

بهینه‌سازی مسئله‌ی دوهدفه تلفیقی مکان‌یابی - قیمت‌گذاری - صف

اسماعیل مهدی‌زاده* (استادیار)

امین محمودی (دانشجوی دکتری)

وحید حاجی‌پور (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

مهندسی صنایع و مدیریت شریف (تابستان ۱۳۹۴)
دوری ۱ - ۳۱، شماره ۱، ص. ۱۰۵-۹۳

این تحقیق به دنبال ارائه‌ی مدلی برای مکان‌یابی تسهیلات دوهدفه با در نظر گرفتن صف و سیاست قیمت‌گذاری است. سیستم صف در نظر گرفته شده به صورت چندین خدمت‌دهنده، و ظرفیت صف محدود به صورت $M/M/m/k$ است. در سیستم مورد نظر، هر دو مشخصه‌ی مطابقت از دیدگاه مشتری (مدت زمان انتظار) و از دیدگاه طراح سیستم (سود سیستم) به‌طور هم‌زمان مد نظر قرار گرفته است. در این راستا یک مدل دوهدفه با اهداف بیشینه‌سازی سود سیستم و کمینه‌سازی مدت زمان انتظار مشتریان در صف ارائه شده است. مدل ارائه شده به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح بوده و در رده‌ی مسائل بسیار پیچیده قرار دارد. بدین منظور یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر نظریه‌ی ارتعاشات برای حل مدل ریاضی ارائه شده است. در نهایت، الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های موجود در ادبیات مقایسه شده و کارایی آن در مسائل آزمایشی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی تسهیلات، نظریه‌ی صف، قیمت‌گذاری، تصمیم‌گیری چندهدفه، بهینه‌سازی میرایی ارتعاش چندهدفه.

۱. مقدمه

امروزه ترکیب مسائل مکان‌یابی تسهیلات، با رویکردهای دیگری مانند ساختار صف، مباحث قیمت‌گذاری، زنجیره‌ی تأمین و غیره مورد توجه بیشتری قرار گرفته و سبب افزایش جذابیت این موضوع برای محققین شده است. بدون هیچ تردیدی آثار مثبت مکان‌یابی هرچه دقیق‌تر تسهیلات بر منابع اقتصادی و رضایت مشتریان نشان داده خواهد شد. در کاربردهای گسترده‌ی صنعتی و خدماتی مسائل مکان‌یابی تسهیلات، همواره یکی از مهم‌ترین سوالات در تعیین تعداد بهینه‌ی تسهیلات و تخصیص مشتریان به تسهیلات انتخاب شده است. در این نوشتار یک مدل ترکیبی از مسائل مکان‌یابی تسهیلات، صف و سیاست‌های قیمت‌گذاری ارائه می‌شود.

در مسائل جانمایی، چگونگی قرارگیری یک مجموعه از تسهیلات به‌منظور بهینه‌سازی یک تابع هدف معلوم به‌همراه تعدادی از محدودیت‌ها بررسی می‌شود. تحلیل جانمایی و تصمیم‌گیری در خصوص جانمایی تسهیلات از زمان‌های دور وجود داشته، و هم‌اکنون نیز از مسائل بسیار مهم در تصمیم‌گیری دولت‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌ها محسوب می‌شود. تصمیمات مربوط به جانمایی در مسائل حوزه‌های گوناگون -- اعم از بخش‌های دولتی و خصوصی ظاهر می‌شود. در بخش‌های خصوصی، مراکز صنعتی و کارخانجات برای استقرار دفاترشان در سطح شهر، تعیین

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۲۷/۶/۱۳۹۲، اصلاحیه ۲۱/۱۰/۱۳۹۲، پذیرش ۱۱/۱/۱۳۹۲.

emehdi@qiau.ac.ir
v.hajipour@yahoo.com
amin.mahmoudi10@gmail.com

مراکز توزیع و غیره باید تصمیم‌گیری کنند. در بخش دولتی نیز تعیین مکان مراکز از قبیل ایستگاه پلیس راه، اورژانس و غیره از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است. بدون شک جانمایی درست تسهیلات، اثرات بسیاری در منافع اقتصادی، ارائه‌ی خدمات مناسب و رضایت مشتریان دارد.

مسائل و مدل‌های مکان‌یابی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: ۱. مسائل مکان‌یابی پیوسته؛ ۲. مسائل مکان‌یابی گسسته؛ ۳. مسئله‌ی مکان‌یابی شبکه‌یی. در این مطالعه مدل‌های مکان‌یابی گسسته مد نظر است. در مکان‌یابی پیوسته، مکان مناسب برای ایجاد تسهیل جدید را در هر نقطه‌ی دلخواهی می‌توان انتخاب کرد و محدودیتی برای انتخاب محل بهینه وجود ندارد. در واقع اگر فضای مکان‌یابی یک فضای پیوسته و با متغیرهای پیوسته تعریف شود، ما با یک مسئله‌ی مکان‌یابی پیوسته^۱ مواجه خواهیم شد. ولی در مکان‌یابی گسسته از قبیل تعدادی از مکان‌ها برای احداث تسهیل جدید به‌صورت بالقوه در نظر گرفته شده که فقط مکان بهینه را در یکی از این محل‌ها می‌توان انتخاب کرد. در واقع اگر فضای مکان‌یابی با یک مجموعه مکان مشخص و مجزا از هم تعریف شود و هدف انتخاب زیرمجموعه‌یی از مکان‌ها جهت استقرار اشیاء باشد ما با یک مسئله‌ی مکان‌یابی گسسته^۲ روبه‌رو هستیم. تعدادی از مسائل مهم مکان‌یابی، روی شبکه یا گراف مدل‌سازی شده‌اند.

به‌طور کلی هشت مدل پایه‌ی مکان‌یابی در ادبیات مسائل مکان‌یابی معرفی

شده، که در این بخش تنها مدل n میانه^۲، از مشهورترین مدل‌های مکان‌یابی شبکه‌یابی، با توجه به هدف و محدوددهی این مطالعه شرح داده می‌شود.^[۱] مسئله‌ی n میانه اولین بار برای یافتن میانه‌ها بر روی شبکه‌ها و گراف‌ها مطرح شد.^[۲] در مدل‌های n میانه هدف مکان‌یابی n وسیله‌ی جدید (میانه) است به نحوی که مکان این n وسیله‌ی جدید موجود در شبکه در بین m وسیله‌ی موجود (گره‌ها) تعیین شود تا از این طریق مجموع موزون مسافت‌ها یا زمان‌های طی‌شده بین وسایل موجود تا نزدیک‌ترین وسیله‌ی جدید کمینه شود. با توجه به یک رشته فرضیات مختلف که می‌توان در این‌گونه مسائل مکان‌یابی مطرح کرد مدل‌های مختلفی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. باید توجه داشت که عطف به خاصیت بهینگی گره‌ها^۴، فقط گره‌های موجود را می‌توان به‌عنوان مکان‌های بالقوه برای استقرار وسایل جدید در نظر گرفت. از سوی دیگر، نظریه‌ی صف که به مطالعه‌ی صف‌ها از دیدگاه ریاضی می‌پردازد، تأثیر عوامل تشکیل‌دهنده‌ی صف و راه‌های منطقی زمان انتظار را بررسی می‌کند.

امروزه با رقابتی شدن بازارها و با افزایش دانش و قدرت مشتریان در انتخاب محصولات و در نتیجه، سخت‌تر شدن پیش‌بینی تقاضا، علم مدیریت زنجیره‌ی تأمین (SCM)^۵ برای سازمان‌های تولیدی اهمیت فراوانی یافته است. از سوی دیگر افزایش نیازهای مشتریان در محیط‌های رقابتی، و تأثیر زیاد پارامترهایی همچون قیمت، زمان تحویل محصول، کیفیت محصول، تنوع محصولات و غیره در تقاضای مشتریان برای خرید کالا یا خدمات، سازمان‌ها را بر آن داشته تا مطالعات دقیق‌تر و جدی‌تری روی رفتار مشتریان نسبت به پارامترهای مختلف انجام دهند. مهم‌ترین هدف در مدیریت زنجیره‌ی تأمین کاهش هزینه‌ها همراه با افزایش سطح خدمت‌دهی به مشتریان است. از سوی دیگر وجود تناقض‌ها در اهداف و شیوه‌های کسب و کار حلقه‌های مختلف یک زنجیره‌ی تأمین، رسیدن به این اهداف را دشوار ساخته است. از این رو سازمان‌ها به این فکر افتاده‌اند که با همکاری هم در یک زنجیره‌ی تأمین، هزینه‌های کل زنجیره را کاهش دهند تا از طریق ایجاد یک رابطه‌ی برد - برد همه‌ی آنها به خواسته‌های خود دست یابند.

نکته‌یی که باید به آن توجه شود این است که آیا همیشه کمینه کردن هزینه‌های یک سازمان هدف مناسب و کاملی برای بقای آن است. پرواضح است که یک سازمان تنها زمانی می‌تواند به بقای خود در بازارهای رقابتی امیدوار باشد که پول‌ساز باشد. از این رو پارامتر تعیین قیمت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای تصمیم در قالب علم مدیریت درآمد (RM)^۶ مطرح شده است. در این مورد تابع تقاضا به‌عنوان تابعی از قیمت که رفتار مشتری را نسبت به قیمت نشان می‌دهد اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند. تفاوت عمده‌ی مسائل مدیریت درآمد و مدیریت زنجیره‌ی تأمین در اهداف آنهاست، به طوری که در مسائل SCM معمولاً کمینه کردن هزینه‌ها به‌عنوان هدف در نظر گرفته می‌شود در حالی که در مسائل RM بیشینه کردن سود تابع هدف اصلی است. البته این که در مسائل محض مدیریت درآمد فقط قیمت به‌عنوان یک پارامتر تأثیرگذار در تقاضای مشتریان در نظر گرفته می‌شود نیز کار صحیحی نیست زیرا چنان که گفته شد در یک زنجیره‌ی تأمین عوامل زیادی به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار در مقدار تقاضا شناسایی شده‌اند، بنابراین به‌منظور بهینه‌کردن سود عوامل زیادی باید شناسایی و بهینه شود.

