

مدلی چند هدفه برای مسئله مکان‌یابی - مسیریابی با زمان‌های سفر و تحویل فازی

اسماعیل مهدی‌زاده^{۱*}، سینا کشاوری^۲

دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۰۵

چکیده

در این مقاله مسئله مکان‌یابی مسیریابی همراه با زمان‌های سفر و زمان‌های تحویل فازی مورد مطالعه قرار گرفته و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه پیشنهاد می‌شود. هدف‌های در نظر گرفته شده شامل کمینه کردن هزینه‌های شبکه توزیع و جمع موزون دیرکردها می‌باشد. هزینه‌های شبکه توزیع شامل هزینه‌های نصب دپوها و هزینه‌های حمل‌ونقل است و برای هر یک از مشتری‌ها یک موعد تحویل فازی در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که مسئله مورد نظر در زمره مسائل NP-hard قرار دارد، از دو الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۳ و شبیه‌سازی تبرید چند هدفه برای حل بهره گرفته می‌شوند. برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها از روش تاگوچی استفاده می‌شود و برای مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی تعدادی مسئله در سه مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ تولید و حل شده است و نتایج محاسباتی نشان می‌دهند که الگوریتم شبیه‌سازی چند هدفه از کارایی بالاتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: مسئله مکان‌یابی مسیریابی، مکان‌یابی تسهیلات، برنامه‌ریزی فازی، تصمیم‌گیری چند معیاره.

۱- مقدمه

نقلیه است. حال اینکه تخصیص یک وسیله نقلیه برای پاسخ دادن به تقاضای فقط یک مشتری، در مواقعی که می‌توان از این وسیله برای تأمین تقاضای چندین مشتری استفاده نمود، منطقی به نظر نمی‌رسد. لذا مسئله مکان‌یابی مسیریابی مطرح می‌شود. مسئله مکان‌یابی، مسیریابی دو مسئله مکان‌یابی تسهیل و مسیریابی وسیله نقلیه را با هم ادغام می‌کند. طبق نظریه کورنچولز^۴ و کارپ^۵ هر دو مسئله مکان‌یابی تسهیل و مسیریابی وسیله نقلیه در مقوله مسائل NP-hard قرار دارند [۲،۳]، لذا ادغام این دو مسئله نیز جزو مسائل NP-hard قرار دارد [۴،۵،۶]. پرینز^۸، صالحی^۹ و رند^{۱۰} بیان کردند که بهینه‌سازی مسائل مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی وسیله نقلیه به‌طور جداگانه موجب زیر بهینگی می‌شود [۷،۸]. این موضوع به این دلیل است که تصمیم‌های مکان‌یابی تسهیل در سطح استراتژیک و

طبق نظریه توزون^۴ و برک^۵، طراحی یک سیستم توزیع مستلزم پاسخ دادن به این سؤال است که تسهیلات مورد نظر باید در کجا احداث شده و این تسهیلات چگونه به مشتری‌ها تخصیص داده شوند [۱]. این سؤالات را می‌توان با مدل‌های مکان‌یابی تخصیص پاسخ گفت، اما در مدل‌های مکان‌یابی تخصیص، با فرض اینکه خدمت‌دهی به مشتری‌ها با استفاده از مسیرهای بسته انجام شده و هر مشتری توسط یک وسیله نقلیه خدمت‌دهی می‌شود، لذا مشتری‌ها دارای تقاضاهایی هستند که مقدار آنها کمتر از ظرفیت وسایل

*۱- استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: emehdi@qiau.ac.ir، نشانی: قزوین خیابان دانشگاه، بلوار نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، پست‌الکترونیکی: s.keshavari@yahoo.com

3- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

4-Tuzun

5- Burke

6- Cornuejols

7- Karp

8- Prins

9- Salhi

10- Rand

معلوم شوند، مکان‌های دپوها و سفرهای قبلی معلوم باشند. در این حالت سفرهایی که در آنها ظرفیت وسیله نقلیه افزایش می‌یابد، به‌عنوان نقص سفر محسوب می‌شوند. تابع هدف مینیمم کردن دپوها و هزینه‌های سفرهای قبلی در نظر گرفته شده است و با استفاده از الگوریتم شاخه و کران مسائلی با حداکثر ۵۰ مشتری را حل کرده‌اند. چان و همکاران^۸ [۱۵] یک مسئله مکان‌یابی مسیریابی همراه با چند دپو و چند نوع وسیله نقلیه و تقاضای تصادفی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. لیو^۹ و لی^{۱۰} [۱۶] مسئله مکان‌یابی- مسیریابی را با تقاضای تصادفی، با در نظر گرفتن هزینه‌های موجودی مطالعه نموده‌اند. آنها یک جواب آغازین به‌وسیله خوشه کردن مشتریان ایجاد کرده و سپس هر خوشه دپو را به نزدیک‌ترین محل به مرکز جایی رسانده و مسئله به‌صورت فروشنده دوره گرد حل شده است و در نهایت یک روش بهبود دهنده ابتکاری برای حل به‌کار برده شده است. آلباردا سامبولا و همکاران^{۱۱} [۱۷] ابتدا مکان‌های دپو و سفرهای قبلی را قبل از مشخص شدن تقاضا طراحی نموده‌اند. اگر ظرفیت وسایل نقلیه کمتر از میزان تقاضا باشد، یک جریمه برای مشتریانی که خدمت‌دهی نشده‌اند، در نظر گرفته شده است. تابع هدف شامل مجموع هزینه‌های نگهداری دپو و هزینه‌های مورد انتظار برای سفرهای بعدی و هزینه جریمه مورد انتظار می‌باشد. نگوین و همکاران^{۱۲} [۱۷] یک مسئله مکان‌یابی مسیریابی دو لایه را در نظر گرفته‌اند. در لایه اول یک دپوی اصلی وجود دارد که به دپوهای فرعی خدمت‌دهی می‌کند. مکان دپوهای فرعی از ابتدا مشخص نیست. در لایه دوم دپوهای فرعی تقاضای مشتری‌ها را تأمین می‌کنند. آنها پس از ارائه یک مدل ریاضی، برای حل مدل یک الگوریتم جستجوی حریصانه تطبیقی^{۱۳} همراه با یک فرآیند یادگیری پیشنهاد می‌دهند. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده این است که الگوریتم جستجوی حریصانه تطبیقی همراه با روش یادگیری دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم جستجوی حریصانه تطبیقی ساده است. نگوین و همکاران [۱۵] یک

تصمیم‌های مسیریابی در سطح عملیاتی بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. هر دو تصمیم بخشی از زنجیره تأمین بوده و مکان‌یابی تسهیل متفاوت، منجر به تغییر در نحوه مسیریابی می‌شود. لذا لازم است که این مسئله به شکل یکپارچه مورد بررسی قرار گیرد. به‌رغم انبوه تحقیقات انجام شده برای ارائه مدل‌های مختلف برای مسئله مکان‌یابی مسیریابی تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌های چندلایه بسیار محدود بوده و نیاز به تحقیق بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. در این مقاله، مسئله مکان‌یابی مسیریابی دو لایه همراه با زمان‌های سفر فازی دو هدفه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. ساختار مقاله در ادامه به شرح زیر خواهد بود: در بخش اول مقدمه، در بخش دو ادبیات و پیشینه مسئله مرور خواهد شد. در بخش سوم مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌شود. روش‌های حل در بخش چهارم و نتایج محاسباتی در بخش پنجم ارائه شده و در نهایت نتیجه‌گیری در بخش ششم ذکر می‌شود.

۲- مرور ادبیات

با توجه به ساختار شبکه توزیع، مسئله مکان‌یابی مسیریابی ظرفیت وسایل نقلیه و عدم قطعیت موجود در پارامترها به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند و تاکنون محققان مدل‌های مختلفی برای این مسئله پیشنهاد داده‌اند. این مدل‌ها عموماً سعی دارند با در نظر گرفتن موقعیت‌های واقعی بازتاب بهتری از مسائل موجود در دنیای واقعی داشته باشند. به عقیده کارا اوگلان و همکاران^۱ [۹]، در نظر گرفتن برداشت و تحویل^۲ و طبق نظر ژو و همکاران^۳ [۱۰]، موازنه بار کاری وسایل نقلیه و بنا به عقیده کوتینیو-رودریگز و همکاران^۴ [۱۱،۱۲]، در نظر گرفتن هم‌زمان اهداف مختلف و به بیان دربل و همکاران^۵ [۱۳] در نظر گرفتن دپوهای چندگانه ظرفیت‌دار، نمونه‌های از در نظر گرفتن موقعیت‌های واقعی هستند.

در مسئله‌ای که توسط لاپورته^۶ و نوبرت^۷ [۱۴]، مطالعه شده است، فرض شده قبل از آنکه سطوح واقعی تقاضاها

8- Chan et al

9- Liu

10- Lee

11- Albareda-Sambola et al

12- Nguyen et al

13- Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)

1- Karaoglan et al

2- Pickup and Delivery

3- Xu et al

4- Coutinho-Rodrigues et al

5- Derbel et al

6- Laporte

7- Nober

مسئله مکان‌یابی مسیریابی دو لایه را مورد بررسی قرار می‌دهند. در مدل مورد بررسی آنها دپوها در سطح اول که مکان آنها یک متغیر تصمیم است، طی مسیرهای مستقیم از دپوی اصلی خدمت می‌گیرند و به مشتری‌ها در لایه دوم خدمت‌دهی می‌کنند. آنها برای حل این مسئله چهار روش ابتکاری و یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر روش جستجوی تطبیقی تصادفی^۱ پیشنهاد می‌دهند. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده کارایی روش پیشنهادی آنها است.

