵۶۳	۱.۰۲۰	۰.۸۶۱	۰.۹۷۲	۸۷۳۶	۸۶۲۴	۱۰۳۹۷
	۰.۲۸۶	۰.۴۲۹	۰.۳۵۷	۰.۶۷۶	۰.۵۴۵	۰.۵۴۳	۱.۰۴۲	۰.۸۶۳	۰.۹۸۷	۹۰۶۰	۸۸۰۵	۱۰۴۲۶
۷	۰.۳۰۸	۰.۴۶۲	۰.۳۸۵	۰.۶۹۰	۰.۵۳۳	۰.۵۴۶	۱.۰۶۴	۰.۸۷۲	۱.۰۰۸	۹۳۵۸	۹۰۵۷	۱۰۶۶۱
	۰.۲۸۶	۰.۵۰۰	۰.۴۲۹	۰.۸۹۳	۰.۷۳۳	۰.۷۴۶	۱.۰۹۹	۰.۸۷۴	۱.۰۲۵	۱۱۳۵۹	۱۰۷۷۳	۱۲۴۸۳
	۰.۳۰۸	۰.۵۳۹	۰.۳۸۵	۰.۹۰۳	۰.۷۱۳	۰.۷۵۶	۱.۱۰۲	۰.۸۷۵	۱.۰۲۶	۱۱۴۰۷	۱۰۷۷۸	۱۲۵۸۶
	۰.۳۵۷	۰.۵۰۰	۰.۴۲۹	۰.۹۱۶	۰.۷۲۷	۰.۷۴۷	۱.۱۰۴	۰.۸۹۳	۱.۰۳۹	۱۱۴۲۶	۱۰۹۳۹	۱۲۷۸۸
	۰.۳۰۸	۰.۴۶۲	۰.۴۶۲	۰.۹۳۶	۰.۷۲۶	۰.۷۴۹	۱.۱۱۵	۰.۹۱۶	۱.۰۴۸	۱۱۵۸۷	۱۱۰۴۵	۱۲۸۱۳
	۰.۳۳۳	۰.۵۸۳	۰.۵۰۰	۰.۸۹۶	۰.۷۹۰	۰.۷۶۰	۱.۱۱۸	۰.۹۲۲	۱.۰۵۱	۱۱۶۲۳	۱۱۰۷۸	۱۳۴۰۳
	۰.۲۱۴	۰.۵۰۰	۰.۴۲۹	۰.۹۳۶	۰.۷۷۰	۰.۷۸۹	۱.۱۲۷	۰.۹۳۸	۱.۰۵۵	۱۱۷۵۱	۱۱۱۳۰	۱۳۴۳۵
	۰.۳۰۸	۰.۳۸۵	۰.۵۳۹	۰.۹۰۶	۰.۷۴۵	۰.۷۶۵	۱.۱۳۰	۰.۹۴۰	۱.۰۶۱	۱۱۸۰۱	۱۱۲۰۸	۱۳۴۵۸
	۰.۲۶۷	۰.۳۳۳	۰.۴۰۰	۱.۰۲۰	۰.۸۱۳	۰.۸۵۸	۱.۱۳۹	۰.۹۴۰	۱.۰۹۵	۱۴۸۲۱	۱۱۶۲۲	۱۳۵۸۴
	۰.۲۸۶	۰.۵۰۰	۰.۳۵۷	۱.۰۸۶	۰.۸۳۶	۰.۹۵۷	۱.۱۴۰	۰.۹۴۷	۱.۱۰۷	۱۴۸۴۷	۱۱۷۶۸	۱۳۵۹۱