در مدل ترکیبی ارائه شده در این مقاله، هدف تعیین مکان بهینه‌ی تسهیلات، فرایند تخصیص بهینه‌ی نقاط تقاضا به مشتریان، تعیین سیاست قیمت‌گذاری بهینه و در مواردی نیز تعیین تعداد خدمت‌دهنده‌های بهینه و ظرفیت بهینه‌ی سیستم صف است. در این راستا، تقاضا به‌صورت تابعی از برخی متغیرها نظیر قیمت، فاصله‌ی نقاط تقاضا از مکان‌های خدمت‌دهی در نظر گرفته شده و توابع هدف شامل

بیشینه‌سازی کل سود سیستم و کمینه‌سازی مدت زمان انتظار متقاضی درون صف است. با توجه به NP-Hard بودن مسئله‌ی اصلی تحقیق، برآن هستیم تا برای حل مدل‌های ارائه‌شده از روش‌های حل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، الگوریتم‌های ابتکاری و الگوریتم فراابتکاری بهره‌جویم. ویژگی خاص تحقیق مورد نظر، دامنه‌ی ادبیات محدود تحقیقات در زمینه‌ی مسائل مکان‌یابی و تخصیص در چارچوب صف با در نظر گرفتن همزمان چند هدف است. تعیین سیاست قیمت‌گذاری بهینه از دیگر مواردی است که مدل‌های ارائه شده در این حیطه را به شرایط دنیای واقعی نزدیک‌تر ساخته است. نتایج این تحقیق قابل پیاده‌سازی در مؤسسات خدماتی و صنعتی مانند دستگاه‌های ATM، ایستگاه‌های سوخت‌رسانی، مراکز خدماتی بین شهری مانند رستوران‌ها و هتل‌ها و دیگر کاربردهایی است که سیستم فعالیت‌ی آنها به شرایط مدل‌های ارائه شده نزدیک است. این مقاله به دنبال ارائه‌ی یک مدل ریاضی دوهدفه، شامل: ۱. بیشینه‌سازی سود سیستم و ۲. کمینه‌سازی مدت زمان انتظار مشتریان در صف است. مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن سیستم صف $M/M/m/k$ با چندین خدمت‌دهنده و محدودیت ظرفیت صف مد نظر قرار گرفته شده است. علاوه بر آن، با در نظر گرفتن وابستگی تقاضا به قیمت و فاصله، قیمت بهینه برای ارائه‌ی خدمت در هر تسهیل با استفاده از مفاهیم قیمت‌گذاری تعیین می‌شود.

در ادامه‌ی مقاله ابتدا مروری خواهیم داشت بر مطالعات انجام شده در این زمینه. در بخش ۳ مسئله‌ی پیشنهادی تشریح و مدل‌سازی ریاضی مسئله ارائه شده است. در بخش ۴ الگوریتم‌های چندهدفه‌ی پیشنهادی به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش ۵ تنظیم پارامترهای الگوریتم با رویه‌ی تاگوجی اجرا می‌شود. در بخش ۶ نتایج محاسباتی خروجی الگوریتم‌ها مورد تحلیل و مقایسه قرار می‌گیرد. و در نهایت، بخش ۷ به نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی اختصاص دارد.

۲. مروری بر ادبیات

محققین مدل‌ها و روش‌های جامع مختلفی برای مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات ارائه کرده‌اند^[۳] و نیز بر مسائل مکان‌یابی گسسته مروری داشته‌اند.^[۴] آنها هشت مدل پایه‌ی مکان‌یابی تجهیزات را -- شامل n میانه و n مرکز، مسئله‌ی پوشش، بیشترین پوشش، p پراکندگی، hub و maxi-sum -- معرفی کردند. هر یک از این مدل‌ها در پی بهینه‌کردن هدف خاصی به همراه تعیین مکان تجهیزات جدید هستند. در مطالعه‌ی دیگری یک مدل p میانه برای مکان‌یابی p تجهیز بر روی شبکه‌ی قطعی برای برآورد کردن تقاضا به‌منظور کمینه کردن مجموع مسافت ارائه شد^[۴] که در آن تنها هزینه‌ی جابه‌جایی بین تجهیزات و مشتری‌های مد نظر قرار گرفته و هزینه‌های راه‌اندازی تجهیزات در مناطق مختلف لحاظ نشده است.

کاربردهای مختلف و متنوع ترکیب مسائل مکان‌یابی با ساختار صف در دنیای واقعی اهمیتی دوچندان یافته است. بدین‌منظور برای اولین بار مکان بهینه‌ی خدمت‌دهنده‌ها در شبکه‌ی صف با ساختار $M/G/1$ تعیین شد.^[۵] همچنین مدل‌های تخصیص خدمت‌دهنده در فرایندهای تولیدی مورد تحلیل قرار گرفت.^[۶] این نوع مسائل از جمله مسائل موجود در محیط‌های تولیدی است که در آن تخصیص بهینه‌ی تعداد خدمت‌دهنده به مراکز کار طوری انجام می‌شود که عملکرد شبکه صف بیشینه شود. در ادامه، محققین گروهی از مدل‌های مکان‌یابی را با مد نظر قرار دادن ساختار صف و با تنها یک خدمت‌دهنده مورد مطالعه قرار دادند.^[۷] آنان مدلی برای

نامتناهی، محققین الگوریتم ژنتیک ایمن (IGA)^۷ را معرفی کرده‌اند.^[۱۹] در این روش ابتدا بعضی از آنتی‌ژن‌ها برای تولید و آموزش آنتی‌بادی‌های به‌طور تصادفی تولید می‌شود. سپس یک سیستم ایمنی کارا با توانایی تشخیص آنتی‌ژن‌های خودی و غیرخودی به‌وسیله‌ی این آنتی‌بادی‌های آموزش‌دیده پشتیبانی می‌شود. نتیجه‌ی سیستم ایمنی در الگوریتم ژنتیک به کار رفته و آنها می‌توانند کروموزوم‌های نشدنی را در طول تکرارهای ژنتیک شناسایی کرده و اصلاح کنند. الگوریتم پیشنهاد شده در این مطالعه از قابلیت بهبود بخشیدن به عملکرد الگوریتم‌های ژنتیک -- مخصوصاً در مسائل بهینه‌سازی محدودیت‌دار پیچیده -- برخوردارند. محققین یک مدل دوهدفی مکان‌یابی - صف ارائه کردند^[۲۰] که برای حل آن از الگوریتم‌های مبتنی بر پارتو بهره جستند. آنان همچنین یک مدل مکان‌یابی - تخصیص با در نظر گرفتن مکان مشتریان به‌صورت تصادفی و تقاضا به‌صورت فازی ارائه کردند.^[۲۱] اخیراً نیز مسئله‌ی تلفیقی مکان‌یابی - قیمت‌گذاری - صف ارائه شد^[۲۲] تا کل سود سیستم بیشینه شود. محققین در نزدیک‌ترین مطالعه‌ی که در زمینه‌ی مسائل ترکیبی مکان‌یابی - صف - قیمت‌گذاری انجام دادند،^[۲۳] مکان‌یابی m تسهیل بر روی شبکه با m نقطه‌ی تقاضا را با در نظر گرفتن این که مشتریان می‌توانند قبل از ورود به سیستم با مشاهده‌ی طول صف در رابطه با ورود به سیستم تصمیم‌شان را بگیرند، مورد بررسی قرار دادند. قیمت ارائه‌ی خدمت در کل تسهیلات یکسان در نظر گرفته شده و سیستم صف در نظر گرفته شده به‌صورت $M/M/1$ ارائه شده است. نوآوری‌های مطالعه‌ی حاضر نسبت به مطالعه‌ی پایه‌ی فوق عبارت است از:

- ارائه‌ی یک مدل ریاضی دوهدفه از جنس: ۱. بیشینه‌سازی سود سیستم؛ ۲. کمینه‌سازی مدت زمان انتظار مشتریان در صف؛
- مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن چندین خدمت‌دهنده با ظرفیت محدود به‌صورت سیستم $M/M/m/k$ ؛
- تعیین قیمت بهینه جهت ارائه‌ی خدمت در هر تسهیل و با استفاده از مفاهیم قیمت‌گذاری؛
- در نظر گرفتن تابع تقاضا وابسته به قیمت و فاصله؛
- بهره‌جویی از الگوریتم‌های فراابتکاری حل مسائل چندهدفه.

۳. بیان مسئله و مدل‌سازی ریاضی

مسائل مکان‌یابی تسهیلات به مطالعه و بررسی درمورد چگونگی استقرار مجموعه‌ی از تسهیلات با توجه به اهداف و محدودیت‌های مختلف می‌پردازد. در ادبیات، مسائل مکان‌یابی و تصمیم‌گیری پیشینه‌ی قدرتمند دارد که نشان‌دهنده‌ی اهمیت تجزیه و تحلیل این دسته از مسائل در دنیای واقعی است. امروزه ترکیب مسائل مکان‌یابی تسهیلات با رویکردهای دیگر -- مانند ساختار صف، مباحث قیمت‌گذاری، زنجیره‌ی تأمین و غیره -- مورد توجه بیشتری قرار گرفته و سبب افزایش جذابیت این موضوع برای محققین شده است. بی‌شک آثار مثبت مکان‌یابی هرچه دقیق‌تر تسهیلات، در منابع اقتصادی و رضایت مشتریان بروز می‌یابد. در صورت مسئله‌ی این تحقیق تقاضای مشتریان وابسته به پارامترهای قیمت و فاصله بوده، لذا پرداختن به سیاست‌های قیمت‌گذاری اهمیت ویژه‌ی پیدا می‌کند. اتخاذ سیاست قیمت‌گذاری مناسب سبب کنترل نرخ ورودی و در نتیجه کنترل طول صف می‌شود؛ در نظر گرفتن عوامل یادشده نیز سبب افزایش سطح رضایت مشتری خواهد شد. در

تعیین بهینه‌ی دستگاه‌های خودپرداز مبنی بر کیفیت سرویس‌دهی ارائه دادند.^[۸] بررسی و مطالعه‌ی کاربرد مکان‌یابی خدمت‌دهنده‌ها در شبکه‌های ارتباطی و دستگاه خودپرداز، منجر شد به ارائه‌ی چندین مدل برای تجهیزات مکان‌هایی که با محدودیت ظرفیت مواجه‌اند.^[۹] در واقع این مدل‌ها برای حالت‌هایی که مکان خدمت‌دهی ثابت، ظرفیت خدمت‌دهنده محدود، و تقاضا تصادفی باشد گسترش یافته است. با ارائه‌ی مدل مکان‌یابی و تخصیص فازی برای سیستم‌های دارای محدودیت ظرفیت،^[۱۰] نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی برای گسترش مدل‌های مکان‌یابی با بیشترین پوشش صفت‌بندی مورد استفاده قرار گرفت و برای حل این مسئله از الگوریتم ژنتیک استفاده شد.