تحقیقات اندکی مسئله مکان‌یابی مسیریابی را همراه با پارامترهای فازی در نظر گرفته‌اند. جعفری^۲ و گولوزری^۳ [۱۵] مسئله مکان‌یابی مسیریابی را همراه با زمان‌های سفر فازی در نظر گرفته‌اند، آنها برای حل این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهاد داده و سپس یک روش حل ابتکاری نیز برای آن پیشنهاد دادند. تفاوت تحقیق حاضر با تحقیق مذکور در این است که در این تحقیق علاوه بر زمان‌های سفر، زمان‌های تحویل نیز به صورت فازی در نظر گرفته شده است. هم‌چنین در این تحقیق بیش از یک تابع هدف به طور هم‌زمان در نظر گرفته می‌شود و سعی در به دست آوردن مرز پارتو می‌شود. زرنندی و همکاران^۴ [۱۸] مسئله مکان‌یابی مسیریابی ظرفیت‌دار را همراه با زمان‌های سفر فازی مورد مطالعه قرار می‌دهند. مسئله مورد مطالعه آنها هزینه احداث دپو و ظرفیت‌های محدود برای دپوها و وسایل نقلیه می‌باشد. آنها برای حل این مسئله از یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید همراه با یک فرآیند شبیه‌سازی فازی استفاده می‌کنند. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده این است که عملکرد الگوریتم پیشنهادی منسجم است و می‌توان از آن برای مسائل موجود در دنیای واقعی استفاده نمود. کنتاردو و همکاران^۵ [۱۹] دو الگوریتم حل برای مسئله مکان‌یابی مسیریابی دولایه ظرفیت‌دار ارائه می‌دهند. آنها یک الگوریتم شاخه و برش بر اساس جواب یک مسئله دو اندیسه جریان وسیله نقلیه که با نامساوی‌های فراوانی تقویت شده، ارائه دادند. آنها هم‌چنین یک الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی همسایگی بزرگ با هدف یافتن جواب‌های باکیفیت ارائه دادند. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده این هستند که الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی از

الگوریتم‌های موجود بهتر عمل می‌کند. علاوه بر این الگوریتم شاخه و برش پیشنهادی نیز حدود پایین بسیار خوبی به دست می‌آورد و می‌تواند مسائل کوچک و متوسط را در زمان معقولی حل نماید. مهرجردی^۶ و نادیزاده^۷ [۲۰] مسئله مکان‌یابی مسیریابی ظرفیت‌دار را همراه با تقاضای فازی مورد مطالعه قرار می‌دهد. آنها بیان می‌کنند که در این مسئله، تصمیم‌های مکان‌یابی و مسیریابی به طور هم‌زمان گرفته می‌شوند. در مدل آنها ظرفیت دپوها و وسایل نقلیه قطعی است اما تقاضای مشتری‌ها به شکل فازی در نظر گرفته شده است. آنها برای مدل کردن این مسئله از یک مدل برنامه‌ریزی شانس فازی استفاده می‌کنند. غفاری‌نسب و همکاران^۸ [۲۱] مسئله مکان‌یابی مسیریابی را همراه با تقاضای فازی مورد مطالعه قرار می‌دهند. آنها برای مدل نمودن این مسئله از روش برنامه‌ریزی شانس فازی استفاده می‌نمایند. سپس آنها برای حل این مسئله از یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید همراه با شبیه‌سازی تصادفی استفاده می‌کنند. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده کارایی عملکرد الگوریتم پیشنهادی آنها است؛ اما این تحقیق نیز دارای محدودیت‌های بسیاری است، یکی از این محدودیت‌ها تک لایه بودن شبکه مورد مطالعه آنها است. از محدودیت‌های دیگر در نظر نگرفتن سطح خدمت به مشتری‌ها و هم‌چنین فازی در نظر نگرفتن زمان‌های تحویل است. زرنندی^۹ و همکاران (۲۰۱۳) یک مسئله مکان‌یابی مسیریابی همراه با پنجره زمانی را در شرایط عدم قطعیت مورد مطالعه قرار می‌دهد. آنها فرض می‌کنند که تقاضای مشتری‌ها و زمان‌های سفر متغیرهای فازی هستند و یک مدل برنامه‌ریزی شانس فازی برای حل این مدل پیشنهاد می‌دهند. آنها سپس یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید همراه با شبیه‌سازی فازی برای حل این مسئله پیشنهاد می‌دهند. برای جواب اولیه شبیه‌سازی تبرید از یک روش ابتکاری مبتنی بر خوشه‌بندی فازی استفاده می‌شود. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده این است که روش حل پیشنهادی کارا است و می‌تواند مسائلی با ۱۰۰ نقطه تقاضا را در زمان معقولی حل نماید.

همان‌طور که از مرور ادبیات مشخص است تاکنون تحقیقات کمی در زمینه در نظر گرفتن مسائل مکان‌یابی

1-Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)

2- Jafari

3- Golozari

4- Zarandi et al

5- Contardo et al

6- Mehrjerdi

7- Nadizadeh

8- Ghaffari-Nasab et al

9- Zarandi

شده است. متوسط زمان دیرکرد در تحویل کالا به مشتریان، مبنای تخمین کاهش رضایت مشتریان در نظر گرفته شده است.

۳-۲- مفروضات مدل

- تعداد دپوهای در دسترس و هم‌چنین اندازه ناوگان حمل‌ونقل در لایه‌های اول و دوم شبکه معلوم و از پیش تعیین شده است.
- به علت پراکندگی دپوها و کوچک بودن ظرفیت هر وسیله نقلیه، لایه اول در مقایسه با مجموع ظرفیت‌های چند دپو، فرض شده است که هر وسیله نقلیه فقط مجاز به فعالیت بین کارخانه و یک دپو می‌باشد.
- برای هر کدام از مشتریان و دپوها یک زمان سرویس‌دهی در نظر گرفته شده است.
- زمان‌های تحویل مطلوب، زمان‌های سرویس‌دهی و زمان‌های حمل‌ونقل بر کمان‌های شبکه و در نتیجه زمان‌های تحویلی تخمینی در قالب اعداد مثلثی فازی بیان می‌شوند. سایر پارامترها قطعی هستند.
- دپوها و کلیه وسایل نقلیه در لایه اول و دوم دارای ظرفیت محدود می‌باشند.
- وسایل نقلیه در لایه دوم دارای محدودیت ساعت کاری می‌باشند.
- کمبود جایز نیست و تقاضای هر کدام از مشتریان باید توسط یک وسیله نقلیه و طی یک بازدید برآورده شود.
- ناوگان حمل‌ونقل در لایه‌های اول و دوم غیر همگن بوده و هر کدام از وسایل نقلیه، دارای هزینه ثابت، هزینه حمل‌ونقل در واحد مسافت و ظرفیت مخصوص به خود می‌باشند.
- مطابق مفروضات فوق و غیر همگن بودن وسایل نقلیه، هم‌چنین تغییر وسایل نقلیه لایه دوم، ماهیت بلند مدت برنامه‌ریزی و عدم قطعیت زمان‌های سرویس در محل کارخانه، دپو و مشتریان، از دلایل غیرقطعی در نظر گرفتن زمان‌های سفر و تحویل در این مسئله می‌باشند.

مسیریابی دو لایه ظرفیت‌دار همراه با پارامترهای فازی انجام شده است. لذا مقاله حاضر با در نظر گرفتن زمان‌های سفر فازی در یک محیط دو لایه می‌تواند بررسی بیشتری را در این زمینه پوشش دهد.

۳-۱- تعریف مسئله و مدل پیشنهادی

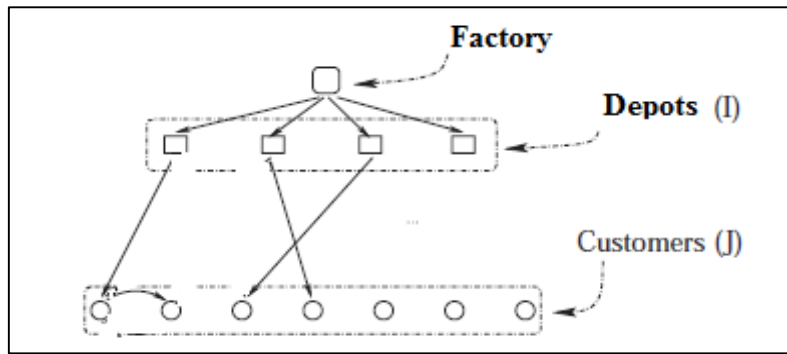
اصولاً مسائل مربوط به طراحی سیستم‌های توزیع در مقوله تصمیم‌گیری‌های بلند مدت قرار می‌گیرد؛ اما تخمین‌هایی که برای پارامترهای مسئله ذکر می‌شوند، عموماً بر اساس داده‌های گذشته بوده و برای یک بازه زمانی کوتاه در نظر گرفته شده‌اند. لذا پارامترهای مسئله دارای عدم قطعیت و عدم دقت هستند. در این مقاله روش مناسب جهت مقابله با این عدم قطعیت، برنامه‌ریزی فازی است که سعی شده از آن استفاده گردد.

۳-۱-۱- تعریف مسئله

شبکه در نظر گرفته شده از دو سطح تشکیل شده است. سطح اول میان کارخانه و دپوهای کاندید شده به‌منظور انبارش و انتقال کالا به مشتریان تعریف می‌شود، هم‌چنین سطح دوم میان دپوهای کاندید و مشتریان تعریف می‌شود. دپوهای انتخابی به‌صورت مستقیم با کارخانه در ارتباط بوده و کالای مورد نیاز آنها توسط یک یا چند وسیله نقلیه در لایه اول به آنها انتقال داده می‌شود. این وسایل نقلیه قابل تخصیص فقط به یک دپو می‌باشند. هر کدام از دپوهای کاندید شده بر اساس میزان ظرفیت انبارش و موقعیت جغرافیایی خود در میان شبکه مشتریان برای انتخاب مدنظر قرار می‌گیرند.