۸	۰.۲۶۷	۰.۴۶۷	۰.۴۶۷	۱.۰۷۸	۰.۸۳۵	۰.۹۶۶	۱.۱۴۶	۰.۹۵۶	۱.۱۱۱	۱۴۹۱۹	۱۱۸۰۹	۱۳۶۶۶
	۰.۲۸۶	۰.۴۲۹	۰.۴۲۹	۱.۰۰۷	۰.۸۴۷	۰.۸۶۶	۱.۱۴۹	۰.۹۵۹	۱.۱۴۱	۱۴۹۶۲	۱۲۱۷۷	۱۳۷۲۹
	۰.۳۸۵	۰.۵۳۹	۰.۴۶۲	۱.۴۰۵	۰.۸۵۶	۰.۸۶۸	۱.۱۵۴	۰.۹۶۱	۱.۱۷۰	۱۵۰۴۶	۱۲۵۲۴	۱۴۰۲۴
	۰.۲۰۰	۰.۴۶۷	۰.۴۰۰	۱.۲۰۳	۰.۸۷۸	۰.۸۹۹	۱.۱۷۱	۰.۹۷۷	۱.۱۷۴	۱۵۲۸۴	۱۲۵۷۳	۱۴۳۰۸
	۰.۲۶۷	۰.۴۶۷	۰.۳۳۳	۱.۰۲۶	۰.۹۶۵	۰.۸۹۸	۱.۱۷۲	۰.۹۸۸	۱.۱۸۳	۱۵۲۸۹	۱۲۶۸۲	۱۴۵۰۰
	۰.۱۸۸	۰.۴۳۸	۰.۳۱۳	۱.۵۱۶	۱.۲۲۴	۰.۹۶۴	۱.۱۹۶	۰.۱۰۰	۱.۱۸۳	۱۶۳۴۱	۱۲۶۹۱	۱۴۶۶۳
	۰.۲۰۰	۰.۴۰۰	۰.۳۳۳	۱.۳۸۶	۱.۲۳۴	۰.۹۸۹	۱.۱۹۸	۱.۰۰۱	۱.۱۸۹	۱۶۳۶۳	۱۲۷۶۳	۱۴۸۹۹
	۰.۲۰۰	۰.۳۳۳	۰.۳۳۳	۱.۱۷۶	۱.۱۲۲	۰.۹۳۸	۱.۲۰۰	۱.۰۱۵	۱.۱۹۶	۱۶۳۹۶	۱۲۸۴۹	۱۴۹۹۲
	۰.۲۶۷	۰.۵۳۳	۰.۴۰۰	۱.۱۸۲	۰.۹۶۶	۱.۲۵۷	۱.۲۰۸	۱.۰۲۰	۱.۲۰۰	۱۶۴۹۹	۱۲۸۹۵	۱۵۲۱۶
	۰.۱۸۸	۰.۳۷۵	۰.۲۵۰	۱.۳۷۶	۱.۲۳۶	۱.۱۲۱	۱.۲۱۰	۱.۰۲۱	۱.۲۲۴	۱۶۵۳۹	۱۳۱۸۶	۱۵۲۷۶
۱۰	۰.۳۵۷	۰.۵۰۰	۰.۳۵۷	۱.۴۷۶	۰.۹۸۶	۱.۰۰۰	۱.۲۲۷	۱.۰۲۲	۱.۲۳۶	۱۶۷۷۶	۱۳۳۲۸	۱۵۳۲۲
	۰.۱۸۸	۰.۴۳۸	۰.۳۱۳	۱.۷۱۷	۰.۹۹۰	۰.۹۷۰	۱.۲۴۸	۱.۰۲۸	۱.۲۴۲	۱۷۰۶۷	۱۳۳۹۸	۱۵۳۳۳