محققین مسئله‌ی مکان‌یابی مجموعه‌ی از تجهیزات روی شبکه با تقاضای تصادفی و ظرفیت محدود تجهیزات را به‌منظور بیشینه‌کردن تعداد تقاضای مورد انتظار مشتریان مورد بررسی قرار دادند.^[۱۱] مشتریان برای دریافت خدمت به طرف نزدیک‌ترین تجهیز حرکت می‌کنند و در صورتی که ظرفیت تجهیز مورد نظر پر باشد به دیگر تجهیز نزدیک به خود تخصیص می‌یابند. ضمناً آنها مدل پیشنهادی را با استفاده از دو روش ابتکاری حل کردند. در مطالعه‌ی دیگر^[۱۲] اثرات محدود بودن تجهیزات خدمت‌دهنده‌های ثابت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. همچنین مفهوم کلی ظرفیت تجهیزات با وجود محدودیت، با در نظر گرفتن تخصیص مشتریان به تجهیزات و زمان یا مسافت حمل و نقل بررسی شده است. از سوی دیگر، یک مدل مکان‌یابی - تخصیص با در نظر گرفتن چندین خدمت‌دهنده برای طراحی سیستم خدمت‌دهی ارائه شد^[۱۳] و هزینه‌های مرتبط با به‌اشتراک‌گذاری کمینه شد. مسائل مکان‌یابی تسهیلات از نقطه‌نظر زنجیره‌ی تأمین نیز مورد بررسی قرار گرفته است.^[۱۴]

محققین مدلی دوهدفه برای مسائل مکان‌یابی - تخصیص تسهیلات در چارچوب مدل کلاسیک صف $M/M/1$ ارائه دادند.^[۱۵] در صورت مسئله‌ی آنها تقاضای مشتریان به‌صورت تصادفی بوده و مکان خدمت‌دهنده‌ها و نرخ خدمت‌دهی ثابت است. هدف مطالعات آنها کمینه‌کردن مجموع متوسط زمان سفر و زمان انتظار مشتریان به همراه کمینه‌کردن متوسط درصد بیکاری تجهیزات در نظر گرفته شده است که با توجه به ساختار صف مسئله را مدل‌سازی کرده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تکنیک تابع مطلوبیت آن را حل کردند. در مطالعات بعدی یک مدل چندهدفه‌ی مکان‌یابی تسهیلات با در نظر گرفتن ساختار صف ورود گروهی ارائه شد^[۱۶] که برای حل آن دو الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تیرید با رویکرد رمزگشایی نوین ارائه شد. سپس یک مدل مکان‌یابی تسهیلات با ساختار صف $M/M/m/k$ ، با توجه به محیط رقابتی مدل‌سازی شد^[۱۷] که برای حل آن از الگوریتم ژنتیک و جست‌وجوی ممنوع استفاده کردند.

در ادبیات مربوط به مسائل مکان‌یابی تسهیلات با در نظر گرفتن ساختار صف، دامنه‌ی وسیعی از مسائل به‌صورت تک‌هدفه ارائه شده است. بنابراین در نظر گرفتن چندین هدف برای این نوع از مسائل باعث نزدیک‌تر شدن مدل به شرایط دنیای واقعی می‌شود. در یکی از مطالعات انجام شده در این خصوص،^[۱۸] مروری بر اثرات اخیر مسائل مکان‌یابی چندمعیاره انجام شده و این نوع از مسائل در سه رده -- دوهدفه، چندهدفه، و مسائل چندشاخصه -- ارائه شده است. هنگامی که مسئله‌ی دارای بیش از یک هدف باشد و اهداف با هم سازگاری نداشته باشند، از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه استفاده می‌شود. برای حل مسائل بهینه‌سازی محدودیت‌دار پیچیده، مانند مسئله‌ی طرح اولیه‌ی محصولات جدید به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی نیمه نامتناهی با محدودیت‌های

که در آن $\lambda_{i,j}(p, d)$ بیانگر تعداد مصرف‌کنندگانی است که تحت قیمت p_j از گره مشتریان i به تسهیل j مراجعه می‌کنند. بنابراین تعداد کل تقاضایی که وارد تسهیل j می‌شوند برابر است با:

$$\tau_j = \sum_{i=1}^M \lambda_{i,j}(p, d) x_{ij} \quad (2)$$

در نهایت مدل ریاضی دوهدفه عبارت خواهد بود از:

$$\text{Max } T_1 = \sum_{j=1}^N (p_j - cs_j) \tau_j - e_j y_j \quad (3)$$

$$\text{Min } T_2 = \sum_{j=1}^N \frac{\pi_{\circ,j}}{m_j!} \left(\frac{\tau_j}{\mu_j} \right)^{m_j} \frac{r_j}{(1-r_j)^r} \left[1 - r_j^{k_j - m_j + 1} - (1-r_j)(k_j - m_j + 1) r_j^{k_j - m_j} \right] \quad (4)$$

Subject to:

$$\tau_j (1 - \pi_{k_j}) \leq m_j k_j; \quad j = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1; \quad i = 1, \dots, M \quad (6)$$

$$x_{ij} \leq y_j; \quad i = 1, \dots, M, \quad j = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^N y_j \leq V \quad (8)$$

$$y_j \in \{0, 1\}; \quad j = 1, \dots, N$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; \quad i = 1, \dots, M, \quad j = 1, \dots, N$$

$$k_j \geq 0, \text{ Integer}; \quad j = 1, \dots, N$$

$$m_j \geq 0, \text{ Integer}; \quad j = 1, \dots, N$$

$$p_j \geq 0; \quad j = 1, \dots, N$$

$$\pi_{k_j} = c_{k_j} \pi_{\circ,j}$$

$$\lambda_{i,j}(p, d) = g_i - p_j \alpha_i - d_{ij} \beta_i; \quad i = 1, \dots, M, \quad j = 1, \dots, N$$

$$\tau_j = \sum_{i=1}^M \lambda_{i,j}(p, d) x_{ij}; \quad j = 1, \dots, N$$

$$r_j = \frac{\tau_j}{m_j \mu_j}; \quad j = 1, \dots, N$$

$$\pi_{\circ,j} = \frac{1}{\left[\sum_{s=0}^{m_j-1} \left(\frac{\tau_j}{\mu_j} \right)^s \frac{1}{s!} + \left(\frac{\tau_j}{\mu_j} \right)^{m_j} \frac{1}{m_j!} \sum_{s=m_j}^{k_j} r^{s-m_j} \right]}$$

$$j = 1, \dots, N$$

$$c_{k_j} = \left(\frac{\tau_j}{\mu_j} \right) \frac{1}{m_j!} \frac{1}{m_j^{k_j - m_j}} \quad (9)$$

تابع هدف ۳ نشان‌دهنده‌ی بیشینه‌سازی کل سود سیستم است. تابع هدف ۴ کمینه‌سازی مجموع مدت زمان انتظار مشتریان در صف را نشان می‌دهد. محدودیت ۵ تضمین می‌کند که تقاضای هر تجهیز انتخاب‌شده کم‌تر از نرخ خدمت‌دهی آن تسهیل (شامل m خدمت‌دهنده و ظرفیت صف k) است. محدودیت ۶ اطمینان می‌دهد که هر مشتری فقط به یک تسهیل تخصیص داده شود. محدودیت

مسائلی که «قیمت» یکی از متغیرهای تصمیم است، تابع هدف بیشینه‌کردن سود سیستم خواهد بود؛ در حالی که در مسائل صف و مکان‌یابی معمولاً هدف کمینه‌کردن هزینه است. مکان‌یابی دستگاه‌های خودپرداز، ایستگاه‌های سوخت‌گیری و رستوران‌ها و هتل‌های بین شهری نمونه‌هایی از اهمیت وافر مسائل تلفیقی مکان‌یابی - قیمت‌گذاری - صف هستند. اهداف در نظر گرفته شده مربوط به بیشینه‌کردن سود سیستم و سطح رضایت مشتری در قالب زمان انتظار مشتریان در صف به‌طور همزمان است. فرضیات مدل ارائه شده عبارت است از:

- به‌منظور دریافت خدمت، نقاط تقاضا به سمت تسهیلات حرکت می‌کنند؛
- هر نقطه از تقاضا را فقط می‌توان به یک خدمت‌دهنده تخصیص داد؛
- نرخ مراجعه‌ی نقاط تقاضا به‌منظور دریافت خدمت به هر یک از تسهیلات از توزیع پواسان تبعیت می‌کند؛
- زمان خدمت‌دهی هر تسهیل از توزیع نمایی پیروی می‌کند؛
- هزینه‌ی عملیاتی برای احداث هر محل بالقوه تسهیلات در نظر گرفته می‌شود؛
- سیاست قیمت‌گذاری در مکان‌های مختلف متفاوت است؛
- تقاضا وابسته به دو عامل قیمت و فاصله است.

۱.۳ پارامترها

i : شاخص گره مشتریان؛

j : شاخص مکان‌های بالقوه؛

V : بیشترین تعداد خدمت‌دهنده که می‌توان انتخاب کرد؛

d_{ij} : فاصله‌ی بین مشتری i و گره تسهیل j ؛

τ_j : نرخ تقاضا در گره تسهیل j ؛

w_j : متوسط مدت زمان انتظار برای گروه مشتریان تخصیص داده شده به گره تسهیل j ؛

λ_i : کل نرخ تقاضا که وارد گره تسهیل i می‌شود؛

e_j : هزینه‌ی ثابت استقرار تسهیل در گره بالقوه j ؛

cs_j : هزینه‌ی واحد خدمت‌دهی در مکان j ؛

μ_j : نرخ خدمت‌دهی برای خدمت‌دهنده‌ی j ؛

g_i : تعداد بالقوه مصرف‌کنندگان در گره بالقوه مشتریان i ؛

α_i : ضریب حساسیت قیمت در گره مشتریان i ؛

β_i : ضریب حساسیت فاصله برای گره مشتریان i .

۲.۳ متغیرهای تصمیم

x_{ij} : اگر مشتری i به تسهیل j تخصیص یابد معادل ۱ و در غیر این صورت معادل صفر؛

y_j : اگر تسهیل j فعال شود معادل ۱ و در غیر این صورت معادل صفر؛

m_j : تعداد خدمت‌دهنده در تسهیل j ؛

k_j : ظرفیت صف در تسهیل j ؛

p_j : قیمت خدمت در تسهیل j .