وسایل نقلیه موجود در لایه دوم، انتقال کالا از دپوهای انتخابی به مشتریان را به عهده داشته و با توجه به محدودیت ظرفیت و محدودیت ساعت کاری در دسترس خود قادر به خدمت‌دهی می‌باشند.

در این مدل دو تابع هدف شامل کمینه‌سازی هزینه کل و بیشینه‌سازی رضایت مشتریان در نظر گرفته شده‌اند. هزینه‌های ثابت، استفاده از تجهیزات انتخاب شده را در شبکه توزیع مورد نظر هزینه‌های حمل‌ونقل بر کمان‌های شبکه ایجاد شده و پارامترهای مجموع هزینه‌ها تشکیل می‌دهند. در تابع هدف دوم رضایت مشتریان در نظر گرفته



شکل (۱): شمای کلی مسئله مکان‌یابی - مسیریابی (آلبردا و همکاران، ۲۰۰۵)

۳-۳- پارامترهای ورودی مدل

اندیس مکان‌های بالقوه دپوها ($i = 1, 2, \dots, m$)	i
اندیس مشتری‌ها ($j, j' = m+1, m+2, \dots, m+n$)	j, j'
اندیس وسایل نقلیه در لایه اول ($k' = 1, 2, \dots, p$)	k'
اندیس وسایل نقلیه در لایه دوم ($k = p+1, p+2, \dots, p+q$)	k
تقاضای مشتری j	d_j
زمان تحویل مطلوب مشتری j	$\tilde{p}_j = (p_j^l, p_j^m, p_j^u)$
مسافت میان مشتری j و j'	$b_{jj'}$
مسافت میان مشتری j و دپوی i	b_{ij}^l
مسافت میان دپوی i و کارخانه	b_i^u
ظرفیت وسیله k	c_k
ظرفیت وسیله k'	$c_{k'}$
ظرفیت دپو i	c_i^u
محدودیت زمان کاری هر کدام از وسایل نقلیه لایه دوم	W
زمان حمل بین مشتری j و j'	$\tilde{t}_{jj'} = (t_{jj'}^l, t_{jj'}^m, t_{jj'}^u)$
زمان حمل بین مشتری j و دپوی i	$\tilde{t}_{ij} = (t_{ij}^l, t_{ij}^m, t_{ij}^u)$
زمان سرویس در محل مشتری j	$\tilde{g}_j = (g_j^l, g_j^m, g_j^u)$
زمان سرویس در محل دپوی i	$\tilde{g}_i = (g_i^l, g_i^m, g_i^u)$
زمان ویزیت مشتری j	$\tilde{a}_j = (a_j^l, a_j^m, a_j^u)$
هزینه ثابت استفاده از وسیله k	r_k
هزینه ثابت استفاده از وسیله k'	$r_{k'}$
هزینه ثابت راه‌اندازی دپوی i	r_i^u
هزینه متوسط حمل و نقل وسیله k برای یک واحد مسافت	h_k
هزینه متوسط حمل و نقل وسیله k' برای یک واحد مسافت	$h_{k'}$
یک عدد بزرگ دلخواه	M
وزن مشتری j	$:tw_j$

z_i	اگر از دپوی i استفاده شود مقدار ۱ می‌گیرد. در غیر این صورت برابر ۰ خواهد بود.
x_{ijkl}	اگر مشتری j توسط وسیله نقلیه k از طریق دپوی i تأمین شود این مشتری l ام مشتری در مسیر وسیله k است مقدار ۱ می‌گیرد. در غیر این صورت برابر ۰ خواهد بود. $l = 1, 2, \dots, n+1$
y_{ki}	اگر وسیله لایه دوم k به دپوی i تخصیص یابد مقدار ۱ می‌گیرد، در غیر این صورت مقدار ۰ می‌گیرد.
$y'_{k'i}$	اگر وسیله لایه اول k' به دپوی i تخصیص یابد مقدار ۱ می‌گیرد، در غیر این صورت مقدار ۰ می‌گیرد.
w_{ijk}	اگر مشتری j آخرین مشتری باشد که توسط وسیله k در دپوی i ویزیت می‌شود مقدار ۱ می‌گیرد. در غیر این صورت مقدار ۰ می‌گیرد.
$u_{ijj'k}$	اگر مشتری j در دپوی i توسط وسیله k بلافاصله قبل از مشتری j' بدون شارژ مجدد ویزیت شود مقدار ۱ می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار ۰ می‌گیرد.
$v_{ijj'k}$	اگر مشتری j در دپوی i توسط وسیله k بلافاصله قبل از مشتری j' و پس از شارژ مجدد ویزیت شود مقدار ۱ می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار ۰ می‌گیرد.
$Dr_{jj'}$	اگر مشتری j بلافاصله بعد از مشتری j' توسط یک وسیله (بدون شارژ مجدد) ویزیت شود مقدار ۱ می‌گیرد. در غیر این صورت برابر صفر است.
$Ir_{jj'}$	اگر مشتری j بلافاصله بعد از مشتری j' توسط یک وسیله (با شارژ مجدد) ویزیت شود مقدار ۱ می‌گیرد. در غیر این صورت برابر ۰ است.

۳-۵- مدل ریاضی

با توجه به پارامترها و متغیرهای نمایش داده شده در بالا، مدل ریاضی خطی عدد صحیح مسئله مورد نظر به شرح زیر می‌باشد:

$$\min Z_1 = \sum_i \sum_k y_{ki} r_k + \sum_i \sum_{k'} y'_{k'i} r'_{k'} + \sum_i r_i z_i + \sum_{k'} \sum_i h'_k b'_i y_{k'i} + \sum_k \sum_j \sum_i h_k b_{ij} x_{ijk} + \sum_k \sum_j \sum_i h_k b'_{ij} w_{ijk} + \sum_k \sum_{j'} \sum_j \sum_i h_k b_{jj'} u_{ijj'k} \quad (1)$$

$$+ \sum_k \sum_{j'} \sum_j \sum_i (h_k b'_{ij} + h_k b'_{ij'}) \times v_{ijj'k}$$

$$\min Z_2 = \sum_{j=1}^n t w_j D_j^+ \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_k \sum_t x_{ijkl} = 1 \quad (\forall j) \quad (3)$$

$$\sum_j \sum_l x_{ijkl} \leq M y_{ki} \quad (\forall (k, i)) \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ijkl} \leq 1 \quad (\forall (i, k, l)) \quad (5)$$

$$\sum_j \sum_k \sum_l d_j x_{ijkl} \leq c_i'' \quad (\forall i) \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_k \sum_l d_j x_{ijkl} \leq \sum_{k'} c'_k y'_{k'i} \quad (\forall i) \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l d_j x_{ijkl} \leq c_k \quad (\forall k) \quad (8)$$

$$\sum_i y'_{k'i} \leq 1 \quad (\forall k') \quad (9)$$

$$\sum_j \sum_k \sum_l x_{ijkl} \leq z_i M \quad (\forall i) \quad (10)$$

$$x_{ijkl} - \sum_{j' \neq j} x_{ij'k(l+1)} \leq w_{ijk} \quad (\forall(i, j, k, l = 1, \dots, n)) \quad (11)$$

$$x_{ijkl} + x_{ij'k(l+1)} \leq 1 + u_{ij'k} + v_{ij'k} \quad (\forall(i, j, j', k, l = 1, \dots, n)) \quad (12)$$

$$\sum_j x_{ijk(l+1)} \leq \sum_j x_{ijkl} \quad (\forall(i, k, l = 1, \dots, n)) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \sum_j \sum_i t_{ij}^m x_{ijk1} + \sum_j \sum_i w'_{ij'k} t_{ij}^m + \sum_l \sum_j \sum_i g_j^u x_{ijkl} \\ & + \sum_{j'} \sum_j \sum_i t_{ij'}^u U_{ij'k} + \sum_{j'} \sum_j \sum_i (t_{ij'}^u + t_{ij}^m + t_{ij}^m + g_i^m) v_{ij'k} \\ & \leq W \end{aligned} \quad (\forall k) \quad (14)$$

$$\tilde{a}_j \geq \sum_k \sum_i \tilde{t}'_{ij} x_{ijk1} \quad (\forall j) \quad (15)$$

$$\tilde{a}_j \geq \tilde{a}_{j'} + \tilde{g}_{j'} + \tilde{t}'_{j'j} - M(1 - Dr_{j'j}) \quad (\forall j, j') \quad (16)$$

$$\tilde{a}_j \geq \tilde{a}_{j'} + \tilde{g}_{j'} + \sum_k \sum_i (\tilde{t}'_{ij'} + \tilde{g}'_i + \tilde{t}'_{ij}) \times v_{ij'k} - M(1 - Ir_{j'j}) \quad (\forall(j, j' | j \neq j')) \quad (17)$$

$$\sum_k \sum_i U_{ij'k} \leq MDr_{j'j} \quad (\forall(j, j' | j \neq j')) \quad (18)$$

$$\sum_k \sum_i v_{ij'k} \leq Mlr_{j'j} \quad (\forall(j, j' | j \neq j')) \quad (19)$$

$$\tilde{a}_j - \tilde{p}_j = \tilde{D}_j^p - \tilde{D}_j^n \quad (\forall j) \quad (20)$$

$$D_j^+ = \frac{(D_j^{pu} + 4D_j^{pm} + D_j^{pl})}{6} \quad (\forall j) \quad (21)$$

$$x_{ijkl}, y_{ki}, y'_{ki}, w_{ijk}, u_{ij'k}, v_{ij'k} \in \{0, 1\} \quad (\forall(i, j, j', k, l)) \quad (22)$$

وسیله و در یک مکان روی مسیر آن وسیله تخصیص داده شود. محدودیت (۴) مشخص می‌کند که اگر از وسیله لایه دوم k در دیوی i استفاده نشود ($y_{ki} = 0$) نمی‌توان هیچ مشتری را به آن تخصیص داد. محدودیت (۵) نشان می‌دهد که به هر مکان l از مسیر هر وسیله k در دیوی i حداکثر یک مشتری را می‌توان تخصیص داد. محدودیت (۶) نشان می‌دهد که به هر دیو نباید بیشتر از ظرفیتش مشتری

در مدل بالا معادله (۱) کمینه کردن هزینه‌ها را نمایش می‌دهد، به‌صورتی که به ترتیب هزینه‌های راه‌اندازی وسایل لایه دوم، راه‌اندازی وسایل لایه اول، راه‌اندازی دیو، هزینه حمل در لایه اول و هزینه حمل در لایه دوم را در قالب چهار عبارت مدل نمایش می‌دهد. تابع هدف دوم (۲) جمع وزنی دیرکردها را نشان می‌دهد. محدودیت (۳) نشان می‌دهد که هر مشتری باید به‌طور دقیق به یک دیو و یک

مشتري j توسط وسیله k پس از شارژ مجدد ویزیت شود. با استفاده از محدودیت (۲۰) حدود بالایی، پایینی و میانی میزان دیرکرد غیرقطعی را با توجه به میزان تفاوت میان زمان تحویل محاسبه شده در مدل و زمان تحویل تعهد شده برای هر کدام از مشتری‌ها محاسبه می‌شود.