شکل (۷) شاخص فاصله از نقطه ایده‌آل را نشان می‌دهد و هر چه این شاخص کمتر باشد نشان‌دهنده این است که جواب‌ها به نقطه ایده‌آل نزدیک‌تر است. همان‌طور که در این شکل می‌بینیم الگوریتم MOPSO نسبت به سایر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری دارد. شکل (۸) شاخص پراکندگی جواب‌های الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد و هر چه این شاخص بزرگتر باشد بیانگر پخش بودن بهتر جواب‌ها است.

از آنجایی که شاخص‌های کیفیت (QM) و فاصله از نقطه ایده‌آل (MID) نسبت به دو شاخص دیگر از اهمیت بسیار بیشتری برخوردارند با توجه به برتر بودن الگوریتم MOPSO در این دو شاخص، لذا می‌توان نتیجه گرفت این الگوریتم از عملکرد بهتری



شکل (۷): نمودار مقادیر شاخص MID حاصل از حل مسائل نمونه

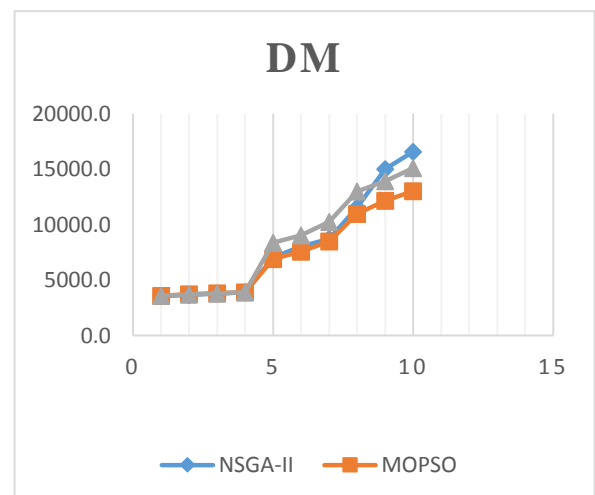
نسبت به سایر الگوریتم‌ها برای مسأله پیشنهادی برخوردار است.

جدول (۸): متوسط نتایج معیارهای محاسبه شده حاصل از حل مسائل نمونه توسط الگوریتم‌ها

شماره مسئله	الگوریتم‌ها و شاخص‌ها											
	QM			SM			MID			DM		
	NSG	MOP	SPE	NSG	MOP	SPE	NSG	MOP	SPE	NSG	MOP	SPE
۱	۰.۸۸۱	۰.۹۷۶	۰.۹۷۶	۰.۱۸۶	۰.۱۷۹	۰.۱۸۳	۰.۳۳۴	۰.۳۳۰	۰.۳۵۹	۳۵۵۶	۳۶۰۰	۳۵۸۱
۲	۰.۹۵۲	۱.۰۰۰	۰.۹۵۲	۰.۱۸۴	۰.۱۷۸	۰.۱۸۴	۰.۳۸۴	۰.۳۷۸	۰.۴۳۱	۳۶۸۰	۳۷۳۰	۳۷۲۰
۳	۰.۸۹۰	۰.۹۴۴	۰.۸۸۸	۰.۲۲۸	۰.۱۹۱	۰.۱۹۳	۰.۴۳۱	۰.۴۳۶	۰.۴۶۷	۳۷۸۳	۳۸۲۴	۳۸۰۰
۴	۰.۷۵۳	۰.۹۲۶	۰.۹۰۸	۰.۲۱۱	۰.۲۱۴	۰.۲۲۷	۰.۴۷۸	۰.۴۸۳	۰.۵۰۹	۳۸۹۷	۳۹۰۲	۳۹۱۲
۵	۰.۶۹۴	۰.۸۰۲	۰.۷۸۵	۰.۵۱۵	۰.۳۴۲	۰.۳۵۷	۰.۸۰۱	۰.۷۶۷	۰.۸۳۰	۷۰۵۳	۶۸۹۷	۸۳۷۳
۶	۰.۳۹۲	۰.۵۲۰	۰.۴۴۵	۰.۵۸۹	۰.۴۲۴	۰.۴۶۴	۰.۹۷۰	۰.۸۰۷	۰.۸۸۵	۸۰۳۹	۷۵۶۶	۹۰۳۸
۷	۰.۳۵۷	۰.۴۵۷	۰.۳۷۱	۰.۶۸۲	۰.۵۴۰	۰.۵۵۳	۱.۰۱۸	۰.۸۵۲	۰.۹۶۲	۸۷۱۶	۸۵۰۵	۱۰۲۵۴
۸	۰.۳۰۲	۰.۴۹۵	۰.۴۵۳	۰.۹۱۲	۰.۷۴۳	۰.۷۵۹	۱.۱۱۴	۰.۹۰۸	۱.۰۴۴	۱۱۵۶۶	۱۰۹۹۳	۱۲۹۸۹
۹	۰.۲۷۹	۰.۴۵۷	۰.۴۰۷	۱.۱۱۸	۰.۸۶۱	۰.۹۰۲	۱.۱۵۳	۰.۹۶۱	۱.۱۴۰	۱۵۰۲۴	۱۲۱۶۵	۱۳۹۱۵
۱۰	۰.۲۲۷	۰.۴۳۱	۰.۳۲۸	۱.۴۰۴	۱.۱۰۸	۱.۰۳۴	۱.۲۱۳	۱.۰۱۵	۱.۲۱۰	۱۶۵۶۹	۱۳۰۱۶	۱۵۱۰۰