رفتار مصرف‌کنندگان در هر گره مشتری وابسته به دو عامل قیمت و فاصله تا تسهیل مورد نظر است و به‌صورت رابطه‌ی ۱ مدل شده است.

$$\lambda_{i,j}(p, d) = g_i - p_j \alpha_i - d_{ij} \beta_i \quad (1)$$

استفاده از تابع زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:^[۲۵]

$$P(x) = M \times \left[\left(\frac{g(x)}{b} \right) - 1 \geq 0 \right]$$

به طوری که، M ، $g(x)$ ، $P(x)$ و $f(x)$ به ترتیب بیان‌گر یک عدد بزرگ، محدودیت مطرح شده، مقدار جریمه و مقدار تابع هدف در کروموزوم x هستند. به علاوه مقادیر جریمه برای هر سه تابع هدف از طریق تابع اضافی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$F(x) = \begin{cases} f(x); & x \in \text{feasible region} \\ f(x) + P(x); & x \notin \text{feasible region} \end{cases}$$

در علم ارتعاش، مفهوم ارتعاش را می‌توان به عنوان نوسان در نظر گرفت. اگر میرایی کوچک باشد، آنگاه تأثیر بسیار کمی بر فرکانس طبیعی سیستم خواهد داشت و از این رو محاسبات برای فرکانس‌های طبیعی تقریباً بر مبنای عدم وجود میرایی ساخته می‌شود. الگوریتم VDO در نوسانات بزرگ، دامنه‌ی حل بزرگ است و احتمال به دست آمدن حل جدید بسیار زیاد است. بنابراین هنگامی که نوسانات کاهش می‌یابد، احتمال به دست آوردن حل جدید کاهش می‌یابد.

در مقایسه بین مسئله‌ی بهینه‌سازی و فرایند میرایی نوسان، انرژی حالات متناظر با مقدار تابع هدف محاسبه شده در آن حل‌ها است. کمترین انرژی حالت متناظر با مقدار بهینه مسئله است و میرایی سریع می‌تواند بیان‌گر یک بهینه محلی باشد.

الگوریتم VDO با تولید حل‌های تصادفی در فضای جست‌وجو شروع می‌شود. سپس، پارامترهای الگوریتم شامل دامنه‌ی اولیه (A_0)، بیشترین تعداد تکرار در هر دامنه (L)، ضریب میرایی (γ) و انحراف استاندارد (σ) مقداردهی می‌شود. سپس حل‌ها به وسیله‌ی مقادیر تابع هدف (OFV) ارزیابی می‌شود. حلقه‌ی اول یک جواب تصادفی تولید می‌کند و سپس با استفاده از ساختار همسایگی یک جواب جدید به دست می‌آید و بهترین آنها انتخاب می‌شود. در این مقاله، از جهش جانشینی استفاده شده است.^[۱۶] شبیه به الگوریتم SA، جواب با کم‌ترین مقدار OFV را می‌تواند به عنوان تابع توزیع ریلی انتخاب کرد. در حقیقت جواب جدید پذیرفته می‌شود اگر:

$$\Delta = \text{OFV (New Solution)} - \text{OFV (Current Solution)} < 0.$$

وانگهی، اگر $\Delta > 0$ باشد، یک عدد تصادفی برای r بین $(0, 1)$ تولید کنید. شرط پذیرش حل جاری عبارت است از:

$$r < 1 - \exp\left(-\frac{A^r}{\sigma^2}\right)$$

در حلقه‌ی دوم دامنه تنظیم می‌شود به طوری که در هر تکرار کاهش می‌یابد. زمانی که شرط توقف برقرار شود، الگوریتم متوقف می‌شود.

$$A_t = A_0 \exp\left(-\frac{\gamma t}{\gamma}\right)$$

بعد از شرح مختصری بر الگوریتم VDO، برای حل مدل پیشنهادی از نسخه‌ی چندهدفه‌ی آن به نام MOVDO، که برای اولین بار توسط حاجی پور و همکاران^[۲۶] ارائه شد، بهره جست‌ایم. بدین منظور دو مفهوم مهم در الگوریتم‌های فراابتکاری

۷ تضمین می‌کند که اگر تسهیلی انتخاب نشود هیچ مشتری به آن تخصیص نخواهد یافت. محدودیت ۸ نشان‌دهنده‌ی بیشترین تعداد تجهیزاتی است که می‌توان انتخاب کرد. محدودیت ۹ دامنه‌ی متغیرهای تصمیم مسئله را نشان می‌دهد.

۴. الگوریتم‌های چندهدفه‌ی پیشنهادی

۴.۱ الگوریتم میرایی ارتعاش چندهدفه (MOVDO)^۸

الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاشی (VDO) یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری است که با استفاده از مفاهیم میرایی نوسان در نظریه‌ی ارتعاشات توسعه یافته است.^[۲۴] در این مقاله، حالت چندهدفه از الگوریتم VDO برای مسئله‌ی پیشنهادی در فضای گسسته توسعه داده می‌شود. جزئیات پیاده‌سازی این الگوریتم برای مدل پیشنهادی در ادامه تشریح می‌شود.

ساختار کروموزوم پیشنهادی توسط محققین^[۱۶] به منظور رمزگذاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که مدل پیشنهادی در تحقیق حاضر دارای سه متغیر تصمیم اضافی نسبت به مدل آنهاست، بنابراین سه بردار جدید از متغیرهای تصمیم به ساختار کروموزوم آنها اضافه می‌شود. با استفاده از این ساختار کروموزوم به راحتی می‌توان از تولید جواب‌های نشدنی و غیر مجاز جلوگیری کرد. به عبارت دیگر بیشتر محدودیت‌های مدل از طریق همین ساختار پیشنهادی برای کروموزوم ارضاء می‌شود و باقی محدودیت‌ها با استفاده از تابع جریمه حل می‌شود. یک مثال از این ساختار برای مشتری i ام ($i^{(i)}$) و تسهیل r ام ($r^{(j)}$) در شکل ۱ نمایش داده شده است. به طوری که:

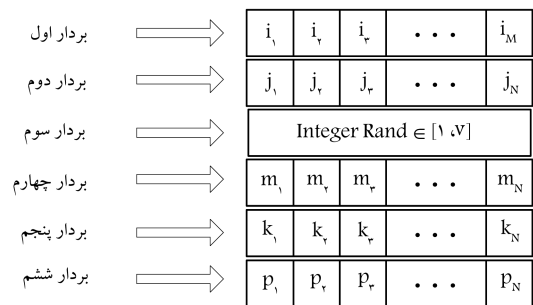
-- بردار چهارم یک بردار جدید است که تعداد خدمت‌دهنده‌های هر تسهیل را نشان می‌دهد.

-- بردار پنجم یک بردار جدید است که ظرفیت صف در تسهیل را نشان می‌دهد.

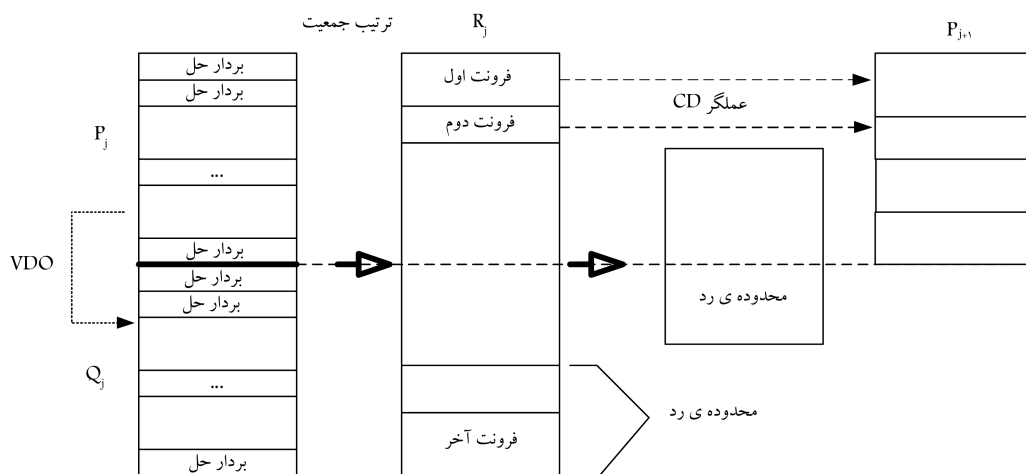
-- بردار ششم یک بردار جدید است که قیمت محصول/خدمت در هر تسهیل را نشان می‌دهد.

چنان که فرایند رمزگشایی برای سه بردار اول در مقالات بیان شده،^[۱۶] هر سلول از بردارهای چهارم، پنجم و ششم معادل صفر خواهد بود، اگر سلول متناظر در بردار دوم صفر باشد. این بدان معناست که اگر هر تسهیل در بردار دوم انتخاب نشود، هیچ خدمت‌دهنده‌ی در این تسهیل قرار نگیرد، و همچنین هیچ ظرفیت صف و قیمتی هم به این تسهیل اختصاص نیابد.

ارزیابی تابع هدف نیز پس از رمزگشایی از حل اجرا خواهد شد. به هر حال چون احتمالاً برخی از محدودیت‌ها از مقدار مجازشان تجاوز می‌کنند، تابع جریمه با



شکل ۱. نحوه‌ی رمزگذاری حل.



شکل ۲. فرایند تکامل در الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش چند هدفه.

به عبارت دیگر معیار مقایسه‌ی جواب‌های الگوریتم MOVDO را می‌توان چنین دانست: اگر $r_x < r_y$ یا $r_x = r_y$ و $d_x > d_y$ آنگاه $x > y$ به‌طوری که r_x و r_y رتبه‌ها، و d_x و d_y مقادیر پارامتر CD هستند. در این مقاله از ساختار همسایگی چندجمله‌یی به‌منظور کروموزوم‌های انتخاب شده استفاده می‌شود. بعد از بیان مفاهیم و عملگرهای فوق، جمعیت والدین و فرزندان باید به‌منظور تضمین نخبه‌سالاری ترکیب شود. از آنجا که اندازه‌ی جمعیت ترکیب شده به‌طور طبیعی بزرگ‌تر از اندازه جمعیت ابتدایی (N) است، بار دیگر مرتب‌سازی نامغلوب‌ها اجرا می‌شود. درحقیقت تا زمانی که اندازه جمعیت به N برسد کروموزوم با رتبه‌ی بالاتر انتخاب شده و به جمعیت اضافه می‌شود. تا زمانی که تعداد از پیش تعیین شده تکرارها به دست آید (یا هر شرط توقف دیگر)، الگوریتم تکرار می‌شود.