در محدودیت (۲۱) زمان دیرکرد قطعی برای هر کدام از مشتری‌ها به روش میانگین وزنی محاسبه می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود اعداد $1/6$ ، $4/6$ و $1/6$ به ترتیب برای وزن‌دهی به مقادیر بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه در نظر گرفته شده‌اند.

۴-۱- الگوریتم‌های حل پیشنهادی

این الگوریتم‌ها عبارت از یک الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۱ و یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید^۲ چند هدفه می‌باشند. در ادامه الگوریتم‌های پیشنهادی ارائه می‌شوند.

۴-۱-۱- الگوریتم NSGA II پیشنهادی

الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم کارا برای بهینه‌سازی است که از فرآیند تکامل نسل‌ها تقلید می‌کند. در سال‌های اخیر تعدادی الگوریتم ژنتیک چند هدفه توسط محققان پیشنهاد شده است که کاراترین آنها NSGA-II است. این روش توسط دب^۳ و همکاران [۲۲] معرفی شده است.

۴-۲- نحوه نمایش جواب

برای نمایش جواب از یک ماتریس پنج بخشی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال برای شش مشتری، هفت وسیله نقلیه در لایه‌های اول و دوم و سه دپو، نحوه نمایش جواب به شکل (۲) خواهد بود.

۴-۳- عملگرهای تقاطع

اولین عملگر تقاطعی که در الگوریتم مورد بررسی قرار می‌گیرد عملگر تقاطع تطبیق یافته جزئی^۴ (PMX) است. در این عملگر دو نقطه تصادفی روی رشته مربوط به کروموزوم‌های والدین انتخاب شده و اعداد بین این دو نقطه

تخصیص داده شود. محدودیت (۷) مشخص می‌کند که برای هر دپوی i جمع ظرفیت وسایل لایه اول تخصیص داده شده به دپوی i باید حداقل برابر تقاضای مشتری‌های تخصیص داده شده به دپو باشد. محدودیت (۸) بیان می‌کند که برای هر وسیله نقلیه لایه دوم k جمع تقاضای مشتری‌های تخصیص داده شده نباید بیشتر از ظرفیت وسیله باشد.

محدودیت (۹) بیان می‌کند که هر وسیله لایه اول k' حداکثر به یک دپو تخصیص داده شود. محدودیت (۱۰) بیان می‌کند که اگر از دپوی i استفاده نشود، نمی‌توان به آن دپو مشتری تخصیص داد. محدودیت (۱۱) به‌منظور تعیین آخرین مشتری که توسط وسیله k در دپوی i ویزیت می‌شود، ایجاد شده است. محدودیت (۱۲) بیان می‌کند که اگر مشتری j دقیقاً قبل از مشتری j' توسط وسیله k (بدون توجه به اینکه شارژ مجدد انجام شد یا نه) ویزیت شود یا u_{ijk} یا v_{ijjk} برابر ۱ می‌شود. محدودیت (۱۳) نشان می‌دهد که باید مسیرهای مربوط به هر وسیله لایه دوم k به ترتیب صعودی توسط مشتری‌ها پر شود. محدودیت (۱۴) محدودیت ساعات کاری هر وسیله نقلیه لایه دوم k را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۵) نشان می‌دهد که اگر مشتری j در مکان اول مسیر وسیله k قرار داشته باشد زمان ویزیت آن مشتری حداقل برابر زمان بین دپوی i و مشتری j است. محدودیت (۱۶) بیان می‌کند که اگر مشتری j بلافاصله پس از مشتری j' توسط وسیله k ویزیت شود (بدون شارژ مجدد) زمان ویزیت شدن مشتری j حداقل برابر زمان ویزیت شدن j' به اضافه زمان حرکت از مشتری j' به مشتری j و زمان سرویس در محل مشتری j' خواهد بود. محدودیت (۱۷) بیان می‌کند که اگر مشتری j بلافاصله پس از مشتری j' پس از شارژ مجدد توسط وسیله k ویزیت شود زمان ویزیت شدن مشتری j حداقل برابر زمان ویزیت شدن مشتری j' به اضافه زمان سرویس در محل مشتری j' به‌علاوه زمان حرکت از مشتری j' به دپوی i به‌علاوه زمان سرویس در محل دپوی i به‌علاوه زمان حرکت از دپوی i به مشتری j خواهد بود. (۱۸ و ۱۹) نیز مقادیر $Dr_{jj'}$ و $Ir_{jj'}$ را تعیین می‌کند، به‌صورتی که $Dr_{jj'}$ برابر یک است اگر مشتری j بلافاصله پس از مشتری j' توسط وسیله k (بدون شارژ مجدد) ویزیت شود. همچنین $Ir_{jj'}$ برابر یک است اگر مشتری j بلافاصله پس از

1- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

2- Simulated Annealing

3- Deb

4- Partially Matched Crossover (PMX)

با اعداد متناظرشان در والد دیگر جابه‌جا می‌شوند.

بخش اول (توالی مشتری‌ها)
 بخش دوم (توالی وسایل نقلیه لایه دوم)
 بخش سوم (تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه دوم)
 بخش چهارم (تخصیص وسایل نقلیه لایه دوم به دیوها)
 بخش پنجم (توالی وسایل نقلیه لایه اول)

۳	۴	۲	۱	۵	۶	
۷	۴	۵	۶	۱	۲	۳
۰	۲	۴	۰	۰	۰	۰
۱	۲	۴				
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

شکل (۲): نمایش جواب برای الگوریتم NSGA-II

P1:	۴	۸	۷	۳	۶	۵	۱	۱۰	۹	۲
P2:	۳	۱	۴	۲	۷	۹	۱۰	۸	۶	۵
C1:	۴	۸	۶	۲	۷	۹	۱	۱۰	۵	۳
C2:	۲	۱	۴	۳	۶	۵	۱۰	۸	۷	۹

شکل (۳): مثال برای عملگر تقاطع

Parent 1	1	0	2	3	2	Sum=8
Parent 2	3	1	0	2	2	Sum=8
Random string	1	2	1	1	2	
child	1	1	2	3	2	Sum=9

شکل (۴): نحوه انجام عملگر SSX

راست این فرزند نیز از سمت راست والد اول گرفته می‌شود ولی توالی این کارها توسط والد دوم تعیین می‌شود. به همین ترتیب فرزند دوم نیز تولید می‌شود [۲۳].
 برای بخش‌های سوم و چهارم که دارای محدودیت جمع ثابت هستند از یک تقاطع جدید به نام SSX³ استفاده می‌شود. این عملگر دو والد به‌عنوان ورودی می‌گیرد و یک فرزند تولید می‌کند، مکانیزم این عملگر به این شکل است

عملگر تقاطع دوم در نظر گرفته شده، عملگر تقاطع ترتیبی^۱ (OX) است. این عملگر یک نقطه تصادفی روی رشته مربوط به والدین انتخاب می‌کند، این نقطه والدها را به دو قسمت چپ و راست تقسیم می‌کند، فرزند اول قسمت سمت چپ خود را از قسمت سمت چپ والد اول به ارث می‌برد. هم‌چنین بنا به نظر سیوینانادام و دیپا^۲، سمت

3- Sequential Selective Crossover (SSX)

1- Ordered Crossover (OX)

2- Sivanandam and Deepa

شکل مشخص است از وسیله نقلیه ۱ استفاده نشده است و مشتری‌های ۵، ۱۰، ۳ و ۲ به وسیله شماره ۲ تخصیص داده شده‌اند. به همین ترتیب می‌توان تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه را تعیین نمود.

به همین شکل برای تخصیص وسایل نقلیه لایه دوم به دپوها از یک آرایه دو بعدی استفاده می‌شود. در نهایت اولویت استفاده از وسایل نقلیه لایه اول با استفاده از یک رشته p تایی تعیین می‌شود. لذا ساختار جواب مورد استفاده توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی دارای دو آرایه دو بعدی و یک رشته است.