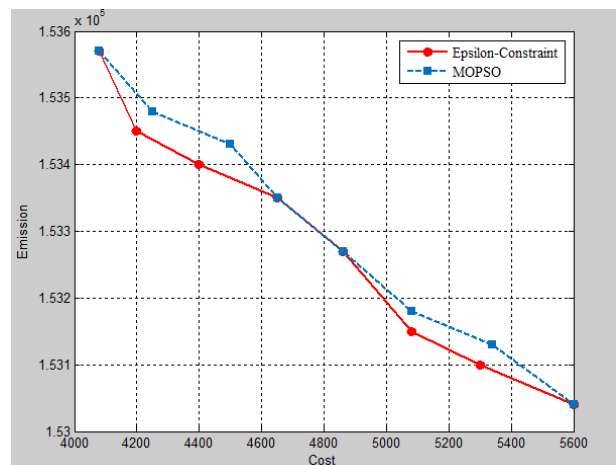
۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله صورت جدیدی از مسئله یکپارچه مکان‌یابی-مسیریابی- موجودی تحت عدم قطعیت ارائه گردید. یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های مدل پیشنهادی با سایر پژوهش‌های این حوزه، محاسبه مقدار بهینه سفارش مراکز توزیع است. در اکثر مسائل ابتدا تخصیص مشتری به مراکز توزیع صورت می‌پذیرد، سپس مقدار بهینه سفارش هر مرکز توزیع با توجه به تخصیص‌ها تعیین می‌شود در صورتی که در مدل پیشنهادی با توجه به ماهیت عدم قطعیت مسأله و مقایسه میزان عرضه سالانه تأمین‌کننده به مراکز توزیع و متوسط تقاضای سالانه مشتریان هر مرکز توزیع، این دو به‌طور هم‌زمان تعیین می‌شود. تفاوت مهم دیگری که مدل توسعه‌یافته با سایر مدل‌های یکپارچه مکان‌یابی-مسیریابی- موجودی دارد تعیین تعداد دفعات بهینه سفارش مراکز توزیع است که برای اولین بار ارائه می‌شود. تعیین تعداد دفعات بهینه سفارش از اهمیت بسیاری در مسائل بهینه‌سازی زنجیره تأمین برخوردار است، زیرا در هر باری که سفارشی صورت می‌گیرد هزینه‌هایی از جمله هزینه حمل و نقل مستقیم، هزینه مسیریابی، هزینه سفارش‌دهی و غیره به سیستم تحمیل می‌شود. یکی از کارهای معتبر و شناخته شده در این زمینه تحقیق جاوید و آزاد [۵] است. در پژوهش آنها، تعداد دفعات سفارش انبارها به عنوان پارامتر ورودی به مدل داده شده است و فرض شده است تعداد دفعات ملاقات مشتریان توسط وسائل حمل و نقل تعداد مشخصی در سال است. مهم‌ترین ضعف این کار این است که تعداد دفعات سفارش برای تمام مراکز توزیع یکسان در نظر گرفته می‌شود در صورتی که ممکن است با توجه به تقاضای خرده‌فروشان تخصیص‌یافته به هر مرکز توزیع، مقدار سفارش بهینه و در نتیجه تعداد دفعات بهینه سفارش مراکز توزیع با هم متفاوت باشد. از این‌رو نقش اساسی در کاهش هزینه‌ها مخصوصاً هزینه‌های حمل و نقل (مستقیم و مسیریابی) دارد. همچنین در این پژوهش حالات مختلفی را برای محاسبه ذخیره اطمینان متصور شدیم و نشان دادیم ذخیره اطمینان مراکز توزیع می‌تواند در مواردی حتی



شکل (۸): نمودار مقادیر شاخص DM حاصل از حل مسائل نمونه

در شکل (۹) مجموعه جواب‌های پارتوی حاصل از دو رویکرد دقیق و فرا ابتکاری به‌منظور مقایسه کیفیت جواب‌های به‌دست‌آمده توسط الگوریتم‌های پیشنهادی به تصویر کشیده شده است.