فرایند با مقداردهی اولیه جمعیت اولیه از بردار جواب p_j آغاز می‌شود. سپس، عملگرهای جدید به‌منظور تولید جمعیت جدید Q_j بر روی p_j اجرا می‌شوند. به‌منظور نخبه‌گرایی ترکیب p_j و Q_j در الگوریتم انجام می‌شود. در این مرحله بردارهای R_j در چندین لایه بر مبنای FNDS و CD مرتب می‌شود. با استفاده از روش انتخاب پیشنهادی یک جمعیت از تکرار بعدی P_{j+1} به‌منظور حفظ تعداد جمعیت از پیش تعیین شده انتخاب می‌شود. در شکل ۲ فرایند تکامل در الگوریتم MOVDO بطور خلاصه شرح داده شده است. شبه کد الگوریتم پیشنهادی در شکل ۳ به نمایش درآمده است.

۲.۴. الگوریتم NSGA-II

به‌منظور ارزیابی کارایی MOVDO پیشنهادی، الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه‌ی تکاملی به‌نام NSGA-II اجرا می‌شود. تفاوت اصلی الگوریتم‌های NSGA-II و MOVDO در فرایند تکامل از P_t به Q_t است. در صورتی که فرایند تکامل در MOVDO در شکل ۲ نشان داده شد، در الگوریتم NSGA-II فرایند تکامل یک الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده می‌شود. به‌منظور کمیته کردن تأثیر استفاده از عملگرهای مختلف در مقایسه‌ی کارایی دو الگوریتم، عملگرها به‌طور یکسان طراحی می‌شوند. بدین منظور، عملگر همسایگی در الگوریتم MOVDO مشابه عملگر جهش در NSGA-II طراحی می‌شود. در الگوریتم NSGA-II عملگر تقاطع یکنواخت طراحی شده است.^[۲۹] چهارچوب الگوریتم NSGA-II همانند شکل ۴ است.

چندهدفه به‌نام مرتب‌سازی نامغلوب سریع (FNDS) فاصله ازدحامی (CD) اجرا می‌شود.

در FNDS، مقدار R جمعیت اولیه مقایسه و مرتب می‌شود. بدین منظور همی کروموزوم‌های لایه‌ی اول نامغلوب‌ها پیدا می‌شود. از این رو هر سه تابع هدف در مدل ریاضی کمیته می‌شود. کروموزوم‌ها با استفاده از مفهوم چیرگی انتخاب می‌شود. سپس به‌منظور یافتن لایه‌ی بعدی از کروموزوم‌های نامغلوب، جواب‌های انتخاب شده برای لایه‌ی قبلی موقتاً نادیده گرفته می‌شود. این رویه تا زمانی ادامه می‌یابد که همه‌ی کروموزوم‌ها در لایه‌ها قرار گیرند.

بعد از مرتب‌سازی جمعیت، اندازه پارامتر CD به‌منظور ارزیابی جواب‌های لایه‌ها برحسب تراکم نسبی هر جواب تعیین می‌شود.^[۲۷] بدین منظور Z و f_k را به ترتیب به‌عنوان تعداد جواب‌های نامغلوب در یک لایه‌ی خاص (F) و توابع هدف در نظر بگیرید. همچنین d_i و d_j به ترتیب مقدار پارامتر CD برای جواب‌های i و j هستند. سپس گام‌هایی که باید برای به دست آوردن مقدار پارامتر CD طی کرد عبارت‌اند از:

۱. $d_i = 0$ را برای هر $i = 1, 2, \dots, Z$ تنظیم کنید.

۲. توابع هدف f_k ; $k = 1, 2, \dots, M$ را به ترتیب صعودی مرتب کنید.

۳. مقدار CD برای جواب‌های پایانی در هر لایه (d_1 و d_Z) برابر $d_Z = d_1 \rightarrow \infty$ است.

۴. فاصله‌ی ازدحامی برای $j = 2, 3, \dots, Z - 1$ مساوی $d_j = d_j + d_{j-1}$ است.

به‌منظور انتخاب جواب‌های نسل بعدی اپراتور تورنمنت اجرا می‌شود.^[۲۸] گام‌های اجرایی این کار عبارت است از:

گام اول) به‌طور تصادفی n جواب از جمعیت انتخاب می‌شود.

گام دوم) رتبه‌ی نامغلوب هر جواب محاسبه می‌شود و پارامتر CD هر کدام از جواب‌ها که رتبه‌ی مساوی دارند به دست می‌آید.

گام سوم) جواب‌هایی با کم‌ترین رتبه انتخاب می‌شود. از بین دو جواب با رتبه‌ی یکسان، جوابی که دارای CD بیشتری است انتخاب می‌شود.

Begin;
 Input $nPop$ (Population number, γ (damping coefficient) and σ (Rayleigh distribution Constant);
 Initialize (X ; A ; L and t , $t=1$);
 Evaluate solutions
 Perform non-dominate sorting and calculate ranks
 Calculate crowding distance (CD)
 Sort population according to ranks and CDs
 For $j = 1 : nPop$
 $P_j = \text{population}$
 For $i = 1 : L$
 $Y = \text{PERTURB}(X)$; {Generate new neighborhood solution}
 $\Delta = E(Y) - E(X)$;
 If $\Delta \leq 0$ or $(1 - e^{-\Delta^2/2\sigma^2}) > \text{Random}(0, 1)$
 Then $X = Y$; {Accept the movement if dominates final Pareto solution}
 End if
 Update (A and t , $A = A_0 e^{-\gamma t/2}$, $t = t + 1$)
 Until (Stop-Criterion)
 End for
 $Q_j = \text{new population}$
 $R_j = P_j \cup Q_j$
 Perform Non-dominate sorting on R_j and calculate ranks
 Calculate crowding distance (CD) of R_j
 Sort Population according to ranks and CDs on R_j
 Create P_{j-1} as size as population size (population = P_{j-1})
 End for
End

شکل ۳. شبه کد الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش چند هدفه.

۵. تنظیم پارامتر

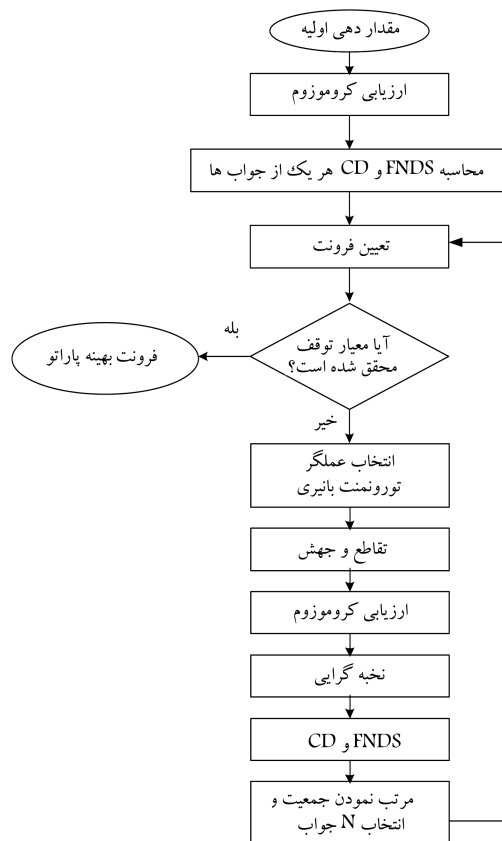
این بخش به دو زیر بخش تنظیم پارامتر مدل و تنظیم پارامتر الگوریتم های حل تقسیم می شود.

۱.۵. پارامترهای مدل

به منظور ارزیابی مدل، ۲۰ مسئله ی آزمایشی به طور تصادفی تولید می شود. این مسائل بر مبنای تعداد مشتریان (M)، تعداد تسهیلات (N) و بیشترین تعداد خدمت دهنده (V) دسته بندی می شود. برای ارائه ی خروجی الگوریتم سه اجرا انجام شده است و میانگین این سه اجرا به عنوان خروجی نهایی در نظر گرفته شده است. با توجه به تصادفی بودن ماهیت الگوریتم های فراابتکاری، این رویه باعث رسیدن به خروجی های دقیق تر با صحت بیشتر خواهد شد. پارامترهای فاصله (d_{ij})، نرخ خدمت دهی (μ_j)، هزینه ثابت احداث (e_j) و هزینه ی محصول / خدمت به وسیله ی توزیع یکنواخت، تعداد بالقوه ی مشتریان در هر گره (g_i)، و ضرایب حساسیت (β_i و α_i)، به ترتیب به صورت $d_{ij} \sim \text{Uniform}[100, 500]$ ، $\mu_j \sim \text{Uniform}[100, 1000]$ ، $e_j \sim \text{Uniform}[1000, 6000]$ ، $cs_j \sim \text{Uniform}[100, 500]$ ، $\alpha_i \sim \text{Uniform}[1, 10]$ و $\beta_i \sim \text{Uniform}[5000, 10000]$ تولید می شود. بیشترین تعداد خدمت ها در هر تسهیل برابر ۱۰، بیشترین تعداد ظرفیت صف برابر ۳۰۰، و بیشترین قیمت در هر تسهیل ۱۰۰۰ در نظر گرفته می شود.

۲.۵. پارامترهای الگوریتم ها

امروزه به منظور تنظیم پارامتر هر دو الگوریتم رویکردهای مختلف -- همانند متدولوژی رویه های پاسخ [۳۰، ۱۶] و روش تاگوچی [۳۱] -- اجرا می شود. در این مقاله از روش



شکل ۴. فلوجارت الگوریتم NSGA-II.

جدول ۱. دامنه پارامترهای الگوریتم‌ها به همراه سطوح فاکتورها.

الگوریتم‌های چندهدفه	پارامترها	دامنه	پایین (۱)	متوسط (۲)	بالا (۳)
NSGA-II	$nPop_{NSGA-II}$	۱۰۰-۲۵	۲۵	۵۰	۱۰۰
	P_c	۰٫۹-۰٫۶	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۹
	P_m	۰٫۴-۰٫۱	۰٫۱	۰٫۲۵	۰٫۴
	MaxIT	۵۰۰-۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۵۰۰
MOVDO	A_s	۱۰-۶	۶	۸	۱۰
	σ	۲-۱	۱	۱٫۵	۲
	γ	۰٫۵-۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۱۰۵	۰٫۵
	L	۱۰۰-۵۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
$nPop_{MOVDO}$	۱۲-۴	۴	۸	۱۲	

از نرم‌افزار Minitab، برای الگوریتم NSGA-II طراحی L_9 و برای الگوریتم MOVDO طراحی L_{27} استفاده می‌شود. ارائه‌های متعامد برای این طراحی‌ها و پاسخ‌های به دست آمده برای الگوریتم‌های NSGA-II و MOVDO به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. برای هر الگوریتم نقاط مؤثر برای نرخ S/N در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است.