۴-۷- تولید همسایگی

در الگوریتم SA طراحی شده، از پنج همسایگی مختلف برای حرکت به جواب مجاور استفاده می‌شود. در هر مرحله یکی از این پنج همسایگی به تصادف انتخاب می‌شود و حرکت به آن صورت می‌گیرد:

۱. همسایگی ۱: تعویض محل دو مشتری، وسیله نقلیه تخصیص داده شده به دو مشتری عوض می‌شود.
۲. همسایگی ۲: انتخاب یک مشتری شکل تصادفی و تخصیص آن به یک وسیله نقلیه دیگر.
۳. همسایگی ۳: تعویض محل دو وسیله نقلیه لایه دوم، یعنی دپو تخصیص داده شده به دو وسیله نقلیه باهم عوض می‌شود.
۴. همسایگی ۴: انتخاب یک وسیله نقلیه و تخصیص آن به یک دپوی دیگر به شکل تصادفی.
۵. همسایگی ۵: بر اولویت‌های وسایل نقلیه لایه اول اعمال می‌شود، روی این رشته دو نوع حرکت معاوضه و شیفت در نظر گرفته شده است.

۴-۸- قبول یا رد یک جواب

پس از تولید یک جواب جدید، اگر جواب جدید تعدادی از جواب‌های موجود در مجموعه را مغلوب کند، این جواب به مجموعه پارتو اضافه می‌شود و جواب‌های مغلوب شده از مجموعه پارتو حذف می‌شوند. اگر جواب جدید فقط یک جواب نامغلوب باشد، این جواب به مجموعه پارتو اضافه می‌شود. اگر جواب جدید نامغلوب نباشد، یعنی حداقل یک جواب در مجموعه پارتو جواب جدید را مغلوب کند، یک تابع احتمال چندجمله‌ای برای انتخاب تابع هدف برای مقایسه جواب جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این

که ابتدا یک رشته تصادفی از اعداد ۱ و ۲ تولید می‌شود، سپس با توجه به این رشته تصادفی هر یک از مکان‌های رشته فرزند توسط والد متناظر انتخاب می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی برای بخش‌های ۱، ۲ و ۵ دو عملگر تقاطع OX / PMX و جهت بخش‌های ۳ و ۴ از عملگر SSX استفاده می‌شود.

۴-۴- عملگرهای جهش

پس از انجام عملگر تقاطع بر کروموزوم‌ها، عملگر جهش بر آنها اعمال می‌شود. در الگوریتم ارائه شده این مقاله، برای بخش‌های ۱، ۲ و ۵ دو عملگر جهش معاوضه و شیفت در نظر گرفته می‌شود و عملگر مناسب در بخش‌های بعدی با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها تعیین می‌شود. جهش معاوضه به این ترتیب است که دو عدد در رشته مربوطه انتخاب شده با هم جابه‌جا می‌شوند. جهش شیفت به این ترتیب است که دو عدد روی رشته به‌طور تصادفی انتخاب شده و عدد اول جای عدد دوم را گرفته و همه اعداد بین این دو عدد یک خانه به سمت عدد اول شیفت داده می‌شوند. برای بخش‌های ۳ و ۴ از جهش بی‌جنسی^۱ استفاده می‌شود. این جهش ساده، ترتیب عددهای موجود در رشته مورد نظر را معکوس می‌کند.

۴-۵- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید چند هدفه

پیشنهادی

مفهوم شبیه‌سازی تبرید توسط کیرک پاتریک^۲ و همکاران [۲۴] در زمینه بهینه‌سازی معرفی شد. این الگوریتم از یک جواب اولیه S شروع کرده و با استفاده از یک روش تولید جواب همسایگی، یک جواب همسایگی S' تولید می‌کند.

۴-۶- ساختار جواب

در الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی، جواب اولیه به شکل تصادفی تولید می‌شود. در این الگوریتم برای کدگذاری تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه لایه دوم، از یک آرایه دو بعدی استفاده می‌شود. در شکل (۴) یک نمونه از این آرایه دو بعدی برای مسئله‌ای با ۱۰ مشتری و ۴ وسیله نقلیه نشان داده شده است. همان‌طور که در این

1- Asexual Mutation

2- Kirkpatrick

تحقیق دو تابع هدف در نظر گرفته شده است. لذا احتمال انتخاب هر یک از اهداف برابر ۰.۵ است. فرض کنید f تابع هدف انتخاب شده باشد و Δ میزان تغییر این تابع هدف باشد، اگر $0 \leq \Delta$ باشد جواب جدید قبول می‌شود، در غیر این صورت این جواب با احتمال $e^{-\Delta/T}$ قبول می‌شود.

۹-۴- زمان‌بندی خنک‌سازی

زمان‌بندی خنک‌سازی بر اساس تجربه قبلی تعیین می‌شود. در این مقاله دما در هر مرحله با استفاده از رابطه $T_{i+1} = q \cdot T_i$ در این رابطه T_i دما در تکرار i ام و q نسبت خنک‌سازی است.

۵- نتایج محاسباتی

۱-۵- تنظیم پارامترها

در این قسمت به تنظیم پارامترهای هر یک از الگوریتم‌های پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۲-۵- انتخاب پارامترها برای الگوریتم ژنتیک

پیشنهادی

در این بخش پارامترها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی تعیین می‌شود. این عملگرها و پارامترها در جدول (۱) به شکل تعدادی عامل آورده شده‌اند.

	۱	۲	۳	۴	...	۱۰
۱						
۲	۵	۱۰	۳	۲		
۳	۱	۳	۴			
۴	۶	۷				

شکل (۵): یک مثال از ساختار جواب الگوریتم SA

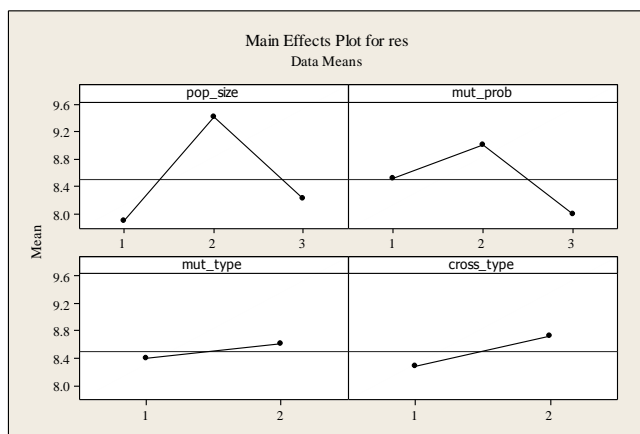
جدول (۱): عوامل و سطوح آنها

تعداد	سطوح	عامل
۲	{20,40,60}	اندازه جمعیت (Pop_Size)
۳	{0.03,0.06,0.09}	احتمال انجام عملگر جهش (Mut_Prob)
۲	{swap,shift}	نوع عملگر جهش (Mut_Type)
۲	{PMX,OX}	نوع عملگر تقاطع (Cross_Type)

راه‌های فراوانی برای طراحی آزمایش‌های تصادفی وجود دارد. بهترین و در عین حال زمان‌برترین روش، روش طرح عاملی کامل است. در این بخش با توجه به اینکه تعداد کل حالت‌ها ۳۶ مورد است می‌توان از طرح عاملی کامل استفاده کرد.

برای انجام طراحی آزمایشات سه مسئله با اندازه‌های متفاوت انتخاب شده است. این سه مسئله برای انجام آزمایشات در سه گروه مسئله، بزرگ، متوسط و کوچک انتخاب شده است.

متغیر پاسخ برای آزمایش‌ها برابر جمع معکوس اهداف جواب‌های پارتو به‌دست آمده در نظر گرفته شده است. دلیل انتخاب این متغیر این است که این متغیر کیفیت مرز به‌دست آمده را از نظر خوب بودن جواب‌ها و هم از نظر تعداد جواب‌ها، به خوبی منعکس می‌کند. آزمایش مذکور برای یک مثال بزرگ با ۱۰۰ مشتری و ۵۰ دپو انجام شده که نتیجه این آزمایش در قالب نمودار اثرات عمده در شکل (۵) آورده شده است.



شکل (۶): نمودار اثرات عمده

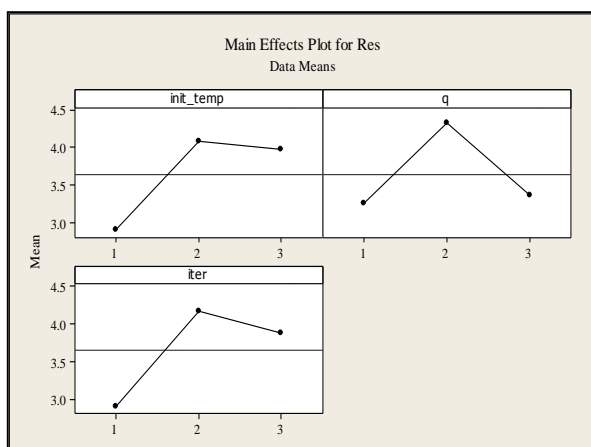
حال با توجه به این شکل سطوح بهینه برای هر عامل مطابق جدول (۲) انتخاب می‌شود.

جدول (۲): سطوح مناسب

سطح بهینه	عامل
{40}	اندازه جمعیت (pop_size)
{0.06}	احتمال انجام عملگر جهش (mut_prob)
{swap}	نوع عملگر جهش (mut_type)
{OX}	نوع عملگر تقاطع (mut_cross)

جدول (۳): عوامل و سطوح آنها

تعداد	سطوح	عامل
۳	{50,100,150}	دمای شروع (init_temp)
۳	{0.6,0.7,0.8}	ضریب خنک‌سازی (q)
۳	{50,100,150}	تعداد تکرار در هر دما (ite)



شکل (۷): نمودار اثرات عمده

۳-۵- انتخاب پارامترها برای الگوریتم شبیه‌سازی

تبرید پیشنهادی:

در این بخش پارامترها و عملگرهای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی تعیین می‌شود. این عملگرها و پارامترها در جدول (۳) به شکل تعدادی عامل آورده شده‌اند.