شکل (۹): مقایسه جواب‌های پارتوی دو رویکرد دقیق و

فرا ابتکاری برای مسئله نمونه شماره ۳

- problem", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26(4): 372-381.
- [3] Ambrosino, D., Grazia Scutellà, M., (2005) "Distribution network design: new problems and related models", European journal of operational research, 165(3): 610-624.
- [4] Ma, Z., Dai, Y., (2007). "A Stochastic Location-Routing-Inventory Problem in Logistics Distribution Systems", International Conference on Transportation Engineering, ASCE.
- [5] Ahmadi-Javid, A., Azad, N., (2010). "Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46(5): 582-597.
- [6] Yang, X., Ma, H., Zhang, D., (2010). "Research into ILRIP for Logistics Distribution Network of Deteriorating Item Based on JITD", Information Computing and Applications. Springer, 152-160.
- [7] Ma, Z., Dai, Y., (2010). "Stochastic Dynamic Location-Routing-Inventory Problem in Two-Echelon Multi-Product Distribution Systems, Logistics for Sustained Economic Development: Infrastructure", Information, Integration, (ICLEM), 2559-2565.
- [8] Reza Sajjadi, S., Hossein Cheraghi, S., (2011). "Multi-products location? routing problem integrated with inventory under stochastic demand", International Journal of Industrial and Systems Engineering, 7(4): 454-476.
- [9] Ahmadi-Javid, A., Seddighi, A.H., (2012). "A location-routing-inventory model for designing multisource distribution networks", Engineering Optimization, 44(6): 637-656.
- [10] Tavakkoli-Moghaddam, R., Forouzanfar, F., Ebrahimnejad, S., (2013). "Incorporating location, routing, and inventory decisions in a bi-objective supply chain design problem with risk-pooling", Journal of Industrial Engineering International, 9(1): 1-6.
- [11] Xiao, Y., et al., (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. Computers & Operations Research, 39(7): 1419-1431.
- [12] Zitzler, E., (1999). "Evolutionary algorithms for multiobjective optimization: Methods and applications", A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- [13] Zitzler, E., Marco, L., and Lothar T., (2001). "SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)", Institut für Technische Informatik und Kommunikationsnetze (TIK).
- [14] Deb, K., Amrit, P., Sameer A., Meyarivan, T., (2002). "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(2): 182-197.
- [15] Coello, C.A.C., Pulido, G.T., Lechuga, M.S. (2004). "Handling multiple objectives with particle swarm optimization", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 8(3): 256-279.

کمتر از آنچه که در ادبیات این حوزه آمده است باشد که موجب کاهش در هزینه نگهداری می‌شود. از آنجایی که یکی از مهم‌ترین چالش‌های امروزی، مسائل زیست‌محیطی و بخصوص مسئله انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید است و مطابق آنچه در مطالعات آمده حدود ۳۰ درصد میزان کربن تولیدی ناشی از حمل‌ونقل است لذا در این مطالعه میزان انتشار کربن به عنوان یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های امروزی به صورت یک هدف جداگانه در مدل در نظر گرفته شده است.