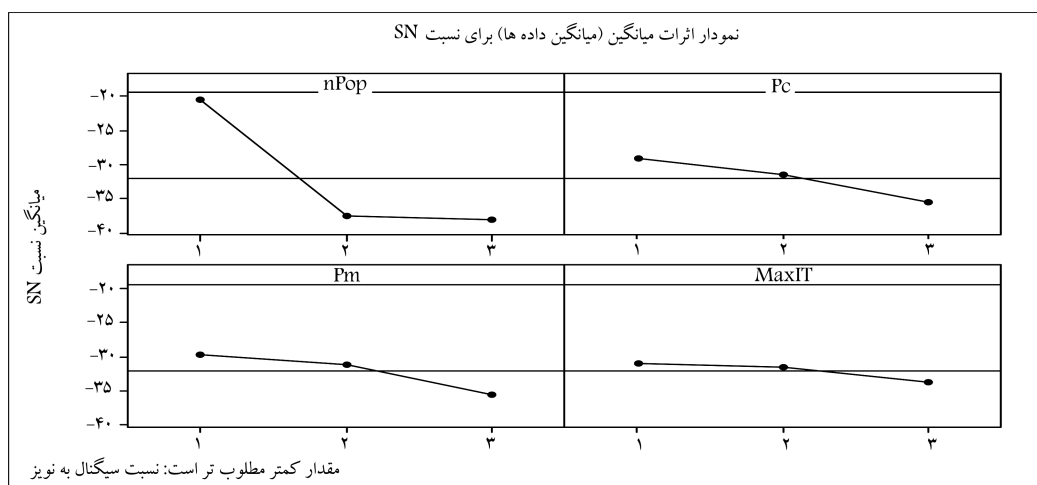
جدول ۲. رویه تاگوجی برای الگوریتم NSGA-II.

متغیر	پارامترها				شماره‌ی اجرا
	MaxIT	P_m	P_c	$nPop$	
پاسخ					
۴٫۹۳۸۴	۱	۱	۱	۱	۱
۸٫۳۹۴۸	۲	۲	۲	۱	۲
۲۸٫۹۴۸۴	۳	۳	۳	۱	۳
۵۸٫۲۹۸۳	۳	۲	۱	۲	۴
۹۳٫۱۲۸۷	۱	۳	۲	۲	۵
۸۱٫۱۲۷۳	۲	۱	۳	۲	۶
۷۸٫۸۷۴۳	۲	۳	۱	۳	۷
۶۹٫۳۴۹۲	۳	۱	۲	۳	۸
۹۴٫۲۹۸۳	۱	۲	۳	۳	۹

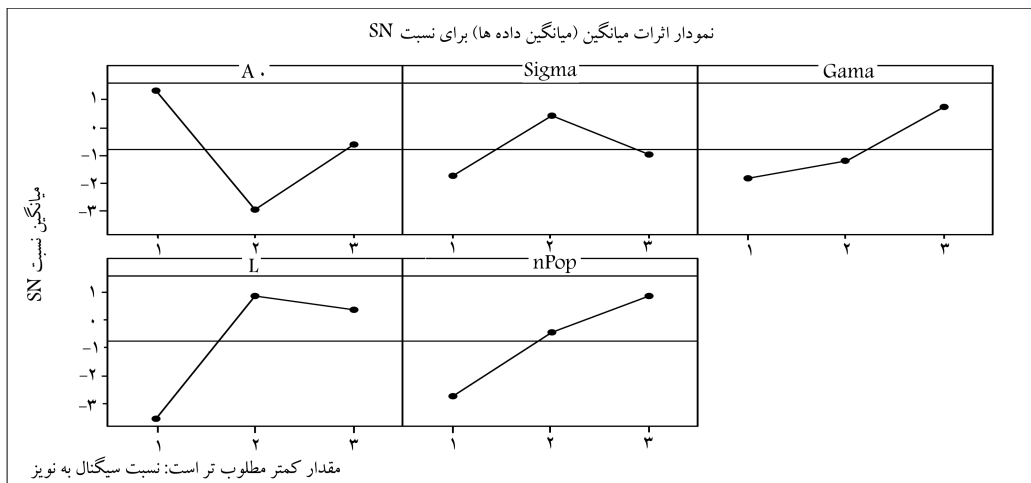
تاگوجی استفاده می‌شود. روش تاگوجی از ارائه‌های متعامد به منظور تنظیم خانواده تجربیات برای واریسی یک گروه از متغیرهای تصمیم و فاکتورها استفاده می‌کند.^[۳۲] در این روش تلاش می‌شود تا تأثیر پارازیت‌ها کمینه، و سطح فاکتورهای سیگنال بهینه شود؛ بنابراین نرخ سیگنال به پارازیت (S/N) اجرا می‌شود. از آنجا که پاسخ‌های ما ذاتاً کمینه‌سازی است، یک پاسخ از نوع کوچک‌ترین - بهترین استفاده می‌شود. معادله‌ی ۱۰ بیان‌گر فرمول نرخ S/N است به طوری که Y نشان‌دهنده‌ی مقدار پاسخ، و n تعداد ارائه‌های متعامد است. چنان که قبلاً اشاره شد، در الگوریتم‌های مبتنی بر پارتو، دو هدف «همگرایی» و «تنوع خوب» جست‌وجو می‌شود. زمان اجرا (CPU time) و MID دو معیار متریک برای مدل‌سازی همگرایی الگوریتم هستند. از سایر متریک‌ها نیز برای مدل‌سازی ویژگی‌های تنوع الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. ترکیب دو پارامتر متریک تنوع و MID در معادله‌ی ۱۰ بیان شده است. از این طریق دو ویژگی الگوریتم‌های مبتنی بر پارتو به طور همزمان در نظر گرفته می‌شود. بنابراین با استفاده از این متریک به عنوان پاسخ روش تاگوجی، یک ترکیب جامع از سیگنال‌های اصلی می‌تواند پیشنهاد شود.

$$MOCV = \frac{Diversity}{MID} \quad (10)$$

به منظور اجرای روش تاگوجی، ابتدا سطح فاکتورها همانند جدول ۱ تعیین می‌شود. در هر الگوریتم سه سطح برای هر فاکتور در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده



شکل ۵. خروجی روش تاگوجی برای الگوریتم NSGA-II.



شکل ۶. خروجی روش تاگوچی برای الگوریتم MOVDO.

جدول ۴. مقادیر تنظیم شده پارامترهای الگوریتم‌ها.

مقدار بهینه	پارامترها	الگوریتم‌های چندهدفه
۲۵	$nPop_{NSGA-II}$	NSGA-II
۰٫۶	P_c	
۰٫۱	P_m	
۱۰۰	MaxIT	MOVDO
۶	A_0	
۱٫۵	σ	
۰٫۵	γ	
۷۵	L	
۱۲	$nPop_{MOVDO}$	

جدول ۳. رویه تاگوچی برای الگوریتم MOVDO.

متغیر پاسخ	پارامترها					شماره‌ی اجرا
	$nPop_{MOVDO}$	L	γ	σ	A_0	
۲٫۹۸۳۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱٫۵۴۳۴	۲	۱	۱	۱	۱	۲
۰٫۷۲۹۳	۳	۱	۱	۱	۱	۳
۰٫۷۵۳۳	۱	۲	۲	۲	۱	۴
۰٫۵۵۲۲	۲	۲	۲	۲	۱	۵
۰٫۶۷۲۸	۳	۲	۲	۲	۱	۶
۰٫۷۶۲۷	۱	۳	۳	۳	۱	۷
۰٫۶۲۸۲	۲	۳	۳	۳	۱	۸
۰٫۵۷۳۹	۳	۳	۳	۳	۱	۹
۱٫۷۳۶۳	۱	۳	۲	۱	۲	۱۰
۰٫۷۳۶۳	۲	۳	۲	۱	۲	۱۱
۲٫۳۹۸۳	۳	۳	۲	۱	۲	۱۲
۱٫۷۴۸۵	۱	۱	۳	۲	۲	۱۳
۲٫۹۸۳۴	۲	۱	۳	۲	۲	۱۴
۰٫۵۵۶۲	۳	۱	۳	۲	۲	۱۵
۰٫۸۱۷۱	۱	۲	۱	۳	۲	۱۶
۴٫۳۹۲۱	۲	۲	۱	۳	۲	۱۷
۰٫۶۸۴۳	۳	۲	۱	۳	۲	۱۸
۰٫۷۲۷۳	۱	۲	۳	۱	۳	۱۹
۰٫۴۲۰۲	۲	۲	۳	۱	۳	۲۰
۱٫۹۳۸۴	۳	۲	۳	۱	۳	۲۱
۰٫۹۳۱۲	۱	۳	۱	۲	۳	۲۲
۰٫۹۳۴۳	۲	۳	۱	۲	۳	۲۳
۰٫۹۳۸۴	۳	۳	۱	۲	۳	۲۴
۵٫۹۷۴۳	۱	۱	۲	۳	۳	۲۵
۰٫۷۸۳۲	۲	۱	۲	۳	۳	۲۶
۰٫۸۵۸۴	۳	۱	۲	۳	۳	۲۷

با استفاده از نتایج حاصله برای هر الگوریتم مقادیر بهینه‌ی پارامترها در جدول ۴ تعیین شده است.

۶. تحلیل نتایج و مقایسه‌ی الگوریتم‌ها

این بخش کاربرد متدولوژی پیشنهادی و مقایسه‌ی کارایی الگوریتم MOVDO پیشنهادی را فراهم کند. بدین منظور ۵ معیار از کارایی چندهدفه‌ها به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:^[۳۳]

- تنوع: اندازه گسترش لایه‌ی پارتو.
- فاصله: اندازه انحراف استاندارد فاصله‌ی جواب‌ها در لایه‌ی پارتو.
- فاصله‌ی ایده‌آل متوسط (MID): اندازه‌ی نرخ همگرایی لایه‌های پارتو به نقطه‌ی معین (۰،۰).
- تعداد جواب‌های یافت شده (NOS): شمارش تعداد جواب‌های پارتو در لایه‌ی بهینه‌ی پارتو.
- زمان اجرای (CPU time) الگوریتم به منظور رسیدن به جواب‌های بهینه.

جدول ۵. نتایج محاسباتی مقایسات الگوریتم‌ها بر روی پنج معیار.