در این بخش انتخاب بهترین ترکیب این عملگرها و پارامترها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش با توجه به اینکه تعداد کل حالت‌ها ۲۷ مورد است می‌توان از طرح عاملی کامل استفاده کرد. آزمایش مذکور برای یک مثال بزرگ با ۱۰۰ مشتری و ۵۰ دپو انجام شده نتیجه این آزمایش در قالب نمودار اثرات عمده در شکل (۷) آورده شده است.

حال با توجه به این شکل سطوح بهینه برای هر عامل به شکل زیر انتخاب می‌شود:

جدول (۴): سطوح مناسب

عامل	سطح بهینه
دمای شروع (init_temp)	{100}
ضریب خنک‌سازی (q)	{0.7}
تعداد تکرار در هر دما (ite)	{100}

۴-۵- اعتبار سنجی الگوریتم‌های پیشنهادی

در این بخش یک مثال عددی با شش مشتری و سه محل کاندید برای احداث دپو، سه نوع وسیله نقلیه در لایه اول و دوم در نظر گرفته می‌شود. این مثال توسط الگوریتم‌های پیشنهادی حل می‌شود. برای به دست آوردن تخمینی از مرز پارتو توسط مدل ریاضی ابتدا اهداف مسئله را با استفاده از رابطه زیر نرمال‌سازی می‌شود. در این رابطه Z_i هدف i ام و Z_i^l و Z_i^u حدود پایین و بالا برای هدف i ام هستند.

$$Z_i^N = \frac{Z_i - Z_i^l}{Z_i^u - Z_i^l}$$

پس از نرمال نمودن اهداف، به‌طور سیستماتیک به دو هدف نرمال شده وزن‌های مختلف داده مدل ریاضی حل می‌شود. مرز پارتوی به دست آمده توسط مدل ریاضی و الگوریتم‌های پیشنهادی در شکل آورده شده است. همان‌طور که از این شکل مشخص است مدل ریاضی فقط قادر به به‌دست آوردن چهار نقطه از کل نقاط موجود در مرز پارتو است. دلیل این موضوع این است که حل نمودن مدل ریاضی با تغییر سیستماتیک وزن‌های اهداف بعضی از نقاط

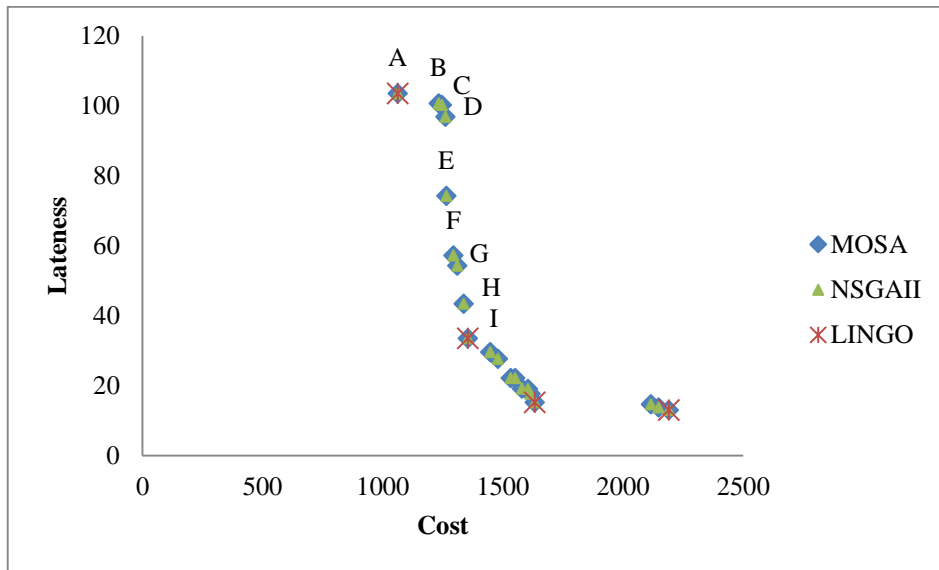
موجود در مرز پارتو را زیر بهینه فرض می‌کند. زیرا برای این نقاط هیچ ترکیب وزنی وجود ندارد که این نقاط کوچک‌ترین جمع وزن‌دار را تولید کنند. برای مثال، مدل ریاضی نتوانسته است هیچ‌کدام از نقاط بین A و I را به دست بیاورد، زیرا برای هر ترکیب وزنی، نقاط A و I جمع وزن‌دار کوچک‌تری نسبت به نقاط B, C, D, E, F, G و H ایجاد می‌کنند. به‌طور ساده‌تر، اگر یک خط مستقیم از نقطه A به نقطه I کشیده شود، همه نقاط B, C, D, E, F, G و H، بالای این خط قرار می‌گیرند. لذا با وجود اینکه نقاط B, C, D, E, F, G و H نقطه بهینه پارتو هستند و توسط هیچ جواب دیگری مغلوب نمی‌شوند، این نقاط از نظر مدل ریاضی بهینه نیستند. از این نظر استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی نسبت به حل مدل ریاضی دارای مزیت است. هم‌چنین جنبه منفی دیگر حل مدل ریاضی این است که برای به دست آوردن مرز پارتو، مدل باید بارها حل شود. اما از طریق الگوریتم‌های فراابتکاری کافی است فقط یک بار این الگوریتم‌ها اجرا شوند.

۵-۵- سنج‌های مقایسه جواب‌های بهینه پارتو

یک مرز پارتو مفید برای تصمیم‌گیرنده باید به تعداد کافی جواب‌های نامغلوب داشته باشد، نزدیک به جواب‌های بهینه پارتو بوده و در نهایت جواب‌های موجود در مرز باید دارای پراکندگی باشند. سنج‌های بسیاری به‌طور هم‌زمان برای مقایسه جنبه‌های مختلف مرز پارتو مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادبیات بهینه‌سازی چند هدفه سنج‌های بسیاری برای ارزیابی جنبه‌های مختلف مرز پارتو ارائه شده است. در این مقاله از هشت سنج اصلی برای مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی، استفاده شده است. در ادامه این هشت سنج توضیح داده شده و نحوه محاسبه آنها بیان می‌شود.

۵-۵-۱- تعداد جواب‌های آرشیوی پارتو (NPS)

این شاخص تعداد جواب‌های موجود در پارتو مربوط به هر الگوریتم حل را نشان می‌دهد، هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، مناسب‌تر می‌باشد.



شکل (۸): مرز پارتو به دست آمده توسط مدل ریاضی و الگوریتم‌های پیشنهادی

۵-۵-۲- فاصله^۱

این شاخص به وسیله اسکات^۲ (۱۹۹۵) برای اندازه‌گیری میزان گسترش در بین راه‌حل‌های به دست آمده معرفی گردید، مقدار این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

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

که در این رابطه $d_i = \min_{k \in n, k \neq i} \sum_{m=1}^2 |f_m^i - f_m^k|$

میانگین همه d_i ها و n سایز جبهه پارتو را $\bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$

مشخص می‌کند. فاصله اندازه‌گیری شده برابر با کم‌ترین مقدار مجموع قدرمطلق تفاضل در مقادیر توابع هدف بین i امین جواب و جواب‌های واقع در مجموعه نامغلوب نهایی است. قابل ذکر است که این معیار فاصله با معیار کم‌ترین فاصله اقلیدسی بین جواب‌ها متفاوت است. معیار بالا انحراف معیارهای مقادیر مختلف را اندازه‌گیری می‌کند. زمانی که جواب‌ها به طور یکنواخت در کنار هم باشند آنگاه مقدار S نیز کوچک خواهد بود، بنابراین الگوریتمی که جواب‌های نامغلوب نهایی آن دارای مقدار فاصله‌گذاری کوچکی باشند بهتر خواهد بود.

۵-۵-۳- حداکثر تنوع یا گسترش (MS^2)

این شاخص که گسترش نیز نامیده می‌شود، توسط زیتزلر^۴ (۱۹۹۵) معرفی شد. رابطه زیر در خصوص محاسبه این شاخص می‌باشد.

$$MS = \sqrt{\sum_{m=1}^M \left(\max_{i=1}^N f_m^i - \min_{i=1}^N f_m^i \right)^2}$$

در این رابطه، M و N به ترتیب تعداد توابع هدف و تعداد جواب‌های پارتو می‌باشد. از آنجایی که هر چه تنوع بیشتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم است، هر چه این شاخص بیشتر باشد، مناسب‌تر است.

۵-۵-۴- عدم یکنواختی جبهه پارتو^۵ (NPF)

این شاخص برای اندازه‌گیری میزان غیر یکنواختی توزیع جواب‌ها در جبهه پارتو مورد استفاده قرار می‌گیرد و با رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$NPF = \sqrt{\frac{\sum_i \left(\frac{d_i}{\bar{d}} - 1 \right)^2}{|A| - 1}}$$

3- Maximum Spread

4- Zitzler

5- Non-uniformity of Pareto Front

1- Spacing

2- Schott

$$\text{spread}(A) = \frac{\sum_{m=1}^M d_m^e + \sum_{i=1}^{|A|} |d_i - \bar{d}|}{\sum_{m=1}^M d_m^e + |A|\bar{d}}$$

در این معادله M تعداد اهداف است، d_i فاصله است. d_m^e فاصله بین جواب‌های کناری مرز پارتو بهینه و مرز پارتو به دست آمده در تابع هدف m ام است. هرچه مقدار این سنجه کمتر باشد مرز به دست آمده دارای توزیع بهتری است.

۵-۵-۸- سنجه نسبت جواب‌های نامغلوب^۴ (RM)

این سنجه میزان پوشش یک مجموعه جواب پارتو نسبت به جواب پارتو بهینه را نشان می‌دهد. این سنجه با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{nds}(A_j) = \frac{|A_j - \{(x \in A_j | \exists y \in A: y < x)\}|}{|A_j|}$$

در این فرمول $x < y$ نشان‌دهنده این است که حل x به دست آمده توسط حل y مغلوب می‌شود. هرچه این سنجه بیشتر باشد مرز به دست آمده مرز بهتری است. سه سنجه آخر به وسیله کومار^۵ (۲۰۰۷) پیشنهاد گردید.