مدل پیشنهادی بطور هم‌زمان تعداد و موقعیت مراکز توزیعی که باید باز شوند، تخصیص مشتریان به مراکز توزیع، تخصیص مشتریان به مسیرهای فعال و تعیین ترتیب قرار گرفتن مشتریان در هر مسیر، سطح موجودی اطمینانی که هر مرکز باید نگهداری کند، نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش اقتصادی در هر مرکز و تعداد دفعات سفارش هر مرکز توزیع را تعیین می‌کند. مسئله بصورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های کل مورد انتظار و میزان انتشار کربن سیستم مدل شده است. مدل ارائه شده از نوع مسائل NP-Hard است، بنابراین از روش‌های ریاضی دقیق برای حل مسائل در ابعاد بالا و در زمان معقول نمی‌توان بهره برد. به همین دلیل چند روش مختلف فراابتکاری چندهدفه برای حل مدل ارائه شده است. مقایسه نتایج نشان داده است جواب‌های حاصل از روش‌های فراابتکاری پیشنهادی، جواب‌های نزدیک به بهینه ارائه می‌دهد و الگوریتم‌های تولید شده از کارائی مناسبی برخوردار است. برای تحقیقات آتی می‌توان موارد زیر را پیشنهاد داد؛ ۱- در نظر گرفتن معیار مناسب‌تری برای محاسبه هزینه‌های مسیریابی مانند زمان، چرا که شرایطی نظیر خراب شدن وسیله و یا ترافیک وجود دارد که بیان هزینه حمل در واحد مسافت صحیح نمی‌باشد. ۲- در نظر گرفتن پوشش پشتیبان برای مراکز توزیع بطوریکه در حالت در دسترس نبودن کالا، این امکان وجود داشته باشد که بتوان کالای درخواستی را با احتساب جریمه از مراکز توزیع دیگر دریافت کرد. ۳- در نظر گرفتن حمل مستقیم از کارخانه به مشتری، در صورتی که مشتری نرخ تقاضای بالایی داشته باشد و ۴- در نظر گرفتن اختلال در ظرفیت ماشین‌آلات به دلایلی چون سرقت یا حمله، همچنین در نظر گرفتن اختلال در مسیر که ممکن است در اثر بلایای طبیعی یا عملیات از پیش برنامه‌ریزی شده (به‌عنوان مثال سیل، زلزله یا حوادث غیرمنتظره) باشد.

مراجع

- [1] Liu, S., Lee, S., (2003). "A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 22(11-12): 941-950.
- [2] Liu, S., Lin, C., (2005). "A heuristic method for the combined location routing and inventory

Kanpur Genetic Algorithms Laborator”, Indian
Institute of Technology Kanpur, India.

[16] Deb, K., Jain, S., (2002). “Running performance
metrics for Evolutionary Multiobjective
Optimization, KanGAL Report No. 2002004,



A New Model for Green Location- Routing- Inventory Problem under Uncertainty

M. Mahjoobnia, N. Dabiri*, A. Bozorgi-Amiri

¹ Department of Industrial Engineering, University of Tehran, Fouman Faculty of Engineering, Iran.

² Department of Industrial Engineering, Golestan University, Iran.

³ Department of Industrial and Systems Engineering, University of Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 May 2016

Accepted 21 May 2017

Keywords:

Distribution network design

Green supply chain

Carbon emission

Location-Routing-Inventory

Multi-objective optimization

ABSTRACT

The most studies carried out in the logistics have had the same attitude towards inventory control components such as the optimal order quantity, order frequency and the amount of safety stock of inventory storage centers. For instance, they consider the number of inventory orders for all inventory storage centers as the same during the whole period of planning while according to customers of each distribution center, it may vary. In addition, we may determine the safety stock from different scenarios in each center. The present study offers a new model for location-routing-inventory under uncertainty with regard to environmental considerations. This model simultaneously determines the number and location of distribution centers, allocation of retailers to distribution centers and active routes and the order of visiting the retailers in each route, optimal order quantities, and optimal number of ordering times for each distribution center as well as the level of safety stock for each distribution center. Another aim of the study is minimizing the annual expected cost and the amount of carbon emissions from transport fleet during the delivery process in the entire network.

Since the proposed model is NP-hard problem, we recommend meta-heuristic approaches to obtain optimal solutions. Therefore, Non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA- II), multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) and strength Pareto evolutionary algorithm II (SPEA-II) have been developed to solve the problem. Finally, we compare the performance of the proposed algorithms using standard measures. The results show the MOPSO is more efficient than both NSGA-II and SPEA-II.

* Corresponding author. Nooraddin Dabiri

Tel.: 017-34266235; E-mail address: n.dabiri@gu.ac.ir