Time		Spacing		MID		NOS		Diversity		V	N	M	شماره مسئله
MOVDO	NSGA-II	MOVDO	NSGA-II	MOVDO	NSGA-II	MOVDO	NSGA-II	MOVDO	NSGA-II				
۱۰,۸۴	۱۵,۱۳	$۱,۲۵E+۰۷$	$۱,۹۹E+۰۸$	$۲,۴۲E+۰۷$	$۲,۴۷E+۰۷$	۸	۲۲	$۱,۴۵E+۰۷$	$۲,۳۲E+۰۸$	۵	۷	۱۶	۱
۱۲,۱۲	۲۵,۴۳	$۳,۲۶E+۰۵$	$۲,۷۵E+۰۸$	$۳,۵۵E+۰۸$	$۴,۳۸E+۰۸$	۹	۱۹	$۲,۶۶E+۰۷$	$۱,۳۲E+۰۹$	۶	۹	۲۰	۲
۱۹,۷۵	۳۹,۳۱	$۷,۶۴E+۰۶$	$۴,۳۶E+۰۸$	$۴,۹۲E+۰۹$	$۶,۵۵E+۰۸$	۵	۲۳	$۴,۲۲E+۰۷$	$۲,۱۳E+۰۹$	۹	۱۲	۳۵	۳
۱۸,۶۵	۴۴,۱۲	$۴,۷۸E+۰۶$	$۳,۶۵E+۰۶$	$۲,۱۲E+۰۹$	$۳,۷۰E+۰۸$	۱۱	۲۰	$۳,۷۷E+۰۷$	$۳,۱۳E+۰۷$	۱۱	۱۵	۴۲	۴
۲۱,۶۵	۴۶,۳۱	$۴,۳۶E+۰۶$	$۳,۸۰E+۰۸$	$۹,۶۱E+۰۹$	$۴,۲۲E+۰۸$	۶	۲۵	$۷,۶۷E+۰۸$	$۴,۲۴E+۰۹$	۱۲	۱۷	۵۷	۵
۲۲,۳۵	۴۵,۶۴	$۵,۷۵E+۰۷$	$۴,۶۸E+۰۸$	$۶,۷۸E+۰۹$	$۲,۴۶E+۰۸$	۸	۲۳	$۳,۶۰E+۰۹$	$۱,۴۴E+۰۹$	۱۴	۲۱	۶۲	۶
۲۰,۴۵	۴۹,۳۵	$۵,۴۹E+۰۶$	$۳,۴۸E+۱۰$	$۸,۹۲E+۰۹$	$۴,۵۴E+۰۸$	۹	۲۴	$۳,۶۶E+۰۹$	$۴,۳۱E+۱۰$	۱۸	۲۵	۷۷	۷
۲۹,۵۳	۵۱,۴۳	$۶,۹۲E+۰۶$	$۳,۴۹E+۱۰$	$۶,۷۲E+۰۹$	$۵,۶۵E+۰۹$	۶	۲۳	$۸,۲۰E+۰۸$	$۲,۸۷E+۱۱$	۲۰	۳۰	۸۱	۸
۲۸,۵۳	۵۴,۵۷	$۵,۶۹E+۰۶$	$۵,۶۷E+۰۶$	$۴,۴۵E+۰۸$	$۱,۵۷E+۰۸$	۸	۲۲	$۲,۱۹E+۰۹$	$۳,۰۰E+۰۸$	۲۲	۳۸	۹۰	۹
۳۱,۸۴	۵۳,۴۳	$۳,۵۹E+۰۷$	$۶,۵۵E+۰۷$	$۳,۶۱E+۰۸$	$۴,۵۷E+۰۸$	۱۰	۲۳	$۳,۱۴E+۰۹$	$۳,۷۱E+۰۸$	۲۵	۴۲	۱۰۵	۱۰
۲۹,۱۳	۵۸,۴۵	$۴,۵۸E+۰۷$	$۴,۵۴E+۰۸$	$۲,۲۱E+۰۹$	$۳,۶۸E+۰۸$	۸	۲۵	$۲,۱۲E+۰۸$	$۲,۱۷E+۰۸$	۲۵	۴۵	۱۲۸	۱۱
۲۶,۸۶	۶۱,۱۹	$۳,۴۷E+۰۷$	$۶,۷۶E+۰۸$	$۳,۸۱E+۰۸$	$۴,۳۶E+۰۸$	۱۰	۲۳	$۲,۳۳E+۰۸$	$۱,۶۹E+۰۹$	۳۰	۵۳	۱۴۷	۱۲
۳۵,۵۵	۸۴,۱۲	$۲,۳۸E+۰۷$	$۵,۸۸E+۰۸$	$۵,۷۳E+۰۸$	$۸,۷۹E+۰۸$	۷	۲۰	$۲,۹۱E+۰۹$	$۲,۱۵E+۰۸$	۳۸	۶۸	۱۷۵	۱۳
۳۶,۶۸	۸۶,۸۳	$۳,۷۴E+۰۷$	$۵,۷۳E+۰۸$	$۲,۴۶E+۰۹$	$۲,۱۴E+۰۹$	۹	۲۴	$۴,۹۰E+۱۰$	$۲,۹۵E+۱۰$	۴۵	۷۰	۱۹۶	۱۴
۵۹,۷۴	۱۰۱,۱۳	$۲,۳۵E+۰۷$	$۶,۷۳E+۰۹$	$۶,۴۴E+۰۸$	$۴,۵۲E+۰۹$	۹	۲۵	$۴,۱۲E+۱۰$	$۳,۳۵E+۱۰$	۵۲	۸۸	۲۲۰	۱۵
۶۵,۳۵	۱۱۹,۴۳	$۶,۵۴E+۰۷$	$۲,۸۷E+۰۸$	$۳,۴۵E+۰۹$	$۳,۴۶E+۰۹$	۱۲	۲۴	$۹,۵۲E+۰۹$	$۳,۸۸E+۰۹$	۷۰	۹۵	۲۵۰	۱۶
۶۳,۳۲	۱۲۱,۱۳	$۳,۵۶E+۰۹$	$۲,۳۲E+۰۹$	$۵,۷۰E+۱۰$	$۴,۵۲E+۰۹$	۷	۲۵	$۱,۹۹E+۱۰$	$۳,۷۳E+۱۰$	۷۵	۱۰۵	۳۵۰	۱۷
۶۹,۴۴	۱۱۸,۶۴	$۳,۴۸E+۱۰$	$۲,۳۳E+۱۲$	$۴,۷۰E+۰۹$	$۶,۵۴E+۱۰$	۱۱	۲۱	$۳,۶۶E+۱۱$	$۲,۱۶E+۱۲$	۱۴۰	۱۹۰	۸۰۰	۱۸
۱۱۰,۸۴	۲۲۸,۷۴	$۲,۴۷E+۱۰$	NAN	$۷,۷۴E+۰۹$	NAN	۸	NAN	$۲,۸۲E+۱۰$	NAN	۵۷۰	۷۵۰	۲۲۰۰	۱۹
۱۸۹,۶۳	۳۳۱,۷۷	$۳,۷۸E+۱۰$	NAN	$۴,۱۹E+۱۰$	NAN	۱۲	NAN	$۱,۷۰E+۱۰$	NAN	۷۰۰	۱۱۰۰	۳۵۰۰	۲۰

در جدول ۵ نتایج محاسباتی اجرای الگوریتم‌ها بر روی ۲۰ مسئله‌ی آزمایشی ارائه شده است. «NAN» نشان‌دهنده‌ی این است که الگوریتم در زمان گزارش شده نتوانسته جوابی پیدا کند. لازم به ذکر است که الگوریتم‌ها در نرم افزار MATLAB اجرا شده‌اند.

به منظور نشان‌دادن کارایی MOVDO، این الگوریتم بر روی معیار مختلف با استفاده از تکنیک تحلیل واریانس (ANOVA) مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی آماری در جدول ۶ نشان داده شده است. همچنین به منظور قابل فهم بودن مقایسات، الگوریتم‌ها به‌طور گرافیکی برای همه‌ی مسائل آزمایش در شکل ۷ نشان داده شده‌اند.

لازم به ذکر است که برای پارامترهای تنوع (diversity) و NOS مطلوبیت در بیشتر بودن این پارامترها است در حالی که برای پارامترهای CPU، MID و

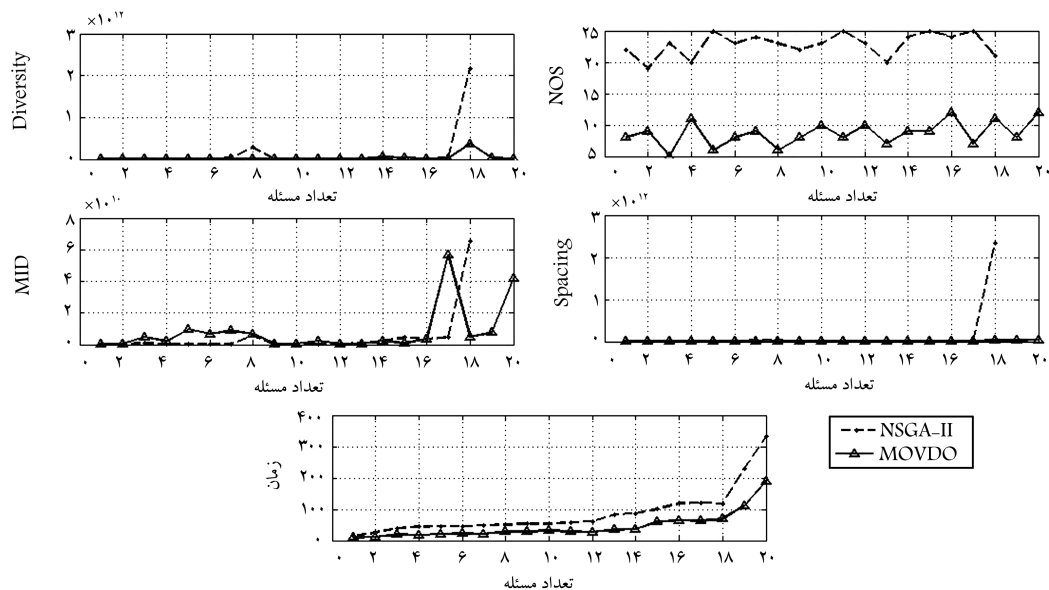
Spacing مطلوبیت در کم‌تر بودن است. طبق جدول ۶، بر مبنای مقایسات آماری انجام شده الگوریتم‌ها نسبت به پارامترهای NOS و CPU Time تفاوت معناداری دارند. در مسائل آزمایش ۱۹ و ۲۰ الگوریتم NSGA-II نتوانسته لایه‌ی پارتو را پیدا کند در حالی که الگوریتم MOVDO موفق به یافتن لایه‌ی پارتو شده است. این حقیقت بیان‌گر قدرت الگوریتم MOVDO در مسائلی با ابعاد بزرگ است.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله یک مسئله‌ی ترکیبی از مسائل مکان‌یابی، صف و قیمت‌گذاری توسعه داده شد. با توجه به این حقیقت که مسائل مکان‌یابی اساساً جزء مسائل NP-hard

جدول ۶. خروجی تحلیل‌های آماری مقایسات الگوریتم‌ها بر روی پنج معیار.