۵-۶- نتایج محاسباتی

در این بخش برای مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی تعدادی مسئله در سه مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ حل می‌شود. شرط خاتمه برای الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی برابر زمان اجرای ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

کـــــه در آن $d_i = \min_{K \in n, K \neq i} \sqrt{\sum_{m=1}^2 (f_m^i - f_m^k)^2}$ می‌باشد. مقدار کمتر این شاخص ارزش بالاتری برای الگوریتم فراهم می‌آورد.

۵-۵-۵- میانگین فاصله ایده‌آل^۱ (MID)

این شاخص نزدیکی بین جواب‌های پارتو و نقطه ایده‌آل (0,0) را محاسبه می‌کند. مقدار کمتر این شاخص بدیهی است که بهتر می‌باشد. در رابطه زیر n تعداد جواب‌های نامغلوب و f_1^1 و f_i^2 مقادیر اولین و دومین تابع هدف به ازای جواب‌های پارتو می‌باشد.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{f_{1i}^2 + f_{2i}^2}}{n}$$

۵-۵-۶- سنجه همگرایی^۲ (CM)

این سنجه میزان فاصله بین مجموعه جواب‌های پارتو به دست آمده و مجموعه جواب‌های پارتو دقیق را محاسبه می‌کند. این سنجه با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{convergence}(A) = \frac{\sum_{i=1}^{|A^*|} dt_i}{|A^*|}$$

$$dt_i = \min_{j=1}^{|A^*|} \sqrt{\sum_{m=1}^M \left[\frac{f_k(i) - f_k(j)}{f_m^{max} - f_m^{min}} \right]^2}$$

در این معادلات $|A^*|$ تعداد اعضای مجموعه A است. f_m^{min} و f_m^{max} به ترتیب کم‌ترین و بیشترین مقدار تابع هدف m ام هستند. هرچه این سنجه کمتر باشد مرز پارتو به دست آمده بهتر است.

۵-۵-۷- سنجه گستردگی^۳ (SM)

این سنجه نحوه توزیع جواب‌های پارتو را با استفاده از فاصله نسبی جواب‌های متوالی محاسبه می‌کند.

4- Ratio Measure

5- Kumar

1- Mean Ideal Distance

2- Convergence Measure

3- Spread Measure

جدول (۵): نتایج محاسباتی برای مثال‌های کوچک
نتایج محاسباتی برای مثال‌های کوچک بر اساس NSGAI

مثال	سنجه							
	CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID
1	0.02	0.92	0.00	19.00	104.04	1475.96	0.80	3234.49
2	0.05	0.99	0.00	16.00	95.24	1057.41	0.85	3443.69
3	0.04	0.93	0.00	16.00	132.81	2128.90	0.46	4508.41
4	0.06	0.89	0.00	18.00	67.51	1819.86	0.31	4511.17
5	0.15	0.96	0.00	17.00	303.84	3496.92	0.60	5565.28
6	0.23	0.96	0.00	17.00	673.05	6445.64	0.69	7642.82
7	0.02	0.92	0.00	19.00	104.04	1475.96	0.80	3234.49
8	0.05	0.99	0.00	16.00	95.24	1057.41	0.85	3443.69

نتایج محاسباتی برای مثال‌های کوچک بر اساس MOSA

مثال	سنجه							
	CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID
1	0.00	0.89	1.00	46.00	124.07	3200.08	1.76	3199.69
2	0.00	0.98	1.00	39.00	135.23	3002.85	1.73	3173.31
3	0.00	0.92	1.00	63.00	57.48	3114.63	1.15	3737.29
4	0.00	0.99	1.00	72.00	162.15	5185.85	2.23	4353.86
5	0.00	0.94	1.00	87.00	87.00	4704.18	1.60	4496.68
6	0.00	1.01	1.00	94.00	257.36	8078.12	2.98	6411.20
7	0.00	0.89	1.00	46.00	124.07	3200.08	1.76	3199.69
8	0.00	0.98	1.00	39.00	135.23	3002.85	1.73	3173.31

جدول (۶): نتایج محاسباتی برای مثال‌های متوسط
نتایج محاسباتی برای مثال‌های متوسط بر اساس NSGAI

مثال	سنجه							
	CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID
1	0.38	0.88	0.00	14.00	353.56	6934.14	0.24	10944.30
2	0.35	0.99	0.00	11.00	849.64	7443.33	0.34	11871.80
3	0.49	0.99	0.00	16.00	1056.24	13707.40	0.42	18844.30
4	0.79	0.96	0.00	20.00	1133.93	19737.00	0.49	23780.50
5	0.85	0.96	0.00	16.00	1297.89	14128.40	0.58	21499.50
6	0.63	1.02	0.00	15.00	1519.36	14338.00	0.52	30565.10
7	0.58	1.00	0.00	14.00	1940.14	16905.70	0.51	29919.10
8	0.91	1.02	0.00	11.00	3018.14	16582.70	0.62	40052.60

نتایج محاسباتی برای مثال‌های متوسط بر اساس MOSA

مثال	سنجه							
	CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID
1	0.00	0.88	1.00	101.00	96.94	7195.30	1.35	7925.79
2	0.00	0.84	1.00	111.00	144.22	10626.90	1.50	9259.10
3	0.00	0.93	1.00	117.00	194.86	13308.90	1.71	11300.90
4	0.00	1.03	1.00	97.00	291.52	13979.90	2.00	12571.40
5	0.00	0.93	1.00	86.00	149.08	9681.16	1.32	12597.30
6	0.00	0.97	1.00	117.00	285.22	19915.80	1.67	18277.60
7	0.00	0.96	1.00	114.00	282.56	19560.20	1.64	17760.20
8	0.00	0.99	1.00	86.00	491.25	23519.30	1.79	21488.00

جدول (۷): نتایج محاسباتی برای مثال های بزرگ
نتایج محاسباتی برای مثال های بزرگ بر اساس NSGAI

مثال	سنجه							
	CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID
1	10.27	1.00	0.00	14.00	7121.36	74974.40	0.74	340045.00
2	3.07	0.97	0.00	11.00	4271.44	53097.90	0.33	330956.00
3	3.56	1.02	0.00	9.00	18438.30	84621.60	0.74	383800.00
4	9.23	1.00	0.00	8.00	9962.17	49565.80	0.64	388933.00
5	4.34	0.97	0.00	19.00	10277.00	154619.00	0.93	522323.00
6	10.62	0.95	0.00	15.00	6702.93	113138.00	0.49	510129.00
7	3.28	0.96	0.00	18.00	10894.40	201603.00	0.55	614909.00
8	9.78	0.95	0.00	23.00	3841.35	117327.00	0.58	611755.00
9	4.15	0.97	0.00	13.00	4563.46	85020.70	0.40	697401.00

نتایج محاسباتی برای مثال های بزرگ بر اساس MOSA

مثال	سنجه							
	CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID
1	0.00	0.94	1.00	37.00	1606.16	49814.90	1.18	128130.00
2	0.00	1.01	1.00	60.00	2789.97	91774.90	1.81	147825.00
3	0.00	0.97	1.00	45.00	2093.40	68606.80	1.36	156082.00
4	0.00	0.94	1.00	35.00	2209.09	49498.10	1.54	145557.00
5	0.00	0.96	1.00	31.00	6455.35	121103.00	1.63	208448.00
6	0.00	0.89	1.00	41.00	3110.27	95047.40	1.33	202600.00
7	0.00	0.99	1.00	48.00	3902.78	107187.00	1.73	236682.00
8	0.00	0.93	1.00	35.00	3478.58	89908.90	1.33	228011.00
9	0.00	0.99	1.00	32.00	3884.31	105170.00	1.16	292829.00

جدول (۸): جدول مقایسه تعداد مثال های غالب هر الگوریتم برای مثال های کوچک

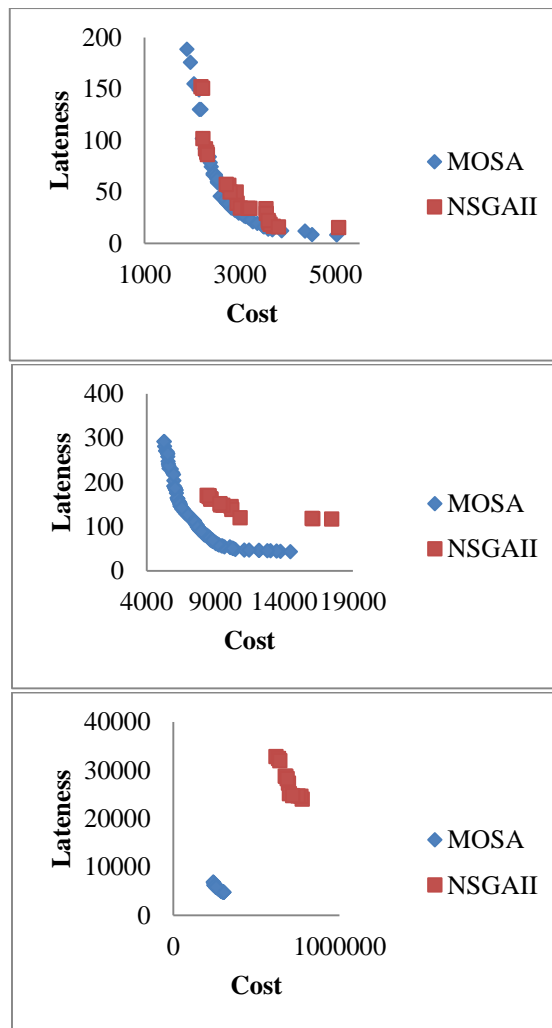
۸								تعداد مثال ها
CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID	سنجه ها
0	2	0	0	5	0	8	0	NSGAI
8	6	8	8	3	8	0	8	MOSA