معیارها	منبع	DF	SS	MS	F	P-value	نتایج آزمون
Diversity	Algorithms	۱	$۱,۳۰۵۲۹E + ۲۳$	$۱,۳۰۵۲۹E + ۲۳$	۱,۰۴	۰,۳۱۴	فرض صفر رد نمی‌شود
	Error	۳۶	$۴,۵۰۰۴۶E + ۲۴$	$۱,۲۵۰۱۳E + ۲۳$			
	Total	۳۷	$۴,۶۳۰۹۹E + ۲۴$				
NOS	Algorithms	۱	۱۹۰۵,۷۹	۱۹۰۵,۷۹	۵۲۳,۵۳	۰,۰۰۰	فرض صفر رد می‌شود
	Error	۳۶	۱۳۱,۰۵	۳,۶۴			
	Total	۳۷	۲۰۳۶,۸۴				
MID	Algorithms	۱	$۸,۶۹۲۰۱E + ۱۹$	$۸,۶۹۲۰۱E + ۱۹$	۰,۳۹	۰,۵۳۶	فرض صفر رد نمی‌شود
	Error	۳۶	$۸,۰۱۴۶۶E + ۲۱$	$۲,۲۲۶۳۰E + ۲۰$			
	Total	۳۷	$۸,۱۰۱۵۸E + ۲۱$				
Spacing	Algorithms	۱	$۱,۵۷۷۴۴E + ۲۳$	$۱,۵۷۷۴۴E + ۲۳$	۱,۱۱	۰,۲۹۹	فرض صفر رد نمی‌شود
	Error	۳۶	$۵,۱۱۰۵۷E + ۲۴$	$۱,۴۱۹۶۰E + ۲۳$			
	Total	۳۷	$۵,۲۶۸۳۱E + ۲۴$				
Time	Algorithms	۱	۱۷۳۸۵	۱۷۳۸۵	۴,۷۳	۰,۰۳۶	فرض صفر رد می‌شود
	Error	۳۸	۱۳۹۶۸۷	۳۶۷۶			
	Total	۳۹	۱۵۷۰۷۱				



شکل ۷. مقایسات گرافیکی عملکرد الگوریتم‌ها بر روی پنج معیار.

۵ معیار مورد مقایسه قرار گرفتند. سرانجام بر مبنای مقایسات آماری انجام شده دو الگوریتم نسبت به معیارهای diversity, spacing, MID و مشابه عمل کردند و این در حالی است که عملکرد آنها نسبت به معیارهای CPU time و NOS اختلاف معناداری داشتند، بدین صورت که الگوریتم MOVDO عملکرد بهتری از خود نشان داده است. همچنین نشان داده شده که برای حل مسائلی با ابعاد بزرگ الگوریتم MOVDO کارایی بهتری دارد. تحقیق آتی را می‌توان در حوزه‌ی ارائه‌ی فازی‌سازی تابع تقاضا در مدل ریاضی ارائه شده انجام داد.

است، از یک الگوریتم جدید فراابتکاری چندهدفه بنام MOVDO به منظور حل مدل توسعه یافته استفاده شد. در مدل چندهدفه‌ی توسعه داده شده، کل سود را در کل سیستم بیشینه می‌کنیم و این در حالی است که در مقابل در یک هدف مجزا زمان انتظار مشتریان در صف نیز به طور همزمان کمینه می‌شود. به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصل از آن با الگوریتم معروف چندهدفه NSGA-II مقایسه شد. برای این منظور ابتدا الگوریتم‌ها با استفاده از روش تاگوجی تنظیم پارامتر شدند و سپس طی اجرای ۲۰ مسئله‌ی آزمایشی دو الگوریتم با یکدیگر نسبت به

پانوشته‌ها

1. continuous location problem
2. discrete location problem
3. n-median
4. vertex optimality
5. supply chain management
6. revenue management
7. Immune genetic algorithm (IGA)
8. multi-objective vibration damping optimization

منابع (References)

1. Francis, R.L., Megginis, L.F and White, J.A., *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall (1992).
2. Hakimi, S.L. "Optimal locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph", *Operation Research*, **12**, pp. 450-459 (1964).
3. Love, R.L., Morris, J.G. and Wesolowsky, G.O., *Facility Location: Models and Methods*, North-Holland Publishing Company, New York (1988).
4. Current, J., Daskin, M. and Schilling, D., *Discrete Network Location Models*, in: Drezner, Z., Hamacher, H.W., (eds.), *Facility Location: Applications and Theory*. Springer, Heidelberg, pp. 80-118 (2002).
5. Berman, O. and Larson, R. "Optimal 2-facility network districting in the presence of queuing", *Transportation Science*, **19**, pp. 261-277 (1985).
6. Shanthikumar, J.G. and Yao, D.D. "Optimal server allocation in a system of multi-server stations", *Management Science*, **12**, pp. 1173-1191 (1987).
7. Brandeau, M.L. and Chiu, S.S. "A unified family of single-server queuing location models", *Operations Research*, **38**, pp. 1034-1044 (1990).
8. Marianov, V. and Rios, M. "A probabilistic quality of service constraint for a location model of switches in ATM communications networks", *Ann Oper Res*, **96**, pp. 237-243 (2000).
9. Wang, Q., Batta, R., Bhadury, J. and Rump, C. "Budget constrained location problem with opening and closing of facilities", *Computers & Operations Research*, **30**, pp. 2047-2069 (2003).
10. Shavandi, H. and Mahlooji, H. "A fuzzy queuing location model with a genetic algorithm for congested systems", *Applied Mathematics and Computation*, **181**, pp. 440-456 (2006).
11. Berman, O. "Locating capacitated facilities to maximize captured demand", *Taylor and Francis*, **15**, pp. 1015-1029 (2007).
12. Boffey, B., Galvao, R. and Espejo, L. "A review of congestion models in the location of facilities with immobile servers", *European Journal of Operational Research*, **178**, pp. 643-662 (2007).
13. Syam, S.S. "A multiple server location-allocation model for service system design", *Computers and Operations Research*, **35**, pp. 2248-2265 (2008).
14. Melo, M.T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. "Facility location and supply chain management – A review", *European Journal of Operational Research*, **196**, pp. 401-412 (2009).
15. Pasandideh, S.H.R. and Niaki, S.T.A. "Genetic application in a facility location problem with random demand within queuing framework", *Journal of Intelligent Manufacturing*, **23**(3), pp. 651-659 (2012).
16. Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A. and Hajipour, V. "A multi-objective facility location model with batch arrivals: Two parameter-tuned meta-heuristic algorithms", *Journal of Intelligent Manufacturing*, **24**(2), pp. 331-348 (2013).
17. Zarrinpoor, N. and Seifbarghy, M. "A competitive location model to obtain a specific market share while ranking facilities by shorter travel time", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **55**, pp. 807-816 (2011).
18. Farahani, R.Z. and Hekmatfar, M. "Facility location: Concepts, models, algorithms and case studies", Contributions to management science. Heidelberg, Physica-Verlag (2009).
19. Wang, D., Fung, R. and Ip, W. "An immune-genetic algorithm for introduction planning of new products", *Computers & Industrial Engineering*, **56**, pp. 902-917 (2009).
20. Chambari, A.H., Rahmaty, S.H., Hajipour, V. and Karimi, A. "A bi-objective model for location-allocation problem within queuing framework", *World Academy of Science Engineering and Technology*, **78**, pp. 138-145 (2011).
21. Mehdizadeh, E., Tavarroth, M.R. and Hajipour, V. "A new hybrid algorithm to optimize stochastic-fuzzy capacitated multi-facility location-allocation problem", *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, **7**, pp. 71-80 (2011).
22. Berman, O., Tong, D. and Krass, D. "Pricing, location and capacity planning with equilibrium driven demand and congestion working paper", University of Toronto (2010).
23. Abouee-Mehrizi, H., Babri, S., Berman, O. and Shavandi, H. "Optimizing capacity, pricing and location decisions on a congested network with balking", *Math Meth Oper Res*, **74**(2), pp. 233-255 (2011).
24. Mehdizadeh, E. and Tavakkoli-Moghaddam, R. "Vibration damping optimization algorithm for an identical parallel machine scheduling problem", *Proc. of the 2nd Int. Conf. of Iranian Operations Research Society*, Babolsar, Iran (20-22 May 2009).
25. Mousavi, M., Hajipour, V., Niaki, S.T.A. and Aalifar, N. "Optimizing multi-item multi-period inventory control system with discounted cash flow and inflation approaches: Two calibrated meta-heuristic algorithms", *Applied Mathematical Modelling*, **37**(4), pp. 2241-2256 (2013).
26. Hajipour, V., Mehdizadeh, E. and Tavakkoli Moghaddam, R. "A novel pareto-based multi-objective vibration damping optimization algorithm to solve multi-objective optimization problems", *Published Online Scientia Iranica*, Transaction E (2013). <http://www.scientiairanica.com/en/ManuscriptDetail?mid=228>.

27. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T. "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, **6**, pp. 182-197 (2002).
28. Coello, C.A., Lamont, G.B. and Van Veldhuizen, D.A., *Evolutionary Algorithms for Solving Multiobjective Problems*, 2nd ed., Springer, Berlin (2007).
29. Haupt, R.L. and Haupt, S.E., *Practical Genetic Algorithms*, 2nd Ed., John Wiley & Sons (2004).
30. Najafi, A.A., Niaki, S.T.A. and Shamsavar, A. "A parameter-tuned genetic algorithm for the resource investment problem with discounted cash flows and generalized precedence relations", *Computer and Operations Research*, **36**, pp. 2994-3001 (2009).
31. Mousavi, S.M., Niaki, S.T.A., Mehdizadeh, E. and Tavarroth, M.R. "The capacitated multi-facility location-allocation problem with probabilistic customer location and demand: two hybrid meta-heuristic algorithms", *International Journal of Systems Science*, **44**, pp.1897-1912, (2013).
32. Peace, G.S., *Taguchi Methods*, Addison-Wesley Publishing Company (1993).
33. Zitzler, E. "Evolutionary Algorithms for multi-objective optimization: Method and applications", P.h.D Thesis, dissertation ETH NO. 13398, Swaziland Federal Institute of Technology Zorikh, Switzerland (1999).