جدول (۹): جدول مقایسه تعداد مثال های غالب هر الگوریتم برای مثال های متوسط

۸								تعداد مثال ها
CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID	سنجه ها
0	1	0	0	0	3	8	0	NSGAI
8	7	8	8	8	5	0	8	MOSA

جدول (۱۰): جدول مقایسه تعداد مثال های غالب هر الگوریتم برای مثال های بزرگ

۹								تعداد مثال ها
CM	SM	RM	NPS	SP	MS	NPF	MID	سنجه ها
0	3	0	0	0	7	9	0	NSGAI
9	6	9	9	9	2	0	9	MOSA



شکل (۹): مرز پارتو به دست آمده توسط دو الگوریتم

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله مسئله مکان‌یابی مسیریابی همراه با پارامترهای فازی مورد مطالعه قرار گرفته است. این مسئله شامل تعیین مکان دپوها و تعیین مسیر خدمت‌دهی مشتری‌ها و توسط وسایل نقلیه است. در این مقاله به‌طور خاص زمان‌های سفر و زمان‌های تحویل به شکل فازی در نظر گرفته شده و یک مدل دو هدفه برای این مسئله پیشنهاد شده است. هدف‌های در نظر گرفته شده در این مقاله شامل کمینه کردن هزینه‌های شبکه توزیع و جمع وزن‌دار دیرکردها است. هزینه‌های شبکه توزیع شامل هزینه‌های نصب دپوها و هزینه‌های حمل‌ونقل است و در مورد هدف دوم، برای هر یک از مشتری‌ها یک موعد تحویل در نظر گرفته شده و کمینه جمع وزن‌دار دیرکردها به‌عنوان هدف دوم در نظر گرفته شده است.

برای حل این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی توسعه داده شد، اما از آنجا که مسئله مورد نظر در مقوله مسائل

۵-۶-۱- مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها با توجه به سنجه‌ها

در این قسمت در سه جدول میزان برتری الگوریتم‌ها در هشت سنجه مذکور بررسی می‌شود تعداد مثال‌هایی که هر الگوریتم در هر سنجه، الگوریتم دیگر را مغلوب نموده است، در سطر مربوطه درج گردیده است.

برای توضیح بیشتر عملکرد دو الگوریتم مرز پارتو به دست آمده توسط این دو الگوریتم برای اولین مسئله (با ۱۰ مشتری و ۶ دپو)، دومین مسئله (با ۲۰ مشتری و ۱۵ دپو)، سومین مثال (با ۱۴۰ مشتری و ۱۱۵ دپو) در شکل (۸) نشان داده شده است، همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌کنید، جواب‌های به دست آمده توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرید کاملاً جواب‌های به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک را مغلوب نموده‌اند.

- [5] Megiddo, N. & Supowit, K. J. "On the complexity of some common geometric location problems". SIAM journal on computing, Vol.13, pp. 182-196, 1984.
- [6] Shen, Z. "Integrated supply chain design models: a survey and future research directions". Journal of Industrial and Management Optimization, Vol.3, pp. 1, 2007.
- [7] Prins, C., Prodhon, C. & Calvo, R. W. "Solving the capacitated location-routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking". 4OR, Vol.4, pp. 221-238, 2006.
- [8] Salhi, S. & Rand, G. K. "The effect of ignoring routes when locating depots". European Journal of Operational Research, Vol.39, pp. 150-156, 1989.
- [9] Karaoglan, I., Altıparmak, F., Kara, I. & Dengiz, B. "The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach". Omega, Vol.40, pp. 465-477, 2012.
- [10] Xu, Z., Xu, D. & Zhu, W. "Approximation results for a min-max location-routing problem". Discrete Applied Mathematics, Vol.160, pp. 306-320, 2012.
- [11] Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L. & Alçada-Almeida, L. "Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans". Journal of Transport Geography, Vol.22, pp. 206-218, 2012.
- [12] Martínez-Salazar, I. A., Molina, J., Ángel-Bello, F., Gómez, T. & Caballero, R. "Solving a bi-objective Transportation Location Routing Problem by metaheuristic algorithms". European Journal of Operational Research, 2013.
- [13] Derbel, H., Jarbou, B., Hanafi, S. & Chabchoub, H. "Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem". Expert Systems with Applications, Vol.39, pp. 2865-2871, 2012.
- [14] Laporte, G., Nobert, Y., "An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location". European Journal of Operational Research 6, 224-226, 1981.
- [15] Chan, Y., Carter, W.B., Burnes, M.D., "A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands". Computers and Operations Research 28,803-826, 2001.
- [16] Liu, S.C., Lee, S.B., "A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into considerations". International Journal of advanced Manufacturing Technology 22, 941-950, 2003.
- [17] Albareda-Sambola, M., Fernández, E., Laporte, G., "Heuristic and lower bound for a stochastic

NP-hard قرار می‌گیرد، این مدل را نمی‌توان به‌طور کارا برای مسائل بزرگ حل نمود، لذا دو الگوریتم فرا ابتکاری چند هدفه برای حل این مدل توسعه داده می‌شود. این دو الگوریتم عبارت‌اند از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید چند هدفه. از آنجا که انتخاب پارامترهای مناسب تأثیر به‌سزایی در عملکرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری دارد، پارامترهای مناسب برای این دو الگوریتم با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها انتخاب شده است.

نتایج محاسباتی نشان‌دهنده این است که برای اکثر سنجه‌ها در مسائل کوچک، بزرگ و متوسط، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید عملکرد بهتری داشته و مرز به‌دست آمده توسط این الگوریتم جواب‌های به‌دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک را مغلوب می‌کنند. لذا در کل استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل این مسئله توصیه می‌شود.

در نظر گرفتن اهداف دیگر برای این مسئله مانند زمان سرویس‌دهی به آخرین مشتری به‌عنوان راهکارهایی برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شوند. از طرفی همان‌طور که از نتایج محاسباتی مشخص است الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای اکثر مثال‌ها عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است، یکی از دلایل این موضوع مربوط به ساختار مسئله است که مستلزم تخصیص دادن مشتری‌ها به وسایل حمل‌ونقل و وسایل حمل‌ونقل به دپوها است، یعنی تصمیمات بیشتر از نوع تخصیص هستند. برای این نوع تصمیم‌ها نوعی الگوریتم ژنتیک خاص با نام الگوریتم ژنتیک گروه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا یکی از راهکارها برای تحقیقات آتی ارائه یک الگوریتم ژنتیک گروه‌بندی چند هدفه برای حل مسئله مورد مطالعه است.

۷- منابع

- [1] Tuzun, D. & Burke, L. I. "A two-phase tabu search approach to the location routing problem". European Journal of Operational Research, Vol.116, pp. 87-99, 1999.
- [2] Cornuejols, G., Fisher, M. L. & Nemhauser, G. L. "Exceptional Paper—Location of Bank Accounts to Optimize Float: An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms". Management Science, Vol.23, pp. 789-810, 1977.
- [3] Karp, R. M. "Reducibility among combinatorial problems". Springer, 1972.
- [4] Gary, M. R. & Johnson, D. S. "Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness". WH Freeman and Company, New York, 1979.

problem with time windows under uncertainty". Knowledge-Based Systems, 2012.

location-routing problem". European Journal of Operational Research 179, 940-955, 2007.

[18] Zarandi, M. H. F., Hemmati, A. & Davari, S. *"The multi-depot capacitated location-routing problem with fuzzy travel times"*. Expert Systems with Applications, Vol.38, pp. 10075-10084, 2011.

[19] Contardo, C., Hemmelmayr, V. & Crainic, T. G. *"Lower and upper bounds for the two-echelon capacitated location-routing problem"* Computers & Operations Research, Vol.39, pp. 3185-3199, 2012.

[20] Mehrjerdi, Y. Z. & Nadizadeh, A. *"Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands"*. European Journal of Operational Research, 2013.

[21] Ghaffari-Nasab, N., Ahari, S. G. & Ghazanfari, M. *"A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands"*. Scientia Iranica, 2013.

[22] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. & Meyarivan, T. *"A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II"*, 2002.

[23] Sivanandam, S. & Deepa, S. *"Introduction to genetic algorithms"*. Springer, New York, 2008.

[24] Kirkpatrick, S., Jr., D. G. & Vecchi, M. P. *"Optimization by simulated annealing' Science"*. Vol.220, pp. 671-680, 1983.

[25] Albareda-Sambola, M., Diaz, J.A., Fernandez, E., *"A compact model and tight bounds for a combined location routing problem"*. Computers and Operations Research 32,407-428, 2005.

[26] Jafari, A., Golozari, F., *"Application of Ranking Function to Solve Fuzzy Location-Routing Problem with L-R fuzzy Numbers"*. 2nd IEEE International Conference on Information and Financial Engineering (ICIFE), 351 – 355, 2010.

[27] Kumar, R. & Singh, P. *"Pareto evolutionary algorithm hybridized with local search for biobjective tsp"*. Hybrid Evolutionary Algorithms. Springer, 2007.

[28] Nguyen, V.-P., Prins, C. & Prodhon, C. *"A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.25, pp. 56-71, 2012-a.

[29] Nguyen, V.-P., Prins, C. & Prodhon, C. *"Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking"*. European Journal of Operational Research, Vol.216, pp. 113-126, 2012-b.

[30] Srinivas, N. & Deb, K. *"Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms"*. Evolutionary Computation, Vol.2, pp. 221-248, 1994.

[31] Zarandi, M. H. F., Hemmati, A., Davari, S. & Burhan Turksen, I. *"Capacitated location-routing*